

## **POTENCIALIDADES DE ENTREGA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN DOS CENTRALES AZUCAREROS DE LA PROVINCIA DE CIENFUEGOS**

### **POTENTIALITIES OF ELECTRIC ENERGY DELIVERY IN TWO SUGAR MILLS OF CIENFUEGOS PROVINCE**

*Reinier Jiménez Borges<sup>1\*</sup>, Junior Lorenzo Llanes<sup>2</sup>, José Pedro Monteagudo Yanes<sup>1</sup>,  
Héctor Pérez de Alejo Victoria<sup>2</sup>, Rafael Álvarez Delgado<sup>1</sup>  
y David Daniel Carreño Sarmiento<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEIMA). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cuatro Caminos Carretera a Rodas, km 3 ½, Cienfuegos, Cuba.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”, (CUJAE). Ave 114 #11901 e/Ciclavía y Rotonda, La Habana, Cuba.

Recibido: Septiembre 14, 2016; Revisado: Noviembre 30, 2016; Aceptado: Diciembre 20, 2016

#### **RESUMEN**

En el trabajo se analizan los esquemas termo-energéticos de los centrales “14 de Julio” y “Antonio Sánchez” pertenecientes a la provincia de Cienfuegos. En dichas empresas se elaboraron los diagramas de Flujo de Proceso y Flujo de Información para su posterior simulación en el software Termoazúcar (STA 4.1). Con el auxilio del software de referencia, la modelación del caso base en estos centrales permitió determinar las oportunidades de mejoras de los esquemas térmicos. La implementación de éstas en la modelación de los casos mejorados de estos ingenios facilitó conocer la posibilidad de incrementos de la energía eléctrica vendida al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) en un 16% en el central “14 de Julio” y de un 50% en el central “Antonio Sánchez” manteniendo ambos los mismos niveles de molienda.

**Palabras clave:** Esquemas energéticos, Simulación, Electricidad, Rendimiento

---

Copyright © 2017. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

---

\* Autor para la correspondencia: Reinier Jiménez, Email: [rjborges@ucf.edu.cu](mailto:rjborges@ucf.edu.cu)

## **ABSTRACT**

In this work the thermal-energetic schemes of the "14 de Julio" and "Antonio Sanchez" sugar mills belonging to the province of Cienfuegos are analyzed. In these enterprises Process Flow and Information Flow diagrams for its later simulation in the Termodinamica software (STA 4.1) were developed. With the help of reference software, base case modeling in these plants allowed to identify opportunities for improvement of thermal schemes. The implementation of them in the modeling of improved cases of these mills facilitated to be aware of the possibility of increases of 16% in the electricity sold to Electroenergetic National System (SEN) in the "14 de Julio" sugar mill and 50% in the "Antonio Sanchez" sugar mill keeping both the same levels of ground.

**Keywords:** Energy schemes, Simulation, Power, Performance

## **1. INTRODUCCIÓN**

La industria azucarera es privilegiada porque de la materia prima que procesa se obtiene, además del azúcar, el agua y el combustible necesarios para su operación.

El bagazo de caña, biomasa residual del proceso de extracción del jugo, posee un excelente valor calórico, y constituye un combustible renovable que incinerado en los generadores de vapor produce el vapor que mueve las turbinas de contrapresión para el accionamiento de los generadores eléctricos.

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, cerrando 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 disminuyendo el consumo de este importante portador energético y reduce la contaminación ambiental (Marín, 2012) (Ramos, 2014) (Dias, 2014) (Alves, 2015).

Las insuficiencias que aún prevalecen en la explotación de los sistemas energéticos en la industria azucarera, así como la inestabilidad en el aprovechamiento de la capacidad instalada, la obsolescencia tecnológica de la base energética de la industria, entre otros factores, lleva a la elevación 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) (Oscar Almazan del Olmo y col., 2012).

El proceso de restructuración de la industria azucarera experimentado en Cuba entre el año 2002 y el 2005 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 2014-2015. El estudio que se presenta, está orientado a proponer alternativas de mejoras en los procesos y esquemas térmicos de los centrales "14 de Julio" y Antonio Sánchez, con el fin de incrementar las ventas de energía eléctrica al SEN.

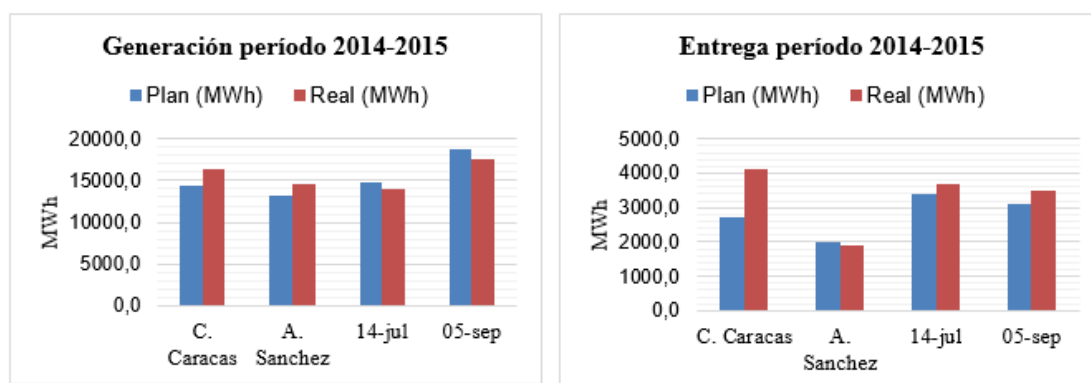
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Los centrales “14 de Julio” y “Antonio Sánchez” han presentado inestabilidad en la entrega de energía eléctrica al SEN en las zafras pasadas. La generación y entrega de energía eléctrica (plan y real) en la zafra 2014-2015 están dados en la figura 1.

El central “Antonio Sánchez” tuvo una generación eléctrica superior al plan, pero una entrega de energía eléctrica al SEN inferior a lo planificado. Ello es una muestra del elevado insumo de energía eléctrica que tiene ese ingenio.

El central “14 de Julio” si bien genera energía eléctrica inferior al plan, realiza una entrega al SEN superior a lo planificado, lo cual manifiesta las reservas existentes en ese ingenio para aportar energía eléctrica al SEN.

La determinación de las alternativas de mejoras en ambas industrias, parte de la simulación de los esquemas termo-energéticos de ambos centrales haciendo uso del software Termoazúcar (STA 4.1) idóneo para evaluar estos sistemas en fábricas de azúcar crudo, donde a partir del análisis de indicadores de desempeño industrial se puede comprobar el estado energético del esquema analizado (UCI-CUJAE, 2012).



**Figura 1.** Situación de la Zafra 2014-2015. Provincia Cienfuegos. Fuente. Elaboración propia.

El central “14 de Julio” cuenta con una molida potencial de caña de 3 000 t/día (265 000 @/día). El tándem, las bombas de impulsión de jugos, mieles y de condensados son accionados por motores eléctricos. La fábrica y las dependencias administrativas pueden satisfacer sus requerimientos energéticos con una potencia instalada de 4,5 MW.

El combustible usado en el área de generación de vapor es bagazo proveniente del tándem. La industria cuenta con tres generadores de vapor (GV) del tipo EVELMA, todos modificados con módulos de eficiencia y una capacidad instalada por GV de 35 t/h de vapor sobrecalentado a una presión de 1 720 kPa (18 kgf/cm<sup>2</sup>) y temperatura de 623.15 K (350 °C).

El área de generación eléctrica cuenta con dos turbogeneradores de contrapresión de 4 000 y 2 500 kW de potencia nominal respectivamente, el primero de ellos generalmente opera a 3 800 kW con relación a la capacidad nominal, mientras que el segundo lo hace a 1 600 kW.

El área de calentamiento del jugo está constituida por ocho calentadores tipo WEBRE, y un calentador de líquido a líquido el cual usa el condensado contaminado para elevar la temperatura del jugo alcalizado. Existen tres calentadores primarios que trabajan usando como agente de calentamiento el vapor de extracción de los evaporadores. Existen

además tres calentadores secundarios usando vapor de extracción como fluido de calentamiento, y un calentador de jugo claro que usa vapor de escape.

El área de evaporación está constituida por seis vasos evaporadores formando un quintuple efecto, donde el primer y segundo vaso señalado en la figura 2, forman el primer vaso del quintuple y son alimentados en paralelo con vapor de escape de los turbogeneradores, razón por la cual funciona como un solo vaso.

Las extracciones de vapor en los dos primeros vasos son empleadas en tachos, calentadores y por el tercer vaso evaporador, así cada vaso se alimenta del vapor producido por el vaso que le precede. El condensado obtenido en los tres primeros vasos es condensado puro, que se utiliza como agua de alimentación a los GV y el condensado de los últimos tres vasos es condensado contaminado.

La estación de tachos cuenta con seis tachos, estos son los últimos consumidores de vapor en el proceso de producción de la azúcar y con ellos se cierra el esquema térmico. El condensado obtenido aquí es puro por lo que es almacenado y reinsertado en el sistema como agua de alimentación para los generadores de vapor.

El central “Antonio Sánchez” cuenta con una molida potencial de 2 850 t/h (250 000 @/día). El área de generación de vapor posee dos GV tipo RETAL cada uno con una capacidad nominal de 60 t/h de vapor; una presión de vapor sobrecalentado de 2 070 kPa (20 kg/cm<sup>2</sup>) a una temperatura de 623,15 K (350 °C).

La industria posee dos turbogeneradores de contrapresión, uno con potencia de 4 000 kW operando normalmente a 3 000 kW y el otro de 2 500 kW, que opera a una potencia de 1 700 kW. Existe una válvula reductora que asume las fluctuaciones del consumo de vapor en el proceso para suplir las necesidades térmicas. En el escape de las turbinas de contrapresión y a la salida de la válvula reductora se obtiene el vapor para el proceso con presión de 266 kPa (2,7 kg/cm<sup>2</sup>) y temperatura 409 K (136 °C).

Los centrales en estudio presentan similar esquema térmico de proceso solo con la diferencia de que el central 14 de Julio presenta un generador de vapor adicional.

En la figura 2 se muestra el Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) idéntico en ambas industrias y que es el esquema base utilizado para el análisis.

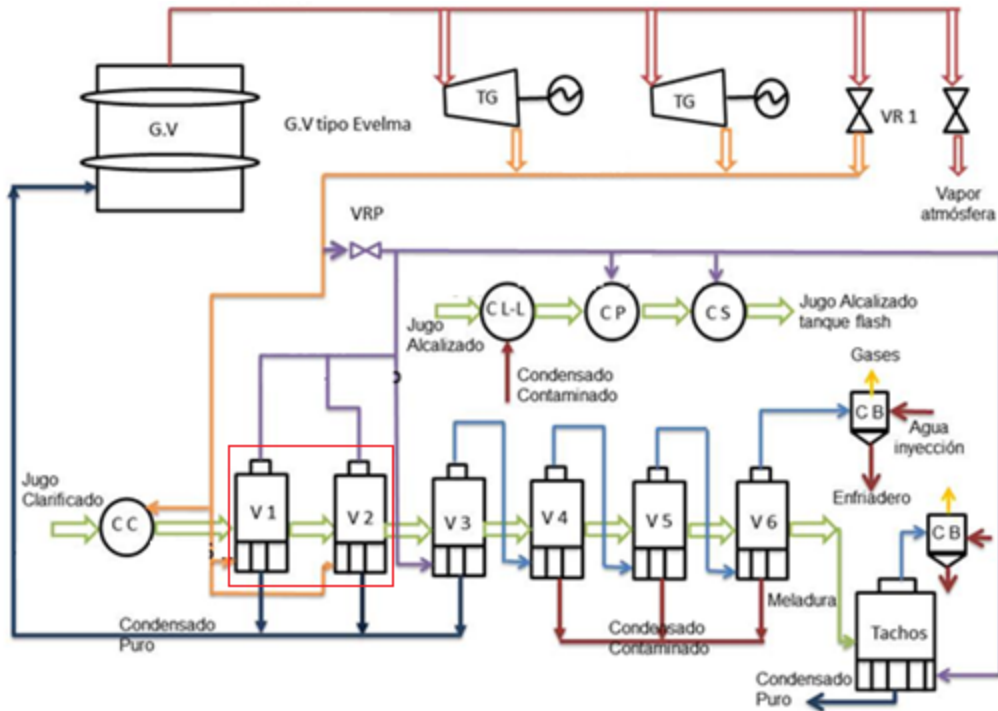


Figura 2. Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) utilizado en el análisis del caso base.

### 2.1 Simulación de los casos bases a partir del simulador Termoazúcar (STA 4.1)

Los diagramas de flujo de procesos de los centrales “14 de Julio” y “Antonio Sánchez”, posibilitaron confeccionar el Diagrama de Flujo de Información (DFI) de ambas industrias para su posterior análisis. La diferencia en el esquema térmico de los ingenios en estudio radica en la existencia de un GV adicional en el central 14 de Julio. El Diagrama de Flujo de Información (DFI) de las empresas estudiadas está dado en la figura 3.

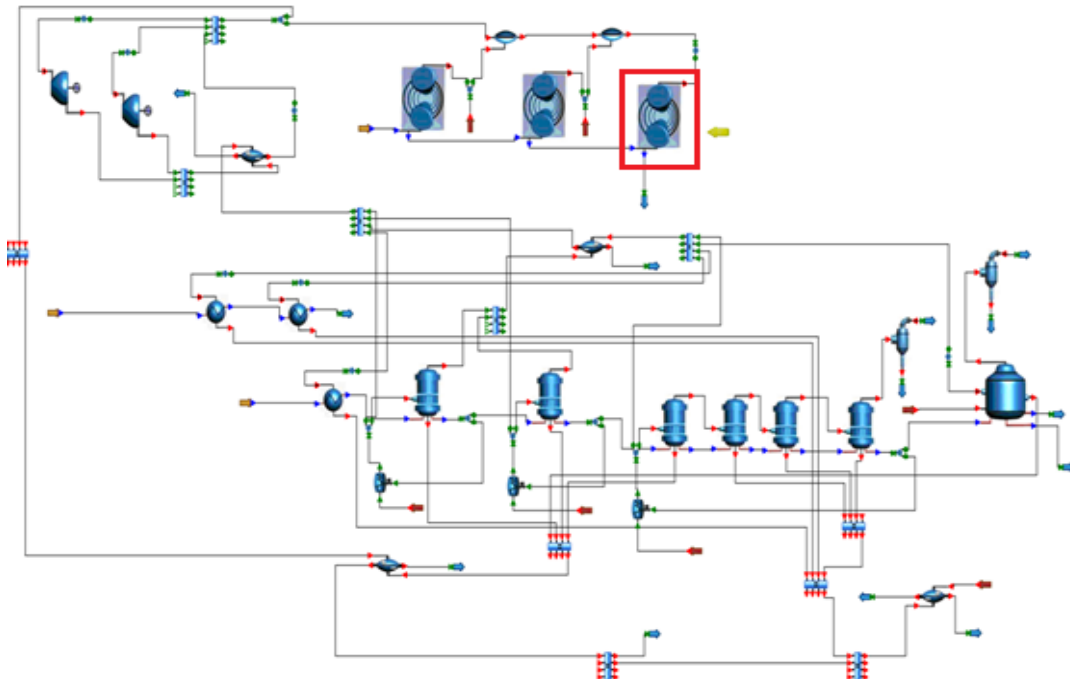


Figura 3. Diagrama de Flujo de Información (DFI) para el caso base de los centrales en estudio

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la simulación para el caso base del central 14 de Julio se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1.** Reporte de indicadores globales para el caso base del central 14 de Julio

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Bagazo sobrante % bagazo disponible	28,25	%
Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	46,84	%
Vapor total expulsado a la atmósfera % flujo másico caña	3,2	%
Vapor directo a escape por válvula reductora % flujo másico de caña	6,34	%
Producción eléctrica específica de la fábrica	43,14	kWh/t caña
Demanda eléctrica específica de la fábrica	29,01	kWh/t caña
Electricidad vendida al SEN	14,13	kWh/t caña

De acuerdo a 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, de hasta 2 ó 3 horas de duración. En Cuba el sobrante de bagazo se comporta en un intervalo del 15–30 % (Victoria, 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 % (Victoria, 2009), mientras que comúnmente puede oscilar entre 40 y 60 t de vapor/100 t de caña (Rein, 2006). Este depende fundamentalmente de la estabilidad en el consumo promedio de vapor de baja presión en los tachos, la potencia instalada de los turbogeneradores pues los equipos de mayor potencia tienen menor consumo específico y si se expulsa vapor a la atmósfera. (Victoria, 2009) (Rein, 2006). Por ninguna razón se debe de 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, pues 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 tabla 2 muestra el comportamiento de los indicadores del central “Antonio Sánchez”

**Tabla 2.** Reporte de indicadores globales para el caso base del central Antonio Sánchez

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Bagazo sobrante % disponible	25,56	%
Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	54,79	%
Vapor directo a escape por válvula reductora % flujo másico de caña	18,69	%
Vapor total expulsado a la atmósfera % flujo másico de caña	13,44	
Producción Eléctrica Específica de la Fábrica	31,92	kWh/t caña
Demanda Eléctrica Específica de la Fábrica	25,91	kWh/t caña
Electricidad vendida al SEN	6,01	kWh/t caña

Similar al comportamiento del central “14 de Julio” existe una alta disponibilidad de bagazo, pero el consumo de vapor en fábrica es aún mayor y además es muy elevado el por ciento de vapor expulsado a la atmósfera.

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

1. Regular la concentración del jugo a la salida en los dos primeros vasos de los evaporadores para disminuir al máximo posible el vapor expulsado a la atmósfera.
2. Aumentar el Brix de la meladura, dado que ello garantiza un menor consumo de vapor en la estación de tachos.

En las tablas 3 y 4 se muestran las modificaciones realizadas a los casos bases, correspondientes a la regulación del Brix en la estación de evaporación, así como al aumento de carga en los turbogeneradores.

**Tabla 3.** Modificaciones realizadas para el caso del central 14 de Julio

<i>Nombre</i>		<i>Caso Base</i>	<i>Caso Mejorado</i>	<i>Unidad</i>
Brix Evaporadores	Vaso 1	18,4	17,84	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 2	24,30	22,87	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 3	30	30	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 4	43	43	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 5	51,3	57,32	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 6	62,13	65	<sup>0</sup> Brix
Generación turbogeneradores	Turbo 4 MW	3800	4000	kW
	Turbo 2,5 MW	1590	1725	kW

**Tabla 4.** Modificaciones realizadas para el caso del central Antonio Sánchez

<i>Nombre</i>		<i>Caso Base</i>	<i>Caso Mejorado</i>	<i>Unidad</i>
Brix Evaporadores	Vaso 1	18,4	16,39	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 2	24,10	19,81	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 3	31	31	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 4	42,5	42,5	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 5	51,1	57,3	<sup>0</sup> Brix
	Vaso 6	62,35	65	<sup>0</sup> Brix
Generación turbogeneradores	Turbo 4 MW	3000	4000	kW
	Turbo 2,5 MW	1700	1800	kW

Los resultados de la simulación del caso mejorado perteneciente al central 14 de Julio Tabla 5 el bagazo sobrante aumentó de 28,25 % a 33,95 % 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 5,8 % producto al aumento de los turbos y se aumentó la electricidad vendida en un 16 %.

**Tabla 5.** Reporte de indicadores globales para el caso mejorado del central 14 de Julio

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Bagazo sobrante % disponible	33,95	%
Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	43,11	%
Vapor total expulsado a la Atmósfera % flujo másico caña	0	%
Producción Eléctrica Específica de la Fábrica	45,82	kWh/t caña
Demanda Eléctrica Específica de la Fábrica	29,01	kWh/t caña
Electricidad vendida al SEN	16,81	kWh/t caña

El reporte de indicadores del caso mejorado Tabla 6 perteneciente al central Antonio Sánchez mostró un aumento en el bagazo sobrante de 25,56 % a 30,92 %. El resultado más significativo fue por concepto de electricidad vendida que representó un aumento de un 50 %.

**Tabla 6.** Reporte de indicadores globales para el caso mejorado del central Antonio Sánchez

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Bagazo sobrante % disponible	30,92	%
Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	42,94	%
Vapor total expulsado a la Atmósfera % flujo másico caña	0	%
Producción Eléctrica Específica de la Fábrica	37,78	kWh/t caña
Demanda Eléctrica Específica de la Fábrica	25,91	kWh/t caña
Electricidad vendida al SEN	11,87	kWh/t caña

#### **4. CONCLUSIONES.**

1. La simulación en el software Termoazúcar (STA 4.1) de los casos base y mejorado de los centrales azucareros estudiados propició conocer las mejoras a los esquemas térmicos de los centrales estudiados para generar excedentes de electricidad para la venta al SEN.
2. Las oportunidades de mejoras obtenidas se resumen en: Incrementar la carga de los turbogeneradores para reducir el flujo de vapor directo por reductora; regular 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.
3. La implementación de las mejoras propuestas puede contribuir a incrementar en un 17 % el bagazo sobrante en ambas empresas; Reducir en un 9 y 28 % respectivamente el consumo de vapor de las fábricas; Reducir a cero el vapor expulsado a la atmósfera y lograr incrementos en la energía vendida al SEN de un 16% en el central “14 de Julio” y de un 50% en el central “Antonio Sánchez”

#### **REFERENCIAS**

Acosta, K.A., Evaluación técnico-económica de alternativas de adaptación tecnológicas para biorrefinerías en una industria de la caña de azúcar., Tesis en opción al Título



- de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2013.
- Almazan del Olmo, O., Silva Lora, E.E., Escobar Palacios, J.C., Apuntes para una estrategia en el desarrollo de la energética azucarera., *Revistas Anales de la Academia de Ciencia de Cuba*, Vol. 2, No. 2, 2012, pp. 3-14.
- Alves, G.H., Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel., *Energy*, Vol. 91, 2015, pp. 751-757.
- Amaya, D.S., Análisis y optimización exergética de una planta de cogeneración para la industria azucarera. Tesis en opción al Título de Máster en Ingeniería Mecánica, Universidad tecnológica de Pereira, Colombia, 2014.
- Dias, O.C., Integrated First and Second Generation Ethanol Production from Sugarcane., *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 37, 2014, pp. 445-450.
- Marín, J.R., Estudio Histórico -Tecnológico de la Producción de Azúcar de Caña: Aplicación al análisis desde la ingeniería industrial y la ingeniería grafica de las máquinas de vapor Fives-Lille y Mirrlees-Watson en la Costa Granadina., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Organización Industrial, Universidad de Jaén, España, 2012.
- Ramos, M.G., Integración de procesos y análisis de cogeneración en las producciones de azúcar y alcohol., *Centro Azúcar*, Vol. 41, No. 4, 2014, pp. 50-58.
- Rein, P., *Cane Sugar Engineering.*, Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2006, pp. 667-678.
- UCI-CUJAE., Ayuda del Software TERMO AZUCAR (STA) (Version 4.1), 2012, pp. 129-140.
- Victoria, H.E., El análisis de procesos y el empleo adecuado de la energía en la producción de azúcar crudo y electricidad en ingenios cubanos., Editorial Universitaria, 2009, pp. 139-142.