

## **Análisis del Impacto Económico de la producción de Biodiesel a partir de aceite de cachaza en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”.**

Economic impact Analysis of Biodiesel production from sludge oil in Heriberto Duquesne Honey Factory

**Autores:** MSc. Yaillet Albernas Carvajal<sup>†</sup>; Dra. Gretel Villanueva Ramos<sup>†</sup>; Dr. Néstor Ley Chong<sup>††</sup>; Dra. Irenia Gallardo Aguilar<sup>††</sup>; DrSc. Erenio González Suárez<sup>†</sup>.

**Afiliación:** <sup>†</sup>Centro de Análisis de Procesos (CAP). <sup>††</sup> Departamento de Ingeniería Química.

Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Código Postal 54830. Tel: 211825-211826-281164.

e-mail: yailletac@uclv.edu.cu

**Fecha de presentación:** abril/2008

### **Resumen.**

En el presente artículo se realiza un análisis técnico - económico de las posibilidades de producción de Biodiesel a escala industrial en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”.

El aspecto esencial del artículo consiste en el dimensionamiento de los equipos para la planta de obtención de Biodiesel, a partir de la cachaza residual que aporta dicha Empresa Mielera. Además se analizan tres variantes desde el punto de vista tecnológico para llevar a cabo dicho proceso. Para la última variante se tiene en cuenta el cálculo del número óptimo de equipos para lograr la fiabilidad del proceso, aspecto que garantiza la continuidad del mismo. Por último se realiza un análisis desde el punto de vista económico de las diferentes variantes tratadas anteriormente, lo cual demuestra que la tercera variante es la más factible tanto desde el punto de vista técnico como económico. Se realiza además un análisis de sensibilidad para la variación del precio del coproducto que demuestra que la variante seleccionada es factible para precios mayores que 6,26 \$/Kg.

**Palabras Claves:** Biodiesel, Cachaza, Fiabilidad, Diseño

### **Abstract.**

In present paper a technical analysis - economic of the possibilities of production of Biodiesel on industrial scale in the honey Company "Heriberto Duquesne" is made.

The essential part of this article consists of the sizing of the equipment for the plant of obtaining of Biodiesel, from the residual sludge that contributes this honey Company. In addition three variants are analyzed from the technological point of view to carry out this process. For the last variant the calculation of the optimal number of equipment considers to obtain the reliability of the process, aspect

that guarantees the continuity of the same one. Finally an analysis is made previously from the economic point of view of the different treated variants, which demonstrates that the third variant is most feasible as much from the technological point of view like economic. An analysis to sensitivity for the variation of the price of the byproduct is made in addition that demonstrates that the selected variant is feasible for prices greater than 6,26 \$/Kg.

**Key words:** Biodiesel, Sludge, Reliability, Design.

## **Introducción.**

La creciente demanda del crudo como combustible y la incontrolable reducción de las reservas petrolíferas mundiales, ha llevado a un desmedido incremento en sus precios, incluso por encima de los valores predichos por los investigadores, en lo cual han influido además aspectos económicos, políticos y ambientales.

El impacto medioambiental de la utilización de los combustibles fósiles es un aspecto a tener en cuenta, ya que implica un incremento acelerado de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>. La imposibilidad de lograr que se reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta los índices establecidos y la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo, ha contribuido a abrir el camino de las llamadas “fuentes de energías alternativas” basadas en recursos naturales renovables y menos contaminantes. Dentro de las fuentes renovables aparecen, en los primeros lugares, el bioetanol y el biodiesel, tanto por la posibilidad de su obtención, como los esfuerzos que realizan otros países para desarrollar programas en este sentido con resultados favorables.

Para el caso del Biodiesel, se mezcla con el combustible diesel convencional en proporciones establecidas o se utilizan como combustible puro en cualquier motor diesel.

En Cuba, país altamente dependiente del exterior en cuanto a suministro de combustibles, posee una gran cantidad de residuos sólidos agroindustriales biodegradables sin o con escasa utilización, como el bagazo y la cachaza (residuos de la industria azucarera), que pueden ser utilizados para la producción de Biodiesel como alternativa de energía renovable y de producción nacional.

Para ello, la empresa Mielera “Heriberto Duquesne”, se realiza el análisis de la producción de Biodiesel a partir de la cachaza residual de dicha Empresa.

## **Materiales y Métodos.**

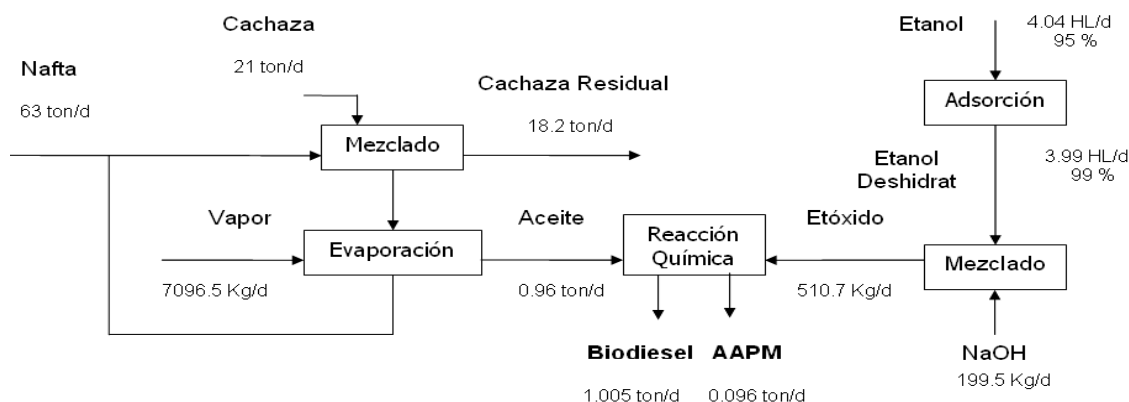
### **Análisis de la variante de producción de Biodiesel a escala industrial en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”.**

A partir de los resultados obtenidos por <sup>(4)</sup> se analizó la posibilidad de realizar la producción a nivel industrial en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”.

En esta empresa se producen 84 toneladas diarias de cachaza, es decir que en una zafra se generan 7560 toneladas de la misma, o sea que sería factible tratar 21 toneladas diarias, distribuyendo esta producción en 360 días por año para buscar la continuidad del proceso. Esta cantidad de materia prima permite obtener diariamente una tonelada de Biodiesel (1136,4 L) y 95,8 Kg de Alcoholes de alto peso molecular (AAPM).

### Balance de materiales para la producción de Biodiesel a partir del aceite de la cachaza en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”.

El balance de materiales a partir del cual se dimensionará la planta se basa en la cantidad de cachaza disponible en la referida Empresa Mielera. El mismo se hizo en un programa con la ayuda del Microsoft Excel. En la Figura. 1 se muestran los resultados del balance de materiales.



**Figura. 1.** Balance de materiales de la planta de obtención de Biodiesel a partir de aceite de cachaza en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”

### Alternativas tecnológicas para la producción de Biodiesel.

Para la producción de Biodiesel se tomó como punto de partida el diseño realizado por <sup>(4)</sup>, calculando de los resultados del balance de materiales y de las capacidades analizadas, el número de equipos necesarios a instalar en las nuevas condiciones, con dimensiones similares a las reportadas en la cita anterior, los cuales constituyen la variante 1, cuyas consecuencias se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de equipos a instalar en la variante 1.

<i>Nombre</i>	<i>Nº. Equipos</i>
Columna adsorción	5
Tanque almacenamiento Nafta	41
Tanque recepción de etanol	8
Tanque mezclador cachaza Nafta	9
Tanque Evaporador Nafta	5
Condensador Nafta	1

Tanque mezclador etóxido	7
Reactor	6
Bombas etóxido	8
Bombas aceite	3
Agitadores cachaza-nafta	9
Agitadores etóxido	7
Agitadores reactor	6

Las dimensiones fundamentales y los resultados del cálculo de los equipos para esta variante se encuentran referenciadas por <sup>(1)</sup>. En este caso, los mezcladores son de paletas, por sus bajos consumos energéticos <sup>(4)</sup>, mientras que todos los motores escogidos son de 0.09 KW y 1800 rpm. <sup>(8)</sup>

Como es esta variante, el número de equipos a instalar en algunos casos es elevado, se analiza el diseño de otra alternativa tecnológica que tenga en cuenta las capacidades y con ello mejorar el dimensionamiento de los equipos y de la planta en general.

La variante 2 concebida para la producción de Biodiesel operará 360 día/año con un régimen de 3 turnos diarios y cada turno tendrá 3 batch, 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 mostrados en la Figura. 1 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 %. <sup>(5,6)</sup>

Esta variante 2 propone un sólo equipo en cada tipo, en <sup>(1)</sup> se describe de forma detallada el diseño de cada uno de los equipos, se utilizaron los métodos convencionales de diseño y en el caso de la columna de adsorción se realizó un escalado basado en el poder de adsorción y la velocidad superficial. Para el diseño de los equipos se utilizaron herramientas computacionales como el Microsoft Excel y el programa profesional PSI, lo cual permite un desarrollo rápido y buscando la optimización en los resultados.

Como desventaja de la variante 2, desde el punto de vista tecnológico, está en que no se tiene en cuenta la fiabilidad del sistema, lo que conlleva la propuesta de la variante 3, que consiste en colocar los equipos antes diseñados, con el número óptimo de los mismos, el cual se obtiene a partir del diagrama de fiabilidad del sistema, donde se establece la función de fiabilidad del sistema, que es necesario en la formulación del modelo matemático.

Para la realización de este trabajo, fue factible tomar datos históricos de una base de datos de equipos similares a los instalados en planta. <sup>(7)</sup>, con el propósito de obtener la probabilidad de trabajo sin fallo de cada uno de los elementos del sistema <sup>3)</sup>

En cada uno de los equipos se obtuvieron los tiempos de fallos y los de trabajo sin fallo para determinar las funciones de distribución a que responden los mismos y los parámetros correspondientes. La probabilidad de trabajo sin fallo se determinó para un año, ya que este fue el

tiempo que se tomó, para realizar el mantenimiento general sobre el sistema, siendo favorables los resultados. Luego de realizarse el análisis cualitativo del sistema sobre la respuesta del sistema ante el fallo de uno de sus elementos se obtiene el diagrama de fiabilidad para la planta que muestra <sup>(1)</sup> que tiene como característica una estructura serie paralelo bien definida. Con la configuración del sistema con respecto a la fiabilidad y los datos de fallos de cada equipo se obtiene la función de fiabilidad de la planta. Se eliminaron las etapas cuya fiabilidad es igual a 1. La función de fiabilidad obtenida es  $R_1 = R_1$

Donde:

$$R_1 = [1 - (1 - 0.7962)^{n_1}] * [1 - (1 - 0.9733)^{n_2}] * [1 - (1 - 0.9745)^{n_3}] * [1 - (1 - 0.6454)^{n_4}] * [1 - (1 - 0.6454)^{n_5}] * [1 - (1 - 0.6454)^{n_6}] * [1 - (1 - 0.6454)^{n_7}] \quad (1)$$

El objetivo del análisis de fiabilidad de los equipos es maximizar la misma, obteniéndose la cantidad óptima de equipos por etapas sujeta a restricciones de costo y de cota mínima de equipos, para ello se utiliza el método de Programación no Lineal en Enteros (P.N.L.E). Los datos necesarios para la solución del mismo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos para la aplicación del método de P.N.L.E. en la planta de biodiesel a partir de aceite de cachaza.

<i>Nº etapa</i>	<i>Equipos</i>	<i>Probabilidad de trabajo sin fallo</i>	<i>Cota mín</i>	<i>Costo de adquisición (\$)</i>	<i>Costo de operación (\$)</i>
1	Columna de adsorción	0,7962	1	35256	8 461
2	Reactor	0,9733	1	9 504	2 285
3	Condensador Nafta	0,9745	1	7 663	1 839
4	Bomba alcohol deshidratado	0,6454	1	1 200	288
5	Bomba aceite	0,6454	1	1 200	288
6	Bomba alcohol a columna	0,6454	1	1 200	288
7	Bomba Nafta	0,6454	1	3 200	768

Con la ayuda de los datos que aparecen en las mismas, el modelo matemático para la planta queda expresado de la siguiente forma:

*Función objetivo:*  $RT_1 = R_1$

*Restricciones:*

- Costo total:

$$CT_1 = 35256 n_1 + 9504 n_2 + 7663 n_3 + 1200 n_4 + 1200 n_5 + 1200 n_6 + 3200 n_7 \leq 1000000 \quad (2)$$

- Cota mínima:  $n_i > 1 \quad i: 1, \dots, 7.$

El software utilizado (GAMS) permite obtener el número de equipos óptimos que deben colocarse para maximizar la fiabilidad del sistema sujeta a restricciones de costo, en la Tabla 3, se muestran los

resultados óptimos de la planta, con las condiciones actuales, por la importancia que tiene la comparación con el número de equipos mínimo que deben ser colocados de forma tal que garantice la capacidad de trabajo, siendo esta, la cota mínima.

Tabla 3. Resultados de la optimización para la planta de Biodiesel a partir de aceite de cachaza.

<i>Nº. etapa</i>	<i>Equipos</i>	<i>Cota mínima</i>	<i>Diseño óptimo</i>	<i>Diseño actual</i>
1	Columna de adsorción	1	1	1
2	Reactor	1	2	1
3	Condensador Nafta	1	2	1
4	Bomba alcohol deshidratado	1	4	1
5	Bomba aceite	1	3	1
6	Bomba alcohol a columna	1	2	1
7	Bomba Nafta	1	4	1

Con el número óptimo de equipos calculado se obtiene la fiabilidad de la planta sustituyendo el valor de las variables de decisión en la función de fiabilidad, Ecuación 3.

$$\prod_{i=1}^m [1 - (1 - p_i)^{n_i}] \quad (3)$$

Conociendo el valor de la fiabilidad del sistema y el tiempo para el cual se realiza la evaluación, (un año), se puede obtener el valor de Tiempo Medio Entre Fallos, (MTBF), que permite calcular la disponibilidad de la planta utilizando la siguiente expresión:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (4)$$

Donde: MDT = Tiempo medio de paradas.

Luego de realizar la optimización de la fiabilidad del sistema se encontró, para un valor del capital disponible de \$ 1 000 000, que el sistema tiene una fiabilidad de 89,9 % y una disponibilidad de 92,9 %.

### Resultados y discusión.

Con el análisis del balance de materiales se obtiene que los requerimientos promedios fundamentales del proceso, para un día de trabajo, son los mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Requerimientos de la planta de Biodiesel a partir de aceite de cachaza.

<i>Requerimiento</i>	<i>Valor</i>	<i>UM</i>
Alcohol (95 °GL)	4,04	HL/d
Alcohol deshidratado (99 °GL)	3,99	HL/d
NaOH	199,5	Kg/d

Cachaza	21	ton/d
Nafta inicial	63	ton/d
Vapor	10039,4	Kg/d
Agua enfriamiento	102,7	Kg/d

Con los requerimientos de la planta y los resultados del balance de materiales se encuentran algunos índices de consumo para la planta; referidos a un kilogramo de Biodiesel, lo cual se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Índices de consumos determinados para un kilogramo de Biodiesel.

<i>Requerimiento</i>	<i>Valor</i>	<i>UM</i>
Cachaza	20,89	Kg
Alcohol anhidro	0,00397	HL
NaOH	0,20	Kg
Vapor	9,98	Kg
Agua de enfriamiento	0,10	Kg

La primera variante propuesta arroja en algunos casos un número elevado de equipos, pues los mismos se calcularon para una escala de planta piloto, motivo por el cual se decidió pasar a diseñar una segunda alternativa que tuviera en cuenta las capacidades reales para la materia prima disponible colocando un sólo equipo de cada tipo. Esta variante tiene la desventaja de que no tiene en cuenta la fiabilidad del sistema, por lo cual se calculó el número óptimo de equipos a instalar con diseño similar a la variante anterior mediante el software profesional GAMS, proponiendo entonces una tercera variante.

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, estos pueden ser vendidos a precios que oscilan en un rango desde 11,38 \$/Kg hasta 22,00 \$/Kg.<sup>(2)</sup> Para el análisis económico realizado se fijó un precio de venta de 20,00 \$/Kg. A continuación en la Tabla 6 se muestra un resumen de los principales indicadores económicos para cada una de las variantes.

Tabla 6. Principales indicadores económicos de cada una de las variantes.

<i>Indicadores</i>	<i>Variante 1</i>	<i>Variante 2</i>	<i>Variante 3</i>
Costo de adquisición del equipamiento (\$)	2 082 916,50	224 865,80	257 533,20
Costo total de Inversión (\$)	6 617 888,59	714 448,63	818 240,19
Costo total de producción (\$/año)	1 211 257,25	269 959,22	284 601,71

VAN (\$)	- 8 093 525,32	2 455 771,79	2 279 512,35
TIR (%)	-	64	56

### **Análisis de sensibilidad para la variación del precio del coproducto.**

Para analizar la factibilidad de la inversión se hizo análisis de sensibilidad de los ingresos variando el precio del coproducto (AAPM) en la tercera variante, seleccionada como la más apropiada para su ejecución. El análisis demuestra que la inversión propuesta es factible para precios de los AAPM que estén por encima de 6,26 \$/Kg, o sea que este es el valor mínimo que puede alcanzar el coproducto para garantizar la factibilidad de la inversión; demostrando que existe un margen en el cual se puede oscilar dicho precio sin afectar la factibilidad del proyecto.

### **Conclusiones.**

1. En la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne” existen las condiciones apropiadas para la implementación de la tecnología de obtención de Biodiesel a partir de aceite de cachaza siguiendo la ruta etílica.
2. La cantidad de cachaza disponible en la empresa Mielera “Heriberto Duquesne” permite obtener una cantidad de Biodiesel de 1,005 ton/d que pudiera ser utilizado por la empresa, como complemento del combustible para su maquinaria agrícola.
3. El sistema propuesto presenta una fiabilidad de 89,9 % y una disponibilidad de 92,9 % para un valor de capital disponible de \$ 1 000 000.
4. La variante tecnológica escogida para su implementación es la más factible tanto técnica, por la fiabilidad que reporta, como económica por los indicadores que reporta un VAN de \$ 2 279 512,35 una TIR de 56 % y un PRD de 3,4 años.
5. La inversión propuesta es factible para precios del coproducto (AAPM) por encima de 6,26 \$/Kg.

### **Bibliografía.**

1. Albernas Carvajal, Y. Impacto económico de la producción de biodiesel en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”. Tesis en opción al título académico de Máster en Análisis de Procesos en la Industria Química. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Enero 2007.
2. Casdelo N. “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 “Marta Abreu” de Las Villas. 2005.
3. Catá S., González S., González C., Corsano G., “Estudio de fiabilidad en un complejo fabril integrado considerando la incertidumbre”. Revista Cubana de Química. Vol 18.p184. Enero 2006.



4. Ley Chong, N. “Contribución a los métodos de asimilar tecnologías, aplicado a un caso de producción de Biocombustibles”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Julio 2006.
5. Martyn S. R.; Martin G. S. “Chemical Engineering Design Project”. Cap. 6. Second Edition. 1999.
6. Peters, Max. S; Timmerhaus, Klaus D and West, Ronald E. “Plant Design and Economics for Chemical Engineers”. Fifth Edition. McGraw-Hill. 2003.
7. Rosa D. “Análisis de alternativas de inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos”. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Santa Clara 1996.
8. Rosabal Vega, J. M. “Hidrodinámica y separaciones mecánicas”. Editorial Pueblo y Educación. T – II y II. 1988.