

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Título: Mejoras en el esquema tecnológico para lograr incrementos en la eficiencia energética del central azucarero "Antonio Sánchez"

Temática a la que tributa el trabajo: IV Gestión ambiental desde iniciativas o proyectos

Autor (es): M. Sc. Reinier Jiménez Borges; Ing. Andrés Lorenzo Álvarez González; Ing. Javier Capote Losada.

Dirección de correo electrónico: riborges@ucf.edu.cu

Entidad laboral de procedencia: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente(CEEMA). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cuatro Caminos Carretera a Rodas, km 3 ½, Cienfuegos, Cuba.

Resumen

El presente estudio se realizó en la Empresa Azucarera Antonio Sánchez, del municipio Aguada de Pasajeros, provincia Cienfuegos. Esta parte de una descripción de la Industria azucarera, internacional y nacional, así como la situación actual del aprovechamiento de la biomasa para la generación de electricidad y sus tendencias para el incremento en la generación eléctrica con el propósito de lograr excedentes de energía al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). A partir del levantamiento del esquema térmico del central y la elaboración del diagrama de flujo de información (DFI) fue posible calcular los balances de masa y energía, así como los indicadores termoenergéticos fundamentales con la ayuda del simulador Sistema Termoazúcar (STA v4.1)). Luego de esta simulación se obtuvieron insuficiencias a partir de las cuales se realizaron varias propuestas de mejoras, donde mediante la simulación de un caso mejorado se lograron excedentes en la generación de electricidad, así como una disminución de expulsión de vapor a la atmósfera. Finalmente, mediante un análisis económico de ambos casos se evidenció un incremento de las ganancias del caso mejorado respecto al caso base de 35 492 023,66 CUP/ zafra.

Palabras clave: Esquema termoenergético, Generación de electricidad, Simulación, Vapor

Abstract

The present study was carried out in the Sugar Company Antonio Sánchez, of the Diluted municipality of Passengers, county Cienfuegos. This part of a description of the sugar, international and national Industry, as well as the current situation of the use of the biomass for the electricity generation and their tendencies for the increment in the electric generation with the purpose of achieving energy surpluses to the System National Electroenergético (SEN). starting from the rising of the thermal outline of the central one and the elaboration of the diagram of flow of information (DFI) it was possible you calculate the balances of mass and energy, as well as the indicative fundamental termoenergéticos with the help of the shammer System Termoazúcar (STA v4.1)). after this simulation inadequacies were obtained starting from which were carried



III ENCUESTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

out several proposals of improvements, where by means of the simulation of an improved case surpluses were achieved in the electricity generation, as well as a decrease of expulsion of vapor to the atmosphere. Finally, by means of an economic analysis of both cases an increment of the earnings of the case was evidenced improved regarding the case it bases of 35 492 023,66 CUP / harvest.

Key words: Outline termoenergético, electricity Generation, Simulation, Vapor

Introducción

Por muchos años la industria azucarera representó el principal renglón de la economía cubana, manteniendo un liderazgo indiscutible dentro del desarrollo de la economía nacional ,antes del triunfo de la revolución no se utilizaba el término "eficiencia" como importante, después del triunfo revolucionario se comenzaron a hacer modificaciones en el sector azucarero que conllevaron a una disminución de los índices de producción y se descuidó un poco la exigencia hacia el consumo de combustible, la industria misma se encuentra atravesando un proceso de reordenamiento y redimensionamiento con el objetivo de alcanzar mayores beneficios desde el punto de vista tecnológico, económico y ambiental, con gran interés en fortalecer el desarrollo de los derivados, introducción de mejoras tecnológicas y la explotación al máximo de todos los beneficios con que cuenta esta industria, la cual es privilegiada porque de la materia prima que procesa se obtiene, además del azúcar, el agua y el combustible necesarios para su operación. En los últimos años se han realizado inversiones en las áreas de generación de vapor y plantas para lograr las condiciones requeridas para una disminución del consumo de vapor. Estas condiciones pueden ser mejoradas a partir de un balance térmico, donde se puede determinar las posibilidades reales de economía de vapor y combustible

Hay que significar que la energía eléctrica que se genera a partir de biomasa cañera o forestal como combustible, es energía eléctrica que deja de generarse con combustible fósil disminuyendo el consumo de este importante portador energético, reduciéndose la contaminación ambiental. 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) (Borges, 2016)

El estudio que se presenta, está orientado a proponer alternativas de mejoras en los procesos y esquemas tecnológicos en el central Antonio Sánchez, con el fin de lograr incrementos en la eficiencia para la producción de vapor y electricidad.

Desarrollo

El central "Antonio Sánchez" ha presentado inestabilidad en la entrega de energía eléctrica al SEN en las zafras pasadas, este tuvo una generación eléctrica superior al



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

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. La determinación de las alternativas de mejoras en la industria, parte de la simulación de los esquemas termo-energéticos del central 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).

Breve situación actual del aprovechamiento de la biomasa para la generación de electricidad.

En Cuba la principal fuente de energía renovable es la biomasa proveniente de la agroindustria azucarera, pues la caña de azúcar además de ser uno de los principales cultivos del país, es el captador vivo más eficiente de la energía solar (Borges,2017) Tomando en cuenta sólo el bagazo y la paja, en los cañaverales se almacena alrededor del equivalente a una tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar que pueda producirse (Borges,2017). La biomasa aprovechable energéticamente es el bagazo y los residuos agrícolas cañeros (RAC). El bagazo representa el 30% de los tallos verdes molidos y es el residuo fibroso de este proceso, se obtiene con un 50 % de humedad aproximadamente, esto significa que por cada hectárea cosechada es posible obtener anualmente 13,5 t de bagazo equivalentes a 2,7 tce (toneladas de combustible equivalentes 37.5 MJ/kg). (Montiel, 2003). El uso de los RAC como combustible depende ante todo de la posibilidad de su recolección. La mayor parte del bagazo producido en la industria azucarera es utilizada para generar el vapor requerido para los procesos de la fabricación de azúcar, con este propósito es utilizado cerca del 92% del bagazo generado en la fábrica de azúcar. En las condiciones de Cuba, para producir 1 tonelada de azúcar es necesario moler unas 8,5 a 9 toneladas de caña las cuales producen unas 2,2 a 2,5 toneladas de bagazo, con una humedad que oscila entre 48 y el 50 % y una cantidad considerable de residuos agrícolas cañeros (RAC).

El bagazo ha sido utilizado históricamente como combustible en la industria azucarera, y aun cuando su valor calórico es relativamente bajo (1 850 kcal/kg) (Curbelo, 2008), al ser comparado con otros combustibles fósiles tradicionales, no hay duda de que constituye un valioso potencial energético, sobre todo, para aquellos países que no tienen disponibilidades significativas de combustible, y a la vez son grandes productores de azúcar de caña.

Los residuos agrícolas cañeros (RAC) han cobrado en los últimos años un gran interés como material combustible para los centrales azucareros, también han servido para suplir el déficit energético en los centrales producto de inestabilidades en la molida. Adicionalmente constituyen un extraordinario potencial para la generación de electricidad en los propios ingenios. Los RAC constituyen un combustible renovable cada año y su potencial obteniéndolos en centros de acopio y limpieza es equivalente a 0,12 millones de toneladas de combustible convencional, por cada millón de toneladas de azúcar crudo que se produzca (Valdes Delgado, 2009)

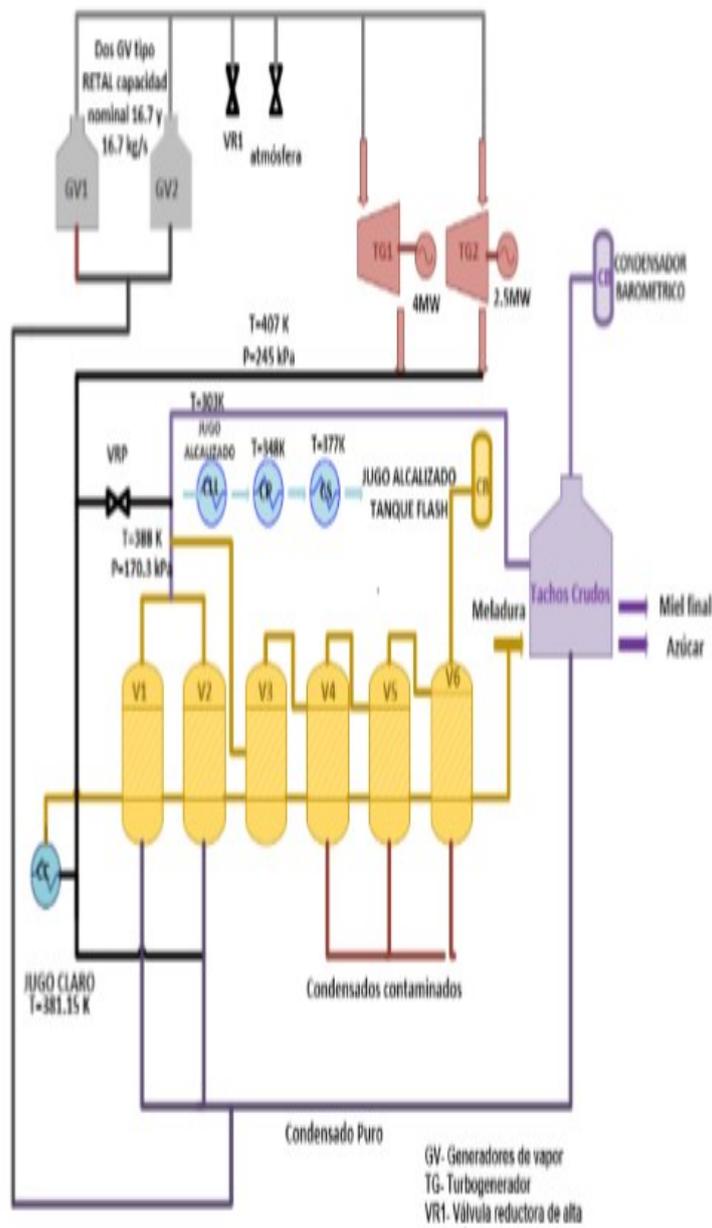
El central “Antonio Sánchez” cuenta con una molida potencial de 3 680 t/d. El área de generación de vapor posee dos GV tipo RETAL cada uno con una capacidad nominal de 60 t/h de vapor; una presión de vapor sobrecalentado de 2 070 kPa (20 kg/cm²) a



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

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 3 800 kW y el otro de 2 500 kW, que opera a una potencia de 2000 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/cm²) y temperatura 409 K (136 °C). En la figura I se muestra el Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) que es el esquema base utilizado para el análisis.

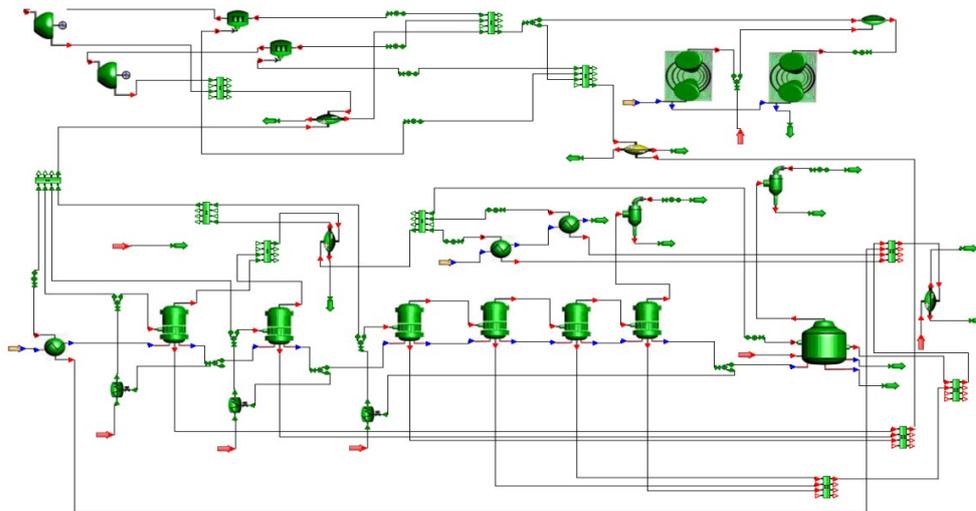
Figura I. Diagrama de Proceso (DFP) utilizado en el análisis del caso base.



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Simulación de los casos bases a partir del simulador Termoazucar (STA 4.1) El diagrama de flujo de procesos de “Antonio Sánchez”, permitió la confección del Diagrama de Flujo de Información (DFI) de la industria para su posterior análisis. El DFI es una representación gráfica del sentido en que fluye la Información inicial y la que se origina durante los cálculos. Está formado por módulos de cálculo que representan matemáticamente lo que ocurre en los equipos y/o subprocesos y las corrientes o flujos de informaciones que entran y salen de los módulos. El Diagrama de Flujo de Información (DFI) de la empresa estudiada está dado en la figura II.

Figura II. Diagrama de Flujo de Información (DFI) para el caso base.



Resultados y discusión

Los resultados de la simulación para el caso base del central “Antonio Sánchez” se resumen en la tabla I.

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

Nombre	Valor	Unidad
Bagazo sobrante % disponible	22,92	%
Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	56,53	%
Electricidad vendida al SEN	3,18	kW-h/t caña
Producción Eléctrica Específica de la Fábrica	35,15	kW-h/t caña
Vapor total expulsado a la Atmósfera % flujo másico caña	13,56	%
Vapor directo a escape por válvula reductora 1 % flujo másico de caña	22,63	%

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Rendimiento industrial	16,14	%
------------------------	-------	---

Como podemos apreciar 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 la empresa, permitió elaborar las propuestas de mejoras dadas a continuación, con el fin entregar más energía eléctrica al SEN.

- Sustituir el primer turbogenerador de contrapresión por uno de 4000 kW de igual tipo ya que el central reúne las condiciones técnicas y la empresa azucarera cuenta con la disponibilidad de este turbogenerador
- Aumentar la carga de los turbogeneradores, ambos operando al 98 % de su capacidad nominal con el objetivo de disminuir en lo posible el flujo de vapor directo por reductora.
- Regular la concentración de jugo en los dos primeros vasos de los evaporadores para así poder evitar la expulsión de vapor a la atmósfera.

Tabla II. Modificaciones realizadas para el caso base

Nombre		Caso Base	Caso Mejorado	Unidad
°Brix Evaporadores	Vaso 1	18,4	16,4	°Brix
	Vaso 2	24,10	19,81	°Brix
	Vaso 3	35,0	33,2	°Brix
	Vaso 4	43,0	45,3	°Brix
	Vaso 5	56	55,6	°Brix
	Vaso 6	63	66,4	°Brix
Generación turbogeneradores	Turbo 1	2000	3800	kW
	Turbo 2	3800	3800	kW

El reporte de indicadores del caso mejorado Tabla III perteneciente al central Antonio Sánchez mostró un aumento en el bagazo sobrante de 22,92 % a 31,84 %. El resultado más significativo fue por concepto de electricidad vendida que representó un aumento de un 30,4 %.

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

Nombre	Valor	Unidad
Bagazo sobrante % disponible	31,84	%



**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

Consumo vapor de la fábrica % flujo másico caña	53,5	%
Electricidad vendida al SEN	10,43	kW-h/t caña
Producción Eléctrica Específica de la Fábrica	42,41	kW-h/t caña
Vapor total expulsado a la Atmósfera % flujo másico caña	8,04	%
Vapor directo a escape por válvula reductora 1 % flujo másico de caña	12,74	%
Rendimiento industrial	16,56	%

Conclusiones

La simulación en el software Termoazúcar (STA 4.1) de los casos base y mejorado del central propició conocer las mejoras a los esquemas térmicos de los ingenios azucareros para generar excedentes de electricidad para la venta al SEN.

Las principales oportunidades de ahorro detectadas para aumentar la eficiencia a partir del análisis del caso base fueron: Regular los 0Brix en los primeros vasos, aumentar la carga de los turbogeneradores, ambos operando al 98 % de su capacidad nominal y aumentar el 0Brix de la meladura.

El análisis comparativo del caso mejorado respecto al caso base a partir de los indicadores dio como resultado que se incrementa la venta de electricidad al SEN en 7,25 kWh/t caña; el vapor expulsado a la atmósfera se reduce a 8,04 % y aumenta la producción eléctrica de la fábrica en 7,26 kW-h/t caña.

El análisis económico entre el caso base y el caso mejorado dieron como resultado un incremento de 35 492 023,66 CUP/zafra. Por lo que es conveniente tener en cuenta las mejoras propuestas.

Referencias bibliográficas

- Acevedo Pinzon, J. C. (2009). *Simulacion De Las Unidades De Cogeneracion De Energia A Partir De Bagazo De Cana De Azucar* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Quimica).
- Alves, M., Ponce, G. H., Silva, M. A., & Ensinas, A. V. (2015). Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel. *Energy*, 91, 751-757.
- AZCUBA. (2020). Información estadística para la evaluación económica. Cienfuegos, Cuba.
- Batule, E. (2011). Operación, generación, co-generacion y uso del vapor en la industria del azúcar de caña.



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

- Borges, R. J., Bastida, E. J. L., Pérez, F. G., & García, J. A. C. (2017). Metodología para la estimación del potencial de biomasa en Cienfuegos con fines energéticos. *Revista de Investigación*, 10(2), 63-75.
- Borges, R. J., Lorenzo Llanes, J., Monteagudo Yanes, J. P., Pérez de Alejo Victoria, H., Álvarez Delgado, R., & Carreño Sarmiento, D. D. (2017). Potencialidades de entrega de energía eléctrica en dos centrales azucareros de la provincia de Cienfuegos. *Centro Azúcar*, 44(2), 60-68.
- Borges, R. J., Yanes, J. P. M., & Llanes, J. L. (2016) Oportunidades de incremento de energía eléctrica en los centrales azucareros de la provincia de Cienfuegos.
- (Diversificación 2017). La Habana, Cuba: XIV Congreso Internacional de Azúcar y Derivados de la Caña (Diversificación 2017).
- de los Ríos, M. D (2019). El procesamiento de la caña de azúcar con esquemas flexibles y énfasis en la alimentación, la energía y la preservación del Medio Ambiente.
- Calviño, Y. C., Cortés, M. G., González, V., & Morales, E. G. S. (2011). Factibilidad de la integración energética entre los procesos de fabricación de azúcar y alcohol. *Centro Azúcar*, 38(1), 87-94.
- de Alejo Victoria, H. E. P., González, A. P., & Valdés, Y. C. (2020). *El análisis de procesos y el empleo adecuado de la energía en la producción de azúcar crudo y electricidad en ingenios cubanos*. Cuba: Editorial Universitaria.
- Domínguez, F. J. (2001). *Modelación, Simulación y Optimización del Proceso de Transferencia de Masa que ocurre en la cristalización de azúcar por enfriamiento a nivel industrial* (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Universidad de Matanzas 'Camilo Cienfuegos', Matanzas, Cuba, 45-82 p).
- González-Corzo, M. (Ed.). (2015). *La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes*. Bildner Center.
- Guedes, A. E. L., de Oliveira Lyra, C., Cunha, M. V., Bandeira, A. V. M., Henriques, V. M. C., Soares, F. B., ... & Vasconcelos, M. D. (2008). Em torno da mesa: alimentando sensibilidades e competências relato de uma experiência educativa em Macau, RN, Brasil. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 15(1), 1-14.
- 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* (Doctoral dissertation), Universidad de Jaén.
- Martínez, M. P. (2013). El procesamiento de la caña de azúcar con esquemas flexibles y énfasis en la alimentación, la energía y la preservación del Medio Ambiente. Centro Azucar.
- Martínez, M. R. (2013). INTEGRACIÓN DE POTENCIA Y PROCESO EN UN INGENIO PRODUCTOR DE AZÚCAR CRUDO. Centro Azucar.
- Montiel, J. L. R. (2003). La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. *Centro Azúcar*, 30(2), 14-21.

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

- Pedraja, R., & Martínez, J. (2009). Integración de Potencia y Proceso en un Ingenio Productor de Azúcar Crudo. *Centro Azúcar*, 36(2), 11-15.
- Pérez Ramos, L. D. (2014). *Integración de procesos y análisis de cogeneración en las producciones de azúcar y alcohol* (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas).
- Pérez, F. G. (2015). La Cogeneración: Una tecnología de alta eficiencia energética.
- Rein, W. P. (2006). Recent developments in continuous pan boiling. In *Proceeding of XXI ISSCT Congress, Bangkok (Thailand), 5-14 Mar 1992*.
- RIBAS, M., & SABADI, R. y. (2017). Metodología para el análisis integral de la etapa de molienda de caña. XIV Congreso Internacional de Azúcar y Derivados de la Caña
- Rodríguez, Y. G., Hernández, A. B., & Hervis, Y. L. (2014). Optimización del sistema energético de un central azucarero para maximizar el excedente de bagazo. *Avanzada Científica*, 17(1), 24-43.
- Rosales, F., Vega, R., & de Sacarosa-Cengicaña, R. (2017). Análisis comparativo del proceso de preparación y maduración de semilla para cristalización de azúcar.
- Santana, J. A. D (2017). Herramientas útiles para la evaluación de la eficiencia del proceso de producción de azúcar de un central azucarero.
- UCI-CUJAE. (2012). Ayuda del Software TERMO AZUCAR (STA) (Version 4.1).
- Valdes Delgado, A (2009). Generación y cogeneración de electricidad a partir de la biomasa cañera. Jornadas iberoamericanas de asimilación de tecnologías para la producción de bioetanol y el uso de sus residuales.
- Varbanov, P. S. (2014). Energy and water interactions: implications for industry. *Current opinion in chemical engineering*, 5, 15-21.

