

## **APROVECHAMIENTO DE LAS POSIBLES FUENTES DE BIOMASA PARA ENTREGAR MÁS ELECTRICIDAD EN LA FÁBRICA DE AZÚCAR ANTONIO SÁNCHEZ**

### **USE OF POTENTIAL BIOMASS SOURCES TO DELIVER MORE ELECTRICITY AT THE ANTONIO SÁNCHEZ SUGAR FACTORY**

*Abel Hernández Sardiñas<sup>1\*</sup>, Víctor Manuel González Morales<sup>2</sup>  
y María Luisa Freide Orozco<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> UEB Derivados Antonio Sánchez, Calle 21 No. 15, Perseverancia, Aguada de Pasajeros, Cienfuegos, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>3</sup> UEB Central Antonio Sánchez, Antonio Maceo No. 60, Aguada de Pasajeros, Cienfuegos, Cuba.

Recibido: Junio 21, 2017; Revisado: Julio 17, 2017; Aceptado: Julio 31, 2017

#### **RESUMEN**

En el presente trabajo se realizó un estudio técnico-económico para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa agroindustrial y forestal en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez de Aguada de Pasajeros, Cienfuegos, Cuba. El diagnóstico técnico de la instalación existente permitió determinar los puntos débiles del proceso. Se determinaron los consumos de vapor y la capacidad de generación de energía eléctrica en las condiciones actuales y con aumento de capacidad para estimar la electricidad entregada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Se efectuaron los balances de masa y energía considerando la inversión para montar un turbo generador de extracción-condensación y una caldera de alta presión. Las tres alternativas estudiadas: Una empleando como combustible el bagazo del propio central, una cantidad adicional de otro tributario y los residuos agrícolas cañeros; otra variante en la que se añade biomasa forestal como combustible y la tercera con aumento de capacidad de molida usando las biomásas posibles. La evaluación económica evidencia que la mejor alternativa es generar aprovechando todos los residuos con aumento de capacidad.

**Palabras clave:** Biomasa forestal, generación energía eléctrica, residuos agrícolas cañeros

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: Abel Hernández, Email: [abel@derivadoscf.azcuba.cu](mailto:abel@derivadoscf.azcuba.cu)

## **ABSTRACT**

In this project, a technical-economic study was carried out for the generation of electric energy from agro-industrial and forest biomass at the sugar mill Antonio Sánchez in Aguada de Pasajeros, Cienfuegos, Cuba. The technical diagnosis of the existing facility allowed us to identify the weak points of the process. It was determined the steam consumption and the capacity of electric power generation in the current conditions and with increased capacity to estimate the electricity delivered to the National Electric system. The mass and energy balances were carried out considering the investment to install an extraction-condensation turbo generator and a high-pressure boiler. The three alternatives proposed: one using the bagasse of the plant itself as fuel, as well as an additional amount of another tributary and the agricultural wastes from the sugar cane; another variant in which forest biomass is added as fuel; and a third with increase of the processing capacity using the possible biomasses. The economic assessment highlights that the best alternative is to generate by taking advantage of all the waste with increase incapacity.

**Key words:** forest biomass, generation of electric power, agricultural wastes from the sugar cane.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Uno de los grandes problemas que la comunidad internacional debe resolver es la disminución del consumo de combustibles fósiles, debido al agotamiento inevitable de las reservas y para reducir las emisiones de los gases contaminantes con efecto invernadero. Una de las nuevas fuentes de energía renovable es la obtenida a partir de la biomasa pues esta constituye un combustible no fósil, favorable desde el punto de vista del ciclo del carbono al producir emisiones de CO<sub>2</sub> que proceden de un carbono gran parte retirado de la atmósfera en el mismo ciclo biológico, por tanto alteran poco el equilibrio, Torres (2007); (Lorenzini y col., 2010) y Bain y Broer (2011). En Cuba existe un elevado potencial de fuentes de biomasa provenientes de la agroindustria azucarera y forestal. El bagazo de caña de azúcar constituye uno de los principales recursos cuyo aprovechamiento integral y eficiente ofrece nuevas perspectivas para el desarrollo del país, este constituye la principal fuente de biomasa, aunque también existen otras fuentes representadas por recursos forestales. En el Central Antonio Sánchez perteneciente a la provincia Cienfuegos, Cuba, es posible aumentar la generación de energía eléctrica de forma segura y estable, empleando la biomasa que brinda la agroindustria azucarera y forestal como fuente de energía renovable mediante la instalación de una tecnología apropiada, por lo que el presente artículo tiene como objetivo estudiar alternativas para el aumento de generación de energía eléctrica en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez, que posibilite las bases para la introducción de esta innovación tecnológica.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor capacidad para aprovechar la energía solar en producir biomasa. 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 (Menes y col., 2013). 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, esto significa que por cada hectárea cosechada es posible obtener anualmente 13,5 t de bagazo equivalentes a 2,7 tce (t de combustible equivalente 37,5 MJ/kg) (Reyes y Betancourt, 2003). Por la experiencia acumulada durante muchos años es el principal combustible durante la zafra.

### ***2.1. Caracterización de los RAC como combustible.***

Los RAC han cobrado en los últimos años un gran interés como material combustible para los centrales azucareros, con el objetivo de eliminar el petróleo y la leña como combustibles adicionales o para ahorrar bagazo y suministrarlo como materia prima a otras industrias, también han servido para suplir déficit energéticos en los centrales producto de inestabilidades en la molida. Adicionalmente constituyen un extraordinario potencial para la generación de electricidad en los propios ingenios o en centrales termoeléctricas. Los RAC tienen tres fuentes fundamentales de origen: Centros de acopio de caña para su procesamiento (corte y limpieza) y trasbordo a carros de ferrocarril; Centros de limpieza donde a la caña se le quita la paja (limpieza) y se trasborda a carros de ferrocarril y recolección directa en el campo. En su estado original no pueden ser utilizados como combustible, pues sus partes constituyentes son demasiado largas para ser asimiladas por los conductores de bagazo a las calderas y además, se atascan en los embudos a través de los cuales cae el bagazo desde los conductores hasta el horno, por ello, para su suministro a las calderas los RAC deben ser picados, generalmente hasta una granulometría similar a la del bagazo, esto se consigue mediante juegos de cuchillas y molinos cañeros típicos, aunque la tendencia actual en el diseño de las instalaciones procesadoras de RAC, es el empleo solo de cuchillas horizontales. 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, (Rubio, 2000).

### ***2.2. Características energéticas y ambientales del uso de la biomasa cañera***

En particular, la caña de azúcar exhibe índices más ventajosos que otros cultivos en cuanto al almacenamiento de energía proveniente de la radiación solar, como se aprecia en los aspectos siguientes:

- Para un valor calórico de 17,5 MJ/kg de materia seca (MS), con un contenido de materia seca de 30 % y un rendimiento de 100 toneladas de caña integral por hectárea, la producción energética de la caña es veinte veces mayor que la energía que se utiliza para producirla, cosecharla y trasladarla al ingenio.

Como promedio pueden emplearse las siguientes relaciones:

- Cuatro toneladas de paja equivalen a una tonelada de petróleo (calor de combustión de la paja con 30 % de humedad: 11,7 MJ/kg) (Reyes y Betancourt, 2003).
- El valor calórico del bagazo (50% humedad) es de 7,64 MJ/kg, semejante al de la madera: 7,9 MJ/kg (Reyes y Betancourt, 2003).

La biomasa desempeña un papel importante en la reducción de la concentración de CO<sub>2</sub> de dos formas: como reservorio de carbón, absorbiendo CO<sub>2</sub> (Ya que fija C y ofrece O) en su propio desarrollo, y como sustituto de combustibles fósiles al ser usada como fuente energética (Pérez, 2005). Solo puede asegurarse un aprovechamiento sostenible de la biomasa, cuando el ciclo de producción y extracción de esta es continuo, o sea, se renuevan o incrementan las plantaciones con el objetivo de neutralizar las emisiones de gases de efecto invernadero durante su combustión.

### **2.3. Otras fuentes de biomasa**

Si bien, en el caso estudiado, el mayor potencial energético lo tiene la biomasa cañera, existen otras fuentes que tienen importancia en el orden local o que su aprovechamiento resulta conveniente desde el punto de vista medio ambiental. Este es el caso de los bosques naturales y las plantaciones energéticas en desarrollo o sea la explotación forestal que genera residuos aprovechables.

La leña muy seca contiene el 20 % de humedad, la leña seca el 30 % y la leña verde del 40 al 50%. La leña que se quema tiene generalmente entre el 30 y el 40 % de humedad. Ciertas leñas son muy superiores a otras como combustible y pueden tomarse aproximadamente para la leña común, semi seca: Valor calórico 2 500 Kcal/kg y Casuarina semi seca: Valor calórico 3 250 Kcal/kg (Espinosa y Peñalver, 2012).

#### **2.3.1. Marabú**

Actualmente los campos de Cuba se hallan infectados con una especie de arbusto que por su rápida difusión en la isla representa un problema, su nombre científico es el de *Dichrostachys cinérea* pero es conocida popularmente como Marabú (Menes y col., 2013). En los últimos 150 años se ha convertido en la planta que más ha proliferado en Cuba y se estima que existen de 1,14 millones hectáreas cubiertas por este arbusto, afectando al 56% de las áreas ganaderas (Menes y col., 2013). Muchos lugares cultivables ociosos han sido invadidos por el marabú y han perdido sus formaciones vegetales nativas. Según ECURED, (<http://www.ecured.cu/index.php/Marab%C>), el marabú en Cuba, por su extensión, puede ser fuente de biomasa para combustible sólido con un rendimiento de 37 t/ha.

### **2.4. Valoración de diferentes escenarios futuros.**

Para las condiciones actuales de operación del central se han realizado los balances de masa y energía necesarios para definir los principales parámetros de operación relacionados con la producción y consumo de energía térmica así como la generación eléctrica. El estudio considera alternativas para el incremento de la generación de energía eléctrica, precisándose que para esto se requiere de algunos cambios tecnológicos, siendo los principales: En el área de generación eléctrica se propone cambiar los dos turbogeneradores de contrapresión existentes de 2,5 y 4 MW por un turbogenerador de extracción-condensación de 15 MW y en el área de generación de

vapor se propone cambiar las dos calderas de 60 t/h existentes  $10 \text{ kg/cm}^2$  por una caldera de 120 t/h de más alta presión ( $25 \text{ kg/cm}^2$ ), las alternativas 1 y 2 han sido reportadas por (Menes y col., 2013), la alternativa 3 es la calculada considerando la propuesta de aumento de capacidad de la fábrica según Freide (2015) y Puigjaner, (2011). Aumento de capacidad de molida, haciendo un análisis de capacidad de cada equipo que interviene en el proceso y los principales problemas del equipamiento existente en la industria Azucarera Antonio Sánchez además de las posibilidades de realizar la sustitución de los mismos.

A continuación se explican las 3 alternativas:

#### **2.4.1. Alternativa 1 (A1)**

Generación durante todo el período de zafra según el balance de materia prima disponible, considerando la capacidad actual de 3600 t de caña/d, con aprovechamiento potencial del 80 %. Después del período de zafra se genera con el bagazo que es posible almacenar unas según (Baudel y col., 2005). Siempre se reserva la cantidad de 3,0 Miles de t (Mt) o para la arrancada de la zafra siguiente. A continuación de que se agote el bagazo sobrante de la zafra se continuara la generación con una cantidad de bagazo disponible del bagazo sobrante en otros centrales que actualmente no tiene un uso útil.

#### **2.4.2. Alternativa 2 (A2)**

Consiste en utilizar los RAC disponibles por los centros de limpieza, los residuos forestales y Marabú, para generar en un período posterior a los anteriores. Para este período se proyecta la inversión requerida en la infraestructura capaz de garantizar la cantidad y calidad de estos residuos de modo tal que puedan ser procesados por las mismas calderas existentes.

#### **2.4.3. Alternativa 3**

La alternativa 3 es una propuesta de aumento de capacidades de molida y generación eléctrica además de lo considerado en la alternativa 2. Los balances de masa y energía en condiciones del aumento de capacidad y presupuesto requerido según los equipos a sustituir son presentados por Freide (2015).

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1.1. Alternativa 1 (A1)**

Generación durante el período de zafra 129 días, considerando la capacidad actual de 3600 t de caña/d, con aprovechamiento potencial del 80 % y el balance de caña. Por los balances se calculan 44,7 t/d de bagazo sobrante.

##### **3.1.1.1. Generación con el bagazo sobrante de la zafra**

Después del período de zafra se genera con el bagazo que es posible almacenar unas 5,8 Mt de bagazo según (Baudel y col., 2005). De las cuales para generar 5,5 Mt de bagazo y el resto para la arrancada de la zafra siguiente.

Días que se genera con el bagazo sobrante de la zafra = 4,3 días

Electricidad Generada = 1 544,4 MWh

### **3.1.1.2. *Electricidad Consumida fuera de zafra***

Después de concluida la zafra, la electricidad consumida vendrá dada por el sistema de operación de la caldera y por el turbo de extracción–condensación, este consumo oscila en un rango de un 8- 12 % de la capacidad nominal del turbo (Valdés y Roque, 2009), aproximadamente 875 kWh.

El consumo del turbo de extracción –condensación será por las bombas de alimentación del agua de enfriamiento para la sección de condensación y la bomba del agua condensada hacia caldera, sumando un total de 400 kWh

Electricidad Consumida horaria = 1275 kWh

Electricidad Entregada al SEN = 1 413,1 MWh

### **3.1.1.3. *Generación con el bagazo sobrante de otros centrales.***

Después que se agote el bagazo sobrante de la zafra se continuara la generación con una cantidad de bagazo disponible del bagazo sobrante en otros centrales que actualmente no tiene un uso útil, según los cálculos realizados por los técnicos de estos centrales, se pueden comprar, 60 000 t de bagazo.

Días que se generará con el bagazo sobrante de otros = 47,8 días

Electricidad Generada = 16 873,2 MWh

Electricidad Entregada al SEN = 15 438,9 MWh

### **3.1.2. *Alternativa 2 (A2)***

Consiste en utilizar los RAC disponibles por los centros de limpieza, los residuos forestales y Marabú, para generar en un período posterior a los anteriores.

#### **3.1.2.1. *Generación con los RAC recuperados en los centros de limpieza***

Se usarán los RAC disponible en los centros de limpieza, pues estos son fáciles de trasladar al ingenio. En los centros de limpieza se procesa el 50 % de la caña de la molida diaria, en estos se separa un 8 % de materias extrañas (referidos a caña procesada). Los cálculos realizados por (Menes y col., 2013) expresan que:

Materias extrañas separadas en la zafra (129 d):

$$147,2 \text{ t/d} * 129 \text{ d} = 18 988,8 \text{ t}$$

Días que se genera con RAC: según el balance realizado en la caldera se queman en esta

$$592,7 \text{ t/d de RAC} = 32 \text{ días}$$

#### **Durante los 32 días**

Electricidad Entregada al SEN = 10 550,6 MWh

### **3.1.3. *Alternativa 3***

La alternativa 3 es una propuesta de aumento de capacidades de molida a 4300 t/d de caña y generación eléctrica además de lo considerado en la alternativa 2. Se requiere hacer cambios en el equipamiento tecnológico básico actual. Aumento de 1 banco de calentadores, Incremento de 1 tacho, 2 cristalizadores, puesto que la capacidad de los existentes no es suficiente.

Los balances de masa y energía en condiciones del aumento de capacidad y presupuesto sobre los 35 Millones (MM) de pesos presentados por Freide (2015).

Resumen de los balances de masa y energía, programados empleando el Microsoft Excel, según condiciones operacionales para la nueva capacidad de 4300 t de caña/d.

**Tabla 1.** Resumen de los balances de masa y energía en zafra

<i>Aspecto</i>	<i>Valor</i>
<b>Balance de masa</b>	
Caña molida (t/h)	179,17
Bagazo % Caña	36,00
Masa de bagazo (t/h)	64,50
Masa de jugo en molinos (t/h)	169,85
Masa Jugo en los filtros (t/h)	25,48
Masa Jugo entrada clarificador (t/h)	197,89
Masa de Lodo (t/h)	32,23
Masa de Jugo Claro (t/h)	165,66
<b>Balance de energía</b>	
Consumo de vapor Pre-evaporadores (t/h)	69,02
Consumo de vapor 1er Evaporador (t/h)	25,37
Consumo de vapor de tachos (t/h)	73,26
Cons. de vapor Calentador 1 Jugo clarificado (t/h)	2,21
Cons. de agua Calentador 2 Líquido-Líquido (t/h)	19,95
Consumo de vapor Calentador 3	5,60
Consumo de vapor Calentador 4	7,89
Consumo de vapor turbogeneradores (t/h)	92,93
Consumo de vapor necesidades tecnológicas (t/h)	79,12
Consumo de vapor Válvula Reductora t/h	-
Bs (bagazo sobrante) (t/h)	9,84
Vapor generado en la Caldera t/h	109,68
IG (índice de generación) kgv/kg bag	2,01
$\eta_{cal}$ (Eficiencia total de las calderas) %	62,57
Bq (bagazo quemado) t/h	43,24
Condensados (t/h)	108,20
% Agua Reposición	1,64

Para el análisis de los resultados es muy importante la relación: Energía entregada al SEN dividida por la Energía generada total, expresada en % (% E/G).

**Tabla 2.** Resumen de las dos primeras alternativas. UM: (MWh)

<i>Con la biomasa, Alternativa</i>	<i>Días</i>	<i>E. Generada</i>	<i>E. Entrega</i>	<i>% E/G</i>
Durante la zafra, A1	129	46 440, 0	30 010, 6	65
Bagazo sobrante en zafra, A1	4,3	1 544,4	1 413,1	91
Bagazo de otros centrales, A1	46,9	16 873,2	15 438,9	91
RAC, A2	32	11 530,8	10 550,7	91
Marabú y Res. Forestales, A2	122,8	44 211,6	39 274,6	89
<b>Total</b>	<b>335,0</b>	<b>120 600,0</b>	<b>96 688,0</b>	<b>80</b>

La evaluación económica realizada usando la metodología recomendada por (Peters y Timmerhaus, 1991) ofrece el resultado que solo es viable si el precio de la electricidad entregada al SEN es superior a 0,15 \$/Kwh.

La Oficina Municipal de control del consumo de la Energía Eléctrica (EE) del municipio de Aguada de Pasajeros informó que el consumo en barra total anual en el año 2016 fue de 57 GWh. Por lo que la entrega proyectada sobrepasa en un 70% el consumo y permite distribuir el resto a otros territorios del SEN.

En el análisis de las alternativas se puede observar que:

- Con el turbo de extracción- condensación no se requiere pasar vapor por la válvula reductora, y además se aprovecha un condensado limpio (23,66 t/h).
- Con el montaje del turbo de extracción- condensación se generará un período posterior a la zafra de más de 180 días.
- Se generarán 15 000 kWh de estos podrían ser entregados al SEN 9693,3 kWh lo cual representa el 64,7 % de la electricidad total generada.
- Usando el marabú y los residuos forestales como combustible aproximadamente durante 123 días se entregan 40 453 614 kWh al SEN.
- En la alternativa 2 se logra generar 120 600 000 kWh, de estos se entregan al SEN 96 688 004 kWh equivalentes al 80 % de la total generada.
- En la alternativa 3 el bagazo sobrante por día es mayor y se pueden acumular 35424 t de bagazo durante la zafra, 29560 más que en la alternativa 2 por lo que solo habría que traer 30 000 t de otros centrales, con el correspondiente ahorro que ello significa.

### 3.1.3.1 Resumen de los resultados de la Alternativa 3:

Productos: Azúcar Alta Pol, Miel C a destilería y Entrega Energía Eléctrica (EE) a la red nacional

**Tabla 3.** Resumen de la evaluación económica de la Alternativa 3, en las zafras

<i>Concepto</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5 al 11</i>
Proyección Producción, Mt	45,056	46,793	47,729	48,683
Precios Moneda Total, \$/t	1251,60	1251,60	1251,60	1251,60
Electricidad a RED, MWh.	90 000	92 000	94 000	96 688
Precio Electricidad, \$/Kwh	0,10	0,10	0,10	0,10
MIEL C a destilería, Mt	10,240	10,445	10,654	10,867
Precio Miel C, USD/t	80,00	80,00	80,00	80,00

Costo Unitario Moneda Total	1117,62	1131,40	1129,07	1106,93
Precio promedio, \$/t	1369,54	1365,15	1364,67	1364,67

La tabla 4 resume los parámetros económicos fundamentales de la propuesta. Para el análisis se consideran los rangos propuestos por (Peters y Timmerhaus, 1991). El proceso tiene una Tasa Interna de Rendimiento (TIR) del 55,8 % es razonable cuando es superior al 30%, se tiene un Valor Actualizado Neto (VAN) al 12% de 29 463 600 pesos, es bueno porque está en el rango de la inversión. Posee una Tasa de Rendimiento Actualizada de la inversión de 1,92 \$ utilidad actual neta/ \$ invertido por encima de 1 es bueno. Un Período de Recuperación de Inversión de 2,8 años. El punto de equilibrio de la propuesta se alcanza a un 44,3 % de la producción, valor favorable conociendo que menos del 60% es bueno. El costo total es de 86 centavos por peso, menos de 90 es bueno.

**Tabla 4.** Parámetros Económicos

<i>Parámetros Económicos</i>	<i>Moneda Total</i>
TIR , %	55,8
VAN al 12 %, Miles\$	29 463,6
RVAN \$/\$	1,92
Período Recuperación Inv. (Años)	2,79
Punto de Equilibrio ( t Producción )	21 584,6
Punto de Equilibrio ( % Producción)	44,3
Costo Operación /Ingreso	0,82
Costo Total/Ingreso	0,86

#### 4. CONCLUSIONES

1. Se requiere la instalación de una caldera de más alta presión (25 kg/cm<sup>2</sup>) de 120 t/h y de un turbogenerador de extracción condensación de 15 MW. Para aprovechar las amplias potencialidades de los recursos biomásicos que tienen a su disposición.
2. La alternativa 3, en condiciones del aumento de capacidades, es necesario hacer cambios en el equipamiento tecnológico básico actual. Aumento de 1 banco de calentadores, Incremento de 1 tacho, 2 cristalizadores, puesto que la capacidad de los existentes no es suficiente.
3. El aumento de capacidad permite acumular más bagazo sobrante 29,5 Mt/año y con ello evita el traslado de una cantidad similar con el ahorro de recursos financieros y de logística.
4. Los indicadores económicos de la inversión para el aumento de capacidad están en los rangos de valores definidos como buenos, permitiendo recuperar la inversión en 2,8 años y un VAN de 29,4 Millones de pesos.
5. Los 96,7 GWh a entregar al SEN sobrepasan el 70 % del consumo en barra anual del territorio de Aguada en 2016, lo que significa ahorro de combustible fósil.

## **REFERENCIAS**

- Bain, R., y Broer, K., *Thermochemical Processing of Biomass*. Editorial BROWN, Iowa, 2011, pp. 2-6.
- Baudel H.M., Zaror, C., de Abreu, C.A., *Improving the value of sugarcane bagasse wastes via integrated chemical production systems: an environmentally friendly approach.*, *Industrial Crops and Products*, Vol. 21, No. 3, 2005, pp. 309-315.
- ECURED., *Asociación Cubana de Producción Animal., Recuperemos la tierra. Marabú. Estrategias para la eliminación.* En: *Finquero: Fincas diversificadas.* (Ed. J.L. Álvarez Calvo). ACPA, Ciudad de La Habana, Cuba, 2010, pp. 23 Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Marab%C3%BA> .
- Espinosa, N., y Peñalver, Y., *Balance Energético en la Empresa Azucarera Antonio Sánchez para reducir consumos y aumentar el sobrante de bagazo.*, *Ingeniería de Procesos, Proyecto de curso, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas*, 2012.
- Freide, M., *Propuesta para el aumento de capacidades en la Industria Azucarera Antonio Sánchez, Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniera Química, Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez*, 2015.
- Lorenzini, G., Biserni, C., & Flacco, G., *Solar Thermal and Biomass Energy.*, University of Bologna, Italy: WIT Press, 2010, pp. 133-146.
- Menes, S., González, V., Leiva, J., Vilches, J. Hernández, A., *Alternativa para aumentar la entrega de energía eléctrica en el central azucarero Antonio Sánchez, Centro Azúcar*, Vol. 40, No. 1, 2013, pp. 66-72.
- Pérez, R., *Consideraciones medioambientales de la gasificación de biomasa cañera en un central azucarero.*, *Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas*, 2005, pp. 2-3.
- Peters, M., and Timmerhaus, K., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.*, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Co., 1991, pp. 150-166 y 180-210.
- Puigjaner, L., *Syngas from Waste: Emerging Technologies.*, Barcelona: British Library, 2011, pp. 23-54.
- Reyes, J., y Betancourt, J., *La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental.*, *Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas*, 2003, pp. 2-9.
- Rubio, A., *Generadores de Vapor. Funcionamiento y explotación.*, *Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas*, 2000, pp. 6-18.
- Torres, J., *La biomasa cañera y el tránsito en Cuba hacia una energética sustentable.*, *Cubaenergía*, Vol. 35, 2007, pp. 3-8.
- Valdés, A., y Roque, P., *Generación y cogeneración de electricidad a partir de la biomasa cañera.*, *Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas*, 2009, pp. 6-10.