

## **Evaluación energética en UEB Central Azucarero “Urbano Noris” de la provincia de Holguín**

Energy evaluation at UEB Sugar Factory “Urbano Noris” in the  
province of Holguín

Yaimet Victoria Téllez-Pol<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7650-3160>

Santiago Soler-Pérez<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2781-4015>

<sup>1</sup>Empresa Azucarera Holguín, Cuba

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente. Cuba

\* Autor para la correspondencia. Correo electrónico: [yaitp@nauta.cu](mailto:yaitp@nauta.cu)

### **RESUMEN**

En este trabajo se hizo un estudio en UEB Central Azucarero “Urbano Noris” de la provincia de Holguín, para evaluar el comportamiento actual de los principales parámetros energéticos en el proceso de cogeneración. Primeramente, se analizó el sistema de generación de vapor y se determinó la eficiencia de generación y los diferentes renglones de pérdidas energéticas y las causas que las originan. Posteriormente se hizo el estudio del proceso productivo, realizándose los balances de masa y energía en todas las secciones del mismo para determinar los diferentes flujos y el consumo de vapor de agua necesario en todos los equipos primarios y tecnológicos del sistema. A continuación, se llevó a cabo el imprescindible balance de bagazo para determinar la relación existente entre el consumo y la disponibilidad de este combustible y se calcularon los diferentes

índices de eficiencia energética, donde los resultados obtenidos corresponden a un 65,15 % de eficiencia de generación siendo satisfactoria, el índice de generación resultó ser de 2,42; el índice de consumo en Casa de Calderas quedó de 0,47 Kg de vapor/kg de caña, el mayor porcentaje de pérdida energética se debe a la elevada humedad del bagazo, el bagazo sobrante representó un 16,84 % del bagazo disponible en la industria y el porcentaje de vapor usado en el sistema de evaporación producido por el mismo fue de 35,32 %.

**Palabras clave:** eficiencia energética; consumo de vapor; índices de eficiencia.

## **ABSTRACT**

In this work, a study was carried out in UEB Sugar Factory "Urbano Noris" in the province of Holguín to evaluate the current behavior of the main energy parameters in the cogeneration process. Firstly, the steam generation system was analyzed and the generation efficiency and the different lines of energy losses were determined with the causes that origin them. Subsequently, the study of the production process was carried out, making the mass and energy balances in all sections of the same to determine the different flows and the consumption of water vapor needed in all the primary and technological equipment of the system. Next, the essential balance of bagasse was carried out to determine the relationship between the consumption and availability of this fuel and the different energy efficiency indices were calculated, where the results obtained correspond to a 65,15% efficiency of generation being satisfactory, the generation rate turned out to be 2,42; the consumption rate in Casa de Calderas was 0,47 kg of steam / kg of cane, the highest percentage of energy loss was due to the high humidity of the bagasse, the remaining bagasse represents 16,84% of the bagasse available in the industry and the porcentaje of steam used in the evaporation system produced by itself was 35,32%.

**Keywords:** energy efficiency; steam consumption; efficiency rates.

Recibido: 18/09/2020

Aceptado: 10/01/2021

## Introducción

El azúcar o sacarosa, cuya fórmula química es  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , también llamado azúcar común o azúcar de mesa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructuosa, que se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha. Para obtener un refinado de alta pureza se utilizan procesos físico-químicos naturales con la finalidad de eliminar las impurezas,<sup>(1)</sup> dadas por diferentes etapas como: Recepción y molienda, Purificación, Evaporación, Cristalización y Centrifugación que determinan la obtención de un producto con la mayor calidad posible y esencial en la dieta alimenticia.

La industria azucarera es privilegiada <sup>(2,3)</sup> debido a que de la materia prima que procesa se obtiene el azúcar, el agua y el combustible necesario para su operación.<sup>(3,4)</sup> La biomasa residual obtenida 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 la obtención de la energía eléctrica.<sup>(3,5)</sup> 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.<sup>(6)</sup>

Por lo tanto, muchos han sido los estudios desarrollados por diferentes autores sobre las potencialidades de la industria azucarera como productor de energía tanto en forma de calor como de electricidad ejemplo de estos son Jiménez *et al.* <sup>(6)</sup>, Almazán *et al.* <sup>(4)</sup> y Silva *et al.* <sup>(8)</sup> Estudios que expresan que una fábrica de azúcar puede autoabastecerse de energía a partir del bagazo de la caña y obtener sobrantes de este último, ascendentes hasta el 30 % del total producido.<sup>(7)</sup>

Es por ello que en la UEB Central Azucarero "Urbano Noris" de la provincia de Holguín sea imprescindible tratar de lograr la mayor eficiencia energética para minimizar las pérdidas y contribuir de forma efectiva al desarrollo de la nación. Para alcanzar este propósito es necesario partir del conocimiento del comportamiento actual de los principales parámetros energéticos en el proceso productivo y de generación de vapor de la planta.

Teniendo en cuenta que para que un sistema energético funcione correctamente deben cumplirse los siguientes requisitos:

- Nivel satisfactorio en la eficiencia de generación de vapor, es decir, que las pérdidas energéticas sean las más bajas posibles
- Capacidad de generación suficiente para satisfacer las necesidades del proceso
- El vapor real generado no debe exceder por mucho al vapor consumido (después de considerar las inevitables pérdidas)
- Necesaria correspondencia en las diferentes secciones del proceso, entre el vapor generado y el necesario a consumir
- Suficiente cantidad de bagazo excedente que garantice un suministro continuo y eficiente del mismo al sistema de generación de vapor.<sup>(8)</sup>

## **Materiales y métodos**

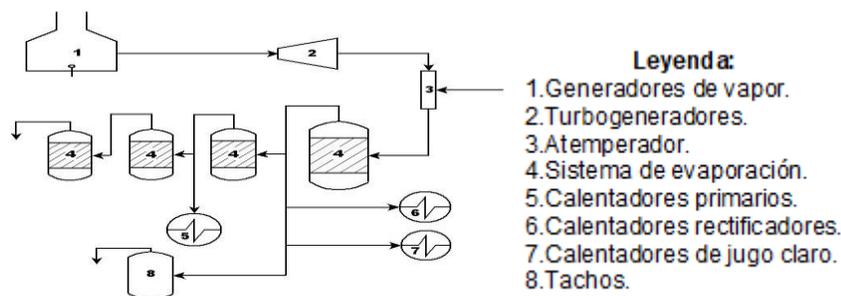
### **Descripción del central azucarero**

La fábrica tomada como caso de estudio es la UEB Central Azucarero "Urbano Noris", cuenta con una capacidad de molienda de 5750 toneladas de caña por día. En su diagrama energético mostrado en la figura 1 presenta dos calderas tipo RETAL de 80 t/h cada una, con hornos tipo parrilla basculante. La alimentación de agua es

automática a una temperatura de 110 a 120°C y el vapor generado por las calderas alcanza valores de 18 kgf/cm<sup>2</sup> y temperaturas alrededor de 320 a 400°C.<sup>(8)</sup>

El vapor producido se dirige hacia los turbogeneradores que tienen un consumo específico de 13,5 kg de vapor/ kW generado y una capacidad instalada de 14 MW, generan energía eléctrica que va a ser empleada para el autoabastecimiento del propio central y para el SEN que normalmente el consumo interno de la fábrica oscila entre 6,8 y 7,2 MW, lo que con un buen suministro de vapor se puede entregar al SEN la energía sobrante. En la práctica no existe el vapor suficiente para mantener el nivel de producción instalado, a pesar de ello se balancea el nivel de entrega con el SEN.

El vapor de escape de los turbogeneradores tiene una presión de 1,8 kgf/cm<sup>2</sup> y temperatura alrededor de 187 a 200°C se le disminuye la temperatura a un rango de 125 a 130°C mediante un atemperador y se utiliza en el proceso tecnológico empezando por el primer vaso del cuádruplex efecto. Del primer vaso del cuádruplex efecto se obtiene un vapor vegetal de 0,7 kgf/cm<sup>2</sup> a una temperatura de 115°C se le realiza una extracción hacia los calentadores rectificadores, a los calentadores de jugo clarificado y a los tachos; además de utilizar este vapor vegetal para el segundo vaso, al cual se le realiza una extracción para el calentador de jugo primario.



**Fig. 1-** Diagrama energético del proceso tecnológico

## **Balances de masa y de energía en los generadores de vapor**

La evaluación de un generador de vapor tiene una importancia significativa, porque de su funcionamiento depende el buen desempeño de la industria en cuanto a pérdidas energéticas y exergéticas.<sup>(9)</sup> La metodología de cálculo empleada se obtuvo del texto Pons Hernández, 1987.<sup>(10)</sup>

Para realizar los balances de masa en el proceso se hace necesario realizar la determinación de los flujos másicos que se relacionan a continuación:

- Flujo de jugo mezclado
- Flujo de jugo alcalizado en frío que se alimentan a los calentadores primarios y rectificadores
- Jugo que se alimenta a los calentadores de jugo clarificado. Para ello se debe tener en cuenta el proceso de alcalización y de evaporación que se producen en el tanque flash.
- Flujos alimentados a los diferentes equipos que forman el sistema de evaporación, teniendo en cuenta el agua evaporada en los diferentes procesos.<sup>(11)</sup>

## **Determinación del consumo de vapor directo en los motores primarios**

Los equipos que consumen vapor directo son los turbogeneradores. El método de cálculo empleado para determinar el flujo de vapor consumido (G) en kg/h se propone en la literatura.<sup>(11)</sup>

El vapor directo también se utiliza en las destilerías de los centrales que dispongan de ellas, así como en la dilución de las mieles, esterilización de las bandas conductoras y como vapor de escoba.

El vapor de escoba para la limpieza se puede estimar entre el 1 y el 2 por ciento de la caña molida. Este valor se puede agrupar como el vapor consumido para otros usos.

También se debe considerar un factor de pérdidas en la línea de vapor directo que depende de la longitud de las tuberías y del estado de las mismas.<sup>(11)</sup>

## **Cálculo del consumo de vapor en los equipos tecnológicos**

Los equipos tecnológicos son los que se utilizan en el proceso para el calentamiento y concentración del jugo. Estos equipos son los calentadores (primarios, rectificadores, y de jugo clarificado) y los sistemas de evaporación. Entre estos últimos se encuentran los pre-evaporadores, los sistemas de múltiples efectos (desde dos hasta cinco) y los tachos. En los sistemas de múltiples efectos se pueden hacer extracciones de vapor para utilizarlo como fuente de energía en el proceso.

El método de cálculo correspondiente a cada uno de ellos para determinar el flujo másico de vapor de agua consumido (G) en kg/h se facilita a continuación.<sup>(1,8,11,12)</sup>

### **Calentadores**

Utilizados para elevar la temperatura del jugo extraído, su consumo depende de la eficiencia térmica que tenga y el tipo de vapor utilizado.

Ecuaciones de cálculo

$$G_{cal} = \frac{F_j * C_p(T_s - T_e)}{\lambda_v} * X \dots\dots\dots (1)$$

donde

F<sub>j</sub>: Flujo de jugo a calentar, (kg/h).

C<sub>p</sub>: Calor específico del jugo, (kcal/kg°C) (se calcula de igual forma para el uso en las otras ecuaciones).

λ<sub>v</sub>: Calor latente del vapor utilizado, (kcal/kg).

T<sub>e</sub>: Temperatura de entrada del jugo, °C.

T<sub>s</sub>: Temperatura de salida del jugo, °C.

X: Factor de pérdidas (entre 1.02 – 1.04).

## Consumo de vapor de agua en los Evaporadores

Estos equipos se utilizan para concentrar bien el jugo para obtener la meladura, su consumo depende en gran medida de la eficiencia térmica, del número de efectos y del uso o no de las extracciones del vapor secundario de diferentes efectos.

- Para el pre-evaporador

Ecuaciones de cálculo

$$G_{pre} = \left[ W \frac{\lambda_{vcu}}{\lambda_v} + \frac{F_{ej} \cdot C_p (T_{eb} - T_{ej})}{\lambda_v} \right] \cdot X \dots\dots (2)$$

$$C_p = 1 - 0,0056 \cdot Bx \dots\dots\dots (3)$$

$$T_{eb} = T_{vcu} - 1,811927 + 0,14377 \cdot Bxe + 0,00355 (Bxe)^2 \dots\dots (4)$$

donde:

$F_{ej}$ : Flujo de jugo alimentado ( $F_{ej} = F_j$ ) (kg/h).

$\lambda_v$ : Calor latente del vapor utilizado en la calandria (kcal/kg).

$\lambda_{vcu}$ : Calor latente del vapor generado en el cuerpo (kcal/kg).

$T_{eb}$ : Temperatura de ebullición en el cuerpo. (°C) (se calcula de igual forma para el uso en las otras ecuaciones)

$Bx$ : Concentración del jugo (unidad)

- Para múltiples efectos con extracciones de vapor

Ecuaciones de cálculo

$$G_{mult.} = \left[ \frac{W}{N} \cdot \frac{\lambda_{vcu}}{\lambda_v} + \frac{F_{ej} \cdot C_p (T_{eb} - T_{ej})}{\lambda_v} + \frac{(N-1) \cdot E_i \cdot \lambda_{vcu}}{N} \right] \cdot X \dots\dots (5)$$

donde:

E<sub>i</sub>: flujo másico de agua extraída en el efecto i (kg/h)

### **Consumo de vapor de agua en los Tachos al vacío**

El principio de estos equipos es análogo a uno de los cuerpos de un evaporador con la particularidad de que se cristaliza la mayor parte de la sacarosa contenida en la meladura y mieles en operaciones a simple efecto, en estos equipos al inicio de cada templa el consumo de vapor es mayor y a medida que va pasando el tiempo este va disminuyendo debido a la discontinuidad de la masa. La metodología de cálculo aparece en la literatura.<sup>(1, 11, 13)</sup>

### **Balance de energía en el atemperador de vapor de escape**

El atemperador de escape no es un equipo como tal, sino que se emplea para disminuir la temperatura inyectándole agua al vapor de escape procedente de los turbogeneradores, de tal forma que se evita el oscurecimiento del azúcar debido a la formación de una capa de caramelo en el área de transferencia de calor.

### **Vapor generado en el proceso tecnológico que se utiliza en otras secciones del mismo**

Para poder hacer el cálculo de la correspondencia entre el vapor necesario a consumir y el vapor disponible es necesario conocer la cantidad de vapor generado en el proceso que puede ser utilizado en otras secciones del mismo. Este vapor es el producido en los pre-evaporadores, en los sistemas múltiples y las posibles extracciones en algunos vasos, como ya se había hecho referencia anteriormente.

### **Balance de bagazo**

Con esto sabremos la cantidad de bagazo que es posible comercializar o el déficit del mismo. Teniendo en cuenta que el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera, con vista a la generación y comercialización de electricidad, tiene que

encarar, entre otras, dos problemáticas específicas. La primera, abarca las alternativas de integración que se corresponde con diferentes esquemas de administración y propiedad de las partes integrantes del proyecto. La segunda, se corresponde con los esquemas energéticos para la propia planta energética. <sup>(14)</sup> Para ello es necesario estimar el bagazo producido, el consumido en el generador de vapor, el consumido en el proceso tecnológico y el que se pierde por manipulación y almacenamiento, los cuales se determinan por las ecuaciones en <sup>(11, 15, 16, 17)</sup>

### **Indicadores de eficiencia energética y sus ecuaciones**

En los generadores de vapor:

Índice de generación bruta (IGB)

$$IGB = \frac{F_v}{F_c} \dots\dots\dots (6)$$

donde:

F<sub>v</sub>: Flujo de vapor (kg/h).

F<sub>c</sub>: Flujo de combustible (kg/h).

### **Eficiencia de generación bruta (E<sub>gb</sub>)**

$$E_{gb} = \left[ \frac{IGB * (H_v - H_l)}{VCS} \right] * 100 \dots (7)$$

donde

H<sub>v</sub>: Entalpía del vapor (kJ/kg)

H<sub>l</sub>: Entalpía del líquido (kJ/kg)

VCS: Valor Calórico Superior del combustible (kJ/kg)

## Bagazo sobrante

$$B_{sob} = B_{disp} - B_{comb} \quad (8)$$

$$\%Q_i = \left( \frac{Q_i}{VCS} \right) * 100 \quad \dots\dots\dots (9)$$

donde

B: Bagazo sobrante, disponible o combustible

% Q<sub>i</sub>: Porcentaje de pérdidas de calor, por renglones

En el proceso de producción

## Tasa de evaporación

$$T_{evap.} = \frac{W}{A_{tc}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

donde

W: Flujo de agua evaporado (kg/h)

A<sub>tc</sub>: Área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)

Según aparece en la literatura <sup>(11)</sup> los valores eficientes de tasas de evaporación son los que se muestran en la tabla 1:

**Tabla 1-** Valores de las tasas de evaporación según la cantidad de efectos en el sistema de evaporación

Efectos	Tasas
Simple efecto	44-49 kg /h-m <sup>2</sup>
Doble efecto	39-44 kg /h-m <sup>2</sup>
Triple efecto	>44 kg /h-m <sup>2</sup>
Cuádruple efecto	>34 kg /h-m <sup>2</sup>

## Porcentaje de vapor generado en el proceso que se utiliza en el mismo

$$\%Vapor_{usado} = \left( \frac{Fv_{USADO}}{Fv_{GEN}} \right) * 100 \dots\dots (11)$$

donde

$Fv_{GEN}$ : Flujo másico de vapor generado en el proceso de evaporación (pre-  
evaporador y múltiples efectos) (kg/h)

$Fv_{USADO}$ : Flujo másico de vapor generado en el proceso de evaporación que se  
utiliza en el mismo (kg/h)

## Índice de correspondencia disponibilidad–consumo (ICORR)

$$ICORR = \left( \frac{F_{VD} - F_{VC}}{F_{VD}} \right) * 100 \dots\dots\dots (12)$$

donde

$F_{VD}$  : Flujo másico de vapor disponible en cada sección del proceso (kg/h)

$F_{VC}$ : Flujo másico de vapor a consumir en cada sección del proceso (kg/h)

## Resultados y discusión

Al aplicar la metodología antes planteada para la evaluación del comportamiento energético del central azucarero se logran los siguientes resultados mostrados en las siguientes tablas:

**Tabla 2-** Resultado del balance de energía en el generador de vapor

Renglones de pérdidas	kJ/kg	%
Q <sub>1</sub>	6391,10	65,10
Q <sub>2</sub>	1315,75	13,40
Q <sub>3</sub>	710,51	7,24
Q <sub>4</sub>	23,41	0,24
Q <sub>5</sub>	612,83	6,24
Q <sub>6</sub>	230,22	2,35
Q <sub>7</sub>	35,61	0,36
Q <sub>8</sub>	497,23	5,07

Al analizar los resultados se puede determinar que:

- Las calderas RETAL están funcionando satisfactoriamente con una eficiencia de 65,10 %; si se tiene en cuenta la elevada humedad del bagazo combustible.
- La suma de las pérdidas energéticas provocadas por la humedad del combustible (Q<sub>2</sub>+ Q<sub>3</sub>+ Q<sub>4</sub>) está por encima del valor normado (3 a 5 %), debido, al alto contenido de agua en el bagazo ya explicado.
- El resto de los renglones de pérdidas está dentro del rango permisible.

Los balances de masa y de energía en el proceso tecnológico suministraron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 3:

**Tabla 3-** Resultados del balance energético en el proceso

Flujos	Valores (kg/h)
Cafía molida	239 583
Agua de imbibición	50 233
Jugo mezclado	214 946
Jugo alcalizado en frío	251 487
Vapor flasheado	2 061
Jugo que sale del tanque de flash	253 725
Jugo claro	246 113,25
Vapor consumido en turbogeneradores	104 089,56
Vapor consumido en calentadores primarios	17 848,32
Vapor consumido en calentadores rectificadores	8 996,69
Vapor consumido en calentadores de jugo clarificado	6 603,33
Consumo de vapor en el pre-evaporador (vapor atemperado)	103 019,9
Consumo de vapor en el triple efecto	43 984,32
Consumo de vapor en los tachos al vacío	49 042,4
Flujo de agua inyectada al atemperador	8 899,06

### Balance de bagazo

Los resultados del balance de bagazo del proceso quedan representados en la tabla 4.

**Tabla 4-** Resultados del balance de bagazo en el proceso tecnológico

Flujos	Valores (kg/h)
Bagazo perdido por manipulación y almacenamiento	1 123,05
Bagazo perdido en filtros	1 677,08
Bagazo no combustible	2 800,13
Bagazo disponible	72 069,66
Bagazo sobrante	6 069,66
Bagazo combustible	66 000

El balance de bagazo muestra que el bagazo sobrante representa un 16,84% del disponible. Este excedente puede ser comercializado para obtener mayores ganancias.

### Indicadores de eficiencia energética

La evaluación anterior permite obtener los siguientes indicadores energéticos, que se muestran en la tabla 5:

**Tabla 5-** Resultados de los principales indicadores energéticos

Indicador	Unidad	Valor
Eficiencia energética	%	65,10
Índice de generación	U	2,42
Índice de consumo de vapor en Casa de Calderas	Kg de vapor/kg de caña	0,47
% de vapor generado que se utiliza en el mismo	%	35,32
Tasa de evaporación	kg/ h-m <sup>2</sup>	52,94

Como se puede apreciar el índice de generación bruta de cada generador de vapor es 2,42 y su eficiencia de energética es de 65,10 % siendo estos valores satisfactorios para el combustible usado (bagazo con 50% de humedad). El bagazo sobrante es de 6 069,66 kg/h representando el 16,84% del bagazo disponible en la industria, el cual puede ser utilizado para su comercialización. El índice de consumo en Casa de Calderas es de 0,47 kg de vapor/kg de caña, siendo este valor benéfico para el ingenio. La tasa de evaporación existente en el sistema de evaporación es de 52,94 kg/hm<sup>2</sup> estando por encima del valor reportado para los sistemas de 4 efectos.

## Conclusiones

1. La eficiencia de generación es de 65,15 %, resultado que se puede considerar satisfactorio para este central que utiliza bagazo con alto grado de humedad como combustible, aunque los demás renglones se encuentran dentro del rango establecido.
2. Al realizar el balance de bagazo se determinó que el bagazo sobrante es de 6 069,66 kg/h representando un 16,84 % del bagazo disponible en la industria.
3. Entre los principales indicadores de eficiencia del proceso productivo están: El porcentaje de vapor usado en el sistema de evaporación producido por el mismo que tuvo un valor de 35,32 %, siendo este satisfactorio para el central. La tasa de evaporación en el sistema de evaporación es de 52,94 %, lo cual indica que se puede aumentar el flujo de molienda diario aprovechando el área de intercambio de calor en los evaporadores.

## Referencias bibliográficas

1. ROJAS SERA, E. *Estudio energético en la UEB Central Fernando de Dios de la provincia de Holguín*. Tesis inédita. Universidad de Oriente. Cuba, 2015
2. SANZ, D. Análisis y optimización de una planta de cogeneración para la industria azucarera. Tesis de Maestría, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2014. [Consultado 14 de marzo del 2018]
3. JIMÉNEZ BORGES, R. Potencialidades de mejoras energéticas en el proceso tecnológico en los centrales azucareros. *Revista Ingeniería Energética*. 2017, mayo-agosto, **38** (2). 88-96 [Consultado 14 de marzo del 2018] ISSN 1815-5901
4. ALMAZÁN DEL OLMO, O. Apuntes para estrategia en el desarrollo de la energética azucarera. *Revista Anuales de la Academia de Ciencias de Cuba*.

- 2013, noviembre-enero, 2 (2).1-14. [Consultado 12 de enero del 2018]. ISSN 2304-0106
5. AHMETOVI, E. Water and energy integration: A comprehensive literature review of non-isothermal water network synthesis. *Journal Computers and Chemical Engineering*. 2015, 82. 144-171. [Consultado 14 de marzo del 2018] ISSN 0098-1354
6. JIMÉNEZ BORGES, R. Potencialidades de entrega de energía eléctrica en dos centrales azucareros de la provincia de Cienfuegos. *Revista Centro Azúcar*. 2017, abril-junio, 44 (2). 60-68. [Consultado 10 de enero del 2018]. ISSN 2223-4861
7. GARCÍA RODRÍGUEZ, Y. Optimización del sistema energético de un central azucarero para maximizar el excedente de bagazo. *Revista Avanzada Científica*. 2014, enero-abril, 17 (1).1-20. [Consultado 15 de marzo del 2018]. ISSN 1029-3450
8. SILVA LOPEZ, M. *Balance energético en el Central Azucarero Urbano Noris*. Tesis inédita. Universidad de Holguín. Cuba, 2013
9. HERNÁNDEZ CARBÓ, Y. Evaluación energética de la empresa Mielera Siboney. *Revista Tecnología Química*. 2012, abril-agosto.234-245. [Consultado 5 de febrero 2018].
10. PONS HERNÁNDEZ, Antonio. *Termodinámica técnica para ingenieros químicos*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1987.
11. SOLER PÉREZ, S. Metodología general para la evaluación integral de la eficiencia energética en los centrales azucareros. *Revista Tecnología Química*. 2011, julio-diciembre 31 (1).48-59. [Consultado 10 de enero del 2018]. ISSN 2224-6185
12. HUGOT, E. *Manual para ingenieros azucareros*. La Habana: Edición Revolucionaria, 1986. SNLC: RB 01.39200.X
13. COLECTIVO DE AUTORES. *Manual de operaciones para la producción de azúcar crudo de caña*. Dirección de tecnología del ministerio del azúcar, 2000

14. RUBIO GONZÁLEZ, A. y RUBIO RODRÍGUEZ, M. Integración y esquemas energéticos para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera en la generación de electricidad. *Revista Centro Azúcar*. 2018, octubre-diciembre **45** (1).20-31. [Consultado 13 de noviembre del 2018]. ISSN 2223-4861
15. CABRALES, B. A. y DELGADO, P.Y. *Estudio del sistema energético en el CAI Arquímedes Colina*. Tesis inédita. Cuba, 2004
16. MINAZ. *Balance de bagazo*. Ministerio del Azúcar, 1989. Informe inédito.
17. VALDÉZ, A. Uso eficiente del vapor en el proceso de azúcar crudo o blanco directo. *Revista ATAC*. 2015, **76** (2).34-38. [Consultado 8 de abril del 2018].

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### **Contribución de cada autor**

Ing. Yaimet Téllez Pol: búsqueda de datos, realización de los cálculos y confección del informe preliminar.

MSc. Santiago Soler Pérez: planificación del trabajo y confección del informe final.