



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

**Propuesta de una planta de biodiesel y alcoholes de alto peso molecular para la UEB
Fábrica de Azúcar “14 de Julio”**

Autor: José Alejandro Figueredo Suz

Tutor: Dr.C. Fernando Efrén Ramos Miranda

Cienfuegos

2016

PENSAMIENTO

“Un científico puede ser más o menos inteligente, estudioso o crítico. Puede estar mejor o peor preparado en un área de trabajo. Puede haber obtenido mejores o peores calificaciones en sus estudios. Pero a un científico auténtico no le puede faltar una cualidad emocional, la curiosidad”.

Ernesto Altshuler.

DEDICATORIA

➤ *A mis padres, mis hermanas, mi tía Nancy y demás familiares con amor y respeto por su constante preocupación y deseo de convertir en realidad mi sueño.*

AGRADECIMIENTOS

- *A mis padres, por el amor, el cariño, el ejemplo, el esfuerzo, la confianza y la dedicación que me han brindado durante todo, el pasar de los años.*
- *A mi tutor Dr.C. Fernando Efrén Ramos Miranda y demás profesores de la facultad Química por su dedicación, consagración y su amplio interés en ayudarme y brindarme, el apoyo necesario en la realización de este trabajo.*
- *A mis hermanas y demás familiares, por depositar toda su confianza en mis estudios.*
- *A todos mis compañeros de estudio, por el tiempo y la amistad compartida.*
- *A la Revolución por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios.*
- *A tantos y todos, muchas gracias por confiar en mí.*

RESUMEN

RESUMEN

El proyecto de investigación se desarrolló en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”, del municipio de Rodas, provincia Cienfuegos, la cual no presenta una diversificación en su producción. En el mismo se realizó una evaluación de diferentes tipos de tecnologías y se tuvo en cuenta las normas de control de la calidad existentes de estos productos a implementar en la fábrica. Se analizó la factibilidad desde el punto de vista económico, ambiental y social. El proyecto se llevó a cabo mediante la aplicación de la metodología planteada por (Ramos, 2014). En la investigación se propuso la tecnología planteada por (Carvajal, 2007) que permite la obtención y/o desarrollo del biodiesel a partir de cachaza. Con esta investigación se evaluó las alternativas encontradas en la literatura científica, aplicando métodos multicriterios y se seleccionó la mejor desde el punto de vista económico, ambiental y social.

ÍNDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
1.1 Biorefinerías	18
1.2 Biocombustibles	19
1.2.1 Sectores socio-económicos que son beneficiados con el uso de los biocombustibles	20
1.2.2 Importancia del uso de los biocombustibles	20
1.2.3 Clasificación de los Biocombustibles	22
1.3 Biodiesel	23
1.3.1 Breve reseña histórica del surgimiento del biodiesel	23
1.3.2 Propiedades del biodiesel	24
1.3.3 Ventajas del Biodiesel	24
1.3.4 Desventajas o limitaciones del biodiesel	25
1.3.5 Situación mundial de la producción de Biodiesel	26
1.3.6 Control de la calidad del biodiesel	27
1.4 Alternativas para la producción de biodiesel	30
1.4.1 Elección de las diferentes materias primas	30
1.4.2 Uso de metanol o etanol	31
1.5 Características de la cachaza	33
1.5.1 Requerimientos a tener en cuenta en el aceite de cachaza	34
1.5.2 Extracción del aceite de cachaza	35

1.5.3 Transesterificación del aceite de cachaza siguiendo la ruta ética.....	35
1.6 Características y aplicaciones de los alcoholes de alto peso molecular (AAPM)	36
1.7 Análisis Multicriterio.....	37
1.8 Método Delphi	37
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN LA UEB FÁBRICA DE AZÚCAR “14 DE JULIO”	40
2.1 El Método Delphi y su aplicación	43
2.1.1 Selección de expertos.....	45
2.1.2 Rondas y listado de las alternativas a evaluar	46
2.1.3 Confección de la matriz de los expertos	47
2.2 Instalación objeto de estudio.....	47
2.3 Introducción al caso de estudio.....	49
2.4 Selección de los indicadores económicos.....	51
2.5 Consideraciones ambientales y sociales	54
2.5.1 Para la selección de los indicadores ambientales.....	55
2.5.2 Para la selección de los indicadores sociales	55
2.6 Descripción del proceso de obtención de Biodiesel a partir de aceite de cachaza	56
CAPÍTULO 3 APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA	60
3.1 Selección de expertos	60
3.2 Aplicación del Método Delphi.....	61
3.3 Resumen del diagnóstico	64
3.3.1 Resumen del estudio de capacidades de la UEB.....	64
3.3.2 Resumen de la proyección cañera e industrial	65

3.3.3 Resumen del balance masa	66
3.4 Análisis de la alternativa de producción de Biodiesel a nivel industrial en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”	67
3.4.1 Balance de materiales para la producción de Biodiesel a partir del aceite de la cachaza en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”.....	67
3.4.2 Desarrollo detallado del balance de materiales	68
3.4.3 Dimensionamiento de los equipos para la producción de Biodiesel en las nuevas condiciones.	70
3.5 Cálculo de los Indicadores económicos	79
3.5.1 Estimado del Costo total de Inversión.....	79
3.5.2 Estimado del Costo de Producción	82
3.5.3 Indicadores de rentabilidad VAN, TIR, PRD y RVAN.....	84
3.6 Impacto ambiental y social.....	85
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Hasta hace algunos años el petróleo era una materia prima abundante con un costo asequible, alrededor de la que se ha desarrollado una industria que permite la obtención de combustibles y materias primas para otras industrias. Partiendo del petróleo, mediante reformado y craqueo, se obtienen productos de base para diversas cadenas productivas de las que se obtienen los denominados productos petroquímicos que a su vez, sirven de base para otras industrias, incluidas la industria química, de fertilizantes o textil, entre otras muchas. Sin embargo, la inestabilidad en el precio y suministro del petróleo y el aumento de su demanda desde economías emergentes, junto con el aumento de las emisiones de gases contaminantes, hace cada vez más necesario la búsqueda de alternativas a esta materia prima, tanto para el desarrollo de combustibles y energía como para la elaboración de productos que sirvan como materia prima para otras industrias.

En este contexto surge el concepto de biorefinería integrada, entendida como la industria de refinación para la producción de energía, combustible, materiales y productos químicos a partir de biomasa vegetal, de manera análoga a la que trabaja en las refinerías en las que se procesa el petróleo. Se busca desarrollar la tecnología que permita obtener a partir de los distintos componentes de la biomasa, no solo energía y biocombustibles, sino familias de productos de base que puedan ser útiles a las distintas industrias productoras.

La industria azucarera en nuestro país se encuentra atravesando un proceso de reordenamiento y redimensionamiento con el objetivo de alcanzar mayores beneficios, tecnológicos, económicos y ecológicos, impuestos por las condiciones económicas y medioambientales en que se desarrolla actualmente. Unido a lo anterior se han desarrollado propuestas de biorefinerías en la industria del azúcar, siendo una herramienta muy útil para disminuir los consumos de energía y los vertimientos de residuales contaminantes al medioambiente en los procesos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza un estudio en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” ubicada en el municipio de Rodas, provincia de Cienfuegos, en el cual se incluyen los procesos de fabricación de azúcar y producción de biodiesel, por lo que se plantea como problema científico el siguiente:

Problema científico

La UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”, no está diversificada, por lo que se requieren nuevas propuestas tecnológicas que produzcan nuevo valor agregado.

Hipótesis

Si se implementa nuevas tecnologías que diversifiquen la producción de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” se desarrollaran valores agregados adicionales y se encontraran nuevas oportunidades de negocios.

Objetivo general

Proponer productos con un nuevo valor agregado a partir del diseño básico de instalaciones tecnológicas en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”.

Objetivos específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre la obtención de biodiesel a partir de aceite de cachaza como producto de nuevo valor agregado.
2. Aplicar la metodología de (Ramos, 2014) propuesta para la reconversión azucarera.
3. Evaluar diferentes alternativas técnicas que produzcan nuevo valor agregado a la UEB seleccionada.
4. Hacer un estudio de la factibilidad económica, ambiental y social para la tecnología propuesta.

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Biorefinerías

El Concepto de biorefinería planteado por el Departamento de Energía de Estados Unidos y ampliamente aceptado es *un proceso basado en el esquema de las refinerías de petróleo, pero en el cual se produce la conversión de la biomasa mediante el fraccionamiento intensivo y se obtiene un valor agregado de productos químicos y generación de energía* (D.O.E, 2006), también se acepta como biorefinería de primera generación la obtención de productos químicos (biocombustibles) y energía a partir de subproductos ricos en carbohidratos como la miel final de los ingenios o el jugo proveniente de la molienda, y también existe la biorefinería de segunda generación para convertir la biomasa en productos químicos (biocombustibles). En fin, el objetivo de las biorefinerías es optimizar el uso de los recursos, minimizar los desechos y por consiguiente, maximizar el rendimiento y los beneficios de la instalación.

Existen numerosos reportes apuntando a favor y en contra del uso de la biomasa cañera en las Biorefinerías. A continuación exponemos las más importantes encontradas.

En el caso del concepto de biorefinería en II generación, se asegura que el futuro de las Biorefinerías tiene que ser con materias primas más baratas, y cuando proceda, trabajar con una u otra (Hatti-Kaul, 2010).

El planteamiento anterior conllevaría a buscar continuamente nuevos materiales y tecnologías más convenientes para estos fines, cuestión esta que implicaría serias investigaciones en la agricultura y la tecnología, y el futuro de estas instalaciones se pondría un poco más impreciso.

Desde el enfoque ambiental, se plantea que los combustibles producidos de cultivos alimenticios como la caña de azúcar tiene efectos (o impactos) ambientales negativos (erosión, pérdida de biodiversidad, contaminación del aire y contaminación del agua). Dependiendo de ciertas circunstancias y de los parámetros utilizados en la evaluación, el biodiesel podría estar contribuyendo al calentamiento global, efecto que se agudizaría al utilizar suelos vírgenes.

Desde el punto de vista social, algunos reportes (Amorín, 2009) indican que la calidad de vida de los trabajadores asociados a estas nuevas tecnologías no se han beneficiado lo suficiente como para elevar su calidad de vida significativamente, debido, entre otras causas, a que al desarrollo de estas tecnologías, están asociadas a impactos sociales negativos como la subida de los precios. También, en el caso de Brasil, se han reportado formas de hacinamiento, de crueldad y hasta de esclavitud.

No obstante, la producción de derivados de la caña de azúcar adquiere cada vez mayor importancia como vía para dar respuesta a los requerimientos de desarrollo económico y social nacional. Cuba, hasta casi terminado el siglo XX basó su economía en la industria azucarera, y es necesario convertirla y modernizarla para que recupere la importancia que tuvo para la nación, aunque es un compromiso ético realizar todos los esfuerzos por contribuir al esfuerzo internacional para salvar al mundo de una catástrofe ecológica.

Por todo lo antes expuesto en este trabajo se realiza un estudio de obtención de biocombustible a partir del aceite de cachaza como un producto de nuevo valor agregado.

1.2 Biocombustibles

Los biocombustibles son alcoholes, éteres, ésteres y otros productos químicos elaborados a partir de biomasa celulósicas tales como plantas herbáceas y leñosas, residuos agrícolas y forestales y una gran parte de los residuos municipales e industriales.

Biocombustible, según la etimología de la palabra sería un combustible de origen biológico; viéndolo así, incluso el petróleo lo sería, pues procede de restos fósiles; pero se tiende a definir como biocombustible a un combustible de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos o biomasa.

Entre las energías renovables podemos mencionar las siguientes:

- Energía de la biomasa
- Energía Hidráulica
- Energía Eólica
- Energía Solar
- Energía Geotérmica

Estos tipos de energías extenderán la vida de los combustibles fósiles y permitirán desarrollar adecuadamente una nueva matriz energética alternativa(Bacovish, 2006).

El término biocombustible puede referirse tanto a combustibles para generar electricidad así como, a combustibles para el transporte automotor. El uso de los biocombustibles ofrece beneficios desde el punto de vista medio ambiental, al disminuir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera con respecto al uso de combustibles convencionales.

1.2.1 Sectores socio-económicos que son beneficiados con el uso de los biocombustibles

En el mundo existen grandes intereses en cuanto a producir combustibles a partir de materias renovables, pues los mismos brindan beneficios a diferentes sectores socio-económicos, dentro de ellos encontramos:

- **Agrícola:** Siembra y recogida.
- **Industrias Aceiteras:** Producción de aceite.
- **Ganadero e Industrias de Producción de Grasas Animales:** Producción de grasa animal.
- **Hostelero:** Salida a la producción de residuos compuestos por aceites y grasas usadas.
- **Industria Química:** Transesterificación.
- **Empresas Petroleras:** Mezclado con gasóleo y distribución del biodiesel.
- **Cooperativas Agrícolas:** Uso de biodiesel en tractores y maquinaria agrícola.
- **Administraciones Locales y Autonómicas:** Flotas de autobuses, taxis, calefacciones, etc.

1.2.2 Importancia del uso de los biocombustibles

Hace alrededor de 30 años la comunidad científica mundial estaba preocupada porque parecía que se acercaba el agotamiento del petróleo, y comenzó a pensar en nuevas alternativas de combustibles.

En La Primera Conferencia Internacional de Biocombustibles Líquidos se trataron temas centrales como biodiesel a partir de aceites vegetales (soja, girasol, colza y otros), alcohol de maíz y de caña de azúcar.

En la cumbre ambiental de Kyoto (Japón) el mundo le puso la firma a un acuerdo fundamental: para el año 2010, las emisiones de dióxido de carbono, producto de la combustión de fuentes fósiles, tienen que reducirse hasta un nivel de un 10 % inferior al del año 1990. Otras de las razones por lo que se requiere utilizar los biocombustibles son que teniendo en cuenta el uso de los mismos se producirá una reducción de la dependencia del petróleo foráneo, un incremento en el empleo de los cultivos agrícolas con el fin de producir combustibles biológicos y prevenir el desarrollo de energías alternativas.

Los Biocombustibles, al proceder de las plantas, cuando son quemados (oxidados) devuelven a la atmósfera el dióxido de carbono que la planta tomó del aire tiempo atrás, en la figura 1.1 se muestra el ciclo cerrado de CO₂, mediante el empleo de biocombustibles.



Figura 1.1 Ciclo cerrado de CO₂ mediante el empleo de Biocombustibles. Fuente: Elaboración propia

Por tanto, desde el punto de vista ecológico es un sistema que respeta el medio ambiente, pues no hay un aumento neto de gases de efecto invernadero. Es posible utilizar este tipo de combustible como complemento o para aprovechar ciertos recursos que serían desperdiciados, aunque cubra un pequeño porcentaje de la producción de energía total, aportaría su contribución de todos modos.

Utilizar otros combustibles alternativos en los motores actuales, sería más sencillo que la utilización de otras fuentes de energía como la de hidrógeno que se basa en una tecnología totalmente distinta a la de estos motores. Aunque estos biocombustibles no se utilizarían para sustituir el modelo energético actual, pues haría falta utilizar para ello, gran parte de las semillas y aceites que sirven como alimento a millones de personas, además de una gran cantidad de tierras para su cultivo; estos biocombustibles sólo ocuparían una posición estratégica para dar tiempo a la transición a otras fuentes de energía renovables, como la del hidrógeno.

1.2.3 Clasificación de los Biocombustibles

Los biocombustibles se clasifican en sólidos, líquidos y gases como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clasificación de los Biocombustibles.

SÓLIDOS	Residuos vegetales
	Madera
	Fracción orgánica de los RSU
LÍQUIDOS	Biodiesel
	Bioetanol
	Biometanol
	Aceites vegetales
GASES	Biogás
	Hidrógeno

Fuente:(Leyva, 2007).

Los biocombustibles líquidos, que se denominan también Biocarburantes, son aquellos que pueden ser utilizados en los motores de combustión interna: Biodiesel para los motores Diesel (Ciclo Diesel) y Bioetanol para los motores de gasolina (Ciclo Otto). (Serrano, D., 2005) en(Leyva, 2007).

Los dos productos más desarrollados y empleados actualmente son: el Bioetanol y el Biodiesel, los cuales son combustibles ecológicos, no tóxicos, y renovables, que pueden

producirse con un equipamiento relativamente sencillo, a partir de los recursos renovables disponibles en cada área geográfica.

1.3 Biodiesel

También denominado biogasóleo diéster, es un combustible diesel producido a partir de materias de base renovables, como los aceites vegetales, que se puede usar en los motores diesel.

Según la definición de American Standards for Testing and Materials (ASTM), el concepto de Biodiesel es: Ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplea en los motores de ignición por compresión (motores diesel) o en calderas. Esta definición incluye, además de los ésteres metílicos o etílicos, otros ésteres de monoalcoholes como los ésteres isopropílicos, butílicos, etc. Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency - EPA - EEUU).

Puede usarse como combustible puro al 100 % (B100), como una base de mezcla para el gasoil de petróleo (B20), o en una proporción baja como aditivo del 1 al 5 %. De esta forma el biodiesel se complementa, no compite con el petróleo.

1.3.1 Breve reseña histórica del surgimiento del biodiesel

En 1897 el ingeniero alemán Rudolf Diesel presentó en la Asamblea General de Ingenieros de ese país un motor de combustión interna que llevaba su nombre y el cual, según había demostrado, podía funcionar con aceite vegetal. Se inicia de esta manera el uso de los aceites vegetales en la obtención de combustibles.

En un principio, los combustibles fósiles se apoderaron del mercado gracias a su bajo costo, a su eficiente desempeño y, sobre todo, a su gran disponibilidad. No obstante, en los últimos años el panorama energético mundial ha variado notablemente; la escasez de combustible de los años 70's en los Estados Unidos y las crecientes preocupaciones sobre el inminente daño que causan al planeta las emisiones producto del consumo masivo de este tipo de combustibles han motivado el interés de muchos investigadores en el mundo por

desarrollar nuevas fuentes de producción de energía. Producto de estas investigaciones surgió el biodiesel, para ser empleado como sustituto del diesel de petróleo.

En la actualidad estos ya han pasado de la etapa experimental y forman parte de la canasta de combustibles habituales. Las plantas industriales de generación de biodiesel son construidas por varias compañías en Europa; cada una de estas plantas producirá más de 5,7 millones de litros de combustible cada año.

1.3.2 Propiedades del biodiesel

El biodiesel puede obtenerse de alrededor de una centena de productos vegetales y animales, los cuales son transformados a metil ésteres o etil ésteres por transesterificación. Debido a esto las propiedades del biodiesel variarán según la materia prima empleada. En el Anexo 1 se muestran algunas de las propiedades definidas por las normas ASTM para el biodiesel (B100).

Una comparación necesaria entre las propiedades del biodiesel y el diesel convencional se puede observar en el Anexo 2, donde se demuestran las grandes perspectivas de utilización del primero en los motores diesel con modificaciones mínimas o nulas en muchos casos.

Las propiedades del Biodiesel pueden variar según la materia prima usada, como se muestra en el Anexo 3, sin embargo, hay una diferencia mayor entre el diesel convencional y el biodiesel que entre el biodiesel proveniente de diferentes fuentes.

1.3.3 Ventajas del Biodiesel

- Renovable fuente de energía.
- Es 100% biodegradable en alrededor de 21 días, su combustión genera un olor similar a la de las galletas dulces o a papas fritas según sea su origen.
- No enciende ni estalla espontáneamente debido a que tiene un alto punto de inflamación o temperatura de ignición.
- Tiene un gran poder de lubricación y minimiza el desgaste del motor.
- Las emisiones de dióxido de carbono se reducen considerablemente hasta un 78% cuando se usa B100 y en un 35% cuando es B20. Además el CO₂ emitido durante la combustión del biodiesel es totalmente reabsorbido por las plantas, por lo tanto no

existen emisiones netas de CO₂ a la atmósfera, dando un balance positivo de dióxido de carbono y evitando la emisión adicional de Gases de Efecto Invernadero.

- Las emisiones de monóxido de carbono durante la combustión del biodiesel es del orden del 50% inferior (comparada con la combustión del diesel).
- No se produce emisión de dióxido de azufre ni óxidos del mismo cuando se usa B100 pues el biodiesel no contiene azufre y permite el uso de catalizadores.
- Reduce las emisiones en los gases de escape de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y sus nitroderivados (nPAH). Estos compuestos son cancerígenos y muy tóxicos según estudios realizados.
- La combustión de Biodiesel disminuye en 93% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados, pues esta es más completa que la del diesel convencional.
- El biodiesel tiene un mayor número de cetano, lo cual mejora el proceso de combustión, permite aumentar la relación de compresión del motor (conlleva un aumento del rendimiento de este) y produce menos ruido.
- Permite el empleo de residuales en su producción.
- Su punto de inflamación es superior, haciendo la manipulación y el almacenamiento más seguros que en el caso del combustible diesel convencional. Posee además un alto punto de ignición y por ello es más seguro para el transporte de pasajeros.
- El biodiesel es el primer y único combustible alternativo que posee una evaluación completa de emisiones y efectos potenciales sobre la salud de las personas, aprobado por E.P.A. (Environmental Protection Agency)
- Sus características son similares a las del diesel convencional, superándolas en muchos parámetros. (Anexo 2)
- El balance energético del biodiesel, considerando la diferencia entre la energía que produce 1 kg. de biodiesel y la energía necesaria para la producción del mismo, desde la fase de recepción de la cachaza hasta la fase final es positivo al menos en de 43 %. Por lo tanto puede ser considerada una actividad sostenible.

1.3.4 Desventajas o limitaciones del biodiesel

- Presenta elevados costos de materia prima.

- Las emisiones de los óxidos de nitrógeno (NO_x), aumentan en un 13 %. Esto es un factor contribuyente en la formación localizada de humo y destrucción de la capa de ozono.
- Presenta problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C)
- Presenta escasa estabilidad oxidativa, y su almacenamiento no es aconsejable por períodos superiores a 6 meses.
- Su poder solvente lo hace incompatible con una serie de plásticos y elementos derivados del caucho natural, y a veces obliga a sustituir mangueras en el motor.
- Su carga en tanques ya sucios por depósitos provenientes del gasoil puede presentar problemas cuando por su poder solvente "limpia" dichos depósitos, transportándolos por la línea de combustible.
- Se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue aproximadamente un 7% de combustible en peso.
- La mayoría de las veces se sacrifican las tierras destinadas a la siembra de alimentos, para los cultivos que se utilizarán en la producción de biocombustibles, y en muchos casos se emplean muchos de los propios alimentos con este fin, por ejemplo, el maíz, la soja, las semillas de girasol, trigo, entre otros.

(Larosa, 2004; Martin, 2006; Stratta, 2000; Strong Ch.; Erickso, 2006)

Estas dificultades pueden ser eliminadas fácilmente, ya sea haciendo pequeñas adaptaciones al motor, buscando materias primas más baratas, adicionándole ciertas sustancias al combustible, y sobre todo no convirtiendo los alimentos en biocombustibles, ni utilizando las tierras destinadas para los primeros en la producción de estos últimos.

1.3.5 Situación mundial de la producción de Biodiesel

La producción total de biodiesel cayó en el 2015 respecto al 2014 fundamentalmente debido a la baja esperada de la producción en U.S.A, Argentina, e Indonesia, por caída de precios relativos de gasoil. Como se muestra en la tabla 1.2 y en la figura 1.2.

Tabla 1.2 Producción Mundial de Biodiesel en '000 toneladas

Países	2014	2015
U.E	11.800	10.800
U.S.A	5.000	3.600
Brasil	3.000	3.600
Indonesia	2.700	1.800
Argentina	2.550	1.550
Tailandia	1.000	900
Malasia	650	800
Singapur	800	800
Colombia	540	520
Canada	300	300
Filipinas	100	120
Perú	10	10
Otros	800	700
Total	29.250	25.500

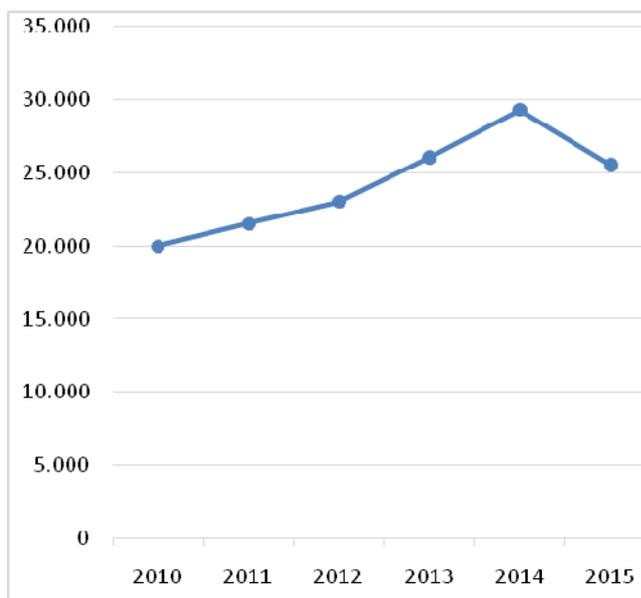


Figura 1.2 Producción Mundial de Biodiesel en '000 toneladas

Dentro de la producción total de biodiesel el HVO (aceite vegetal hidrotratado), representaba en el 2011 un 5 % del total pasando al 12,5 % de la producción para el año 2015 respecto al FAME (Metilester de ácidos grasos). Fuente: (Castro, 2015)

1.3.6 Control de la calidad del biodiesel

El biodiesel está constituido principalmente por mezclas de esteres metílicos, pero también puede contener restos de jabones, glicéridos (mono-, di- y triglicéridos), ácidos grasos libres, catalizadores, sustancias insaponificables (esteroles y ésteres de esteroles) y agua. La presencia de estos componentes minoritarios en mayor o menor medida determina la calidad del biodiesel, por lo que deben definirse especificaciones que comprendan estas propiedades. Además, el biodiesel debe cumplir las especificaciones de los combustibles minerales de automoción, gasóleo A, y calefacciones, gasóleo C. (Crespo, 2000).

Algunos países europeos han aprobado normas para el control de calidad del biodiesel, sin embargo, a nivel europeo, tan sólo existe un borrador de las mismas, aunque se espera que su actualización entre en vigor. El borrador, que distingue entre las características como carburante en las químicas específicas como ésteres metílicos, puede apreciarse en el Anexo 4.

Existen varios parámetros que debe tener el combustible para asegurar su correcto funcionamiento, entre los que se encuentran:

Punto de inflamación (Flash Point)

Es de vital importancia por los requerimientos legales en lo que respecta a la seguridad en el manejo y almacenamiento del mismo. Este parámetro generalmente se determina para satisfacer técnicas legales de seguridad.

También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención del combustible.

Viscosidad

Para algunos motores, puede llegar a ser ventajoso especificar un mínimo de viscosidad debido a la pérdida de potencia por parte de la bomba inyectora y pérdidas de combustible en el inyector. Un límite admisible máximo, por otro lado, es necesario por cuestiones de diseño y tamaño de los motores, y las características propias del sistema de inyección. Este límite es mayor que el del gas oil, por lo que las mezclas de este último con biodiesel, reducen la viscosidad del mismo.

Cenizas Sulfatadas

La formación de cenizas puede estar presente en tres formas distintas:

- Sólidos abrasivos.
- Jabones metálicos solubles.
- Catalizador remanente.

Los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro del inyector, la bomba inyectora, pistones y aros y formación de depósitos en el motor.

Sulfuros

El efecto que puede ocasionar la presencia de sulfuros puede variar considerablemente dependiendo en gran medida de las condiciones de operación. Afecta principalmente a la acción de los sistemas de control de emisiones.

Corrosión al Cobre

Es importante ya que se puede determinar la presencia de ácidos o contenido de sulfuros que puede provocar corrosión en el motor.

Número de Cetanos

El número de cetanos es una medida de las calidades de ignición del combustible y la presencia de humos negros y rudeza de marcha. Los requerimientos del número de cetanos dependen del diseño, tamaño, variación de carga, velocidad y las condiciones atmosféricas del motor.

Punto de enturbiamiento (Cloud Point)

Define la temperatura a la cual comienzan a formarse pequeños cristales dentro del combustible. Es importante ya que define el comportamiento del combustible en condiciones climáticas a baja temperatura.

Residuo Carbonoso

Da una medida de la tendencia del combustible a formar depósitos de carbono.

Número ácido

Determina el nivel de ácidos grasos libres presentes en el combustible. La presencia de los mismos puede incrementar los depósitos y la corrosión.

Glicerina libre

Determina la cantidad de glicerina libre dentro del combustible. Un alto contenido de la misma puede bloquear los inyectores y obstruir los conductos de combustible.

Glicerina Total

Determina el total de glicerina en el combustible, tanto libre como no libre. Un bajo nivel de la misma asegura que ha habido una alta conversión de aceites o grasas en ésteres

monoalquílicos. Un alto contenido de mono-, di- y triglicéridos, puede bloquear los inyectores y afectar el comportamiento en climas a temperaturas muy bajas.

(Leyva, 2007)

1.4 Alternativas para la producción de biodiesel

En el mundo actualmente existen varias formas o alternativas para la producción del biodiesel. Estas se basan fundamentalmente en:

- Elección de las diferentes materias primas.
- El uso de metanol o etanol.

1.4.1 Elección de las diferentes materias primas

El biodiesel se obtiene de diversos tipos de materias primas como son:

-Aceites vegetales

- Aceites de freír usados

- Grasas o sebos de animales

-Ceras

La producción de aceites vegetales es posible a partir de más de 300 especies diferentes, aunque los cultivos arbóreos (palma, olivo, etc.) suelen presentar mayores rendimientos en aceite que los cultivos herbáceos, la materia prima a utilizar depende de la región geográfica, disponibilidad de la misma o de la tecnología instalada. De esta manera se pueden emplear para la fabricación de biodiesel, aceite de soja (Estados Unidos), coco y palma (países tropicales), colza (Europa), girasol, algodón, maní, arroz, jatropha curcas, ricino, aceite de freír usado, etc.

En Cuba resulta muy atractivo utilizar el aceite presente en la cachaza, residuo de la industria azucarera, debido a su gran disponibilidad, y fácil extracción del aceite contenido en ella.

1.4.2 Uso de metanol o etanol

Para la producción de Biodiesel existen dos alternativas. Una primera alternativa se representa por la reacción de transesterificación utilizando Metanol (alcohol metílico) como agente transesterificante, obteniendo por tanto como coproductos los ésteres metílicos que constituyen el biodiesel y alcoholes de alto peso molecular (AAPM). (Parente, 2003). Una segunda variante implica el uso de etanol (alcohol etílico), como agente transesterificante, obteniendo esta vez como producto el biodiesel ahora representado por los ésteres etílicos y alcoholes de alto peso molecular (AAPM).

Desde el punto de vista de las reacciones químicas ambas son equivalentes ya que los ésteres metílicos y etílicos tienen similares propiedades como combustible, por tanto ambos se consideran Biodiesel. En la Figura 1.3 se aprecian las dos posibles reacciones con metanol y con etanol ofrecidas por (Galuchi, 2005), para el caso de los triglicéridos, en caso que se usen los aceites de la cachaza, se obtienen en lugar de la glicerina, los alcoholes de alto peso molecular (AAPM), debido a que al ocurrir la ruptura en lugar obtenerse el glicerol, se producen alcoholes grasos, o de cadenas largas y también fitoesteroles conocidos genéricamente como AAPM.

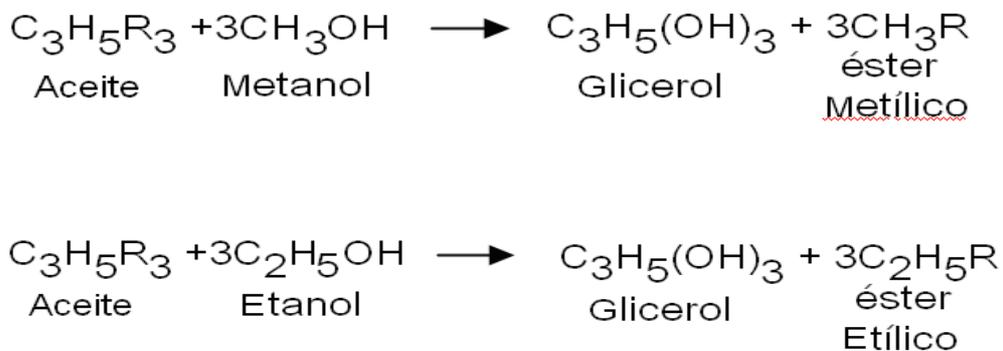


Figura 1.3 Posibles reacciones de transesterificación (Metanol y Etanol).

Ambas reacciones ocurren en presencia de un catalizador que puede ser el hidróxido de sodio (NaOH) o de potasio (KOH) en pequeñas proporciones. Si se analizan las ventajas y desventajas es muy difícil decidir genéricamente cuál es el catalizador más recomendado.

Algunos especialistas del tema expresan que desde el punto de vista técnico - económico la reacción por vía metanol es mucho más ventajosa, tal y como se muestra en el cuadro comparativo de ambas rutas de la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Comparación entre los resultados de la ruta etílica y metílica.

Cantidades y condiciones	Rutas del Proceso		UM
	Metílica	Etílica	
Cantidad de alcohol consumido/1000 L de Biodiesel.	90	130	kg
Precio medio del alcohol	190	360	US \$/kg
Exceso de Alcohol recomendado	100	650	%
Temperatura de reacción	60	85	°C
Tiempo de reacción	45	90	min

Como se puede apreciar en la tabla anterior la ruta metílica consume una menor cantidad de alcohol, requiere de menor temperatura de reacción, menor exceso de alcohol, y tiene la mitad del tiempo de reacción respecto a la ruta etílica. Estos son los principales motivos por los cuales la producción de Biodiesel a escala mundial sigue tendiendo al uso del Metanol. (Parente, 2003).

Otro de los problemas que tiene la utilización de etanol, con la consiguiente producción de etilésteres, es la formación de una emulsión muy estable que dificulta posteriormente la separación de los etilésteres y la glicerina. El metanol y el etanol no son miscibles con los triglicéridos (aceites) a temperatura ambiente, por esa razón la mezcla de reacción es agitada mecánicamente para mejorar la transferencia de masa. Durante el curso de la reacción, normalmente se forma una emulsión; en el caso de la metanólisis, esta emulsión se rompe fácil y rápidamente, para formar dos capas, la superior rica en metilésteres, y la inferior rica en glicerina. En la etanólisis, la emulsión es mucho más estable, siendo más complicada la separación y la purificación de los ésteres. El grupo no polar del etanol es más grande que en el metanol, y este es el factor crítico en la estabilización de la emulsión.

Sin embargo, cuando las concentraciones de los monoglicéridos y diglicéridos son bajas, la emulsión se vuelve inestable. Por eso se necesita que la reacción sea lo más completa posible, reduciendo así la concentración de estos compuestos intermedios.

Para el caso de Cuba, la ruta etílica ofrece una gran ventaja debido a la oferta de etanol que existe disponible en el país dada su producción a gran escala y con una calidad apropiada. Desde el punto de vista ambiental el uso de etanol lleva gran ventaja sobre el metanol pues este alcohol es obtenido a partir de derivados del petróleo, mientras que el etanol es producido fundamentalmente a partir de biomasa. (Parente, 2003), (Galuchi, 2005).

El uso de etanol para la reacción de transesterificación es de interés no solo por la utilización de otro recurso renovable, sino por las diferentes propiedades que le confiere al biodiesel. Así, el producto obtenido a partir de grasas, presenta un menor punto de escurrimiento cuando se usa etanol con respecto al uso de metanol. Por otro lado, la reactividad del etanol es muy diferente a la del metanol, tanto por una diferencia en la polaridad de la molécula, como por una mayor miscibilidad mutua que se tiene en presencia de etanol, esto implica mayor velocidad de reacción, dado a que se eliminan o disminuyen los problemas de transferencia de masa.

1.5 Características de la cachaza

La cachaza o torta de filtro, es un residuo sólido, de aspecto fibroso y color oscuro, bastante seco y que se extrae del proceso de filtración de los lodos obtenidos durante el proceso de clarificación de los jugos en la fabricación de azúcar. Existen dos tipos de cachaza: la denominada cachaza primaria que se obtiene por sedimentación del jugo suspendido, seguida de una filtración y la cachaza final a la que se descarga de los filtros para ser desechada. La misma es otro subproducto de la agroindustria cañera. Tiene generalmente un alto porcentaje de agua, estimándose que el promedio oscila entre el 75 y el 77 %, es decir que el material seco es de aproximadamente 23-25 %.

Considerando la cachaza en términos de materia seca, su composición aproximada se presenta en la Tabla 1.4 tal y como lo reportan (Coronado, 1986), (Flores, 1985).

Tabla 1.4 Composición media de la cachaza seca.

Componente	%
Proteína cruda	12 - 16
Cera, aceite y resina	10 - 14
Cenizas	8 - 12
P ₂ O ₅	3 - 5
CaO	2.5
Sacarosa y azúcares reductores	10 - 14
Meollo de caña	18 - 25
Otras materias	25 - 35

1.5.1 Requerimientos a tener en cuenta en el aceite de cachaza

De la cachaza se extrae la cera, una fracción grasa también llamada aceite y resina. La fracción grasa aún no ha sido suficientemente aprovechada a pesar de lo valioso de sus componentes. (Casdelo, 2003), (Balch, 1977), (Martínez, 2006).

Es importante que el aceite que se va utilizar para transesterificar esté en lo posible exento de ácidos grasos libres ya que estos en el proceso de transesterificación tienden a saponificarse y formar jabones de ácidos grasos; lo que compite con el proceso de transesterificación de los ésteres de alcoholes superiores también presentes en el aceite. (Azúcar, 1976).

La presencia de agua es también inconveniente, aunque generalmente no está en los aceites sino en el alcohol, sobre todo si se utiliza etanol. El agua tiende a diluir el catalizador y a formar emulsiones con los jabones, difíciles de separar. (ICIDCA, 1978).

Por otra parte la presencia de humedad, la temperatura y el tiempo de almacenaje y la acción enzimática tienden a deteriorar el aceite incrementando la acidez libre. (Smith, 1999).

1.5.2 Extracción del aceite de cachaza

El aceite se puede extraer mecánicamente (compresión o simple trituración) o químicamente (solventes) (Martínez, 2006).

La selección del solvente para la extracción a escala comercial, se basa en su disponibilidad y costo así como considerar las operaciones a realizar después de la extracción; especialmente si el producto crudo se va a fraccionar posteriormente. (Eckey, 1954), (Ramos, 1996).

Se han sugerido varios tipos, hidrocarburos aromáticos y solventes de petróleo acetona, metilo, éter, dióxido líquido de azufre, naftas. etc. (Guerrero, 1996) pero sólo se reporta el empleo a escala comercial de gasolina extractiva, n-heptano y nafta. (Royal, 1994),(Vanstone, 1999).

1.5.3 Transesterificación del aceite de cachaza siguiendo la ruta ética

Transesterificación o alcoholólisis es el nombre con el que se conoce al tipo de reacción en la que un éster superior intercambia su grupo alcoxi por otro, es decir el aceite de cachaza está compuesto fundamentalmente por ésteres de alcoholes superiores y ácidos grasos libres los cuales tienden a formar jabones durante la reacción de transesterificación(Korus, 2004). La reacción global de transesterificación puede ser representada como aparece en la Figura 1.4.

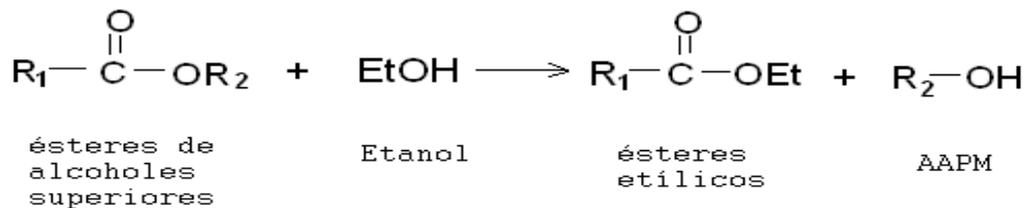


Figura 1.4. Reacción global de transesterificación a partir de aceite de cachaza.

En el proceso de transesterificación del aceite de cachaza se obtiene como producto principal el biodiesel y como subproducto los alcoholes de alto peso molecular (AAPM),(Martínez, 2006)cuyas características y propiedades les confieren un amplio uso industrial tal y como a continuación se refiere.

1.6 Características y aplicaciones de los alcoholes de alto peso molecular (AAPM)

Los AAPM están constituidos por la parte insaponificable de la fracción grasa de la cera cruda dentro de los que se encuentran los esteroides y los alcoholes grasos o policosanoles (Smith, 1999).

Los alcoholes de alto peso molecular tienen un sin número de aplicaciones tal y como lo reportó (Ramos, 2005):

Aplicaciones en productos farmacéuticos y dietéticos:

- Puede usarse para preparar varios tipos de suplementos alimentarios, bebidas saludables y productos farmacéuticos.
- Es un suplemento muy útil para deportistas y nutriente indispensable para atletas profesionales, pues baja la presión sanguínea y disminuye la frecuencia de las pulsaciones durante y después del ejercicio.

Aplicaciones en química cosmética:

- En productos activadores de la piel (antiarrugas).
- En preparados estimulantes del crecimiento del cabello.
- En fórmulas para el cuidado de las uñas.

Aplicaciones en agricultura:

- Regulador del crecimiento (incremento en el rendimiento del arroz, hortalizas, flores, tabaco).
- Acelerador de la maduración (cítricos).
- Activo frente a los nemátodos.

Aplicaciones medioambientales:

- Tratamiento de las aguas residuales para reducir la cantidad de lodos.
- Surfactantes biodegradables.

1.7 Análisis Multicriterio

El análisis multicriterio es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso de planificación que permite integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de actores en un solo marco de análisis para dar una visión integral.(Tobón, 2013).

La toma de decisiones Multicriterio debe ser entendida como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios.(Sendra, 2006).

Los análisis multicriterio y los modelos de decisión multiobjetivo ofrecen la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de todas las facetas de los problemas de planificación, particularmente debido a que varios efectos intangibles, como los sociales y las repercusiones ambientales pueden ser considerados cabalmente.(Sendra, 2006).

El Análisis Multicriterio es un procedimiento sistemático para el análisis de decisiones complejas, en las que el factor económico no es el único factor a considerar en la valoración de las opciones. El procedimiento recurre a técnicas matemáticas avanzadas para lograr cuantificar, en términos de valor, la influencia relativa de los diversos factores que intervienen en la decisión, tomando en cuenta la imprecisión e incertidumbres existentes así como la influencia de aquellos factores de naturaleza intangible y de difícil cuantificación. Mediante el análisis será posible demostrar la superioridad, si existe, de una opción frente a las otras, sobre la base de argumentos racionales significativos.(Ramos, 2014).

1.8 Método Delphi

El método Delphi se engloba dentro de los métodos de prospectiva, que estudian el futuro, en lo que se refiere a la evolución de los factores del entorno tecno-socio-económico y sus interacciones.

El primer estudio de Delphi fue realizado en 1950 por la Rand Corporation para la fuerza aérea de Estados Unidos, y se le dio el nombre de Proyecto Delphi. Su objetivo era la aplicación de la opinión de expertos a la selección de un sistema industrial norteamericano

óptimo y la estimación del número de bombas requeridas para reducir la producción de municiones hasta un cierto monto.

Es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo.

La capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos.

El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es “disminuir el espacio intercuartil, esto es cuanto se desvía la opinión del experto de la opinión del conjunto, precisando la mediana”, de las respuestas obtenidas.

Dentro de los métodos de pronóstico, habitualmente se clasifica al método Delphi dentro de los métodos cualitativos o subjetivos.

La calidad de los resultados depende, sobre todo, del cuidado que se ponga en la elaboración del cuestionario y en la elección de los expertos consultados.

Este método se emplea bajo las siguientes condiciones

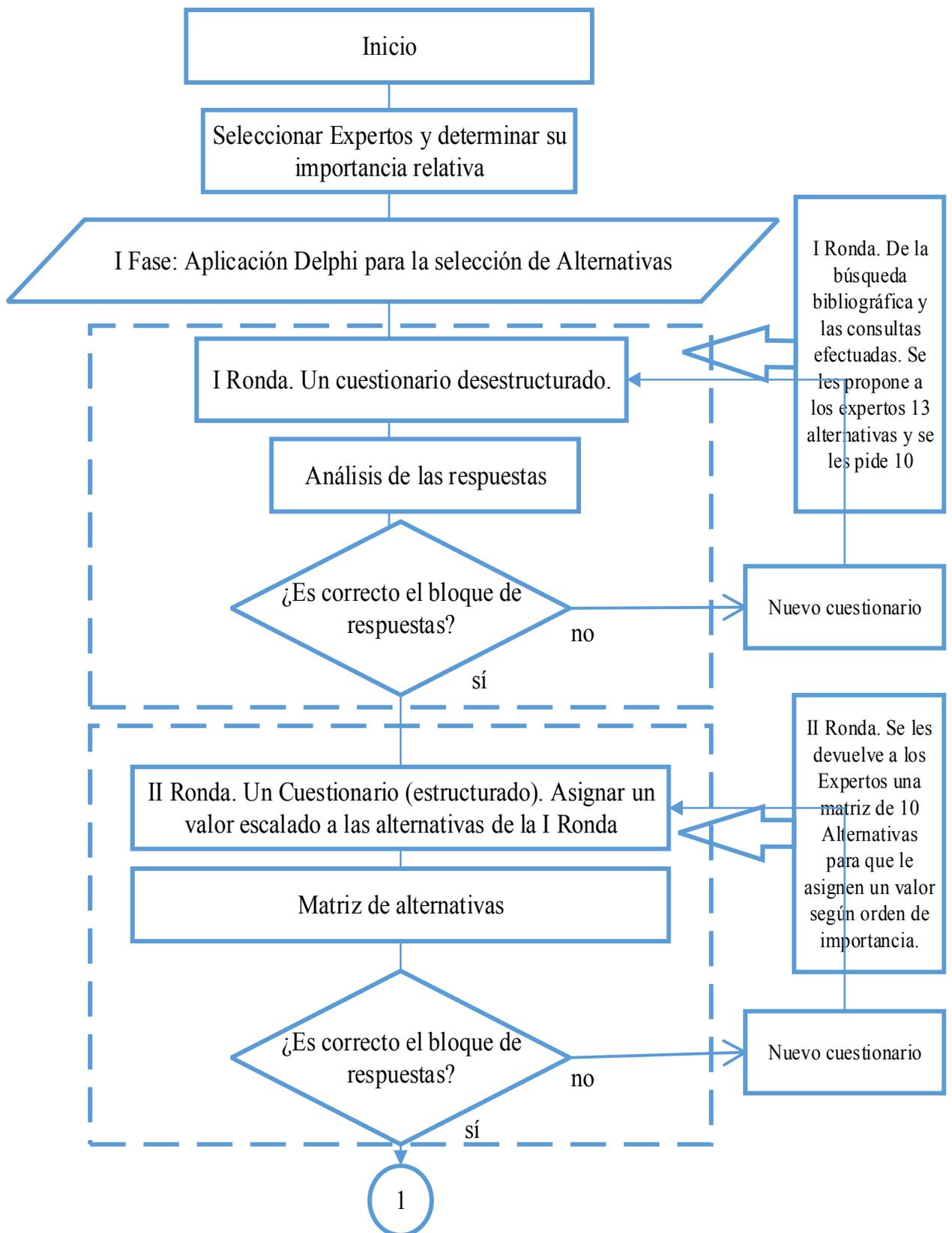
- No existen datos históricos con los que trabajar.
- El impacto de los factores externos tiene más influencia en la evolución que el de los internos.
- Las consideraciones éticas y morales dominan sobre las económicas y tecnológicas en un proceso evolutivo.
- Cuando el problema no se presta para el uso de una técnica analítica precisa.
- Cuando se desea mantener la heterogeneidad de los participantes a fin de asegurar la validez de los resultados.
- Cuando el tema en estudio requiere de la participación de individuos expertos en distintas áreas del conocimiento.

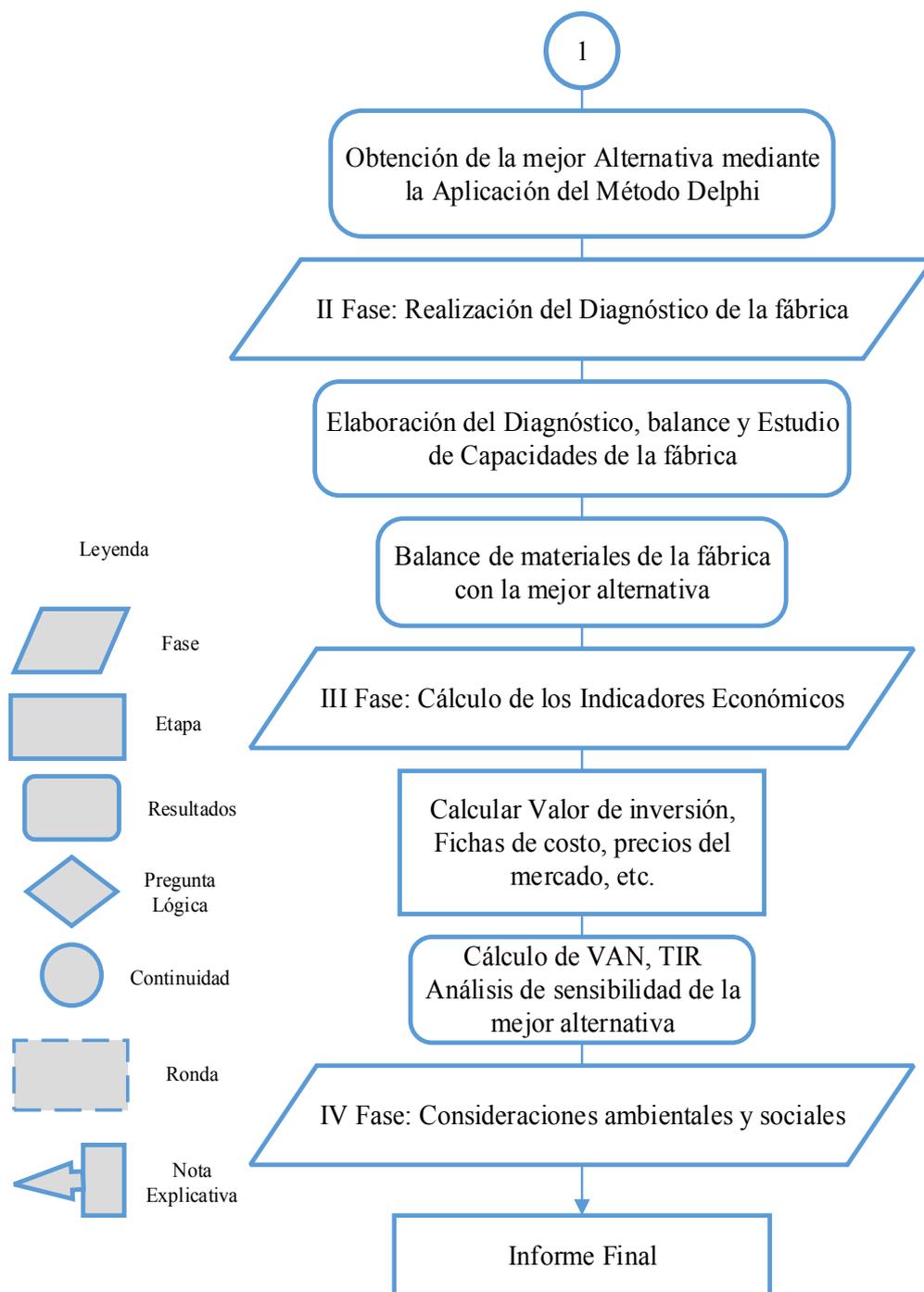
CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN LA UEB FÁBRICA DE AZÚCAR “14 DE JULIO”

Generalmente, las metodologías estudiadas para analizar las mejores alternativas de inversión en un primer paso, se fundamentan en criterios económicos a partir de propuestas realizadas por asesores, grupos de proyectos, personas guiadas por técnicas grupales, pero en muchos casos sin considerar directamente otros indicadores como impactos sociales, ambientales, o en el mejor de los casos sin una evaluación certera de estos indicadores. Para que la metodología que se proponga sea eficaz debe ser capaz de incorporar varios objetivos incluyendo la evaluación de indicadores cualitativos, además, debe ser flexible, realista y relativamente fácil de implementar.

En este capítulo se desarrollará la metodología mostrada en el diagrama heurístico de la Figuras 2.1, que comienza con la aplicación del método Delphi para la selección de las alternativas a evaluar en la instalación de una planta para la producción de biodiesel en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”. La metodología desarrollada incorpora criterios de evaluación tanto económicos como medioambientales y sociales de la tecnología propuesta.





Figuras 2.1 Diagrama Heurístico según metodología aplicada. Fuente: Elaboración propia

2.1 El Método Delphi y su aplicación

El Método Delphi está considerado como el método heurístico más efectivo y de mayor utilización para la toma de decisiones (Lorente, 2005), sin embargo se ha desarrollado poco para la decisión de alternativas tecnológicas cuando se quiere decidir el futuro de inversiones con relativo bajo costo.

CARACTERÍSTICAS

- **Anonimato:** Durante el Delphi ningún experto conoce la identidad de los otros que componen el grupo de debate.
- **Iteración y realimentación controlada:** La iteración se consigue al presentar varias veces el mismo cuestionario, lo que permite disminuir el espacio intercuartil, ya que se consigue que los expertos vayan conociendo los diferentes puntos y puedan ir modificando su opinión.
- **Respuesta del grupo en forma estadística:** La información que se presenta a los expertos no es solo el punto de vista de la mayoría sino que se presentan todas las opiniones indicando el grado de acuerdo que se ha obtenido.
- **Heterogeneidad:** Pueden participar expertos de determinadas ramas de actividad sobre las mismas bases.

EL MÉTODO CONSTA DE 4 FASES

1) Definición de objetivos: En esta primera fase se plantea la formulación del problema y un objetivo general que estaría compuesto por el objetivo del estudio, el marco espacial de referencia y el horizonte temporal para el estudio.

2) Selección de expertos: Esta fase presenta dos dimensiones:

- Dimensión cualitativa: Se seleccionan en función del objetivo prefijado y atendiendo a criterios de experiencia posición responsabilidad acceso a la información y disponibilidad.
- Dimensión Cuantitativa: Elección del tamaño de la muestra en función de los recursos medios y tiempo disponible.

Formación del panel. Se inicia la fase de captación que conducirá a la configuración de un panel estable. En el contacto con los expertos conviene informarles de:

- Objetivos del estudio
- Criterios de selección
- Calendario y tiempo máximo de duración
- Resultados esperados y usos potenciales
- Recompensa prevista (monetaria, informe final, otros)

3) Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios: Los cuestionarios se elaboran de manera que faciliten la respuesta por parte de los encuestados. Las respuestas habrán de ser cuantificadas y ponderadas (año de realización de un evento, probabilidad de un acontecimiento...)

4) Explotación de resultados: El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir la dispersión y precisar la opinión media consensuada. En el segundo envío del cuestionario, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta, debiendo dar una nueva respuesta. Se extraen las razones de las diferencias y se realiza una evaluación de ellas. Si fuera necesario se realizaría una tercera oleada.

VENTAJAS DEL MÉTODO

- Permite obtener información de puntos de vista sobre temas muy amplios o muy específicos. Los Ejercicios Delphi son considerados “holísticos”, cubriendo una variedad muy amplia de campos.
- El horizonte de análisis puede ser variado.
- Permite la participación de un gran número de personas, sin que se forme el caos.
- Ayuda a explorar de forma sistemática y objetiva problemas que requieren la concurrencia y opinión cualificada.
- Elimina o aminora los efectos negativos de las reuniones de grupo “Cara-Cara”.

INCONVENIENTES

- Su elevado costo.
- Su tiempo de ejecución (desde el período de formulación hasta la obtención de los resultados finales).
- Requiere una masiva participación para que los resultados tengan significancia estadística. Pero el grupo debe tener un alto grado de correspondencia con los temas a ser tratados en el ejercicio.

- Una parte crítica del método son las preguntas del cuestionario.
- Sesgos en la elección correcta de los participantes.
- Elevado número de deserciones debido al tiempo.

Tras realizar las 4 fases de este método se realiza un informe final, el cual ayudará en la toma de decisiones sobre el problema u objetivos planteados inicialmente.

2.1.1 Selección de expertos

Se realiza una selección de los expertos, así como la organización del grupo en correspondencia con las características y objetivos del trabajo.

Según investigaciones la idoneidad y la competencia no están necesariamente vinculadas con la calificación científica ni el perfil ocupacional del experto. En este sentido se trabaja en algunos círculos científicos para adecuar la técnica a un universo más amplio, como lo es incorporar obreros de gran experiencia en el tema, pero es necesario insistir que esto lo define el problema a resolver y el objetivo que se persiga.

Para la selección de los expertos que trabajarán en las rondas necesarias para llevar a término la metodología propuesta, en este caso se considerarán conocimientos de:

- La Industria Azucarera y la producción de biodiesel.
- Los problemas sociales y ambientales inherentes a la industria azucarera y a la producción de biodiesel.
- El proceso inversionista.

Se le proporcionará información específica a cada experto para complementar sus conocimientos y se les aplicará oportunamente un coeficiente de importancia de acuerdo al tema que se esté tratando y a su nivel de conocimiento que tenga. En el Capítulo 3 se describe la composición y estructura de los nueve expertos que fueron seleccionados atendiendo a las consideraciones:

- Voluntariedad.
- Vinculación estrecha con el tema.
- Seriedad y profesionalidad.

En la I fase (ver Figura 2.1) se proponen dos rondas, la primera con preguntas abiertas, se requiere del experto la propuesta de todas las alternativas factibles y viables. La segunda

ronda, con preguntas cerradas solicita al experto el orden de prioridad en la implementación de las distintas alternativas identificadas por ellos mismos en la primera ronda. Las encuestas realizadas aparecen en los Anexos 6 y 7 respectivamente.

Para desarrollar la I fase (Ver Figura 2.1) hay que seleccionar las alternativas a evaluar tomando como base los esquemas siguientes:

- Esquemas de producción de Biodiesel y sus coproductos.

De los esquemas anteriores, se pueden obtener las alternativas iniciales que se discutirán en el Capítulo 3. Posteriormente se propondrán dos rondas, la primera consiste en la búsqueda bibliográfica y las consultas efectuadas, en esta se le proponen a los expertos 13 alternativas y de estas se les piden 10 que sean factibles y viables. En la segunda ronda se les devuelve a los expertos una matriz de 10 alternativas para que le asignen un valor según el orden de importancia, permitiendo así obtener una opinión grupal de mayor certeza.

2.1.2 Rondas y listado de las alternativas a evaluar

En el estudio del caso estudiado, para la Fábrica de Azúcar "14 de Julio" de 2242,5 t/d de capacidad, con una proyección cañera de 6775 ha de área agrícola y una prospección cañera de 38-44 t/ha en 6 años, se obtiene en las dos primeras rondas el siguiente listado de alternativas:

Alternativas de la primera ronda. Fuente: Elaboración propia con ayuda del Tutor.

- I. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 1
- II. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 2
- III. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 3, con AAPM
- IV. Producción de biodiesel, semicontinuo, catalizador NaOH, escala 1
- V. Producción de biodiesel, semicontinuo, catalizador NaOH, escala 2
- VI. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 1, con AAPM
- VII. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 2
- VIII. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 3, con AAPM
- IX. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 2, con AAPM
- X. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 3
- XI. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 1

XII. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 3

XIII. Producción de biodiesel, semicontinuo, catalizador NaOH, escala 3

2.1.3 Confección de la matriz de los expertos

A partir de la segunda ronda se comienza a precisar los valores que se le asignan a las alternativas del 1 al 10 en orden de importancia. La Tabla 2.1 muestra una forma de ordenamiento de la matriz conformada por la opinión escalada de los expertos para cada alternativa.

Tabla 2.1 Calificación atribuida por los expertos a cada alternativa tecnológica

Alternativas	Expertos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I									
II									
III									
IV									
V									
VI									
VII									
VIII									
IX									
X									

2.2 Instalación objeto de estudio

La selección del caso de estudio es importante para la investigación no solamente para llevarla a feliz término, sino también para poder validar la propia esencia (métodos y herramientas). Para seleccionar el caso de estudio es necesario estar seguro que cumpla los requisitos generales de capacidad, disponibilidad de materia prima y mercado y más tarde

validar esta información con el diagnóstico correspondiente que incluya de forma indispensable el análisis de la proyección cañera, el estudio de capacidades y el balance de masa.

El análisis de la proyección cañera nos indica cuándo se podrá realizar las inversiones que aseguren un flujo de caja adecuado para obtener indicadores económicos satisfactorios. En (Acosta, 2003, 2008; Leidinger, 2010; Pérez, 2005) se han realizado este tipo de análisis para toda la agricultura cañera cubana.

El estudio de capacidades puede ser abordado desde una perspectiva simple que abarca factores de diseño establecidos para estimar la capacidad de diseño de los equipos o mediante estudios cronológicos soportados por herramientas estadísticas entre otros.

La Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints, TOC), fue creada en 1979, mediante la fusión magistral de varias técnicas de Dirección: Pensamiento, Sistémico, Teoría de Colas, Simulación, etc. (Leidinger, 2010).

El esquema del proceso agroindustrial azucarero, a la luz de Teoría de Restricciones, se vería como en la Figura 2.2.

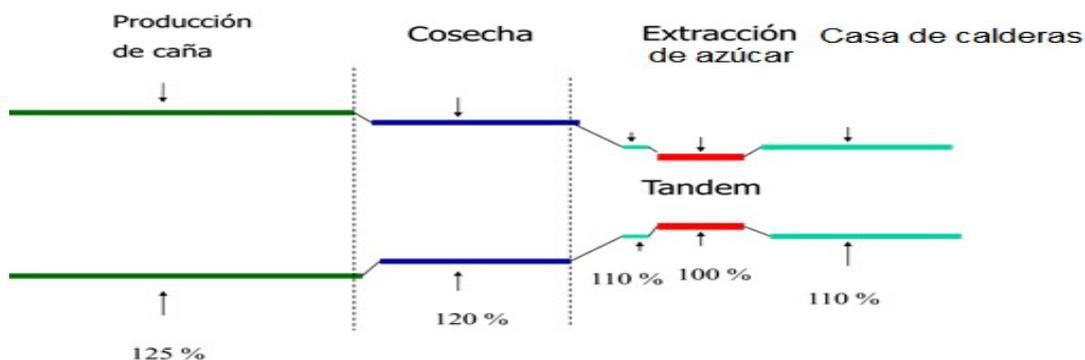


Figura 2.2 Esquema del estudio de capacidades de una fábrica de azúcar visto desde la Teoría de Restricciones. Fuente: (Ramos, 2014)

Balance de masa. El balance de masa es llamado la llave del Proceso Azucarero y su calidad (Esturo, 2005). La aplicación y jerarquización como principio básico esencial en la operación e integración del proceso es indispensable.

Su importancia para el proceso de producción de biodiesel se incrementa debido a lo complejo del proceso que involucra diferentes materias primas, variados productos, y energía en forma mecánica, térmica y eléctrica.

Varios autores han investigado acerca de la importancia del balance de masa y energía en el proceso. Así, (Nápoles, 2006) analizan y aplican métodos para determinar la incertidumbre en la estimación de los balances de masa en las fábricas de azúcar, (González-Suárez, 2005) lo amplía a la producción de biocombustibles, (Ortega-Blu, et al, 2010) hace un acercamiento al balance de energía también en los biocombustibles y (Carvajal, 2007) hace un estudio para la producción de biodiesel con cachaza. En todos ellos se aprecia la importancia de aplicar formas novedosas que faciliten y agilicen las vías para alcanzar el objetivo investigativo.

En el Epígrafe 3.4 se describirá el resumen del balance de masa para la alternativa seleccionada, y se hará el análisis correspondiente de los valores obtenidos.

2.3 Introducción al caso de estudio

La UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” pertenece a la Empresa Azucarera Cienfuegos, se localiza en el municipio Rodas y forma parte del Grupo Empresarial Agroindustrial AZCUBA. Se encuentra ubicada a tres km de la carretera que conduce al municipio Abreu, situada en el centro sur de la provincia Cienfuegos, al norte se encuentra el poblado de Rodas, al sur la Refinería de Petróleo Camilo Cienfuegos, al este el consejo popular Venta del Río, y al oeste el poblado de Abreu.

Misión

Producir y comercializar azúcar de alta calidad para el mercado interno y la exportación, aportando energía eléctrica al sistema electro-energético nacional.

Producir mieles y alimento animal para el mercado interno.

Visión

Somos la garantía de desarrollo para la UEB, Empresa y el Grupo Azucarero AZCUBA, se nos reconoce por nuestro elevado nivel de información y actualización de las tecnologías y métodos más novedosos que surgen y se aplican en nuestra industria, por el correcto estudio y análisis de los mismos para su introducción en la Empresa y UEB, el adecuado

control de su implantación y puesta en marcha. Aseguramos el correcto desempeño ambiental de todas nuestras producciones y servicios. Nuestro producto fundamental el azúcar está certificado.

Logramos todos estos resultados con una elevada capacitación de directivos, técnicos y trabajadores, comprometiéndolos y motivándolos bajo los principios del desarrollo científico técnico y el perfeccionamiento empresarial, existiendo una estrategia ambiental la que permite y garantiza la inserción en el micro-macro entorno.

Objeto Social

Producir y comercializar azúcares, miel y derivados de la caña de azúcar.

Generar y comercializar de forma mayorista energía eléctrica para el sistema de la unión eléctrica.

Escenario

Los precios internacionales del azúcar estarán a un nivel atractivo con perspectivas interesantes.

Las variaciones en los precios de nuestros productos estarán cada vez más fluidas por el precio de los combustibles.

Características

La fábrica de azúcar tiene una capacidad de molienda de 2990 toneladas diarias, la caña es preparada por dos juegos de cuchillas los cuales necesitan un alto consumo de potencia para realizar su trabajo, la molienda se realiza por un tándem formado por cinco molinos con accionamiento eléctrico, un sistema de bombas y colador rotatorio, lo cual garantiza la separación de los residuos de bagazo disueltos en el guarapo.

En la figura 2.3 se muestra el diagrama de flujo general de la empresa.

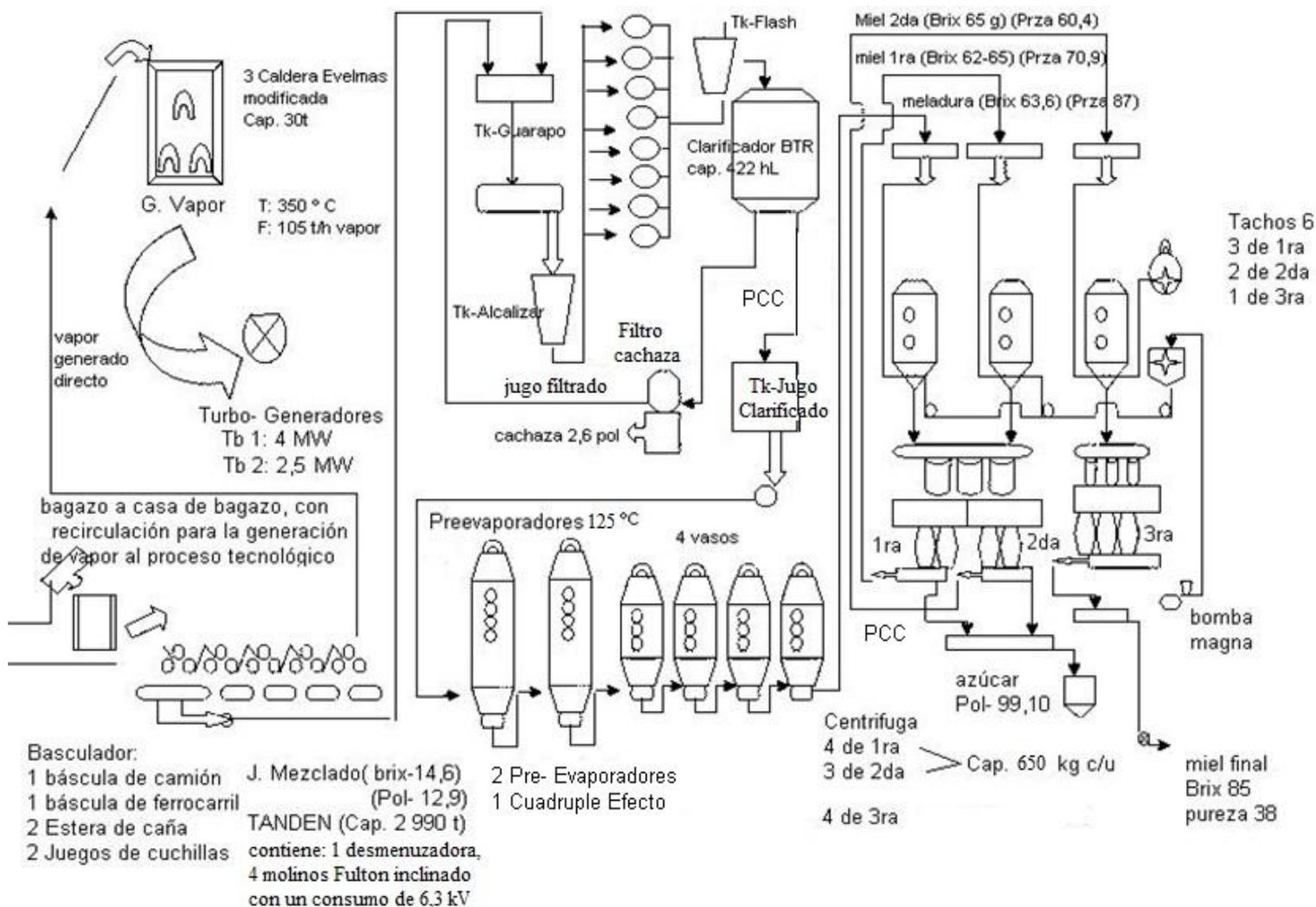


Figura 2.3 Diagrama de flujo de la UEB Fábrica de Azúcar "14 de Julio"

2.4 Selección de los indicadores económicos

La evaluación económico-financiera de un proyecto, hecha de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar un proyecto, o sea, si es o no rentable y si siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio, además de brindar elementos para decidir el tamaño de planta más adecuado.

Los criterios de evaluación que se aplican con más frecuencia por los analistas de proyectos consisten en comparar precisamente los flujos de ingresos con los flujos de costos y los mismos se clasifican en dos categorías generales que son las técnicas para el análisis de la rentabilidad de la inversión (con y sin financiamiento) y las técnicas para el análisis financiero.

A la primera categoría pertenecen los métodos actualizados como el valor actual neto y la tasa interna de retorno y a la segunda los análisis de liquidez.

El cálculo manual de los análisis financieros y de rentabilidad es muy trabajoso, con el riesgo a su vez de la posible introducción de errores de cálculo. Para evitar ello y aprovechando las ventajas que brinda las técnicas computacionales se han establecido programas de computación que de forma sencilla, precisa y rápida permiten obtener estos indicadores.

El valor neto actualizado o valor actual neto (VAN) se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos obtenidos durante la vida útil económica del proyecto a partir de la determinación por año de las entradas y salidas de divisas en efectivo, desde que se incurre en el primer gasto de inversión durante el proceso inversionista hasta que concluyen los años de operación o funcionamiento de la inversión.

Algunos autores recomiendan calcular la relación entre el valor neto actualizado (VAN) y el costo de la inversión actualizado que representa la tasa de rendimiento actualizado del proyecto y se identifica con las siglas RVAN.

Entre las diversas variantes posibles, conviene escoger la que ofrezca la RVAN más alta, o sea una relación mayor entre los ingresos netos actualizados y la inversión requerida para obtenerlos, el RVAN o Índice de rentabilidad o Razón Beneficio - Costo es la relación del VAN/ Valor de la inversión (González, 2009), expresa cuanto se obtiene por cada peso invertido en el período analizado, y es una de los principales indicadores para la toma de decisiones inversionistas.

Otro de los indicadores utilizados es la tasa interna de retorno o rendimiento (TIR) que representa la rentabilidad general del proyecto y es la tasa de actualización o de descuento a la cual el valor actual del flujo de ingresos en efectivo es igual al valor actual del flujo de egresos en efectivo. En otros términos se dice que la TIR corresponde a la tasa de interés que torna cero el VAN de un proyecto, anulándose la rentabilidad del mismo.

La TIR representa la rentabilidad general del proyecto y expresa por tanto la tasa de rendimiento de la Inversión a realizar.

El criterio de selección corresponderá a aquellos proyectos que tengan una mayor TIR, y ésta siempre debe ser mayor o igual a aquella que garantice un rendimiento mínimo para la inversión a realizar.

En otras palabras, se puede aceptar el proyecto propuesto si la TIR es mayor o igual que el costo externo del capital determinado en los mercados financieros. En caso contrario, no es propicio ejecutarlo. Es recomendable insistir que el costo de capital pertinente es la tasa de interés que habría que abonar sobre un crédito que se solicitare para realizar el proyecto, o la rentabilidad de la mejor alternativa de inversión, si se emplea capital propio.

Si el capital invertido es prestado, la TIR debe ser al menos dos veces la tasa de interés del capital prestado o tres veces la LIBOR o la MIBOR, no debiéndose admitir un proyecto que posea una TIR inferior a la tasa de interés del capital prestado.

La TIR mide el número de años que transcurrirán desde la puesta en explotación de la inversión, para recuperar el capital invertido en el proyecto mediante las utilidades netas del mismo, considerando además la depreciación y los gastos financieros. En otros términos se dice que es el período que media entre el inicio de la explotación hasta que se obtiene el primer saldo positivo o período de tiempo de recuperación de una inversión.

El período de recuperación no considera la etapa referida a la construcción por lo que se deduce el tiempo que media entre el inicio de la construcción y el momento de la puesta en explotación. Tampoco considera para su cálculo la corriente de costo y beneficio durante la vida productiva del proyecto después que se ha reembolsado el costo de inversión original.

La ventaja de este criterio radica en su simplicidad, pero su aplicación no sirve para comparar proyectos, dado que no considera el valor del dinero en el tiempo sino que compara directamente valores obtenidos en distintos momentos. Más que un criterio económico, este indicador es una medida de tiempo. No es aconsejable utilizarlo tampoco como criterio básico o de decisión fundamental para seleccionar proyectos. Otra desventaja es que no analiza lo que sucederá después de recuperada la inversión, es decir durante toda su vida útil.

Es por ello que se utiliza sólo como complemento del análisis de rentabilidad de inversión y de indicadores básicos como el VAN y la TIR.

Otro indicador es la razón beneficio-costos que compara el valor actual de las entradas de efectivo futuras con el valor actual del desembolso original y de otros gastos en que se incurran en el período de operación, o sea, la relación por cociente entre los beneficios y costos actualizados a un cierto momento, de manera que en este método las salidas de efectivo se separan de las entradas, no como en el VAN y el TIR donde los gastos futuros se engloban con los ingresos del mismo período y sólo se incorpora al análisis el resultado neto, por lo tanto, este criterio sólo es apropiado utilizarlo para decidir si un proyecto se debe ejecutar o no, a partir de que la regla de decisión es que si la Razón Beneficio-Costo es igual o mayor que la unidad su ejecución es conveniente, ya que el valor presente neto del proyecto es positivo.

De los criterios de evaluación expuestos, todos tienen ventajas e inconvenientes, pero las desventajas del Período de Recuperación y de la Razón Beneficio-Costo no los hacen aconsejables para decidir la ejecución o rechazo de un proyecto.

La TIR es requerida por casi todos los organismos internacionales de crédito y puede aplicarse en presencia de escasez de capitales. Sin embargo, cabe recalcar que si el problema que se enfrenta es decidir entre proyectos mutuamente excluyentes, el criterio del VAN es el único que permite adoptar una decisión, sin inducir a error, respecto de cuál proyecto es más rentable y conveniente.

Se puede concluir que generalmente en criterios de evaluación y específicamente para los objetivos de este trabajo, conviene calcular para cada proyecto el VAN, la RVAN, la TIR, y el resto sólo como información adicional cuando se requiera.

2.5 Consideraciones ambientales y sociales

Según (Ramos, 2014) en la metodología que se propone se incorporan como variables influyentes en la toma de decisiones los indicadores económicos anteriormente señalados, y variables ambientales y sociales que el proyecto afectará y hay que tomar en cuenta, aunque no tendrá el alcance de un estudio de impacto ambiental. Estas consideraciones se introducen a partir de dos variables denominadas Índice Ambiental (IA) e Índice Social (IS). Para determinar estas se emplea el Método Delphi.

2.5.1 Para la selección de los indicadores ambientales

Indicadores Ambientales

- Uso de los residuos de la agricultura cañera (RAC)
- Reducción del consumo de agua
- Aprovechamiento del calor de los condensados
- Eficiencia energética de generadores de vapor
- Disminución de emisiones de humo e inquemados
- Aprovechamiento de la cachaza
- Tratamiento interno de corrientes líquidas y uso del fertirriego
- Reuso de la sosa caustica
- Contribución a la reducción de Gases de invernadero (GI)

2.5.2 Para la selección de los indicadores sociales

Indicadores sociales

- La aplicación de tecnologías de punta
- Generación de empleo
- Generación de empleos a sector femenino
- Construcción de viviendas
- Mejoramiento de la Calidad de vida
- Mejoramiento de la Infraestructura urbanística
- Disminución de la emigración del territorio
- Desarrollo de un Centro Docente
- Producción de alimentos para la población

2.6 Descripción del proceso de obtención de Biodiesel a partir de aceite de cachaza

Según (Carvajal, 2007) la tecnología para la producción de Biodiesel a partir del aceite extraído de la cachaza consta de cinco etapas fundamentales, las cuales son descritas a continuación:

➤ **Extracción del aceite de la cachaza**

Esta primera etapa, tiene el propósito de extraer el aceite de la cera de la cachaza, utilizando como solvente orgánico la nafta; la proporción utilizada es de 3 litros por kg de cachaza. La operación se realiza en un mezclador con temperatura de 65°C, por una hora.

➤ **Recuperación del solvente orgánico**

El solvente se recupera mediante la evaporación, logrando reincorporar al proceso hasta un 97 % del mismo, para su posterior reutilización. En esta etapa además se obtiene el aceite de cachaza “limpio”, el cual es posteriormente utilizado en la obtención del Biodiesel; por tanto, la calidad de esta operación garantiza la calidad producto final.

➤ **Deshidratación del etanol**

Esta etapa tiene como objetivo obtener el alcohol deshidratado (99 °GL) necesario para la producción de biodiesel, el cual se logra en una columna de adsorción de cama fija utilizando como adsorbente la zeolita natural. Esta etapa es decisiva para lograr que se forme Biodiesel y no otros productos que pueden surgir en caso de que ocurra la saponificación si el alcohol presenta alguna cantidad de agua.

➤ **Preparación del Etóxido**

La preparación del etóxido no es más que preparar una solución de etanol obtenido de la etapa anterior con Hidróxido de sodio, el cual es el agente catalizador de la próxima etapa. La solución se prepara a una temperatura de 65°C.

➤ **Etapas de reacción (transesterificación)**

En esta etapa ocurre la reacción de transesterificación, donde se hace reaccionar al aceite extraído libre de solvente y el etóxido; de la misma se obtiene el Biodiesel y los alcoholes de alto peso molecular, los cuales pueden ser aprovechados por otros sectores industriales tal y como se abordó en el capítulo anterior.

Esta mezcla fuertemente cáustica es vertida en el reactor principal que contiene los lípidos fundidos. La reacción se realiza a 65 °C para agilizar la misma, y se mezcla vigorosamente para favorecer una reacción completa.

Después de transcurridos 50 minutos, se procede a una separación de los coproductos (los alcoholes pesados); luego de separar la misma, el éster es lavado para eliminar jabones y otros subproductos de reacción indeseados, los cuales pueden contaminar el producto principal.

En las Figuras 2.4 y 2.5 se muestran el esquema general de las diferentes etapas del proceso de obtención del Biodiesel a partir del aceite de cachaza y el diagrama de flujo general propuesto para el proceso.

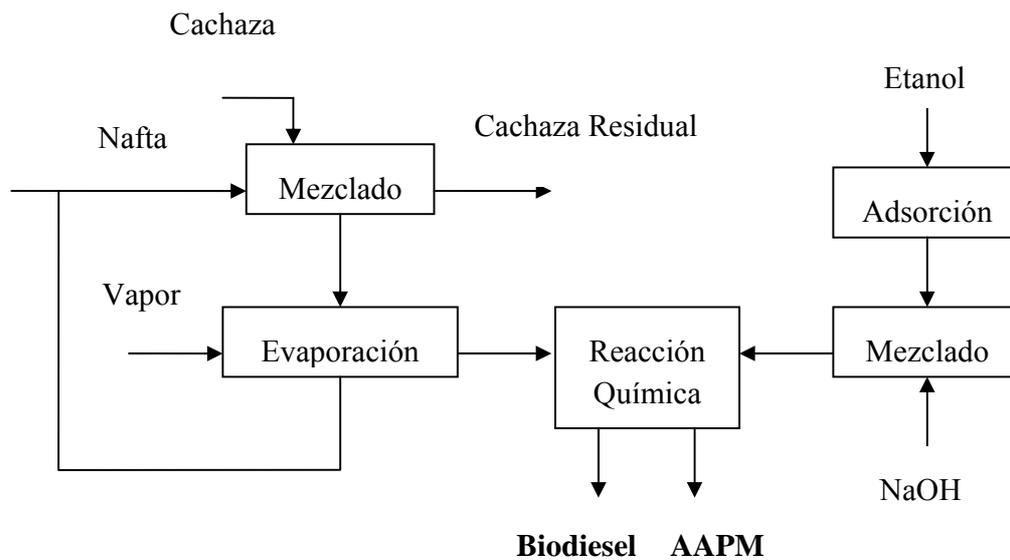


Figura 2.4 Etapas del proceso de obtención de Biodiesel a partir de aceite de cachaza

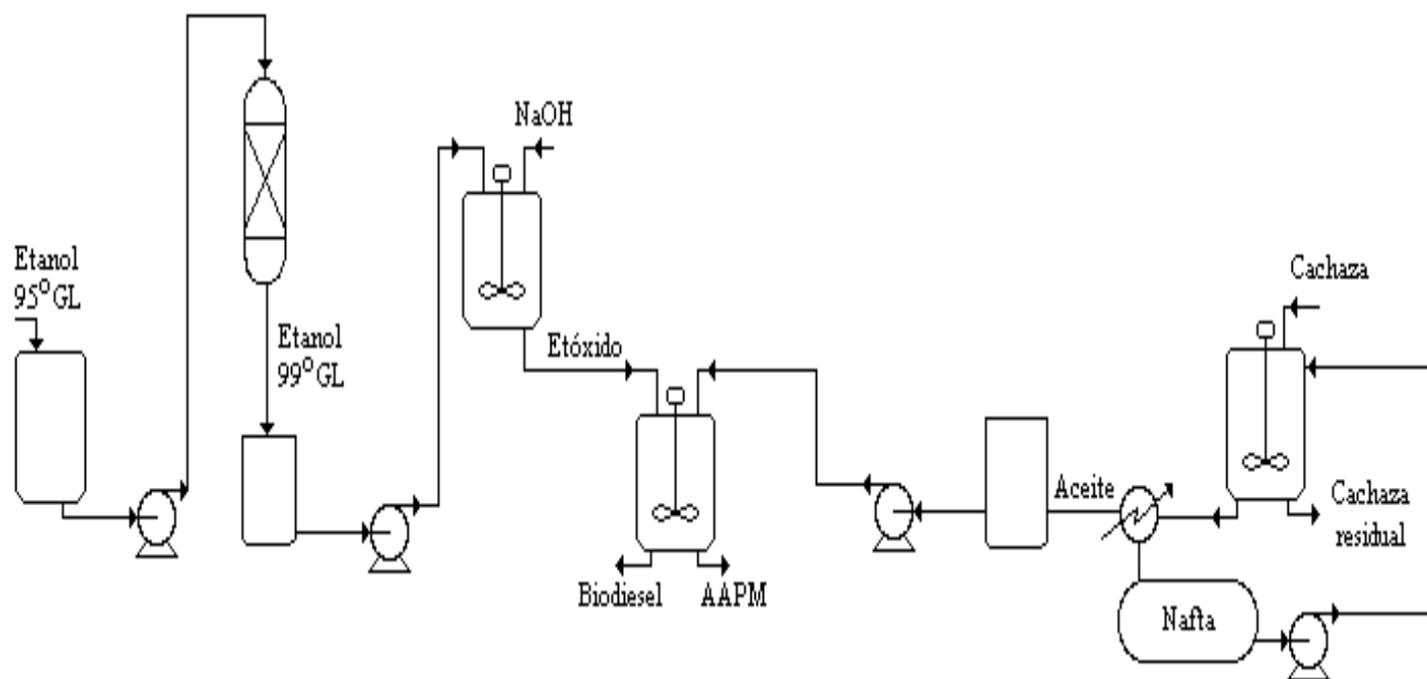


Figura 2.5 Diagrama de flujo del proceso de obtención de Biodiesel a partir de aceite de cachaza

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3 APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En este capítulo se resumen los resultados de la aplicación de la Metodología propuesta en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” en Cienfuegos.

3.1 Selección de expertos

A continuación se detallan la estructura y composición de los expertos seleccionados:

1. Liliam González Cárdenas (Dra. Ciencias Físico-Químicas), Profesora Titular de la Universidad de Cienfuegos; Candidato mínimo en tecnología azucarera. UCLV/ Instituto Tecnológico de Kiev.
2. Julio Gómez Sarduy (Dr.C., M. Sc., Ing. Eléctrico) Profesor Titular de la Universidad de Cienfuegos; 20 años directivo de la industria azucarera.
3. Francisco Puertas Fernández (Dr.C, M. Sc., Ing. T.), Profesor Titular de la Universidad de Cienfuegos; 10 años Jefe de Control Técnico en la Papelera Damují; Experto en la Integración de Procesos.
4. Nicolás González Suarez (Dr.C., Ing. Q.), Exprofesor Adjunto de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 30 años directivo de Plantas Químicas; Experto en Procesos Inversionistas.
5. Jorge Luis Pérez Gutiérrez (M. Sc., Economía Azucarera); Profesor Auxiliar de la Universidad de Cienfuegos; 16 años de experiencia en la industria azucarera.
6. Roger Pérez Rosell (Ingeniero Químico); 10 años Maestro de Azúcar y Directivo en la industria azucarera; Actualmente Subdirector de la Empresa Azucarera Cienfuegos.
7. Gustavo Sardiñas Pérez (Tecnólogo azucarero); 30 años Maestro de Azúcar y directivo de la Industria Azucarera; Jefe de Industria de la Empresa Azucarera Cienfuegos.
8. Aracelis Álvarez González (Ing. Química), 21 años como Jefa del laboratorio de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”.
9. Disney Tirado Roa (Ing. Químico), 26 años de experiencia en el laboratorio de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”.

En la Figura 3.1 se presentan la composición de los expertos escogidos, destacándose el alto por ciento de doctores especializados en el tema solicitado. En el Anexo 5 se declara la convocatoria para reunirlos.



Figura 3.1 Composición de los expertos

Las consideraciones tomadas en cuenta para convocar a cada uno de los miembros del Comité de Expertos son los siguientes.

1. Los conocimientos sobre la temática azucarera, la experiencia industrial y la vinculación con procesos inversionistas del territorio donde se propone el proyecto. El conocimiento y trabajo en proyectos de conversión, ambientales y sociales.
2. El compromiso legal (en el caso de los especialistas de AZCUBA de Cienfuegos, territorio donde se propuso y aprobó el proyecto), y formal y académico en el caso de los demás pertenecientes a la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.
3. La seriedad, voluntariedad y disponibilidad de los convocados.

3.2 Aplicación del Método Delphi

A continuación se desarrolla toda la Metodología propuesta según el orden indicado en el diagrama heurístico (Figura 2.1).

Desarrollo de la I fase: Se realiza una discriminación de 13 alternativas tecnológicas originalmente hasta la principal mediante el método Delphi. Las alternativas procesadas por los expertos en la primera ronda se muestran en el Anexo 6 que fueron tomadas de la bibliografía disponible, de consultas privadas con especialistas de la Universidad de Cienfuegos, IPROYAZ, AZUCUBA, y de los propios expertos seleccionados en dicha ronda. En ella se observa que se han manejado conjuntamente las funciones tecnológicas, logísticas y energéticas. Los tres grupos están representados en el análisis final.

Los expertos consideraron que en el caso de las alternativas X, XI y XII no debía continuarse el análisis; entonces con las diez restantes se procede a la II ronda donde se conforma una matriz escalada según el orden de importancia (el número más pequeño es la alternativa de más importancia). En el Anexo 7 se muestra la encuesta de la segunda ronda para seleccionar la mejor alternativa. La tabla 3.1 muestra la matriz resultante y la tabla 3.2 muestra el resultado según el orden de importancia.

Tabla 3.1 Matriz de la II ronda de expertos de la I Fase

Alternativas	Expertos								
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
I	6	8	8	7	7	8	7	8	9
II	5	5	5	6	6	4	6	4	4
III	2	2	2	1	2	3	1	1	3
IV	8	7	6	8	8	7	8	7	7
V	4	4	3	4	4	5	4	5	6
VI	1	1	1	2	1	1	2	3	1
VII	9	9	9	10	9	9	10	9	8
VIII	7	6	7	5	5	6	5	6	5
IX	3	3	4	3	3	2	3	2	2
X	10	10	10	9	10	10	9	10	10

Tabla 3.2 Resultados de la aplicación de Delphi según orden de importancia

Alternativas	Orden de importancia
VI	-37
III	-33
IX	-25
V	-11
II	-5
VIII	3
IV	17
I	19
VII	33
X	39

La mejor alternativa seleccionada por los expertos es la número VI la cual propone la Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 1, con AAPM.

3.3 Resumen del diagnóstico

3.3.1 Resumen del estudio de capacidades de la UEB

En la figura y tabla se muestra el resultado del estudio de capacidades de las principales áreas de la UEB Fábrica de Azúcar "14 de Julio" en Cienfuegos.

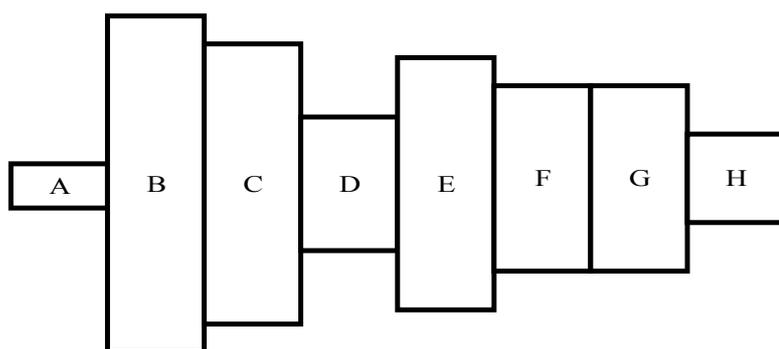


Figura 3.2 Diagrama de capacidades de las principales áreas productivas de la UEB Fábrica de Azúcar "14 de Julio"

Tabla 3.3 Resumen del estudio de capacidades de la UEB Fábrica de Azúcar "14 de Julio"

Etapa	Descripción	Indicador fundamental	Norma (%)	Real (%)	Cumplimiento (%)
A	Recepción, manipulación y preparación de la caña	Índice de preparación (% de célula rotas)	52-55	46	88,5
B	Extracción de jugo o molienda	Pérdidas en molienda	3,83	3,14	118
C	Purificación	Pérdidas en cachaza	0,67	0,63	105,97
D	Evaporación o concentración del jugo	Brix de la meladura	63,6	61,87	97,28
E	Cristalización	% de retención	≥ 85	86,1	101,3

F	Centrifugación	Polarización del azúcar	99,10	99,26	100,16
G	Generación y uso del vapor	Presión del vapor directo	1,8	1,8	100
H	Generación eléctrica	kWh generados/ t de caña molida	30	27,16	90,53

3.3.2 Resumen de la proyección cañera e industrial

La prospectiva de la UEB está basada en producir azúcar y derivados a costos competitivos para satisfacer las exigencias del mercado externo.

En la tabla 3.4 se muestra el estimado de crecimiento para los próximos 6 años.

Tabla 3.4 Proyección cañera de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” Fuente: Laboratorio de la Fábrica.

Zafra	Área (ha)	Rend. (t/ha)	Prod. (t)
2016	6083	38,4	233587,2
2017	6387	40,32	257523,84
2018	6706	42,34	283932,04
2019	7041	44,45	312972,45
2020	7041	41,78	294172,98
2021	7393	43,87	324330,91

Un análisis de estos resultados induce que aunque las capacidades y estado técnico de la fábrica de azúcar son aceptables, con las tecnologías actuales no se logra un incremento necesario hasta el 2021, por lo que es necesario invertir en sistemas modernos de riego que aceleren el crecimiento cañero.

3.3.3 Resumen del balance masa

En la figura 3.3 se muestra el diagrama del balance de masa de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” en Cienfuegos con la propuesta de la planta de biodiesel.

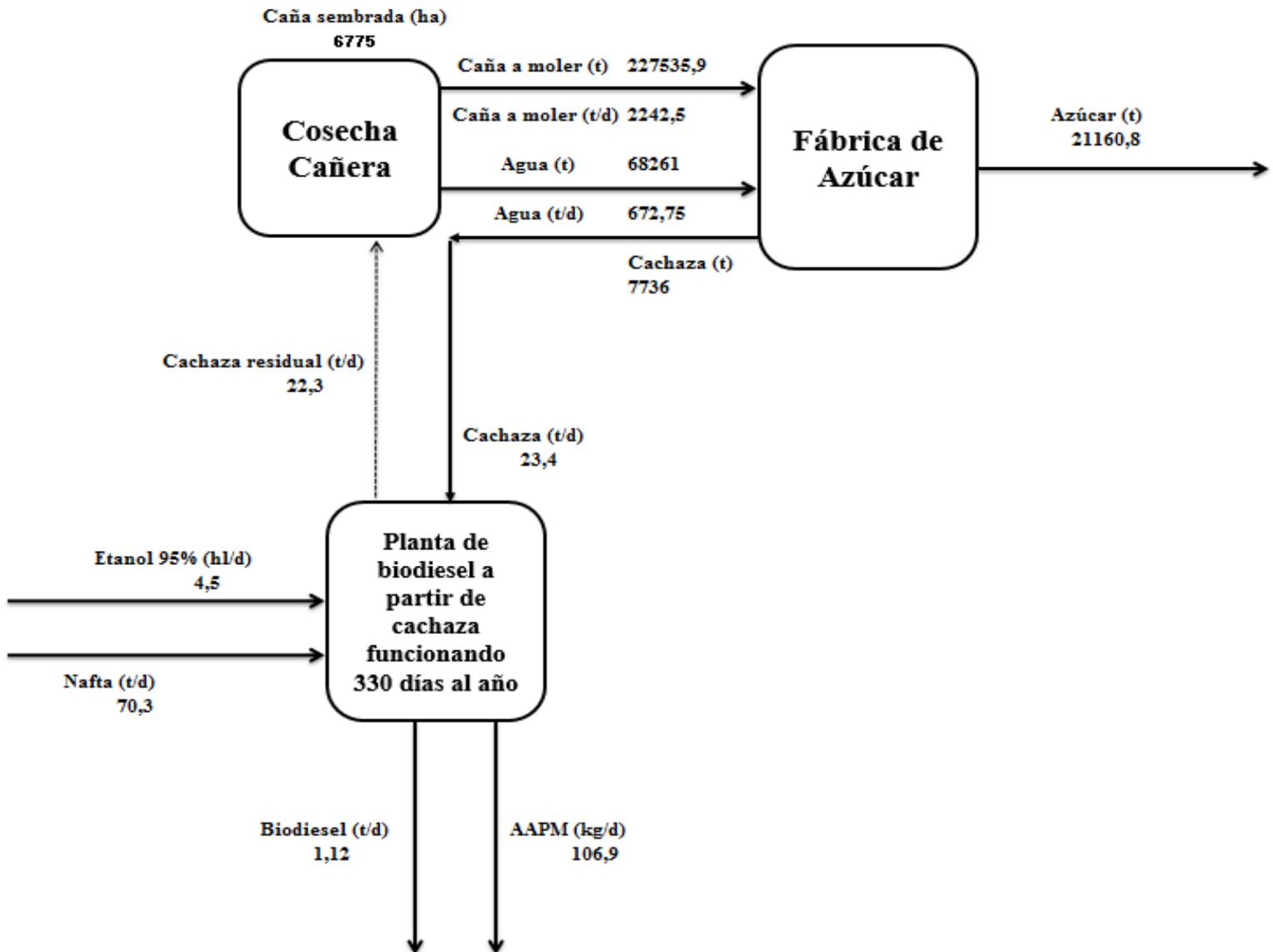


Figura 3.3 Diagrama del balance de masa de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” en Cienfuegos con la propuesta de la planta de biodiesel. Fuente: Elaboración propia

3.4 Análisis de la alternativa de producción de Biodiesel a nivel industrial en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”

A partir de los resultados obtenidos por (Chong, 2006) y teniendo en cuenta la creciente necesidad de búsqueda de combustibles no tradicionales y la necesidad de incrementar el proceso de diversificación de la industria azucarera cubana, se analizó la posibilidad de realizar la producción a nivel industrial en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”, como se planteó anteriormente.

En esta empresa se producen 76,6 toneladas diarias de cachaza, es decir que en una zafra se generan 7736 toneladas de la misma, o sea que sería factible tratar 23,4 toneladas diarias, distribuyendo esta producción en 330 días por año para buscar la continuidad del proceso. Esta cantidad de materia prima permite obtener 1,12 toneladas de Biodiesel y 106,9 kg de Alcoholes de alto peso molecular (AAPM), por día.

3.4.1 Balance de materiales para la producción de Biodiesel a partir del aceite de la cachaza en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”.

El balance de materiales a partir del cual se dimensionará la planta se basa en la cantidad de cachaza disponible en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”. A continuación en la Figura 3.4 se muestra el diagrama completo del proceso con los resultados del balance de materiales y se describe de forma detallada los resultados del balance.

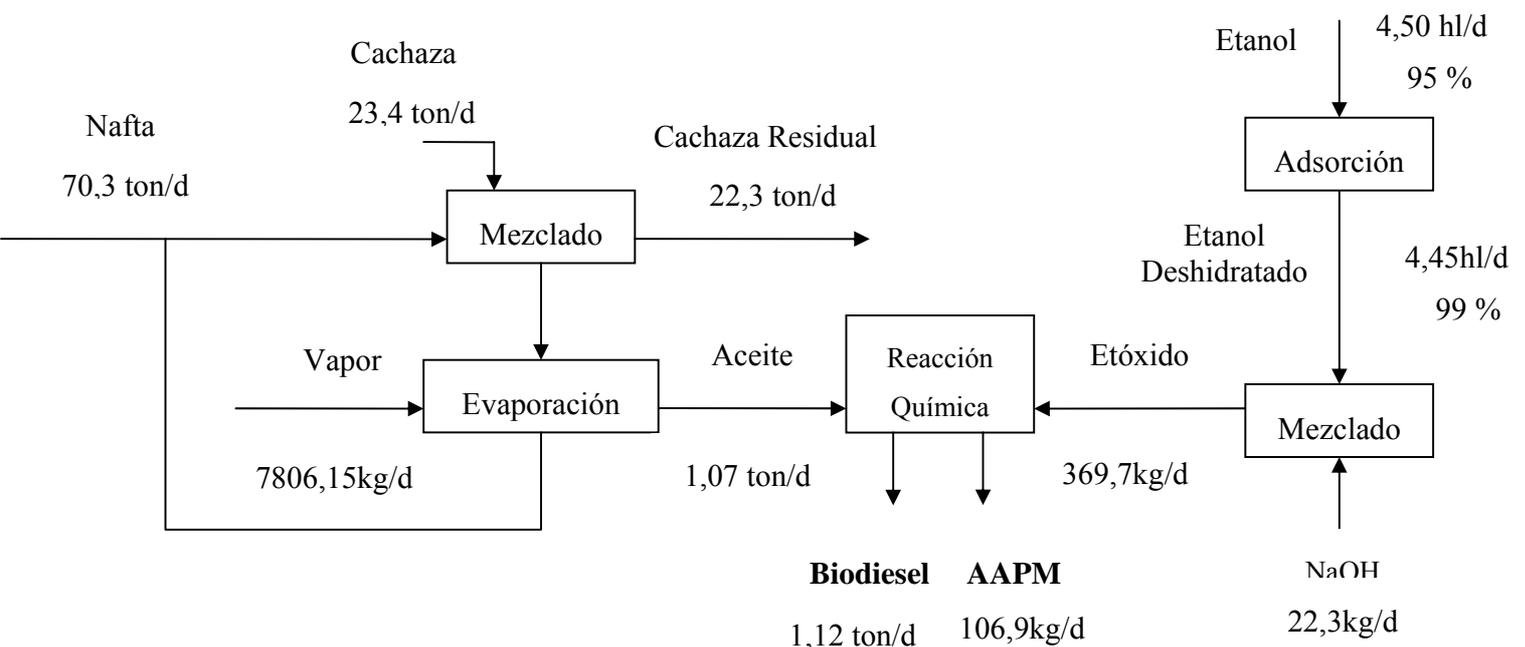


Figura 3.4 Balance de materiales de la planta de obtención de Biodiesel a partir de aceite de cachaza en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Desarrollo detallado del balance de materiales

Cantidad de Nafta a utilizar

Partiendo de 23,4 toneladas por día de cachaza, la cantidad de nafta a utilizar para la extracción del aceite es tres veces la cantidad de cachaza, lo cual resulta 70,3 toneladas diarias.

Aceite a evaporar

La mezcla de aceite y nafta que se obtiene en la etapa de extracción del aceite que será evaporada se determina partiendo del porcentaje de extracción del aceite, lo cual según lo reportado por (Chong, 2006) es de 4,56 % y considerando un 3 % de pérdidas de Nafta en la cachaza tal y como lo expresó (Martínez, 2006).

$$\text{Mezcla}_{\text{aceite+nafta}} = \% \text{ Ext} * \text{cachaza} + \text{Nafta}_{\text{entra}} - \text{Perd}_{\text{nafta en cachaza}} \quad (3.1)$$

$$\text{Mezcla}_{\text{aceite+nafta}} = 69286,4 \text{ kg/d.}$$

La cantidad de aceite que se obtenido partiendo del porcentaje de extracción antes referido es de 1069 kg/d ($890,8 \text{ l/d}$).

Etanol necesario

La cantidad de etanol deshidratado de 99 °GL a utilizar se calcula a partir de la relación establecida por (Martínez, 2006), que resulta ser el 50 % de la cantidad de aceite a procesar, esto resultó ser $4,45 \text{ hl/d}$. De aquí que la cantidad de etanol procedente de la destilería a utilizar con 95 °GL es de $4,50 \text{ hl/d}$.

Cantidad de catalizador (NaOH)

Para el cálculo de la cantidad de catalizador (hidróxido de sodio) necesario para la formación del etóxido partiendo de las experiencias reportadas por (Martínez, 2006) se utilizó una relación de $1 \text{ g NaOH} / 20 \text{ ml etanol}$, lo cual arrojó un resultado de $22,3 \text{ kg/d}$.

Cantidades de productos obtenidos

Según lo reportado por (Chong, 2006), la cantidad de Biodiesel que se obtiene en el proceso es superior en un 5 % a la cantidad de aceite procesado. La cantidad de Alcoholes de alto peso molecular es equivalente al 10 % del aceite de cachaza que se procesa.

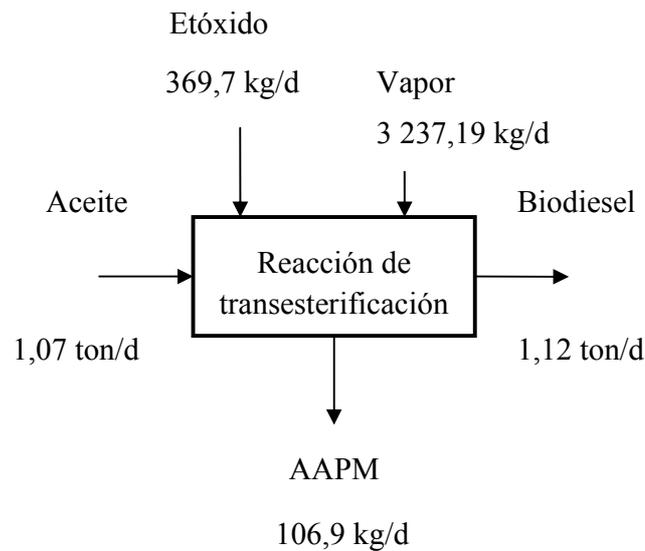


Figura 3.5 Etapa de transesterificación

Luego de analizar el balance de materiales se resumieron los requerimientos promedios fundamentales del proceso, para un día de trabajo, los cuales se muestran en la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Requerimientos de la planta de Biodiesel a partir de aceite de cachaza

<i>Requerimiento</i>	<i>Valor</i>	<i>UM</i>
Etanol (95 °GL)	4,50	hl/d
Etanol deshidratado (99 °GL)	4,45	hl/d
NaOH	22,3	kg/d
Cachaza	23,4	ton/d
Nafta inicial	70,3	ton/d
Vapor	11043,34	kg/d
Agua enfriamiento	112,97	kg/d

Con el análisis de la tabla anterior y los resultados del balance de materiales se pueden reportar de forma general algunos de los índices de consumo fundamentales obtenidos para la planta; todos referidos a un kilogramo de Biodiesel, tal y como aparece reflejado en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Índices de consumos determinados para un kilogramo de Biodiesel.

<i>Requerimiento</i>	<i>Valor</i>	<i>UM</i>
Cachaza	20,89	kg
Etanol anhidro	0,00397	hl
NaOH	0,20	kg
Vapor	9,98	kg
Agua de enfriamiento	0,10	kg

3.4.3 Dimensionamiento de los equipos para la producción de Biodiesel en las nuevas condiciones.

La alternativa seleccionada para la producción de Biodiesel operará a un régimen de 3 turnos diarios y cada turno tendrá 3 batch, los 330 días del año; por tal razón el tamaño de los equipos estará afectado por este factor, pues los mismos serán diseñados para procesar un batch.

Basados en los resultados del balance de materiales mostrados en la Figura 3.4 y de las exigencias de cada operación, se determinaron las dimensiones de los equipos considerando que los mismos son de forma cilíndrica y con un sobrediseño del 25 % (Martyn, 1999), (Peters, 2003).

- **Tanque de almacenamiento de etanol (95 °GL)**

El tanque de almacenamiento del etanol al 95 % proveniente de la destilería tiene forma cilíndrica y se diseñó para un 25 % de sobrediseño, almacenando todo el necesario para el día de trabajo, se fijó la relación $\frac{\text{altura}}{\text{diámetro}}$ de 1,5.

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 0,450 \text{ m}^3/d$$

$$\text{Vol}_{25\%} = 0,563 \text{ m}^3/d$$

Se obtuvo: Diámetro 0,782 m

Altura de 1,173 m.

- **Tanque de almacenamiento de etanol deshidratado (99 °GL)**

Se mantuvieron todos los parámetros establecidos para el tanque de etanol de 95 °GL.

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 0,445 \text{ m}^3/d$$

$$\text{Vol}_{25\%} = 0,557 \text{ m}^3/d$$

Se obtuvo: Diámetro 0,779 m

Altura de 1,169 m.

- **Tanque de mezclado de la cachaza con la nafta**

Para esta etapa donde se extraerá el aceite, se procesarán 23,4 ton/d de cachaza. Según experiencias realizadas al respecto, la cantidad de solvente (Nafta) es 3 l/kg de cachaza alimentada. (N. Casdelo, 2005).

Teniendo esta consideración y conociendo que la densidad de la cachaza es $1060 \text{ kg}/\text{m}^3$, la densidad de la Nafta es $684 \text{ kg}/\text{m}^3$ y el flujo que se alimenta, se definirá el tamaño del tanque extractor. Se diseñó el tanque para un 25 % de sobrediseño y se fijó la relación $\text{altura}/\text{diámetro}$ de 1,5 para un tanque cilíndrico.

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 13,88 \text{ m}^3/\text{batch}$$

$$\text{Vol}_{25\%} = 17,35 \text{ m}^3/\text{batch}$$

Se obtuvo: Diámetro 2,45 m

Altura de 3,68 m.

- **Tanque evaporador**

La capacidad del tanque evaporador se determinará para procesar toda la mezcla de aceite extraído y nafta utilizada como solvente en el tanque de extracción.

La mezcla de aceite + nafta que se obtiene en el Tanque extractor es:

$$\text{Mezcla}_{\text{aceite+nafta}} = 69286,4 \text{ kg/d}$$

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 100,71 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Vol}_{25\%} = 125,88 \text{ m}^3/\text{d} = 13,99 \text{ m}^3/\text{batch}$$

Conociendo las cantidades de entrada a esta etapa, la densidad del aceite 1200 kg/m^3 , la densidad de la Nafta 684 kg/m^3 y las consideraciones de diseño de un equipo cilíndrico con 25 % de sobrediseño, manteniendo una relación *altura/diámetro* de 1,5.

Se obtuvo: Diámetro 2,28 m

Altura de 3,42 m.

- **Tanque almacenamiento de nafta**

La cantidad de nafta estará en función de la cachaza que se procesa. Se conoce que por cada kilogramo de cachaza se utilizan 3 litros de nafta. Se necesita que cuando comience el segundo turno exista una disponibilidad de nafta, por lo tanto se tomará para el diseño el doble de la cantidad requerida para un turno. Se tomó un 10 % de sobrediseño y se consideró un tanque horizontal por razones de seguridad.

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 34,27 \text{ m}^3/\text{turno}$$

$$\text{Vol}_{10\%} = 37,7 \text{ m}^3/\text{turno}$$

Se obtuvo: Diámetro 3,18 m

Longitud de 10,16 m.

- **Tanque preparador del etóxido**

El tanque para la preparación del etóxido es con agitación para favorecer la formación del mismo. De acuerdo con las cantidades de entrada a esta etapa, la densidad del etóxido de 929,5 kg/m³ y las consideraciones de diseño de un equipo cilíndrico con 25 % de sobrediseño, manteniendo la relación *altura/diámetro* de 1,5 y

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 0,4 \text{ m}^3/d$$

$$\text{Vol}_{25\%} = 0,5 \text{ m}^3/d = 0,06 \text{ m}^3/\text{batch}$$

Se obtuvo: Diámetro 0,36 m

Altura de 0,54 m.

- **Reactor Químico**

En este reactor es donde ocurre la reacción de transesterificación. Considerando que se extrae 4,56 % de aceite de la cachaza alimentada y de la cantidad de etóxido a utilizar para garantizar la transesterificación, teniendo en cuenta las mismas consideraciones que para el tanque de etóxido se tiene:

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 1,29 \text{ m}^3/d$$

$$\text{Vol}_{25\%} = 1,61 \text{ m}^3/d = 0,18 \text{ m}^3/\text{batch}$$

Se obtuvo: Diámetro 0,53 m.

Altura de 0,8 m.

- **Columna de adsorción**

Para el escalado de la columna de adsorción se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos por (Cruz, 2006), el mismo utilizó una columna de laboratorio de 1,5 cm de diámetro y la altura de la cama de adsorbente 10 cm para la deshidratación del etanol desde 90 °GL hasta 99 °GL. El adsorbente utilizado fue la zeolita natural por sus propiedades para este fin. Mediante esta experiencia se determinó el poder de adsorción (0,853

$ml \text{ alcohol} / g \text{ zeolita}$) y la velocidad superficial ($0,85 \frac{l}{s \cdot m^2}$), la cual se mantiene como parámetro constante en el escalado de la misma.

Los resultados obtenidos en el escalado de la columna para la capacidad fijada se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Resultados del escalado de la columna deshidratadora de etanol

<i>Parámetro</i>	<i>Resultado</i>	<i>UM</i>
Flujo de etanol a tratar	450	l/d
Agua eliminada	40,6	l
Masa de zeolita necesaria	5,9	kg
Diámetro de la columna	17,9	cm
Altura de la cama	1,1	m
Altura total de la columna	2	m
Flujo a alimentar a la columna	123,9	l/h
Tiempo total de deshidratación	6,6	h

- **Condensador de nafta**

Para el diseño del condensador de nafta se utilizó la metodología de cálculo descrita por (Kern, 1999), para intercambiadores de tubos y concha. Las principales ecuaciones empleadas en el diseño del condensador son las siguientes:

$$Q = M_{nafta} \cdot \lambda \quad (3.2)$$

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot MLDT} \quad (3.3)$$

$$MLDT = \frac{(T_2 - T_1a) - (T_1 - T_2a)}{\ln\left(\frac{T_2 - T_1a}{T_1 - T_2a}\right)} \quad (3.4)$$

$$m_{\text{agua}} = \frac{Q}{C_{pa} \cdot \Delta t_a} \quad (3.5)$$

Donde: M_{nafta} es el flujo másico de nafta (kg/h), λ_{nafta} es el calor latente de la nafta (kJ/kg), U_D es el coeficiente sucio de diseño ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), $MLDT$ es la media logarítmica de la diferencia de temperatura ($^\circ\text{C}$), Q es el calor removido (kJ/h), T_1 y T_2 son las temperaturas de entrada y salida de la nafta respectivamente ($^\circ\text{C}$), T_{1a} y T_{2a} son las temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento respectivamente ($^\circ\text{C}$), C_{pa} es el calor específico del agua ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$).

En la Tabla 3.8 se presentan los datos y resultados obtenidos en el cálculo del condensador.

Tabla 3.8 Resultados del cálculo del condensador de nafta

Parámetro	Valor	UM
Nafta a condensar	2842,4	kg/h
Calor removido	898196,5	kJ/h
Calor latente de la nafta (λ)	316	kJ/kg
Temperatura de entrada del agua	45	$^\circ\text{C}$
Temperatura de salida del agua	30	$^\circ\text{C}$
Calor específico del agua	4,18	$\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$
Coeficiente sucio de diseño (U_D)	0,55	$\text{kJ}/\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
MLDT	60,79	$^\circ\text{C}$
Área de transferencia de calor	7,5	m^2

Flujo de agua necesario	14325,3	kg/h
-------------------------	---------	------

(Pavlov, 1981) Ofrece un resumen de intercambiadores, para a partir de él seleccionar el más adecuado a este caso. Con los resultados obtenidos el condensador escogido es el mostrado en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Condensador de nafta seleccionado

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>UM</i>
Área de transferencia de calor	12	m ²
Número de tubos	110	-
Longitud de los tubos	1,5	m
Diámetro de la carcaza	0,4	m
Paso de los tubos	32	mm
Diámetro de los tubos	25	mm
Espesor de los tubos	2	mm
Área en exceso	37,8	%

- **Agitadores del tanque de mezclado de la cachaza con la nafta, tanque preparador del etóxido y reactor**

Para el cálculo de los mezcladores se tomó la metodología propuesta por (Vega, 1988) y los resultados obtenidos a nivel de laboratorio por (Martínez, 2006).

Las ecuaciones fundamentales utilizadas en el cálculo se muestran a continuación:

$$\text{Altura líquido} = \frac{V_{mez}}{\pi \cdot D^3} \quad (3.6)$$

$$\text{Re } m = \frac{n * d^2 * \rho_{mez}}{\mu_{mez}} \quad (3.7)$$

$$N'' = \frac{Knc' * \rho_{mez} * n^3 * d^5}{1000} \quad (3.8)$$

Donde: V_{mez} es el volumen a mezclar (m^3), D es el diámetro del recipiente (m), d es el diámetro del impelente (m), ρ_{mez} es la densidad de la mezcla ($\frac{kg}{m^3}$), μ_{mez} es la viscosidad de la mezcla ($Pa \cdot s$), Knc es el número de potencia corregido y n es la velocidad sincrónica (rps).

La relación diámetro del impelente/diámetro del recipiente ($\frac{d}{D}$) se tomó a partir de los resultados obtenidos por (Martínez, 2006) a escala de laboratorio. Para este caso la relación es de 0,87 que es el que coincide con los agitadores de paletas con marco, lo cual garantiza la completa agitación del sistema, además de ser bajos consumidores de energía.

El número de potencia (Kn) se obtuvo de la figura 9.7 que ofrece (Vega, 1988) a partir del valor de Reynolds modificado y el número de la curva correspondiente.

Los datos y resultados obtenidos en cada uno de los casos se pueden apreciar en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Datos y resultados del cálculo de los mezcladores

<i>Aspecto</i>	<i>Mezclado de la cachaza con la nafta</i>	<i>Preparación del etóxido</i>	<i>Reactor</i>	<i>UM</i>
Volumen (25 % sobrediseño)	17,4	0,06	0,18	m^3
Diámetro	2,45	0,36	0,53	m
Altura del líquido	0,38	0,38	0,38	-
Densidad Promedio	750,6	929,5	1116,5	$\frac{kg}{m^3}$
Viscosidad promedio	$5.25 \cdot 10^{-4}$	$9.9 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$Pa \cdot s$
Velocidad sincrónica	70	60	60	rpm

Reynolds Modificado (Re_m)	7588249,1	92437,2	218797,4	-
Número de potencia (Knc)	0,11	0,31	0,24	-
Diámetro del impelente (d)	2,13	0,31	0,46	m
Potencia de agitación (N'')	5,76	0,00086	0,0059	kW

Los motores escogidos según el catálogo reportado por (Vega, 1988) son de potencia nominal de 0,09 kW y 1800 rpm para el caso del reactor y del tanque preparador de etóxido, y de 7,5 kW y 1800 rpm para el tanque de mezclado de la cachaza con la nafta. Todos son monofásicos de 110/ 220 volts y 60 Hz.

- **Bombas para etanol a columna, etanol deshidratado, aceite y nafta**

Para el cálculo de las bombas nos basamos en la metodología propuesta por (Vega, 1988), a partir de la ecuación del balance de energía mecánica:

$$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta P}{2 \cdot g} + hp \quad (3.9)$$

$$N' = \frac{H \cdot \rho \cdot g \cdot Q}{1000 \cdot \eta} \quad (3.10)$$

$$N'' = \beta \cdot N' \quad (3.11)$$

Para el etanol a la columna deshidratadora, el etanol deshidratado al tanque preparador de etóxido y el aceite; las tuberías escogidas a partir de los cálculos son de $\frac{1}{8}$ " DN, 6,83 mm de DI y 10,29 mm de DE.

Los motores de estas tres respectivas bombas son iguales en la potencia nominal escogida, son motores monofásicos de 110/ 220 volts y 60 Hz; de potencia nominal de 0,09 kW y 1800 rpm. La potencia calculada en los tres casos está por debajo de la seleccionada, pero teniendo en cuenta que son bombas industriales y la escogida es la menor que presenta el catálogo consultado (Vega, 1988); no hay grandes excesos en los consumos eléctricos.

Para el caso de la tubería por la cual circula la nafta desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de mezclado de la cachaza con la nafta es de $1 \frac{1}{2}$ " DN, 40,9 mm de DI y

48,26 mm de DE. El motor escogido para la bomba en este caso de una mayor potencia que las referidas anteriormente 7,5 kW y 1800 rpm, también monofásico de 110/ 220 volts y 60 Hz.

3.5 Cálculo de los Indicadores económicos

Una vez dimensionados los equipos fundamentales de la planta, se efectuó el análisis económico, sobre la base de calcular el costo de inversión, el costo de producción y los indicadores de rentabilidad.

El estimado de estos indicadores se obtuvo aplicando la metodología referida por (Peters, 2003), para lo cual se trabajó sobre el programa Microsoft Excel.

Para lograr un resultado favorable, con respecto a su factibilidad, se realiza un estudio y análisis de los factores que inciden en estos indicadores. Uno de ellos es la separación de los coproductos para integrarlos a los ingresos de la planta total, específicamente el de los alcoholes de alto peso molecular (AAPM) obtenidos en la producción de Biodiesel, los cuales, tienen un gran impacto en varios campos tales como la salud y en la industria de los cosméticos, que según lo expresado por (Casdelo, 2005), estos pueden ser vendidos a precios que oscilan en un rango desde 11,38 $\$/kg$ hasta 22,00 $\$/kg$. Para el análisis económico se fijó un precio de 20 $\$/kg$.

3.5.1 Estimado del Costo total de Inversión

Para el estimado del costo total de inversión, se determinó el costo del equipamiento, utilizado, el cual tiene gran incidencia en este, específicamente en los elementos que contiene la inversión fija, de esta manera se tiene que:

Costo Inversión Total = Inversión fija + Inversión de trabajo

Inversión fija = Costos directos + Costos Indirectos

En la Tabla 3.11 se muestra el costo total del equipamiento utilizado en la planta teniendo en cuenta que para el costo de adquisición se tuvo en cuenta el número de equipos óptimo calculados por (Carvajal, 2007).

Tabla 3.11 Costo total del equipamiento

<i>Nombre</i>	<i>Costo actualizado</i>	<i>No. Equipos</i>	<i>Costo total (\$)</i>
Columna adsorción	35255,96	1	35256,0
Tanque almacenamiento Nafta	64248,66	1	64248,7
Tanque recepción etanol deshidratado	344,93	1	344,9
Tanque mezcla cachaza-nafta	71824,94	1	71824,9
Tanque evaporador nafta	22146,40	1	22146,4
Condensador nafta	7662,96	2	15325,9
Tanque mezclador etóxido	1928,46	1	1928,5
Reactor	8204,44	2	16408,9
Bomba etanol deshidratado	1200,00	4	4800,0
Bombas aceite	1200,00	3	3600,0
Agitadores cachaza-nafta	3500,00	1	3500,0
Agitadores etóxido	1300,00	1	1300,0
Agitadores reactor	1300,00	1	1300,0
Tanque recepción etanol hidratado	349,06	1	349,1
Bomba etanol a columna	1200,00	2	2400,0
Bomba nafta	3200,00	4	12800,0
Costo total de adquisición			257533,20

El estimado del costo total de la inversión se realizó sobre la base del costo total del equipamiento, para el cual, se estimaron los aspectos que para la planta inciden en la Inversión fija y la inversión de trabajo. Los resultados del estimado del costo total de la inversión se presenta a continuación en la Tabla 3.12, teniendo en cuenta que sólo se toman los equipos instalados en fábrica; para el caso de las bombas de etanol deshidratado y la de nafta se instalan dos en paralelo y dos quedan de repuesto, se instalan dos bombas de aceite y queda una de repuesto.

Tabla 3.12 Estimado del costo de inversión de la planta

<i>Elementos del Costo de Inversión</i>	<i>Costo (\$)</i>
Costos directos (CD)	
Costo del Equipamiento	257533,20
Instalación del Equipamiento	103013,28
Instrumentación y Controles (Instalado)	25753,32
Tuberías (Instaladas)	103013,28
Sistemas Eléctricos (instalados)	36054,65
Construcción (Incluye servicios)	103013,28
Movimiento de terrenos	15451,99
Servicios, Facilidades (Instalado)	167396,58
Costos totales directos	553696,37
Costos Indirectos (CI)	
Ingeniería y Supervisión	55369,64
Gastos de construcción	71980,53
Contingencias	55369,64
Costos totales indirectos	182719,80
Inversión fija (If) = CD + CI	736416,17

Inversión de trabajo (Itrab)	81824,02
Costo total de inversión = If + Itrab	818240,19

3.5.2 Estimado del Costo de Producción

En el estimado del costo de producción, para la obtención de los productos principales de la tecnología propuesta, se tuvo en cuenta, los gastos de materia prima, mano de obra y requerimientos del proceso como resultados de las necesidades y los demás elementos se determinaron, según la metodología expuesta por (Peters, 2003).

Costos de fabricación = Costos Variables + Costos Fijos + Costos exteriores

Costos Totales de producción = Costos de Fabricación + Gastos generales

Empleado las mismas relaciones de costos, planteado en la metodología reportada por (Peters, 2003), se estima el costo de total de producción, el cual se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Costo de Producción de la planta de Biodiesel

<i>Elementos de Costos</i>	<i>%</i>	<i>Base</i>	<i>Costo (\$/año)</i>
Materias Primas	-	-	55853,77
Mano de Obra	-	-	43200,00
Supervisión	0,1	Mano de Obra	4320,00
Requerimientos del Proceso	-	-	24909,86
Mantenimiento y reparación	0,02	Inv. Fija	14728,32
Suministros	0,1	Mto y Rep.	1472,83
Cargos de Laboratorios	0,05	Mano de Obra	4320,00
Costos Variables			148804,80
Impuestos	0,01	Inv. Fija	7364,16
Seguros	0,004	Inv. Fija	2945,66

Amortización	0,066	Inv. Fija	73641,60
Costos Fijos			83951,44
Costos exteriores	0,5	MO+Sup+ Mto	31124,16
Costos de Fabricación			
Administración	0,15	MO+Sup+ Mto	9337,25
Distribución y venta	0,02	C. Total Prod	5692,03
Investigación y Desarrollo	0,02	C. Total Prod	5692,03
Gastos Generales			20721,32
Costos totales de Producción			284601,71

A continuación en las Tablas 3.14 y 3.15 se muestra un resumen de las materias primas empleadas así como el producto y coproducto obtenido con sus respectivos precios.

Tabla 3.14. Materias primas empleadas con sus respectivos precios

<i>Materias primas</i>	<i>Precio (\$/kg)</i>
Cachaza	0
NaOH	0,49
Etanol	1,50
Nafta (L)	0,19

Tabla 3.15. Producto y coproducto obtenido con sus respectivos precios

<i>Producto</i>	<i>Precio</i>
Biodiesel	60,00 (\$/hl)
AAPM	20,00 (\$/kg)

3.5.3 Indicadores de rentabilidad VAN, TIR, PRD y RVAN

Una valoración de la factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo de los indicadores dinámicos el VAN, la TIR, el PRD y el RVAN, tomando una tasa de interés del 15 %.

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujodecaja}}{(1+i)^k} - \text{Inversión total} \quad (3.12)$$

A partir de esta expresión, además de obtener el VAN, se determina la TIR (Tasa de Rendimiento Interna), y el PRD (Período de recuperación al descontado).

$$\text{RVAN (Índice de rentabilidad)} = \frac{\text{VAN}}{\text{Costo total de inversión}} \quad (3.13)$$

Los resultados obtenidos se determinaron por un programa realizado con la ayuda del Microsoft Excel, donde se evaluaron los indicadores económicos mediante la metodología planteada por (Peters, 2003), los cuales, están en correspondencia con este tipo de planta en cuanto a su factibilidad teniendo en cuenta la venta del producto principal y el coproducto.

En la Tabla 3.16 se muestran los resultados de la evaluación de los indicadores para el estudio de la factibilidad.

Tabla 3.16 Resultados de los Indicadores de la factibilidad de la Inversión

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>
Valor Actual neto (VAN)	\$ 2279512,35
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	56 %
Período de Recuperación al descontado (PRD)	3,4 años
Índice de rentabilidad (RVAN)	2,8

3.6 Impacto ambiental y social

Los indicadores ambientales y sociales que influyen en el proyecto son:

Indicadores ambientales

- Integración de procesos para la diversificación.
- Aprovechamiento de la cachaza.
- Aumento de la eficiencia energética.
- Contribución a la reducción de Gases de invernadero (GI).
- Utilización de residuos para mejoramiento agrícola.

Indicadores sociales

- La aplicación de tecnologías de punta.
- Generación de empleo.
- Generación de empleos al sector femenino.
- Construcción de viviendas.
- Mejoramiento de la calidad de vida.
- Mejoramiento de la infraestructura urbanística.
- Ampliación del centro docente existente.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. El estudio bibliográfico realizado demostró que en el proceso de transesterificación del aceite de cachaza se obtiene como producto principal el biodiesel y como subproducto los alcoholes de alto peso molecular (AAPM), cuyas características y propiedades les confieren un amplio uso industrial.
2. Por el buen estado tecnológico de la instalación UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”, existen las condiciones apropiadas para la validación metodológica de la tecnología y el proceso inversionista propuesto de obtención de biodiesel a partir de aceite de cachaza siguiendo la ruta etílica.
3. La mejor alternativa evaluada es la VI, la cual propone la Producción de biodiesel, por lotes o batch, con catalizador NaOH, a escala industrial, con AAPM.
4. La cantidad de cachaza disponible en la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” permite obtener una cantidad de biodiesel de 1,12 t/d que pudiera ser utilizado por la fábrica, como complemento del combustible para su maquinaria agrícola.
5. La inversión propuesta es económicamente factible para la empresa, ya que la misma aporta beneficios económicos esperados anuales por niveles de 2 280 MP, un TIR de 56 %, con un tiempo de recuperación de 3,4 años y un RVAN de 2,8.
6. Una planta de biodiesel para la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” traerá beneficios ambientales significativos para la entidad por la disminución de combustibles fósiles consumidos.
7. La instalación de esta planta también aportará beneficios sociales como la ampliación del centro docente existente para la capacitación del personal de las instalaciones así como contribuye a la reanimación del batey y a la economía global del municipio.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Que se utilicen los resultados de este trabajo para los estudios de desarrollo de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”.
2. Proponer a la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” que se analice la implementación de la inversión propuesta en el presente trabajo, por los beneficios económicos, ambientales y sociales.
3. Proponer la ampliación del centro docente existente en las instalaciones de la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, P. P. (2003). *Evolución de la Caña de Azúcar en Cuba en los Siglos XIX y XX Información del Ministerio del Azúcar*. La Habana: CNCA.
- Acosta, P. P. (2008). *Evolución de la Caña de Azúcar en Cuba en los Siglos XIX y XX*. La Habana: CNCA.
- Amorín, C. (2009). Brasil, las manos sucias del etanol. Rel-UITA.
- Azúcar, R. C. (1976). La cera y el aceite tienen un mercado ampliamente estudiado.
- Bacovish, O. (2006). *El nuevo paradigma energético: Biodiesel*. Argentina.
- Balch, R. T. (1977). *Los lípidos de la caña de azúcar en principios de tecnología azucarera*. (Vol. 1). La Habana. Editorial Pueblo y Educación Cuba.
- Carvajal, Y. A. (2007). *Impacto económico de la producción de Biodiesel en la Empresa Mielera "Heriberto Duquesne"*. (Tesis presentada en Opción al Título Académico de Máster en Análisis de Procesos en la Industria Química), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara.
- Casdelo, N. (2003). Desarrollo de una tecnología integral para el aprovechamiento de la cera cruda de la caña.
- Casdelo, N. (2005). *Desarrollo de una tecnología integral de aprovechamiento de la cera cruda de caña*. (Tesis presentada para optar por categoría de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central de Las Villas. Santa Clara.
- Castro, V. A. (2015). *Biorrefinerías e integración industrial- el Mercado Mundial de Biocombustibles*. Carbio.
- Coronado, C. (1986). Técnicas de análisis caracterización químico-físicas y usos de la cachaza. Informe interno ICIDCA.
- Crespo, G. V. (2000). *Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral*. Universidad complutense.

- Cruz, B. D. I. (2006). *Estudio de la deshidratación de alcoholes por métodos de adsorción utilizando tamices moleculares*. (Trabajo de Diploma), Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara.
- Chong, N. L. (2006). *Contribución a los métodos de asimilar tecnologías, aplicado a un caso de producción de biocombustibles*. (Tesis Doctoral), UCLV, Santa Clara.
- D.O.E. (2006). *Modeling tomorrow's biorefinery—the nrel biochemical pilot plant*. U.S. Department of Energy.
- Eckey, E. W. (1954). *Vegetable fats and oils*. New York: Rein hold.
- Esturo, C. (2005). *La llave del proceso y su calidad. Curso de Directores de Fabrica del MINAZ*. La Habana: MINAZ.
- Flores, I. M. (1985). *Tecnología azucarera*. La Habana: Editorial. Pueblo y Educación.
- Galuchi, T. P. D. (2005). *Produção de biodiesel para substituir o óleo diesel utilizado-se etanol como agente da reação de transesterificação em substituição ao metanol, obtendo um combustível totalmente derivado de fonte renovável*. Brasil: Agência Nacional do Petróleo.
- Guerrero, L. (1996). Comportamiento de la variación de la extracción con la temperatura.
- Hatti-Kaul, R. (5 March ,2010). Biorefineries– a path to sustainability?. *Crop Science Society of America*50.
- ICIDCA, R. (1978). Separación selectiva de los componentes de la cera cruda.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de transferencia de Calor*. México: Mc Graw Hill
- Korus, R. A. (2004). *Transesterification Process to manufacture Ethyl Ester of Rape Oil*. Moscow: Raduga.
- Larosa, R. (2004). Proceso para la producción de Biodiesel. Refinación de glicerina.
- Leidinger, I. R. (2010). *Teoria de las Restricciones*. EME.

- León Benítez, J. B., Matiauda, M. & Valdés, J. E. M. (2016). Diseño de una planta de obtención de biodiesel a partir de un residual de la industria azucarera (cachaza). *Centro Azúcar*, 43(1), 1-9.
- Leyva, R. F. (2007). *Estudio y diseño de una Planta Demostrativa para la producción de Biodiesel a partir de un residuo de la Industria Azucarera*. (Ingeniería Química Trabajo de Diploma), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara.
- Lorente, J. L. (2005). *Método Delphi - Método de Expertos*. La Habana: CIGET-CITMA.
- Martin, P. (2006). Biodiesel for Small Producer.
- Martínez, R. T. (2006). *Obtención de biodiesel a partir del aceite de cachaza, residuo de la industria azucarera*. (Ingeniería Química Trabajo de Diploma), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara.
- Martyn, M. G. (1999). *Chemical Engineering Design Project*. London McGraw Hill Book
- Nápoles, A. R. (2006). Métodos usados en la estimación de la incertidumbre de las mediciones para realizar balances de Masa y Energía en Fábricas de Azúcar. *Centro Azúcar*, 33(2).
- Ortega-Blu, et al. (2010). Biofuels in Chile. i. identification and energy. balance of raw materials and biofuels production. *Agrociencia*: (44), 611-622.
- Parente, J. D. S. (2003). *BIODIESEL: Uma Aventura Tecnológica*. Brasil: País Engraçado.
- Pavlov, F. K. (1981). *Problemas y ejemplos para el curso de Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química*. (Vol. Tomo I). Moscú: Ed. Mir.
- Pérez, P. P. A. (2005). Evolución de la caña de azúcar en Cuba en los siglos XIX y XX. In Paper presented at the Curso para Directores del Ministerio del Azúcar, Ciudad Habana.
- Peters, M. (Ed.). (2003). *Plant Design and Economic for Chemical Engineers*.

- Prado, R. G. (2013). *Evaluación de Alternativas de la producción de Biocombustibles en Guatemala*. (Tesis de Doctorado), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara.
- Ramos, F. E. (2014). *Metodología de evaluación para la conversión de fábricas de azúcar a biorefinerías mediante lógica difusa*. (Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara.
- Ramos, G. V. (1996). Aspectos esenciales de la operación de extracción.
- Ramos, G. V. (2005). Memoria Descriptiva: Tecnología para la Obtención de productos de alto valor agregado a partir de la cera cruda de la caña de azúcar.
- Royal, T. B. (1994). *Derivados cerosos y grasos de la caña de azúcar*. La Habana: MINAZ.
- Sendra, J. B. (2006). Evaluación Multicriterio.
- Smith, P. A. H. S. A. H. a. M. (1999). “Safety evaluation of phytosterol-esters”. Part 2: Subchronic 90-day oral toxicity on phytosterol-esters - a novel functional food. *Food and Chemical Toxicology*, 37, (4), 521-532.
- Stratta, J. (2000). Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel.
- Strong Ch.; Erickso, C. S. D. (2006). Evaluation of Biodiesel Fuel: Literature Review”. Western Transportation Institute, College of Engineering Montana State University – Bozeman.
- Tobón, W. (2013). Análisis multicriterio. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Vanstone, P. J. (1999). Cholesterol-lowering efficacy of a sitostanol-containing phytosterol mixture with a prudent diet in hyperlipidemic men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(6), 1144-1150.

Vega, J. M. R. (1988). Hidrodinámica y separaciones mecánicas. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1

Especificaciones del Biodiesel según ASTM

Propiedades	Límites	Unidades
Números de carbonos	C12 - C22	-
Flash Point	130 min	°C
Agua y sedimentos	0.050 max.	% Volume
Viscosidad cinemática (40°C)	1.9-6.0	mm ² /seg
Cenizas	0.020 max.	% mass
Contenido de azufre	0.05 max.	% mass
Corrosión de la cinta de cobre	No.3 max.	-
Número de cetanos	47 min.	-
Residuos de carbón	0.050 max.	% mass
Número de acidez	0.80 max.	Mg KOH/gm
Glicerina libre	0.020 max.	% mass
Glicerina total	0.240 max.	% mass
Contenido de fósforo	0.001 max.	% mass
Temperatura de destilación a 1 atm	360 max.	°C

Anexo 2

Comparación de las propiedades del Diesel y Biodiesel

Propiedades	Diesel	Biodiesel
Composición del combustible	C10-C21 HC	C12-C22 FAME
Valor Calórico Inferior: KJ/Kg	41.6	37.1
Viscosidad Cinemática, a 40° C	1.3-4.1	1.9-6.0
Gravedad específica Kg/L a 60° F	0.85	0.88
Agua, ppm en peso	161	0.05% max
Carbón, % masa	87	77
Hidrógeno, % masa	13	12
Oxígeno, % masa	0	11
Contenido de azufre, % masa	0.05 máx	0 - 0.0024
Punto de ebullición (°C)	188-343	182-338
Punto de inflamación (°C)	60-80	100-170
Cloud Point (°C)	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point (°C) (fluidez)	-35 to -15	-15 to 10
Números de Cetanos	40-55	48-65
Relación estequiométrica Aire/Fuel m/m	15	13.8
BOCLE Scuff, gramos (Lubricidad)	3,600	>7,000
HFRR, micrones (Lubricidad)	685	314

Anexo 3

Propiedades del Biodiesel utilizando diferentes materias primas

Property	Fuel						
	Diesel No. 2	Soybean Methyl Ester	Rapeseed Methyl Ester	Soybean Ethyl Ester	Rapeseed Ethyl Ester	Tallow Methyl Ester	Frying Oil Ethyl Ester
Cetane Number	40 - 52	50.9	52.9	48.2	64.9	58.8	61.0
Flash Point, °C	60 - 72	131	170	160	185	117	124
Distillation							
IBP, °C	185	299	326			209	
T10, °C	210	328	340			324	
T50, °C	260	336	344	336		328	
T90, °C	315	340	348	344		342	
EP, °C	345	346	366			339	
Specific Gravity	0.85	0.885	0.883	0.881	0.876	0.876	0.872
Lower Heating Value, MJ/kg	43.4	37.0	37.3				37.2
Higher Heating Value, MJ/kg	44.9	40.4	40.7	40.0	40.5	40.2	40.5
Cloud Point, °C	-25 to -15	-0.5	-4.0	-1.0	-2.0	13.9	9.0
Pour Point, °C	-25 to 5	-3.8	-10.8	-4.0	-15.0	9.0	8.0
Cold Filter Plugging Point, °C	-20 to -10	-4.4	3.6			11.0	
Viscosity at 40 °C, CS	2.60	4.08	4.83	4.41	6.17	4.80	5.78
Iodine Number	8.60	133.20	97.40	123.00	99.70		

Anexo 4. Especificaciones del Biodiesel en la UE

Propiedad	Unidad	Especificaciones	Método
PROPIEDADES COMO COMBUSTIBLE			
Densidad a 15°C	g/cm ³	0,86-0,90	ISO 3675
Viscosidad cinemática 40°C	mm ² /s	3,5-5,0	ISO 3104
Punto de inflamación	°C	mín. 100	ISO 2719
Punto de obstrucción del filtro frío (POFF)	°C verano	máx. 0	DIN EN 116
	°C invierno	máx. <-15	
Azufre	% p/p	máx. 0,01	ISO 8754/DIN EN 41
Residuo carbonoso Conradson (10 % residuo destilación)	% p/p	máx. 0,30	ASTM D-1160/ISO 3405
Índice de cetano	-	mín. 49	ISO 5165/DIN 51773
Contenido en cenizas	% p/p	máx. 0,01	EN 26245
Contenido en agua	mg/kg	máx. 500	ISO 6296/ASTM D 1744
Partículas sólidas	g/m ³	máx. 20	DIN 51419
Corrosión al cobre (3h/50°C)	-	máx. 1	ISO 2160
Estabilidad a la oxidación	g/m ³	máx. 25	ASTM D 2274
PROPIEDADES COMO ÉSTER			
Índice de acidez	mg KOH/g	máx. 0,5	ISO 660
Contenido en metanol	% p/p	máx. 0,3	DIN 51413.1
Contenido en monoglicéridos	% p/p	máx. 0,8	GLC
Contenido en diglicéridos	% p/p	-	GLC
Contenido en triglicéridos	% p/p	-	GLC
Glicerina ligada	% p/p	máx. 0,2	CALCULO
Glicerina libre	% p/p	máx. 0,03	GLC
Glicerina total	% p/p	máx. 0,25	CALCULO
Índice de yodo	-	máx. 115	DIN 53241/IP84/81
Fósforo	mg/kg	máx. 10	DGF C-VI 4

Anexo 5. Presentación y Selección de Expertos

Universidad Carlos Rafael Rodríguez de Cienfuegos

Fecha:

Estimado colega:

Mediante la presente le hago la solicitud para que sirva como Experto en mi Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Químico titulado: ***Proponer productos con nuevo valor agregado para la UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio” aplicando el Método Delphi.***

En el caso que acepte colaborar infórmeme por esta vía.

Le adjunto la información primaria que pueda necesitar, si requiere alguna adicional, solicítamela.

Le agradezco su atención.

Atentamente: José Alejandro Figueredo Suz

Estudiante de 5^{to} año de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.

Adjuntos:

Casdelo, N. (2005). *“Desarrollo de una tecnología integral de aprovechamiento de la cera cruda de caña”*. (Tesis presentada para optar por categoría de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central de Las Villas.

Azúcar, R. C. (1976). “La cera y el aceite tienen un mercado ampliamente estudiado”.

Carvajal, Y. A. (2007). *Impacto económico de la producción de Biodiesel en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”*. (Ingeniería Química Tesis presentada en Opción al Título Académico de Máster en Análisis de Procesos en la Industria Química), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara

Castro, V. A. (2015). BIORREFINERIAS E INTEGRACION INDUSTRIAL- EL MERCADO MUNDIAL DE BIOCMBUSTIBLES. *Carbio*.

Crespo, G. V. (2000). *“Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral”*. Universidad complutense

Chong, N. L. (2006). *“Contribución a los métodos de asimilar tecnologías, aplicado a un caso de producción de biocombustibles”*. (Doctoral), UCLV, Santa Clara.

Martínez, R. T. (2006). *Obtención de biodiesel a partir del aceite de cachaza, residuo de la industria azucarera*. (Ingeniería Química Trabajo de Diploma), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas Santa Clara.

Leyva, R. F. (2007) *Estudio y diseño de una Planta Demostrativa para la producción de Biodiesel a partir de un residuo de la Industria Azucarera*. (Ingeniería Química Trabajo de Diploma), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara.

Anexo 6. Encuesta de la I ronda para seleccionar las mejores alternativas

Universidad Carlos Rafael Rodríguez de Cienfuegos

Fecha:

Estimado colega.

A continuación le envío 13 alternativas de instalación de Biorefinería escogidas para efectuar la I ronda para la selección de alternativas tecnológicas

Ud. Debe seleccionar las 10 que considere más beneficiosas. Tome en consideración los puntos de vista económico, ecológico y social. Puede incluir alguna adicionales pero respetando que deben ser 10 en total.

Lo saludo cordialmente:

José Alejandro Figueredo Suz

Estudiante de 5^{to} año de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.

Alternativas Tecnológicas:

- I. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 1
- II. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 2
- III. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 3, con AAPM
- IV. Producción de biodiesel, semicontinuo, catalizador NaOH, escala 1
- V. Producción de biodiesel, semicontinuo, catalizador NaOH, escala 2
- VI. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 1, con AAPM
- VII. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 2
- VIII. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 3, con AAPM
- IX. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 2, con AAPM
- X. Producción de biodiesel, continuo, catalizador NaOH, escala 3
- XI. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 1
- XII. Producción de biodiesel, batch, catalizador NaOH, escala 3
- XIII. Producción de biodiesel, semicontinuo, catalizador NaOH, escala 3

Anexo 7 Encuesta de la II ronda para seleccionar las mejores alternativas

Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez

Fecha:

Estimado profesor:

En la presente le envío la encuesta correspondiente a la 2^{da} ronda para la selección de las mejores Alternativas Tecnológicas y el resultado de la 1^{ra} a la cual usted debe asignar un número del uno al diez en escala de importancia significativa donde el uno corresponde al más importante.

Alternativa	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
I.									
II.									
III.									
IV.									
V.									
VI.									
VII.									
VIII.									
IX.									
X.									

Lo saluda cordialmente:

José Alejandro Figueredo Suz

Estudiante de 5to año de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.

