

## ***EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA EXTRACCIÓN DE LOS JUGOS SECUNDARIOS EN EL SISTEMA TERMOENERGÉTICO DE LA EMPRESA SIBONEY***

### ***EVALUATION OF THE SECONDARY JUICES EXTRACTION EFFECT IN THE THERMOENERGETIC SYSTEM OF THE SIBONEY SUGAR MILL***

*Yanilka Morales-Hernández<sup>1</sup>, Martha Nápoles García<sup>1</sup>, Kirenia Fernández-Alvarez<sup>1</sup>  
y Erenio González Suárez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Universidad de Camagüey. Carretera Circunvalación Norte km 5 ½

<sup>2</sup> Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, UCLV, Carretera a Camajuaní km 5 ½ Cuba

Recibido: Enero 8, 2014; Revisado: Marzo 6, 2014; Aceptado: Marzo 22, 2014

#### **RESUMEN**

El trabajo muestra un estudio preliminar sobre el efecto técnico, económico y medioambiental, que provoca sobre el proceso de producción de azúcar crudo de la Empresa Siboney, del municipio Sibanicú, Camagüey, el desvío de los jugos secundarios para la diversificación, constituyendo esto una premisa para el desarrollo de una industria azucarera flexible, necesaria para incremento de la competitividad y sostenibilidad de la misma. Se realizaron balances de materiales en las áreas de molienda, alcalización y clarificación, así como una evaluación del sistema termoenergético del central por simulación con el uso del software TERMOAZÚCAR V4.0.3, la cual permitió comparar técnicamente los modos de operación para las diferentes variantes analizadas, observándose que un aumento de la molienda mejora de forma general el funcionamiento de los equipos del sistema termoenergético, aun con la extracción del jugo secundario. Llevándose a cabo un análisis económico se obtuvieron valores que corroboran la posibilidad del desvío propuesto para la diversificación y la operación flexible de la empresa.

**Palabras clave:** diversificación, extracción, flexible, jugos secundarios.

## **ABSTRACT**

This paper deals with a preliminary study on the technical, economical and environmental effect that provokes the deviation of the secondary juices for diversification on the production process of raw sugar of the Siboney Sugar Mill, in the municipality of Sibanicú, Camagüey. This is a premise for the development of flexibility sugar industry, necessary for increasing the competitiveness and sustainability of it. It was carried out balances of materials in the areas of milling, alkalization and clarification, as well as an evaluation of the thermoenergetic system at the sugar mill, by using simulation with TERMOAZÚCAR V4.0.3 software, which permitted comparing, technically, the operation manners for different analyzed variants. Thus, we notice that an increase of the milling improves, to a great extent, the functioning of the thermoenergetic system, even with the extraction of the secondary juice. Carrying out an economic analysis, values that corroborate the possibility of the proposed deviation for the diversification and flexibility operation of the sugar mill were obtained.

**Key words:** diversification, extraction, flexibility, secondary juices.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Desde hace varios años la Agroindustria Azucarera se ha enfrascado en profundos cambios relacionados con el incremento de su competitividad, lo cual solo es factible mediante un desarrollo prospectivo integrado en lo material y energético de sus empresas y las instalaciones productoras de derivados, incluyendo la reanimación y reajuste de las empresas existentes y el incremento de su diversificación, a través de un aprovechamiento óptimo del bagazo como fuente de energía y materiales intermedios del proceso considerados como desechos que pueden ser utilizados como materias primas, en sus posibilidades de origen de otros productos. En los profundos estudios de reingeniería que se realizan en las fábricas existentes en todo el país, se han utilizado técnicas del Análisis de Procesos para que los rediseños se acerquen más a las condiciones reales del sistema analizado y su entorno.

La diversificación, dado que es un complemento de la producción de azúcar, incrementa la eficiencia de la explotación de la caña como fuente renovable de recursos materiales y energéticos, y brinda mayor sostenibilidad a la economía azucarera.

Los aspectos anteriores deben tomarse en cuenta de forma tal que el impacto social sea favorable a la producción de Alimento Animal que repercute directamente en la humana, así como de alcohol y combustible. Por lo que cambios en las tendencias en el mercado llevan a pensar en la obtención de una INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN FLEXIBLE.

Numerosos estudios se han realizado con el uso de subproductos o desechos azucareros para la obtención de Etanol y de Alimento Animal, básicamente a partir de bagazo, miel, jugo de los filtros y más recientemente el desvío de los jugos secundarios, donde se destacan los compañeros del Centro de Análisis de Procesos de la Universidad Central de las Villas.

El trabajo realiza un estudio técnico-económico, al efectuarse el desvío del jugo secundario en el balance termoenergético, para su posterior uso en la producción de derivados, constituyendo un problema de síntesis preliminar.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Según han demostrado los investigadores /13/, la paja tiene un alto potencial energético, por lo que la Industria Azucarera, puede ser capaz de autoabastecerse de la energía que requiere, a partir de la utilización del bagazo de la caña de azúcar y de los Residuos Agrícolas de la Cosecha (RAC).

En la Industria Azucarera, el mayor subsistema que se utiliza como facilidad auxiliar al proceso principal es el de generación de vapor y electricidad, o sea el sistema termoenergético, el cual cobra una connotación especial, pues de la eficiencia de este dependerá en gran medida la disminución de los costos productivos, con un incremento significativo en las ventas de electricidad, bagazo, y de ser posible el uso del vapor en otras producciones adicionales. /8/, /9/.

La elevada presión en los molinos, en la etapa de extracción y la adición de hasta un 30 % de agua, con respecto al flujo másico de caña molida, contribuyen al aumento de la extracción de la sacarosa. Debe cuidarse no exceder ese valor para no afectar negativamente el balance energético del proceso.

Por los grandes beneficios en la operación del esquema termoenergético, se han realizado muchas transformaciones en la mejora de la eficiencia termoenergética de la fábrica. Estos aspectos, según algunos estudios realizados, favorecen el proceso de diversificación, aumentando el valor agregado a la producción. /3/.

Lo expresado con anterioridad evidencia la necesidad del control del sistema termoenergético, para lo cual se utilizan variadas herramientas informáticas como parte de las técnicas del Análisis de Procesos, como la simulación de procesos, creadas para analizar y estudiar sistemas complejos, evaluando el consumo de la fábrica y la generación de vapor necesaria.

Para este estudio es imprescindible conocer los indicadores establecidos para definir en cuanto al comportamiento del esquema y cómo resolver, de existir, las dificultades. Entre los indicadores más importantes son valorados: el índice de generación de vapor, el consumo específico de los turbogeneradores, el por ciento de flujos por la válvula reductora, las velocidades, coeficiente de transferencia de calor y diferencia de temperatura en calentadores, así como las tasas de evaporación y coeficientes de transferencia de calor.

La importancia de la simulación de procesos ha sido reconocida por la industria como uno de los aspectos que debe reforzarse en la preparación del profesional. /2/, /5/

En aprobación con el expresar de varios autores, la modelación y simulación matemática durante las 4 últimas décadas han probado ser herramientas para la ingeniería, que ayudan a las diferentes empresas a alcanzar mejores beneficios con el menor gasto de recursos posibles, permitiendo valorar y conciliar muchos aspectos, tanto técnicos como económicos, que de otra forma sería imposible llevar a cabo. /14/

La simulación es una técnica muy poderosa y ampliamente usada en las ciencias para analizar y estudiar sistemas complejos. Simular, es reproducir artificialmente un

fenómeno o las relaciones entrada - salida de un sistema. Esto ocurre siempre cuando la operación de un sistema o la experimentación en él son imposibles, costosas, peligrosas o poco prácticas /6/. Se usa para el estudio de alternativas de esquemas de un proceso, para el escalado y la interpretación de los datos de plantas pilotos, en la investigación y en el desarrollo de las mismas. Para el diseño de una nueva planta, en la optimización de la nueva instalación y reducir los costos totales y de operación. En una planta existente, para mejorar la operación, reducir los costos de materias primas, requerimientos de energía y evitar los cuellos de botella, todo lo cual se traduce en grandes beneficios económicos. /11/. Resulta además una aplicación trascendental en el estudio del impacto medioambiental, asociado al funcionamiento del proceso, y la facilidad de análisis de variantes para resolver posibles problemas que pudieran darse en este sentido. /12/.

Como en el trabajo se precisa del estudio que el efecto de la extracción de los jugos secundarios provoca en todo el proceso, se utiliza la simulación como una vía rápida y segura de comparación de los diferentes casos que se valoran, utilizando el TERMOAZUCAR V4.0.3 /10/. Este es un simulador de tipo modular secuencial, ampliamente utilizado en la simulación de fábricas de azúcar y sus sistemas termoenergéticos, su gran flexibilidad permite simular cualquier esquema, estando debidamente concebido el diagrama de flujo de proceso y el de flujo de información. Es un simulador con ecuaciones desarrolladas específicamente para la Industria Azucarera. Debido a la experiencia que se tiene en su aplicación y que el mismo permite realizar los análisis en una forma sencilla, se seleccionó para el desarrollo de esta etapa del trabajo.

Por otra parte, en su artículo, /7/ apunta ciertamente, como una industria que desarrolle una operación flexible puede responder consecuentemente a la dinámica de los mercados, la cual comienza a exigir respuestas más rápidas y garantiza una mayor competitividad tanto en materia tecnológica como de organización de la producción. De gran importancia plantea como las actuales transformaciones en la economía implican una mayor diversidad de estructuras empresariales, en las que coexistan empresas más pequeñas con mayor autonomía, responsabilidad y flexibilidad tanto en su estructura interna, como en sus mecanismos operacionales.

La diversificación azucarera, incluyendo en el concepto la producción en gran escala de energía, permite elevar también de forma casi ilimitada la flexibilidad operativa y estratégica de este importante sector de nuestra economía.

En fin que, el consecuentemente incierto futuro de los precios, en un mercado voluble y manipulado que no refleja el libre juego de la oferta y la demanda, sino que resulta un fenómeno bursátil, donde la actividad especulativa actúa con fuerza en su depresión, obliga a los investigadores a trabajar en busca de una industria diversificada flexible /1/. Puede decirse entonces que la flexibilidad operacional y la diversificación se favorecen entre sí y que son no solo una estrategia para enfrentar la crisis del mercado azucarero, sino un camino seguro para la industrialización y el desarrollo social, permitiendo además aprovechar las ventajas que surgen en un ambiente volátil.

Por lo tanto los resultados del trabajo serán la base para la síntesis del proceso valorando distintas posibilidades operacionales.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### ***3.1. Características fundamentales del Sistema Termoenergético Azucarero (STEA) de la Empresa Siboney.***

El área de extracción está formada por 2 cuchillas y niveladoras, así como por cuatro molinos accionados por dos motores eléctricos de 400 y 500 kW de potencia respectivamente. En la generación de vapor interviene una caldera RETAL con una capacidad máxima de generación de 55 toneladas de vapor por hora, esta trabaja con bagazo y fueron sustituidos la fusilería y los domos para posibilitar obtener un vapor de mayor calidad y elevar los parámetros de operación de la misma en el escape a 18,96 kg/cm<sup>2</sup> de presión y 390 °C de temperatura; además de disminuir el consumo específico de vapor de los turbos y lograr el balance energético de la fábrica.

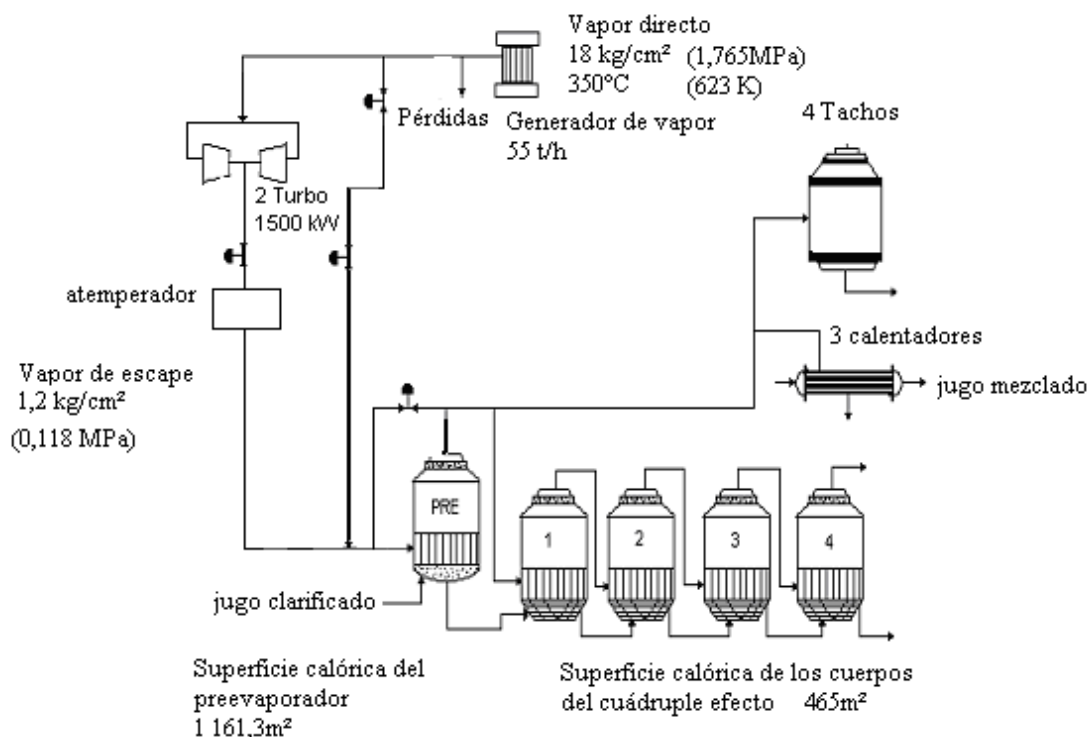
La planta eléctrica cuenta con dos turbogeneradores de 1 500 kW de potencia, consumiendo vapor de alta presión procedente de la caldera entre 14 - 18 kg/cm<sup>2</sup> (1,765 MPa) y expulsando un vapor de 1,1 - 1,2 kg/cm<sup>2</sup>; al contar con 2 turbogeneradores se produce un excedente de electricidad que puede ser vendido al Sistema Energético Nacional (SEN), debido a que se generan 3 000 kW y solo el central consume 1 600 kW. Además esta combinación garantiza la demanda de vapor de escape del nuevo preevaporador (llamado también Pauly o Celda de vapor) instalado, pues anteriormente, solo existía un turbogenerador de 1 500 kW, provocando que no se contara con suficiente vapor de escape y fuera necesaria la compra de electricidad por parte del central.

El área de evaporación está compuesta por un preevaporador de 1 161,29 m<sup>2</sup> (existía uno de 696,77 m<sup>2</sup> que fue sustituido por el actual); con la utilización de los 2 motores eléctricos la molienda debe ser más eficiente y se planifica aumentar la molienda de 1 840 t/día a 2 300 t/día (200 000 @/día); y cuenta con cuatro vasos (cuádruple efecto) de 464,51 m<sup>2</sup> cada uno. El vapor secundario o vegetal generado por el preevaporador es consumido por los tres calentadores de jugo mezclado, con un pase por la coraza y 2 para los tubos (marca WEBRE) de 406 mm de diámetro, 26 tubos por pase y 6 pases, de tres cuerpos cada uno conectados en serie (uno primario, un secundario y un rectificador), el cuádruple efecto y los 4 tachos de 3,35 m de diámetro con superficie calórica de 157,94 m<sup>2</sup> y capacidad útil de 23 m<sup>3</sup>; ocurriendo una reducción en el vapor de alimentación a estos últimos de 0,84 a 0,56 kg/cm<sup>2</sup>. En caso de que el vapor secundario no sea suficiente, se reduce de la línea de alta presión para satisfacer el consumo de estos equipos. El vapor sobrante es agotado por dos condensadores instalados en la línea de alimentación de los tachos (se utiliza el agua del enfriadero para realizar el intercambio de calor en el proceso de condensación del vapor) y el condensado es aprovechado como agua de alimentación a la caldera.

Están previstas modificaciones relacionadas con el cambio del clarificador existente por uno BTR, previendo el futuro incremento de la molienda, además del mal estado en que se encuentra el actual; la sustitución del filtro rotatorio OLIVER por uno RETO de 3,05 x 6,09 m, igualmente por el aumento de la molienda; así como el montaje de una planta de tratamiento de agua, necesaria, según las normas, debido al incremento de la presión en el generador de vapor. Es necesario destacar que los equipos, estructuras y materiales

en general utilizados en las modificaciones (realizadas o por ejecutar) son obtenidos de los ingenios desmontados según la tarea Álvaro Reynoso, por lo que serán adquiridos con un bajo costo y en moneda nacional.

En la figura 1 se observa el esquema termoenergético simplificado del central.



**Figura 1.** Descripción del sistema termoenergético

### 3.2. Evaluación del STEA sin y con extracción del Jugo Secundario. Propuesta de Variantes.

Se realiza el estudio de nuevas posibilidades de fuentes de materias primas para la diversificación al llevar a cabo la extracción o desvío del Jugo Secundario, lo que trae como consecuencia cambios operacionales en el esquema termoenergético, por lo que se hace necesaria la evaluación del sistema. Para esto se utilizó el simulador TERMOAZUCAR V4.0.3 y se ejecuta en las siguientes condiciones:

1. Producción de azúcar crudo a partir del jugo mezclado, con el esquema tradicional, (160 000 @/día) (CB).
2. Producción de azúcar crudo a partir de los jugos primarios, considerando la extracción del Jugo Secundario para la diversificación (CBJS).
3. Incremento de la molienda de 160 000 @/día a 200 000 @/día, trabajando con el esquema tradicional (V1).
4. Variante anterior, considerando la extracción del Jugo Secundario (V1JS).
5. Molienda de 200 000 @/día, con el uso de 2 calentadores para el Jugo Mezclado, consumiendo el primero vapor de la extracción del primer vaso del cuádruple, y

el segundo calentador, utilizando vapor del Preevaporador de 1 161,3 m<sup>2</sup>, dejando 1 calentador para Jugo Claro (calentando con vapor de escape). Se cuenta con los 5 calentadores (V2).

La información necesaria para evaluar el sistema se tomó de la siguiente forma: a) en la sala de control del central: el flujo de caña molida horaria, el brix de las diferentes corrientes, así como el tiempo operativo real, y en algunos de los equipos b) las temperaturas de entrada y salida de corrientes de jugo, y las presiones del vapor. A la muestra seleccionada se le determina la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación, para validar su calidad.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, en las tablas 1 y 2 se muestran algunos resultados de los indicadores más importantes para el calentador primario y el preevaporador en cada caso analizado.

**Tabla 1.** Resultados más importantes de los parámetros en el Primer Calentador para cada caso

<i>Parámetros</i>	<i>Unidades</i>	<i>CB</i>	<i>CB<sub>JS</sub></i>	<i>VI</i>	<i>VI<sub>JS</sub></i>	<i>V2</i>
<i>Velocidad del jugo</i>	pie/s	3,10	2,27	5,10	3,88	4,10
	m/s	0,94	0,69	1,55	1,18	1,25
<i>Efectividad</i>	Fracción	0,20	0,20	0,20	0,20	0,35
<i>Dif. Temp. entrada</i>	°F	134,99	134,99	134,99	134,99	127,59
	K	74,99	74,99	74,99	74,99	70,88
<i>Dif. Temp. salida</i>	°F	107,99	107,99	107,99	107,99	82,59
	K	59,99	59,99	59,99	59,99	45,88

De los resultados anteriores, que solo incluyen algunos de los parámetros más importantes, puede observarse que el comportamiento de la velocidad del jugo en los calentadores primarios para el (CB) y (CB<sub>JS</sub>) está muy baja con respecto a la norma establecida, (1,5 – 2 m/s; según /13/), la efectividad de la operación es baja, debe oscilar (0,6 – 0,9) y la diferencia de temperatura en ambos cabezales es muy elevada, debiendo encontrarse entre 10 y 15 K en el frío y en el caliente entre 20 y 30 K.

Al resolverse las variantes, la velocidad del jugo se mantiene dentro del rango en la (V) y se acerca más al límite inferior en la (V<sub>JS</sub>), presentando todavía una baja efectividad y alta diferencia de temperatura.

**Tabla 2.** Resultados más importantes de los parámetros en el Preevaporador para cada caso

<i>Parámetros</i>	<i>Unidades</i>	<i>CB</i>	<i>CB<sub>JS</sub></i>	<i>VI</i>	<i>VI<sub>JS</sub></i>	<i>V2</i>
<i>Tasa evaporación.</i>	lb./h pie <sup>2</sup>	3,52	2,14	3,84	2,88	4,4078
	kg./s m <sup>2</sup>	0,0048	0,0029	0,0052	0,0039	0,0060
<i>Economía</i>	Fracción	0,83	0,82	0,82	0,82	0,88
<i>Coef. TC</i>	BTU/h. Fpie <sup>2</sup>	426,43	270,37	469,98	352,49	225,56
	W/m <sup>2</sup> K	2421,38	1754,23	2668,68	2001,53	1280,81

De igual forma se obtuvieron los resultados para el resto de los equipos (1 calentador secundario y 1 rectificador, quedando dos de reserva en la empresa; así como del cuádruple efecto) y se observa que al aumentar la molienda, mejoran de forma general tanto la velocidad en los calentadores como las tasas de evaporación en evaporadores, encontrándose en rango ambos parámetros prácticamente en todos los casos, excepto el Pre, aunque las tasas de evaporación están cercanas al límite inferior, no así las velocidades en los calentadores. Estos parámetros disminuyen al extraer el Jugo Secundario, pero siempre con un comportamiento mejor en los calentadores y solo toma valores ligeramente menores en las tasas de evaporación comparadas con las del CB. Todo lo anterior indica que es favorable el aumento de la molienda.

Además puede notarse como al ejecutar la Variante 2 mejora de forma general el funcionamiento del STEA, en cuanto a efectividad y diferencia de temperaturas en los cabezales de los calentadores y las tasas de evaporación del conjunto pre-múltiple efecto, así como la economía del pre; o sea que se realiza una mejor explotación y utilización del equipamiento correspondiente a esta área, sin que implique en ello inversión alguna. Debe realizarse posteriormente el estudio del comportamiento del STEA al extraer el Jugo Secundario en esta última variante para poder realizar el análisis general más completo.

**Tabla 3.** Resultados de los Flujos de Caja Neto (FCN) para los cinco casos

<i>Indicador</i>	<i>CB (ton/a)</i>	<i>CB<sub>JS</sub> (ton/a)</i>	<i>V (ton/a)</i>	<i>V<sub>JS</sub> (ton/a)</i>	<i>V2 (ton/a)</i>	<i>Precio (\$/ton)</i>
<i>Azúcar Cr.</i>	20 668,91	19 798,55	25 836,07	19 376,98	27 037,36	678,39
<i>Miel F.</i>	5 986,99	2 636,97	7 484,15	5 613,95	9 438,68	60
<i>Bagazo S.</i>	16 857,27	16 857,27	33 031,01	36 879,07	12 563,9	20
<i>Cachaza</i>	5 520	4 140	6 840	5 140	6 840	2
<i>Total Ing. (\$/año)</i>	15 089034	14 294782	19 010282	14 589848	19 533153	-
<i>Costo Prod. Azúc. (\$/año)</i>	20 668,91	19 798,55	25 836,07	19 376,98	27 037,36	520
<i>Total Egr. (\$/año)</i>	10 747833	10 295246	13 434756	10 076029	14 059427	-
<i>FCN (\$/año)</i>	4 341201	3 999535	5 575526	4 513818	5 473726	-

Se obtienen valores satisfactorios de Flujo de Caja Neto para la empresa en todos los casos, notándose el respectivo incremento en las variantes, lo cual es muy positivo. Estos resultados se deben a que se obtiene una gran cantidad de productos (miel, azúcar, electricidad, entre otros) y aumenta la ganancia. Los mismos dan valores que apoyan la posibilidad del desvío del Jugo Secundario para la diversificación, aun cuando no están incluidas las ganancias que reportaría este desvío en la producción de Alimento Animal y los gastos correspondientes al costo de la Planta de Tratamiento de Residuales.

La cachaza que se obtiene en el proceso de clarificación no se considera un residuo contaminante, ya que es utilizada como fertilizante para 14 agropónicos pertenecientes a la industria. El bagazo obtenido en los molinos, recibe un buen aprovechamiento, ya que es utilizado como combustible en las calderas para la generación de energía necesaria para el proceso y para la venta de la misma al SEN, el mismo produce un



impacto ambiental favorable pues es una biomasa de regeneración anual, mucho menos contaminante que los carburantes fósiles comúnmente utilizados, pues los gases emitidos son eliminados por un ciclo natural, además su excedente se utiliza como materia prima en la producción de tableros, papeles, Alimento Animal, etc. El jugo de los filtros es incorporado al proceso y no produce afectación alguna al Medio Ambiente.

## 5. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos apoyan la posibilidad del desvío del Jugo Secundario para la diversificación y la operación flexible de la empresa.
2. El aumento de la molienda mejora de forma general el funcionamiento de los equipos del STEA, aun con la extracción del Jugo Secundario.
3. Se obtiene un mejor funcionamiento del STEA al realizar los cambios correspondientes a la Variante 2.
4. En la Empresa Siboney el desvío del azúcar en el Jugo Secundario sería de un 15 %, pudiendo revertirse en el agotamiento de las mieles, debido a la pureza de los productos tratados, como lo plantea la literatura.
5. Las variantes propuestas incrementan el flujo de bagazo sobrante, lo cual ofrece mayores posibilidades para la diversificación.

## REFERENCIAS

1. AOO: Viabilidad y alternativa económica. <http://www.cubaminrex.cu/mirarcuba/economía/viabilidadalternativaeconómica>. Consultado noviembre 2008
2. GARRITZ A (1995): Perfil del ingeniero químico en el siglo XXI, La Habana, Ed. Educación Química
3. HONIG P (1987): Principios de tecnología azucarera, La Habana, Ed. Revolucionaria, Tomo III: 46-49, pp. 84-96
4. HUGOT E (1986): Manual para ingenieros azucareros, Ciudad de la Habana, Ed. Revolucionaria: 307-318, pp. 346-356
5. Introducción a la simulación. Aplicaciones: <http://www.decisionware-ltd.com/eventos/resumencct/> Consultado noviembre 2008
6. Introducción a la simulación. Simuladores. La simulación digital: <http://www.decisionware-ltd.com/foros/>. Consultado diciembre 2008
7. MNH: La reestructuración del sistema empresarial en Cuba y su ubicación en las tendencias internacionales <http://www.yorku.ca/CUBA.LIBRO/> Consultado octubre 2008
8. NÁPOLES Martha (1998): Aplicación de la simulación en centrales azucareros de la provincia de Camagüey, *Revista electrónica de la Universidad de Camagüey*, <ftp://facquímica>
9. NÁPOLES Martha (2004): Análisis del impacto de la incertidumbre de los balances de masa y energía de las fábricas de azúcar en los estudios previos inversionistas. Tesis para la obtención del grado científico de doctor en ciencias técnicas.- Camagüey: Universidad de Camagüey

10. PÉREZ DE ALEJO H. y col. (2008): Simulador de Sistemas Termoenergéticos Azucareros (STA) Versión 4.0.3: Valdés Corrales Yurisnel; Pérez Ones Osney; Suárez López Juan C; Perez González Alain; Gandol Álvarez Arnaldo; Goza León Osvaldo. y González González, Yoandrys; Situación Actual y Perspectivas, Taller GEPROY-ATAC, Habana, junio 11 de 2008
11. PEREZ DE ALEJO H (1979): The simulation of a sugar factory, *International Sugar Journal*: pp. 67-91
12. RANADE S (1997): Achieve Model Profits. *Chemical Engineering Progress*: pp. 46-51
13. VALDÉS E (1988): La eliminación diferente de cogollos y sus efectos en el proceso azucarero, *Centro Azúcar*
14. VIERA R y col. (1988): Modelación matemática para ingenieros químicos, Ciudad de La Habana, Ed. Pueblo y Educación: pp. 164-167