

25

Fecha de presentación: enero, 2017

Fecha de aceptación: febrero, 2017

Fecha de publicación: abril, 2017

PROPUESTAS DE MEJORA

PARA INCREMENTAR LA ENTREGA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRAL ELPIDIO GÓMEZ

IMPROVEMENT PROPOSAL FOR INCREASING ELECTRICITY DELIVERY IN THE SUGAR MILL FACTORY ELPIDIO GÓMEZ

Ing. Reinier Jiménez Borges¹

E-mail: rjborges@ucf.edu.cu

MSc. Junior Lorenzo Llanes²

E-mail: junior@quimica.cujae.edu.cu

Dr. C. José Pedro Monteagudo Yanes¹

E-mail: jpmyanes@ucf.edu.cu

¹ Universidad de Cienfuegos. Cuba.

² Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” Cuba.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Jiménez Borges, R., Lorenzo Llanes, J., & Monteagudo Yanes, J. P. (2017). Propuestas de mejora para incrementar la entrega de energía eléctrica en el Central Elpidio Gómez. *Universidad y Sociedad*, 9(2), 182-186. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

En el trabajo se estudia el esquema térmico del central Elpidio Gómez perteneciente a la provincia de Cienfuegos. Se confeccionaron los diagramas de flujo de proceso y flujo de información para su posterior simulación en el software Termoazucar (STA 4.1). Con el auxilio del software de referencia, la simulación del caso de estudio permitió determinar las oportunidades de mejoras que presenta este esquema térmico. La implementación de estas en la simulación de un caso mejorado proporcionó conocer la posibilidad de incremento de energía eléctrica vendida al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) para el central estudiado, esta es de un 12 % manteniendo para este caso un mismo nivel de molienda.

Palabras clave: Esquemas energéticos, simulación, electricidad, rendimiento.

ABSTRACT

In the work the thermal diagram of the sugar mill factory Elpidio Gómez belonging to the Cienfuegos Province is studied. Process flow graph and information flow were made for their posterior simulation in the software Termoazucar (STA 4.1). With the help of the reference software, the simulation of the study allowed to determine the improvement opportunities which this thermal scheme provides. Their implementation in the simulation of an improved case provided knowledge on the possibility of increment of sold electricity to the Electro-energetic National System (ENS) for the studied sugar mill factory, which is 12% maintaining for this case a similar grinding level.

Keywords: Energy diagram, simulation, electricity, performance.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera es un perfil importantísimo para la economía cubana ya que la producción de azúcar de caña ha sido un resultado satisfactorio de un arduo y sólido trabajo agrícola e industrial en la búsqueda de mayores producciones y mejor calidad al menor costo posible. El bagazo de caña, biomasa residual del proceso de extracción del jugo, posee un excelente valor calórico y constituye un combustible renovable que quemado en los generadores de vapor produce el vapor que mueve las turbinas de contrapresión para el accionamiento de los generadores eléctricos.

Los sistemas de cogeneración empezaron con modelos a pequeña escala, que proveían la energía eléctrica necesaria para sus procesos, sin embargo, con el tiempo el aumento siempre creciente de la demanda energética interna obligó a las fábricas a reforzar sus sistemas de producción de vapor y electricidad. Además, los menores costos de equipos de transmisión de potencia, las consideraciones de seguridad energética y la creciente preocupación ambiental motivaron a la industria azucarera a entrar al mercado de energía descentralizada, logrando hacer resurgir el interés en la generación de energía con combustible limpio y renovable como lo es la biomasa a nivel mundial.

El vapor de escape de las turbinas de contrapresión se destina al proceso de fabricación de azúcar, el condensado caliente no contaminado salido del área de fabricación, se recupera y emplea como agua de alimentación en los generadores de vapor, cierra un ciclo de muy alta eficiencia. La energía eléctrica que se genera a partir de biomasa cañera o forestal como combustible, deja de generarse con combustible fósil, disminuye el consumo de este importante portador energético y reduce la contaminación ambiental (Marín, 2012; Pérez Ramos, González Cortés & Espinosa Pedraja, 2014; Dias, Cavalett, Filho & Bonomi, 2014; Alves, 2015).

La ineficiencia que aún prevalecen en la explotación de los sistemas energéticos en la industria azucarera, así como la no estabilidad en el aprovechamiento de la capacidad instalada y la obsolescencia tecnológica de la base energética de la industria, entre otros factores, lleva al incremento de los consumos y costos energéticos y al no aprovechamiento de las potencialidades para la generación y entrega de electricidad al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) (Acosta, 2013; Amaya, 2014; Almazán del Olmo, Torres Fernández, Silva Lora & Escobar Palacio, 2012).

Entre el año 2002 y el 2005 en Cuba se redujo la capacidad potencial instalada a 478,5 MW, localizada en 61 centrales azucareros. La provincia de Cienfuegos cuenta

en la actualidad con 5 centrales, azucareros y de ellos solo 4 operaron en la zafra pasada. El estudio que se presenta, está orientado a proponer alternativas de mejoras en el proceso y esquema térmico del central Elpidio Gómez con el fin de incrementar las ventas de energía eléctrica al SEN.

DESARROLLO

El Central Elpidio Gómez cuenta con una molida potencial de caña de 2 875 t/d (250 000 @/día). El tándem, las bombas de impulsión de jugos, mieles y de condensados son accionados por motores eléctricos. El área de generación de vapor posee tres generadores de vapor (GV) EVELMA, dos modernizadas con una capacidad de 9,72 kg/s y una de 5,56 kg/s, estas tributan vapor a una presión de 1 824 kPa y 623 K a la línea de vapor directo de la planta eléctrica, donde hay instalados dos turbogeneradores de procedencia alemana de 3 000 kW de potencia a 6 300 Volts, entregando el vapor a la línea de escape de 204 kPa y 402 K.

En el área de calentamiento de jugo hay instalados 4 calentadores WEBRE de 43 tubos por pases, existen 13 taponeados por pases por lo que realmente son 30 tubos por pases, con tubos de 32 X 1.5 X 4 900 mm, el calentamiento se realiza de la siguiente forma:

- Primer calentamiento se realiza en un calentador líquido a líquido.
- Calentamiento primario con vapor de la extracción del primer vaso del cuádruple efecto.
- Calentamiento rectificador con vapor de la extracción del pre-evaporador.
- Calentamiento de jugo claro.

El área de evaporación tiene instalado dos pre-evaporadores con una superficie calórica cada uno de 10 800 pie² (1 003 m²), que se alimentan de vapor de escape de la línea de 204 kPa y envían su evaporación a la línea de 135 kPa de donde se alimentan la etapa de rectificación de calentamiento del jugo y los seis tachos. El quintuple efecto posee una superficie calórica de 29 000 pie² (2 694 m²) que trabaja con vapor de escape y posee extracción del primer vaso (que en realidad es el primer vaso y el segundo) a la etapa de calentamiento primario del jugo mezclado.

Existen dos válvulas reductoras de vapor una de 1 824 kPa a 204 kPa y la otra de 204 kPa a 144 kPa, para el completamiento de las demandas de vapor de los diferentes consumidores

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de proceso (DFP) del esquema térmico del central.

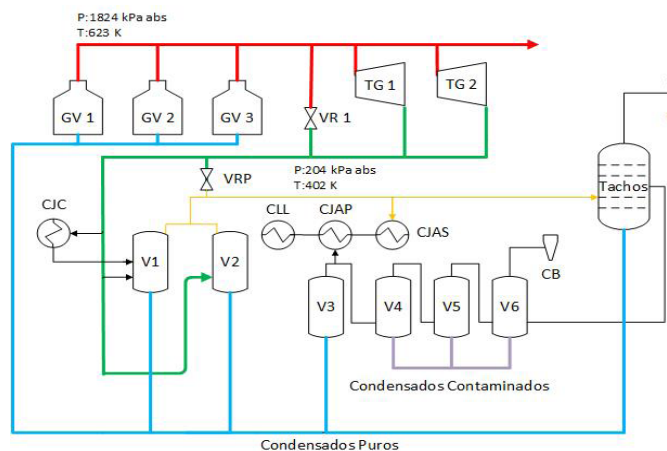


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso (DFP) del CAI Elpidio Gómez.

Fuente: Elaboración propia.

Simulación mediante el Termoazúcar (STA 4.1)

El STA versión 4.1 es un simulador cuyo objetivo es facilitar la evaluación de los sistemas termo-energéticos (STE) en fábricas de azúcar crudo. Presenta modelos en su mayoría del tipo determinístico y donde se asumen condiciones de estado estacionario. Otras características importantes son la gran flexibilidad para representar integralmente los distintos STE, incorporar nuevos módulos de cálculo y la posibilidad de manejar gran cantidad de información sobre las corrientes y los equipos.

La información inicial requerida consiste en el flujo másico, composición, temperatura y presión de las corrientes de entrada y reciclo, datos específicos de los equipos simulados y el orden de cálculo de los módulos incluidos en lazos iterativos de cálculo. Están disponibles correlaciones estadísticas para la evaluación de las propiedades físicas y termodinámicas de las corrientes de jugo, meladura, mieles, azúcar (entalpía, densidad, capacidad calorífica y elevación del punto de ebullición), agua y vapor de agua (tablas de vapor).

Los módulos de cálculo permiten simular el comportamiento, fundamentalmente térmico, de calentadores, evaporadores, la estación de tachos, cristalizadores y centrifugas, turbogeneradores de vapor de contrapresión y extracción-condensación, atemperadores, generadores de vapor y tanques. Los resultados principales corresponden a la solución detallada de los balances de masa y energía. Para facilitar la evaluación del comportamiento de los equipos se determinan Indicadores: coeficientes de transferencia de calor en calentadores y vasos

evaporadores, tasas de evaporación y economías, rendimiento relativo interno de turbogeneradores.

El diagrama de flujo de procesos del central Elpidio Gómez, facilita confeccionar el diagrama de flujo de información (DFI) para su posterior análisis. El DFI del central caso de estudio está dado en la figura 2.

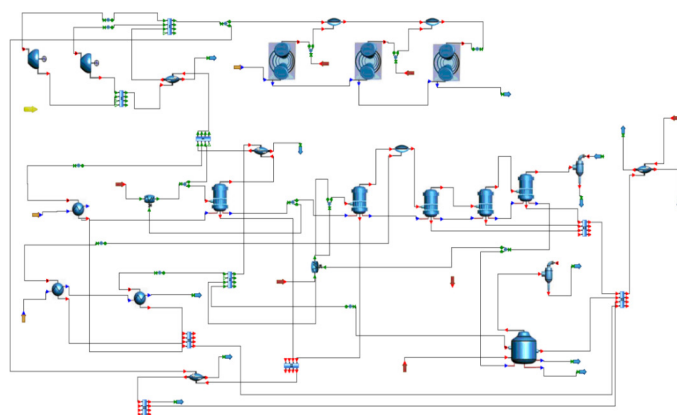


Figura 2. Diagrama de flujo de información (DFI) del CAI Elpidio Gómez.

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el software STA 4.1 se simularán dos casos fundamentales, el primero un caso base el cual representa la situación actual del STE objeto de estudio y un caso mejorado a partir del análisis y las propuestas de modificaciones elaboradas. Los resultados de la simulación para el caso base del central se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Reporte de indicadores globales para el caso base del central Elpidio Gómez.

Parámetros	Valor	Unidad
Bagazo sobrante % disponible	33,98	%
Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	40,52	%
Vapor total expulsado a la atmósfera % flujo másico caña	19,82	%
Vapor directo a escape por válvula reductora % flujo másico de caña	5,3	%
Producción eléctrica específica de la fábrica	43,39	kWh/t caña
Demanda eléctrica específica de la fábrica	31,78	kWh/t caña
Electricidad vendida al SEN	11,62	kWh/t caña

A partir de los resultados presentados, en condiciones normales de operación del ingenio es necesario disponer de cierta cantidad de bagazo sobrante para operar durante paradas de la molienda. En Cuba el sobrante de

bagazo se comporta en un intervalo del 15–30 % (Pérez de Alejo, et al., 2009), situándose este valor además entre 25-35 t/100 t de caña (Rein, 2006). Por otra parte, el consumo vapor de la fábrica se encuentra en el intervalo de 35–48 % (Pérez de Alejo, Pérez & Corrales, 2009), mientras que comúnmente puede oscilar entre 40 y 60 t de vapor/100 t de caña (Rein, 2006), ya que este depende básicamente de:

La cantidad de electricidad a generar pues es económicamente decisivo evitar la compra de electricidad del SEN y de ser posible vender electricidad.

- Si se suministra vapor de alta presión a fábricas o producciones “anexas”.
- Estabilidad en el consumo promedio de vapor de baja presión en los tachos.
- La potencia instalada de los turbogeneradores, los equipos de mayor potencia tienen menor consumo específico.
- Si se expulsa vapor a la atmósfera.

Por ninguna razón se debe expulsar vapor a la atmósfera ya que este es energía y agua que se pierde en el proceso. Para evitar las fluctuaciones en la estación de tachos es recomendable pasar vapor directo por la reductora de alta, es más ventajoso económicamente que compensar estas fluctuaciones en los turbogeneradores. Sin embargo, evita aprovechar al máximo la capacidad de los turbogeneradores de realizar trabajo. La electricidad vendida al SEN depende en su mayoría de la capacidad instalada y de la demanda de electricidad, se puede vender más electricidad en la medida que se pueda aprovechar más la capacidad nominal instalada y se disminuya la demanda eléctrica, reduciendo equipos operando al vacío, equipos sobredimensionados, etc.

El análisis de los indicadores obtenidos, permitió elaborar las propuestas de mejoras dadas a continuación, con el fin de entregar más energía eléctrica al SEN.

1. Aumentar la carga de los turbogeneradores para disminuir al mínimo posible el flujo de vapor directo por reductora, para aprovechar al máximo la capacidad de realizar trabajo.
2. Regular la concentración de jugo en los dos primeros vasos de los evaporadores.
3. Aumentar el Brix en el último vaso, el de la meladura, dado que ello garantiza un menor consumo de vapor en la estación de tachos.
4. Disminuir el consumo de agua tecnológica en tachos.

La Tabla 2 muestra las modificaciones del caso base con relación al caso mejorado.

Tabla 2. Modificaciones realizadas al caso base del central Elpidio Gómez.

Nombre		Caso Base	C a s o Mejorado	Unidad
Brix Evaporadores	Vaso 1	19.8	22.39	0Brix
	Vaso 2	25.7	29.70	0Brix
	Vaso 3	31.6	33.00	0Brix
	Vaso 4	41.7	45.00	0Brix
	Vaso 5	63.8	65	0Brix
Generación Turbogeneradores	Turbo 1	2800	3000	kW
	Turbo 2	2400	3000	kW
Consumo agua tecnológica en tachos		5	3	%

La simulación del caso mejorado donde estaban incluidas las propuestas antes mencionadas mostró que existía un GV del tipo EVELMA trabajando solo al 2 % de su capacidad, por lo que en el DFI propuesto se representan solamente para la simulación dos de estos. Esta modificación está representada en la figura 3.

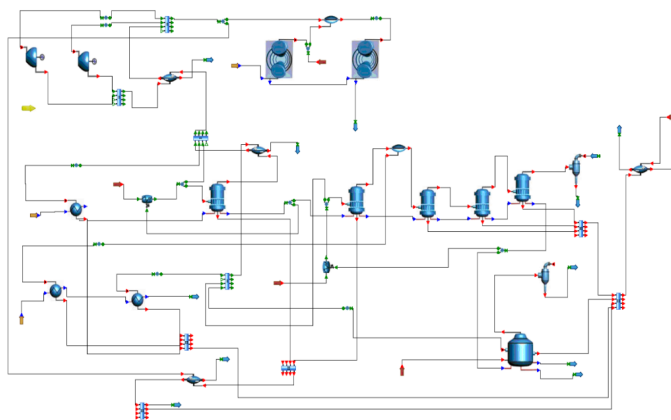


Figura 3. Diagrama de Flujo de Información (DFI) del caso mejorado.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la simulación del caso mejorado perteneciente al central Elpidio Gómez (Tabla 3) mostraron que el bagazo sobrante aumentó de 33,98 % a 38,7 % debido a que se está produciendo vapor, pero con mayor eficiencia, el vapor total expulsado a la atmósfera fue eliminado por completo, la producción eléctrica específica aumentó en un 4 % producto al aumento de los turbos y se aumentó la electricidad vendida en un 12 %.

Tabla 3. Reporte de indicadores globales para el caso mejorado.

Parámetros	Valor	Unidad
Bagazo sobrante % disponible	38,7	%
Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	42,1	%
Vapor total expulsado a la atmósfera % flujo másico caña	0	%
Vapor directo a escape por válvula reductora % flujo másico de caña	3,2	%
Producción eléctrica específica de la fábrica	45,15	kWh/t caña
Demanda eléctrica específica de la fábrica	31,8	kWh/t caña
Electricidad vendida al SEN	13,2	kWh/t caña

CONCLUSIONES

La simulación en el software Termoazúcar (STA 4.1) del caso base y mejorado favoreció conocer las mejoras del esquema térmico del central estudiado para generar excedentes de electricidad para la venta al SEN.

Las oportunidades fundamentales de mejoras obtenidas se resumen en: incrementar la carga de los turbogeneradores para reducir el flujo de vapor directo por reductora; disminuir la concentración de los jugos a la salida de los dos primeros vasos de los evaporadores y aumentar el Brix de la meladura al entrar en la estación de tachos.

La implementación de las mejoras propuestas puede ayudar a incrementar en un 12 % el bagazo sobrante en el central; así como lograr un incremento en la energía vendida al SEN de un 12%

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, K. A. F. (2013). Evaluación técnico-económica de alternativas de adaptación tecnológicas para biorrefinerías en una industria de la caña de azúcar. (Tesis de Diploma). Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

Almazán del Olmo, O., Torres Fernández, A., Silva Lora, E. E., & Escobar Palacio, J. C. (2012). Apuntes para una estrategia en el desarrollo de la energética azucarera. *Revistas Anales de la Academia de Ciencia de Cuba*, 2(2). Recuperado de <http://www.revistaccuba.cu/index.php/acc/article/view/129/108>

Alves, G. H. (2015). Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel. *Energy*, 91, 751-757.

Amaya, D. S. (2014). Análisis y optimización exergética de una planta de cogeneración para la industria azucarera. (Tesis de grado). Pereira: Universidad tecnológica de Pereira.

Dias, M. O. S., Cavalett, O., Filho, R. M., & Bonomi, A. (2014). Integrated First and Second Generation Ethanol Production from Sugarcane. *Chemical Engineering Transactions*, 37, 445-450. Recuperado de <http://www.aidic.it/cet/14/37/075.pdf>

Marín, J. R. U. (2012). Estudio histórico -tecnológico de la producción de azúcar de caña: Aplicación al análisis desde la ingeniería industrial y la ingeniería gráfica de las máquinas de vapor Fives-Lille y Mirrlees-Watson en la Costa Granadina. (Tesis Doctoral). Jaén: Universidad de Jaén.

Pérez de Alejo, H., Pérez, G. A., & Corrales, V. Y. (2009). *El análisis de procesos y empleo adecuado de la energía en la producción de azúcar crudo y electricidad en ingenios cubanos*. La Habana: Editorial Universitaria.

Pérez Ramos, L. D., González Cortés, M., & Espinosa Pedraja, R. (2014). Integración de procesos y análisis de cogeneración en las producciones de azúcar y alcohol. *Centro Azucar*, 41(4), 50-58. Recuperado de <http://centroazucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2014/4/6.pdf>

Reins, P. (2006). *Cane Sugar Engineering*. Berlin: Batens.

UCI-CUJAE. (2012). Ayuda del Software TERMO AZUCAR (STA) (Version 4.1). La Habana: UCI-CUJAE.