



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PROPUESTA PRÁCTICA DEL EXAMEN COMPLEXIVO

**TEMA: "AUMENTO DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN
AGROINDUSTRIAL."**

Autores:

LOMBEIDA HERNÁNDEZ CINTHIA TERESA

VELASTEGUI ALBURQUEQUE JENNIFFER ELIZABETH

Acompañante:

MSc. CESAR SÁNCHEZ EUGENIO DE DIOS

**Milagro, Septiembre 2017
ECUADOR**

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Nosotras, Lombeida Hernández Cinthia Teresa y Velastegui Alburqueque Jenniffer Elizabeth en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la propuesta práctica de la alternativa de Titulación - Examen Complexivo, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor de la propuesta practica realizado como requisito previo para la obtención de nuestro Título de Grado, como aporte a la Temática "AUMENTO DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL." del Grupo de Investigación de la Automatización y el Control Industrial de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social De Los Conocimientos, Creatividad E Innovación, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

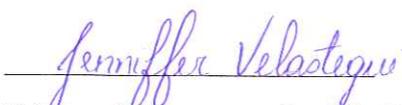
Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de esta propuesta practica en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, a los 15 días del mes de Septiembre del 2017



Lombeida Hernández Cinthia Teresa
C.I. 094226517-4



Velastegui Alburqueque Jenniffer Elizabeth
CI: 094209885-6

APROBACIÓN DEL ACOMPAÑANTE DE LA PROPUESTA PRÁCTICA

Yo, MSc. Cesar Sánchez Eugenio De Dios en mi calidad de acompañante de la propuesta práctica del Examen Complexivo, modalidad presencial, elaborado por las estudiantes Lombeida Hernández Cinthia Teresa y Velastegui Alburqueque Jenniffer Elizabeth; cuyo tema es: "AUMENTO DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL.", que aporta a la Línea de Investigación GESTIÓN DE LA CALIDAD previo a la obtención del Grado de Ingeniera Industrial; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Examen Complexivo de la Universidad Estatal de Milagro.

En la ciudad de Milagro, a los 15 días del mes de Septiembre de 2017.



MSc. CESAR SÁNCHEZ EUGENIO DE DIOS
C.I. 096005557-2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por: Eugenio César Sánchez, Miguel Orión y Carmen Hernández Domínguez

Luego de realizar la revisión de la propuesta práctica del Examen Complexivo, previo a la obtención del título de Ingeniera Industrial presentado por las señoritas Lombeida Hernández Cinthia Teresa y Velastegui Alburqueque Jenniffer Elizabeth.

Con el título:

“AUMENTO DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL.”

Otorga al presente la propuesta práctica del Examen Complexivo, las siguientes calificaciones:

MEMORIA CIENTÍFICA	[93,9]
DEFENSA ORAL	[5]
TOTAL	[98,90]
EQUIVALENTE	[46,67]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) Aprobado

Fecha: 25 de 09 del 2017.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombres y Apellidos	Firma
Presidente	<u>Eugenio César</u>	<u>E. César</u>
Vocal 1	<u>Miguel Orión</u>	<u>M. Orión</u>
Vocal 2	<u>Carmen Hernández</u>	<u>C. Hernández</u>

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación va dedicado a Dios ya que me ha dado salud, sabiduría y ha guiado mi camino para cumplir mis metas a pesar de los obstáculos me mantiene fuerte en pie de lucha; a mis padres amados Mary Hernández y José Lombeida que siempre me han apoyado en mis estudios y en cada paso que doy que con sus consejos han hecho de mi lo que soy.

A mi amado esposo, a mis hermanos y familiares que siempre han estado a mi lado en cada momento siendo ellos pilar fundamental en mi vida, quiero agradecerles por todo el esmero, esfuerzo, dedicación y ejemplo que me han dado.

A mis estimados docentes por compartir sus sabios conocimiento en todo mi proceso de formación académica.

Lombeida Hernández Cinthia

DEDICATORIA

A Dios.

Porque gracias a él estoy viva y me ha dado salud para llegar a cumplir uno de mis más grandes sueños, obtener mi título de tercer nivel.

A mis padres.

Por ser el pilar fundamental dentro de mi vida, por apoyarme y aconsejarme en cada paso que doy, gracias por demostrarme que con esfuerzo y dedicación todo puede ser posible.

A mis hermanos.

Ya que mi vida no sería lo mismo sin ellos.

A mi esposo.

Por ser mi apoyo, mi consejero y amigo, por estar ahí conmigo cada vez que sentía ya no poder más y demostrarme con amor que los sueños no se abandonan, sino más bien se lucha por ellos.

A mis familiares.

Por brindarme consejos y palabras de aliento, además de estar pendientes de que siga adelante y logre cumplir mis sueños.

A mis maestros

Porque gracias a sus sabias enseñanzas, tiempo y mucha paciencia, lograron transmitirme sus conocimientos durante mi formación profesional.

Velastegui Alburqueque Jenniffer

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios ya que sin él nada sería posible y porque me permitió culminar mis estudios universitarios.

A mis padres por el apoyo incondicional y por sus consejos que me sirvieron mucho para seguir adelante con mis estudios y sueños, por sus sacrificios pero sobre todo porque ellos estuvieron presente en todo momento apoyándome incondicionalmente sin importar las consecuencia, a mis hermanos que siempre me daban ánimos cuando creía ya no poder más, a mis familia que siempre desearon verme obteniendo mi título, a mi esposo por compartir tristezas y alegrías durante todo este proceso.

Agradezco a mis docentes por su paciencia, orientación y por brindarme sus conocimientos que me servirán en mi vida profesional, que con sus enseñanzas y experiencias me han sabido guiar.

Lombeida Hernández Cinthia

AGRADECIMIENTO

En primer lugar deseo agradecer a Dios porque sé que sin él nada sería posible en esta vida, asimismo a mi madre por tanto sacrificio y apoyo incondicional durante todos mis años de estudio, a mi padre porque ha sabido guiarme por el buen camino, aconsejándome y alentándome siempre, también a mi esposo por depositar su confianza en mí y creer en que podía llegar a cumplir mis sueños.

De igual forma mi agradecimiento va hacia mis familiares por su gran apoyo moral y humano, mismos que me han servido ante cada una de las adversidades que se me presentaron durante el desarrollo de mi formación profesional.

Y finalmente quiero agradecer a mis maestros, por su orientación, paciencia y mucha dedicación en sus enseñanzas impartidas.

Velastegui Alburqueque Jenniffer

INDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR.....	II
APROBACIÓN DEL ACOMPAÑANTE DE LA PROPUESTA PRÁCTICA.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VII
INDICE DE FIGURA	X
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO.....	4
DESARROLLO.....	16
CONCLUSIONES.....	21
BIBLIOGRAFÍA.....	23

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Tipos de Biomasa	5
Figura 2. Bagazo de caña de azúcar.....	6
Figura 3. Vista frontal de un generador de vapor de tuberías de agua.....	8
Figura 4. Diagrama de un generador de vapor que utiliza como combustible el bagazo	9
Figura 5. Resultados del balance térmico de un generador de vapor de bagazo.....	11
Figura 6. Variables principales de un generador de vapor de bagazo.....	13
Figura 7. Sistema de control de la temperatura del vapor sobrecalentado.....	15
Figura 8. Diagrama funcional de un generador de vapor de bagazo	18

GLOSARIO

GV: Generadores de vapor

DS: Domo superior

DI: Domo inferior

HTD: Haces de tubos descendentes

HTA: Haces de tubos ascendentes

VTF: Ventiladores de tiro forzado

VTI: Ventilador de tiro inducido

SC: Sobrecalentador

E: Economizador

AC: Calentador de aire

A: Atemperador

TEMA:**“AUMENTO DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIA.”****RESUMEN**

En la actualidad el Ecuador cuenta con grandes empresas dentro del sector azucarero, donde el 80% de la caña proviene de sus plantaciones y el resto de los tercios, de los cuales se obtiene anualmente una cantidad considerable de subproductos como el bagazo, cachaza, vinaza y ceniza. De los mencionados anteriormente, el bagazo es utilizado para la cogeneración de vapor, mientras que la cachaza, vinaza y ceniza son usadas para aplicarlos nuevamente al cultivo de caña ya sea de forma fresca o compostada.

La demanda de vapor puede variar dependiendo de la capacidad operativa de la planta, es por ello que, al haber un excedente, es utilizado para la generación de energía eléctrica. En Ecuador el Ingenio San Carlos fue pionero en implementar el kilovatio – hora de éste tipo de energía limpia a la red pública (Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP).

Los generadores de vapor que utilizan bagazo como combustible son muy utilizados en la industria azucarera, es por ello que el presente trabajo se enfoca fundamentalmente en los elementos que contribuyen a mejorar la calidad de la producción agroindustrial, haciendo énfasis en los GV de tubos de agua también conocidos como acuotubulares.

Los GV acuotubulares son equipos grandes y pesados, que tienen como función calentar agua o generar vapor, mediante el uso de calor mayor al del medio ambiente y a su vez una presión mayor a la atmosférica. Como principio básico se dice que poseen una cámara, en la cual se produce la combustión con la ayuda del aire comburente y el calor es transferido mediante una superficie (tubos) de intercambio. Estos equipos son de gran importancia para la cogeneración de vapor, es por ello que aquí

se analizará su funcionamiento y las condiciones que deben tener desde el punto de vista de la automatización y control para aumentar su eficiencia.

PALABRAS CLAVE: Desarrollo; Calidad; Agroindustria; Productividad; Cogeneración; Automatización

TITTLE:

“INCREASE OF THE QUALITY OF THE PRODUCTION AGROINDUSTRIA.”

ABSTRACT

At present, Ecuador has large companies in the sugar sector, where 80% of sugarcane comes from its plantations and the rest of the thirds, from which a considerable amount of by-products such as bagasse, cachaza, vinasse and ash. Of those mentioned above, bagasse is used for cogeneration of steam, while cachaza, vinasse and ash are used to apply them again to the cane crop either fresh or composted.

The demand for steam can vary depending on the operational capacity of the plant, which is why, because there is a surplus, it is used for the generation of electric energy. In Ecuador Ingenio San Carlos was a pioneer in implementing the kilowatt - hour of this type of clean energy to the public network (Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP).

Steam generators that use bagasse as a fuel are widely used in the sugar industry, which is why the present work focuses mainly on the elements that contribute to improve the quality of agroindustry production, with emphasis on the GV of water pipes also known as aquotubular.

Aquotubular GV are large and heavy equipment, whose function is to heat water or generate steam, through the use of heat greater than the environment and in turn a pressure greater than atmospheric. As a basic principle it is said have a chamber, in which combustion takes place with the aid of the combustion air and the heat is transferred by an exchange surface (tubes). These equipments are of great importance for the cogeneration of steam, that is why it will here analyze their operation and the conditions that they must have from the point of view of the automation and control to increase its efficiency.

KEYWORDS: Development; Quality; Agroindustry; Productivity; Cogeneration; Automation

INTRODUCCIÓN

El creciente interés y desarrollo de la industria trajo dos hechos importantes en el proceso de producción de azúcar y energía que están llevando a cabo las empresas del sector en menor escala, pero sin una verdadera conciencia del hecho, debido a la falta de información sobre la importancia de esta articulación y el establecimiento de indicadores de los sistemas de producción para aumentar la rentabilidad de las industrias azucareras, a través de la eficiencia de las operaciones unitarias y factores relacionados como los costos, la reducción de pérdidas y mejorar la calidad de los productos, azúcar, electricidad, bebidas y subproductos (bagazo, miel, vinaza, balanceados, entre otros) respetando los aspectos científicos, técnicos, ambientales y sociales.

Es de destacar que este trabajo se enfoca en conocer y analizar los elementos que intervienen en la producción de vapor y energía eléctrica, utilizando como combustible el bagazo de caña, el cual es un subproducto en la producción de azúcar. Al hacer uso de éste recurso genera grandes beneficios y a su vez vuelve más eficiente la industria azucarera. Los Generadores de Vapor (GV) son equipos que se encargan de transformar la energía química que contienen los combustibles, la cual mediante la combustión se convierte en energía térmica, misma que es transferida al agua para producir el vapor. Las empresas azucareras que tienen como principio ser más eficientes, no utilizan combustibles fósiles, sino más bien biocombustibles (biomasa de bagazo de caña), de ésta manera se reduce la emisión de gases efecto invernadero y tóxicos que impactan directamente al medio ambiente y a la población. (Alderetes, 2016)

Por un lado, las impetuosas inversiones en los GV de gran capacidad y eficiencia, sobre altas presiones y temperaturas de trabajo. Y por otra parte, un replanteamiento integral de

las prácticas ópticas y de mantenimiento, sirviendo de apoyo hasta ahora para las calderas tradicionales de baja presión y eficacia.

Dependiendo del desarrollo del país y de su crecimiento mediante el uso del bagazo para la generación de vapor, la industria azucarera contribuye con más del 5% de la energía total requerida por el ingenio, generando ingresos significativos al disminuir el consumo de combustibles fósiles no renovables. (Amado González, Villamizar Quiñonez, & Martínez Reina, 2014)

Además de estos cambios, en Brasil y en otros países se está haciendo uso de los primeros GV de un solo domo (monodrum) y las de lecho fluidizado que están introduciendo una nueva tecnología e innovación en este campo, con capacidades y condiciones de trabajo nunca antes vistas, excepto en las termoeléctricas.

Ecuador es un país que va avanzado en todos sus aspectos, siendo el sector azucarero de suma importancia para la economía del mismo, es así que siguiendo los avances de la cogeneración de energía, el Ingenio San Carlos fue el pilar en el uso de bagazo de recursos renovables en Ecuador. Esto se logró con su proyecto de utilización del bagazo de la caña de azúcar restante (biomasas) del proceso de fabricación del azúcar. (Ingenio San Carlos, 2012)

Por otro lado, también influyó el conocimiento, la gestión y la aplicación de las buenas prácticas establecidas en los códigos y normas internacionales para los GV de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), el Consejo Nacional de Código de Inspección (NBIC) EPRI (Energy Porter Research Institute), O la CIM, así como la adición

de nuevas técnicas en el campo del conocimiento que permitan un manejo más óptimo y eficiente de este equipo. (Pinasco, 2013)

MARCO TEÓRICO

Sector productor de azúcar

Con el paso de los años, el progreso de la investigación y la tecnología en el cultivo de la caña de azúcar, se ha ampliado la cartera de productos para agregar valor a la cadena productiva, de tal manera que en la actualidad los mismos ingenios manufacturan diferentes grados de azúcar, alcohol industrial, bebidas alcohólicas, alcohol combustible, energía eléctrica, preparaciones alimenticias, fertilizantes orgánicos, entre otros. (Menes Alomá, González Morales, Leiva, Vilches Ferreiro, & Hernández Sardiñas, 2013)

El uso del bagazo como combustible para la cogeneración permite que las fábricas de azúcar sean autosuficientes en las necesidades de energía térmica y eléctrica, incluso con sistemas de baja eficiencia. (Obregón Luna, Gómez Avilés, & Hernández León, 2016) La nueva realidad de estas fábricas, es que prevé vender excedentes de electricidad y al mismo tiempo lograr mayor obtención de bagazo para su utilización como materia prima en otras producciones, implica la necesidad de buscar un compromiso entre los factores, bagazo para la obtención de otros productos (etanol, furfural, lignina) o bagazo para la producción de electricidad. (Esquivel Romero, 2013)

La baja eficiencia de los actuales sistemas de cogeneración, así como el no uso de corrientes con calidad térmica en el proceso de producción, aumenta el consumo de vapor provocando un incremento en el consumo de bagazo, limitando así el exceso y la producción de electricidad. (Silva, 2016)

En este contexto, la aplicación de herramientas de simulación, uso de la energía y análisis energético de diferentes sistemas de cogeneración, permite determinar esquemas más

eficientes con mayores ganancias en la producción de electricidad y excedentes de bagazo. En este trabajo se propone analizar los esquemas de cogeneración energética y exergéticamente más eficientes para la industria azucarera. (Abreu Elizundia, González Cortés, & Rico Ramírez, 2015)

Energía de la biomasa

Es aquella energía proveniente de algún proceso biológico en el cual intervienen elementos orgánicos, por ejemplo: residuos de la industria azucarera (subproducto - bagazo), heces de los animales, seres vivos o vegetales en estado de descomposición. Uno de los principales beneficios que se obtiene al utilizar biomasa de bagazo para la generación de energía, es que la emisión de compuesto de azufre se reduce considerablemente, dando como resultado una diferencia notoria en comparación con el uso de combustible fósiles. (Brown Gómez, Pérez Hernández, & Izquierdo González, 2015)

Se conoce como biomasa a los residuos orgánicos de origen industrial, vegetal o animal, en los cuales se acumula energía, tal como se observa en la figura 1. Por ejemplo: durante el proceso de la fotosíntesis las plantas se proveen de energía, la cual es captada por los animales, los desechos que diariamente produce el ser humano, la industria mediante sus procesos, basura en estado de putrefacción, entre otros. (Clavelo Sierra, González Cortés, & Espinosa Pedraja, 2015)

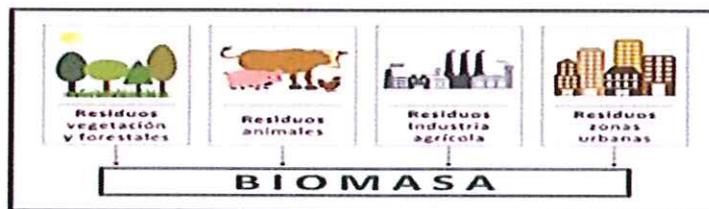


Figura 1. Tipos de Biomasa

Fuente: (Arteaga Pérez, Luis Ernesto; Casas Ledónb, Yannay; Cabrera Hernándezb, Jagni; Rodríguez Machínc, Lizet, 2014)

Dentro del proceso de la combustión uno de los elementos fundamentales es el carbono, por ello debe estar presente en toda materia orgánica que vaya a ser utilizada como biomasa, la misma que puede convertirse en energía eléctrica o térmica beneficiando enormemente al hombre. Todo esto disminuye la contaminación del medio ambiente al utilizar residuos orgánicos para la obtención de energía. (Arteaga Pérez, Luis Ernesto; Casas Ledónb, Yannay; Cabrera Hernándezb, Jagni; Rodríguez Machínc, Lizet, 2014)

Bagazo de caña de azúcar

El bagazo es un subproducto obtenido durante la molienda (o difusión) de la caña de azúcar, el cual se utiliza como combustible natural en las industrias azucareras para la generación de vapor. Es un combustible natural que sirve entre otras cosas para producir vapor en las fábricas de azúcar. De origen fibroso y heterogéneo, que presenta una densidad relativamente baja del 26%, un contenido de humedad del 50%, sólidos particulados 40-46% y sólidos solubles 6-8%, en las condiciones en que se obtiene a partir del proceso de molienda de la caña.



Figura 2. Bagazo de caña de azúcar

Fuente: (Trebilcock, Santamaría, & Alarcón, 2014)

En la figura 2 observamos el proceso de molienda o difusión mediante el cual se obtiene el bagazo de caña de azúcar para la generación de vapor y electricidad.

Aspectos ambientales de la combustión de biomasa.

En la actualidad el medio más contaminado es la atmósfera, la cual recibe todos los gases que se emiten producto de la combustión. El uso de energía menos contaminante proveniente de la biomasa no implica que se mitigue la contaminación, ya que al producirse una combustión incompleta se emiten componentes químicos o partículas que afectan directamente el entorno aunque en pequeñas cantidades. (Trebilcock, Santamaría, & Alarcón, 2014)

En los GV y su grado de automatización, los avances tecnológicos, la composición de los combustibles, los métodos de combustión, los controles sobre emisiones primarias y secundarias, son los que tendrán gran influencia en la contaminación de la atmósfera durante la quema de biomasa. Todos los aspectos mencionados anteriormente, al ser usados de forma correcta y eficiente reducirán la contaminación, volviendo los procesos amigables con el medio ambiente.

Generadores de Vapor de Bagazo de Tubos de Agua (Acuotubulares)

Los GV se caracterizan por la circulación del agua (o mezcla de vapor de agua) dentro de los tubos y la aplicación de calor (fuego) en su superficie exterior. Los tubos están unidos a una o más domos (depósitos cilíndricos de estructura interna compleja), que generalmente se colocan en una posición horizontal. El domo superior se mantiene con un nivel de agua de aproximadamente en el 50% de su diámetro. El domo inferior se mantiene lleno de agua y es el punto más bajo del generador de vapor. En el domo inferior se acumula el lodo que se forma en el proceso de producción de vapor, que es drenado desde este punto.

En la figura 3 se muestra una vista frontal de un generador de vapor de tubo de agua de circulación natural, en el que se pueden ver algunos de sus principales componentes: el horno, el domo superior y el domo inferior y los haces de tubos descendentes y ascendentes.



Figura 3. Vista frontal de un generador de vapor de tuberías de agua

Fuente: (Perán González, 2011)

Esta clase de GV tiene una amplia gama de producción de vapor, que van desde la pequeña producción en calderas compactas hasta grandes producciones de 1000 t/h y presiones de hasta 150 kg-f/cm² (14.7MPa). Se utilizan principalmente en industrias que requieren una alta demanda de vapor de alta presión y naturaleza seca.

Los GV que utilizan como combustible el bagazo se componen de los siguientes elementos:

1. Horno (hogar) o cámara de combustión;
2. Cinta transportadora de bagazo y alimentador;
3. Cámara de generación de vapor, que consiste en el domo superior (DS), el domo inferior (DI), haces de tubos descendentes (HTD) y los haces de tubos ascendentes (HTA);

4. Sistema de inyección y tracción, formado por ventiladores de tiro forzado (VTF), ventilador de tiro inducido (VTI) respectivamente, conductos para suministrar aire al horno y extracción de los gases de la combustión, así como de la chimenea;
5. Superficies auxiliares de transferencia de calor, incluyendo sobrecalentador (SC), economizador (E), calentador de aire (AC) y dispositivo de control de temperatura o atemperador (A).
6. Otros equipos y dispositivos auxiliares. (Perán González, 2011)

En la figura 4 se muestra el esquema de los componentes de un generador de vapor que utiliza como combustible el bagazo de la caña de azúcar.

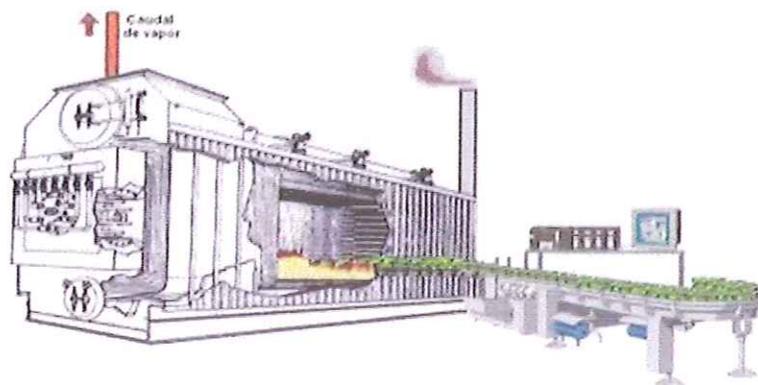


Figura 4. Diagrama de un generador de vapor que utiliza como combustible el bagazo

Fuente: (Perán González, 2011)

Para garantizar una alta eficiencia del generador de vapor se recomienda:

1. Desarrollar la combustión eficiente, que depende de cuán completa y eficiente sea la reacción de oxígeno / carbono, disminuyendo con el aumento de oxígeno requerido para la combustión completa, así como con el contenido de combustible no quemado (CO) en los gases producto de la combustión.

El quemador debe ser alimentado con una proporción de bagazo-aire adecuada, usar bagazo con un bajo% de humedad, y asegurar la limpieza del quemador.

2. Elimine las pérdidas de calor, que ocurren con más frecuencia en las chimeneas, así como a través de la radiación y las purgas continuas del domo y pueden representar pérdidas de hasta un 30% de eficiencia. En las chimeneas es necesario desarrollar un mantenimiento adecuado y seguir las normas del fabricante. Para reducir las pérdidas de calor por radiación, se recomienda aislar las paredes del horno y, en general, todas las superficies de transferencia de calor del generador de vapor.
(Perán González, 2011)

3. Evitar los siguientes focos de pérdida de calor:

- Altas temperaturas en los gases de combustión;
- Combustibles no quemados;
- Alto porcentaje de oxígeno en los gases de combustión debido a un alto exceso de aire;
- Alta temperatura de las paredes de los diferentes equipos y dispositivos del generador de vapor;
- Baja calidad del vapor de agua por exceso de humedad;
- Purga excesiva o flujo muy continuo;
- Paradas frecuentes del generador de vapor debido a fallos;
- Ceniza muy caliente;
- Entrada del flujo de agua de alimentación al domo superior con temperatura inferior a la requerida;
- Agua en el aire de combustión;
- Mala calidad del bagazo debido al exceso de humedad, entre otros factores;
- Fugas de vapor;

- Grietas e incrustaciones de sal; Operaciones fluctuantes con demandas muy variables sobre el vapor.

La figura 5 muestra un diagrama en el que se pueden observar los resultados del balance térmico de un generador de vapor que utiliza bagazo como combustible.

La eficiencia de un GV se determina por la relación entre el calor total disponible en el combustible y el calor útil considerando el calor utilizado en el funcionamiento del generador de vapor. (Perán González, 2011)

Para una buena efectividad del funcionamiento de los GV, es necesario que las variables y parámetros que inciden en su trabajo se mantengan dentro de la gama requerida para su diseño, esto trae como consecuencia una mejora sustancial en la calidad del proceso agroindustrial, pero se requiere de un determinado nivel de control y automatización como se verá a continuación.

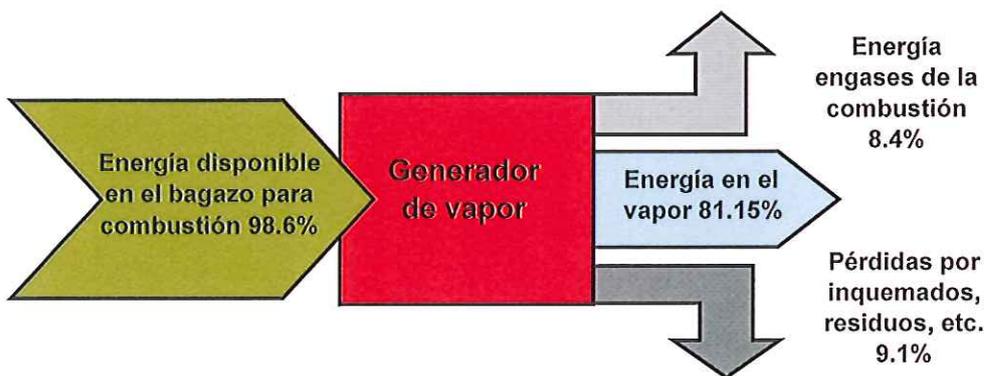


Figura 5. Resultados del balance térmico de un generador de vapor de bagazo

Fuente: (Perán González, 2011)

Control de generadores de vapor que utilizan como combustible el bagazo

Los GV como objetos de control automático se caracterizan por ser plantas muy complejas compuestas de múltiples equipos y dispositivos que tienen una gran interacción y que operan en condiciones de alta presión y temperatura. Es por ello que estos equipos deben ser operados de tal manera que se obtenga un desempeño eficiente y seguro que garantice el flujo requerido de vapor de calidad con un consumo mínimo de bagazo, así como con la menor contaminación posible del medio ambiente.

Los GV que utilizan el bagazo como combustible se benefician enormemente de la eficiencia y seguridad de los sistemas de control automático. Debido a la naturaleza termodinámica de los diferentes procesos que se desarrollan en estos equipos, se caracterizan por ser inherentemente lentos, de modo que los controladores automáticos reaccionan con mayor velocidad y precisión que los operadores humanos.

El sistema de control automático debe garantizar un funcionamiento efectivo y seguro del generador de vapor independientemente de las variaciones que puedan surgir en la carga (demanda de vapor).

Los GV son plantas con múltiples variables de entrada y salida y grandes interacciones entre estas variables. Además, están sujetos al efecto de diversas perturbaciones externas e internas que afectan significativamente su funcionamiento normal. (Perán González, 2011)

La figura 6 muestra un diagrama de un GV de bagazo, en el cual es posible observar algunas de las variables principales que están sujetas a medición, registro y control.

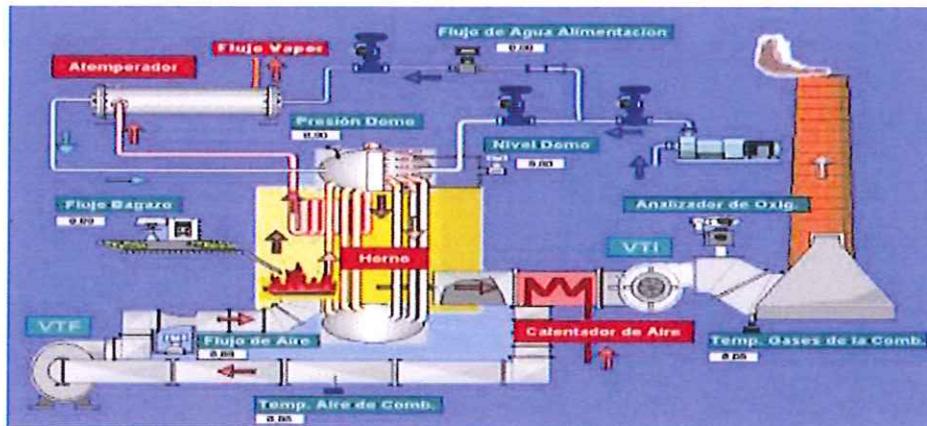


Figura 6. Variables principales de un generador de vapor de bagazo

Fuente: (Perán González, 2011)

En los GV existen tres grupos de control fundamentales:

- Control de combustión;
- Control del agua de alimentación;
- Control de la temperatura del vapor sobrecalentado.

Control de la combustión

El control eficaz de la combustión es de gran importancia porque el desarrollo de la combustión completa y eficiente es el principal objeto de operación de cualquier GV, el cual es utilizado para mantener la presión del vapor a un valor de referencia dado por las condiciones del proceso.

La combustión completa se produce cuando hay suficiente aire disponible. A este respecto, debe tenerse en cuenta que la pérdida de calor útil asociada con el exceso de aire en las emisiones de los gases procedentes de la combustión a través de la chimenea es una de las causas fundamentales de ineficiencia en los GV. La magnitud de estas pérdidas puede ser determinada por la temperatura de los gases que son expulsados a través de la chimenea.

El control de combustión está relacionado con el balance de energía en el generador de vapor. La demanda de energía es una función de la carga (demanda de vapor) y debe ser compensada por la energía suministrada por el bagazo.

Control de agua de alimentación

El sistema de control del agua de alimentación tiene como objetivo mantener el equilibrio de materiales entre el flujo de agua que entra en el domo superior y el flujo de vapor que se extrae. La variable que caracteriza este equilibrio es el nivel de agua en el domo.

Durante el proceso de generación de vapor es necesario mantener el nivel de agua en el domo superior dentro de una banda alrededor del valor de funcionamiento (normalmente ± 50 mm del nivel de funcionamiento).

Una disminución del nivel de agua en el domo superior por debajo de su valor mínimo permisible causa violaciones en la circulación de agua a través de los tubos de circuito de agua, lo que puede conducir a un sobrecalentamiento y consecuente perforación y / o destrucción de dichas tuberías. Por el contrario, un aumento del nivel de agua en el domo superior por encima de su valor máximo permisible provoca el arrastre de agua y sales con el vapor, lo que causa condiciones de peligro en el funcionamiento del generador de vapor. (Perán González, 2011)

Control de la temperatura del vapor sobrecalentado

Generalmente, el flujo de vapor producido ($Q_v(t)$) por los GV que su combustible es el bagazo, se utiliza en la generación de la electricidad que necesita la propia industria. Es por

esto que este flujo de vapor debe cumplir con ciertos parámetros de calidad (contenido de agua y temperatura).

Para mejorar la calidad del flujo de vapor que se genera, se somete a un proceso de sobrecalentamiento, cuyo objetivo es aumentar su temperatura por encima de la temperatura de saturación.

Un método utilizado frecuentemente para controlar la temperatura del flujo de vapor sobrecalentado ($Q_{vscap}(t)$) consiste en el uso de dos sobrecalentadores primarios (SC1) y secundarios (SC2) y un dispositivo de templado (A), que permite disminuir la temperatura ($T_{vscap}^0(t)$) del vapor de alta presión sobrecalentado a la salida del sobrecalentador primario (SC1) y obteniendo así la temperatura requerida del vapor sobrecalentado a la salida del sobrecalentador secundario (SC2).

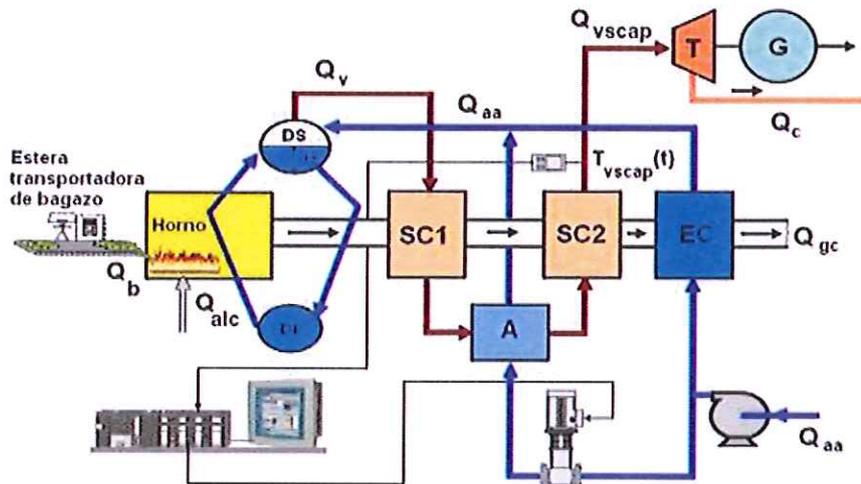


Figura 7. Sistema de control de la temperatura del vapor sobrecalentado

Fuente: (Perán González, 2011)

En la figura 7 se muestra un diagrama de un sistema de control de temperatura ($T_{vscap}^0(t)$) de vapor sobrecalentado basado en este método.

DESARROLLO

Para abastecer esta gran demanda de energía, existen sistemas de cogeneración viables para esta clase de industria (Azucarera), al usar biomasa como combustible para la generación de energía térmica, le permite a la industria obtener vapor ya sea para la cocción o calentar sus procesos, o también para la obtención de energía eléctrica para el funcionamiento de sus máquinas y equipos. Por otra parte, éste proceso de reutilización de un subproducto como es el bagazo de caña de azúcar, permite que el medio ambiente no se vea afectado ya que no se utilizaría combustibles fósiles.

Los ingenios azucareros en Ecuador generan grandes cantidades de bagazo, es por ello que aparte de satisfacer sus necesidades en la cogeneración de vapor le permite a la industria producir energía eléctrica, misma que al existir excesos es vendida a la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP, siendo ésta forma de energía beneficiosa para el medio ambiente.

El proceso comienza transportando la caña de azúcar desde los canteros de los ingenios azucareros y cultivos de pequeños agricultores de la zona hacia las plantas. Existen dos maneras de cosechar la caña de azúcar: a) mediante la fuerza del hombre, haciendo uso de diversos utensilios (machete y garabato) generando un corte manual para la posterior recolección; b) el sistema mecánico es donde se utiliza maquinas cortadoras de caña de azúcar, disminuyendo el largo de la caña en pedazos cortos para mejorar la calidad de esta materia prima y su traslado seguro, este método permite anular el costo de la mano de obra.

Estas dos formas de cosechar la caña de azúcar permite transportar la materia prima desde los canteros hasta el ingenio, donde serán vaciados a un grupo de cuchillas mecánicas que

tomaran la caña y la cortaran en tamaños pequeños, para realizar la molienda (o la difusión) de forma rápida, sencilla y eficaz, obteniendo un bagazo con menos humedad para utilizarlo en la generación de vapor, ya que mediante este proceso se extrae la mayor cantidad del jugo de la caña de azúcar.

El bagazo que se extrae de la caña de azúcar es trasladado mediante un mecanismo de banda al GV que se encuentran fijas y relacionadas de manera directa con el sistema de cogeneración de energía, el cual se encuentra esquematizado para incinerar el bagazo que es el combustible principal en los ingenios al ser un sub producto que se convertirá en materia prima para otro proceso, en otras industrias también tienen implementado este método que les ayuda a ser autosuficiente pero lo utilizan con otros residuos como aceite de pescado, cascarilla de arroz, leña, etc.

El sistema de cogeneración posee un método de higiene eficiente y ágil que permite a través del vapor, la válvula rotatoria y el transporte del gusano eliminar las cenizas presentes, para desarrollar esta actividad es necesario que el aire primario esté precalentado mediante los gases por los tubos bajo la rejilla y el aire secundario sea soplado con una presión alta por la rejilla causando temperatura elevada y perturbaciones para la quema del bagazo con el objetivo de obtener una combustión completa.

1. Cuando el exceso de aire es mayor que el requerido para la combustión completa, el calor útil escapa con los gases de combustión a través de la chimenea. En este caso, los gases de combustión tienen un tono blanco.
2. Cuando el exceso de aire es insuficiente, se produce una pérdida de calor debido al escape del combustible no quemado con los gases de combustión a través de la chimenea. En este caso, los gases de combustión tienen un tono negro.
3. Cuando el combustible no quemado escapa, existe un cierto riesgo de explosión como resultado de la falta de oxígeno.
4. Las pérdidas que surgen de cantidades insuficientes de aire son mucho más altas que las pérdidas debido al exceso de aire.

Además, la falta de aire provoca la acumulación de combustible no quemado en el horno, la disminución de la transferencia de calor, así como un aumento en el trabajo de mantenimiento del generador de vapor.

La afluencia de bagazo en el horno (hogar) del generador de vapor con un alto% de humedad (superior al 50%) causa una cantidad excesiva de humo, lo que implica pérdida de llama y provoca una caída de la presión de vapor que afecta al proceso productivo de generación de electricidad y fabricación de azúcar.

Los gases producidos por la combustión (G_{gc}) son extraídos del horno por el ventilador de tiro inducido (VTI). Estos gases transfieren parte de su calor a los fluidos que circulan a través de las diferentes superficies auxiliares antes de ser evacuados a la atmósfera. (Perán González, 2011)

En base a lo analizado anteriormente se ha visto la influencia en la calidad de la producción industria azucarera y de la agroindustria de la generación del vapor como elemento fundamental, por lo que se pueden sacar las conclusiones siguientes:

CONCLUSIONES.

Las fábricas utilizan para sus procesos de producción dos tipos de energía: la térmica y eléctrica; mediante sistemas de cogeneración para mantener activa la planta, esto les facilita aumentar su eficiencia en los procesos y optimizar los recursos de la organización, de esta manera se incrementa el uso del combustible (bagazo) para generar energía eléctrica y producir vapor en la elaboración del azúcar.

El sistema de cogeneración es un método técnico eficaz por diversas causas: se alcanza una autonomía energética gracias a la autosuficiencia de energía eléctrica previamente proporcionada por la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP, lo que permite la eliminación de considerables costos de consumo de electricidad.

La implementación del método de cogeneración en el ingenio, ha demostrado el alcance de generación térmica y eléctrica que se puede obtener, ya que permite determinar la capacidad energética de una hectárea de caña de azúcar; esto se da cuando el ingenio invierte en tecnología de manera que la técnica de extracción del jugo de la caña de azúcar sea óptimo para obtener el bagazo con menor cantidad de humedad e incrementar el nivel calorífico del mismo.

Al emplear la biomasa para generar energía eléctrica mediante métodos actuales se logra satisfacer las necesidades que acarrear a la sociedad y a la industria, alcanzando a aplacar los gases del efecto invernadero que de manera directa contamina el medio ambiente provocando daños irreparables con el pasar del tiempo, los cuales se producen en las calderas del ingenio que consume combustible fósiles para su funcionamiento, al utilizar la

biomasa de la caña de azúcar (bagazo) la cual se adquiere en el proceso de fabricación de la azúcar nos ayudara en la reducción notable del impacto ambiental, ya que este método es amigable;. Para adquirir y efectuar una técnica de cogeneración es recomendable renovar todos los equipos en mal estado o antiguos, por equipos eficientes y actuales que permitan el mejor desarrollo de la industria y de sus procesos.

Al usar el bagazo extraído de la caña de azúcar como combustible para generar energía eléctrica, se debe tener en consideración ciertas formas: el ingenio tiene como actividad principal la producción de azúcar y alcohol, más no generar electricidad, por lo que se necesita que la materia prima (caña de azúcar) contenga gran aumento en la cantidad de jugo, lo que causará incremento en la humedad del bagazo y perderá poder calorífico, dificultando su combustión en las calderas bagaceras, este inconveniente de la humedad puede minimizarse con una molienda óptima de la caña o buena difusión.

Las calderas acuotubulares tienen un sistema adicional que consiste en la entrada del bagazo a la casa de la caldera que está en la parte superior para luego llegar a la casa en la parte inferior donde perderá una proporción de la humedad que posee al entrar a la casa, estas calderas tienen una característica particular a otras ya que son de altura considerable, para brindar un enorme poder calorífico al combustibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu Elizundia, H., González Cortés, M., & Rico Ramírez, O. (2015). *Evaluación de esquemas de cogeneración de energía a partir del bagazo de la caña de azúcar*. Obtenido de <http://centrozucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2016/1/10%20Vol%2043%20No1%202016.pdf>
- Aguilar Rivera, N. (2014). *Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052014000200007&script=sci_arttext&tlng=en
- Aguirre Parra, J. Z. (2015). *Estudio del sistema de cogeneración a partir de biomasa en los ingenios azucareros*. Obtenido de repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4743/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-59.pdf
- Alderetes, C. O. (2016). *Calderas a bagazo*. Obtenido de <http://www1.herrera.unt.edu.ar/biblcet/wp-content/uploads/2016/08/Calderas-a-Bagazo.pdf>
- Amado González, E., Villamizar Quiñonez, C., & Martínez Reina, M. (2014). *Efecto de la humedad de la biomasa en el calor de combustión*. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34539019/Efecto_de_la_humedad_de_la_biomasa_en_el_calor_de_combustion_de_bagazo_de_cana_y_desperdicios_de_la_mazorca_de_maiz.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1503731510&Signature=1gTs4cOrCTPdv
- Arteaga Pérez, Luis Ernesto; Casas Ledónb, Yannay; Cabrera Hernándezb, Jagni; Rodríguez Machínc, Lizet. (2014). *Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación*. Obtenido de <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/297249/386236>
- Brown Gómez, A., Pérez Hernández, J. A., & Izquierdo González, Y. (2015). *Incremento del valor calórico del bagazo a partir de su empleo en derrames de hidrocarburos*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223136961002.pdf>
- Clavelo Sierra, D. A., González Cortés, M., & Espinosa Pedraja, R. (2015). *Consideraciones para la integración material y energética de los procesos de producción de azúcar y procesos derivados*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612015000200010
- Esquivel Romero, A. (2013). *Modelo matemático de predicción 0-Dimensional de gasificación de biomasa de caña cubana en lecho fluidizado burbujeante*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=41548>
- Hanserth, A., Meilyn, G., Rico, O., & Morales, M. y. (2016). *Evaluación de esquemas de cogeneración de energía a partir de bagazo de caña de azúcar*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000100010
- Ingenio San Carlos. (2012). *Nueva Caldera Instalada*. Obtenido de <http://sancarlos.com.ec/portal/es/web/ingeniosancarlos/nueva-caldera>

- Jiménez Borges, R., 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*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200007
- Menes Alomá, S., González Morales, V., Leiva, J., Vilches Ferreiro, L. J., & Hernández Sardiñas, A. (2013). *Alternativa para aumentar la entrega de energía eléctrica en el central azucarero Antonio Sánchez*. Obtenido de <http://centroazucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2013/1/10.pdf>
- Muñoz Muñoz, D., Pantoja-Matta, A., & Cuatin Guarín, M. F. (2014). *Aprovechamiento de los residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería*. Obtenido de <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/353/303>
- Obregón Luna, J., Gómez Avilés, B. H., & Hernández León, R. A. (2016). *Evaluación de la operación de extracción industrial de jugos de caña energética*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000200008
- Obregón Luna, Joaquín; Faildes López, Amilkar; Hernández León, Rolando. (2017). *Evaluación preliminar de la conservación de jugos industriales de caña energética*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000100005
- Pellicer, R. G. (2015). *Propuesta de estrategia de planificación para optimizar el proceso de producción de azúcar de caña en la "Paquito Rosales"*. Obtenido de <http://revistas.uo.edu.cu/index.php/aeco/article/view/279/273>
- Perán González, J. R. (2011). *Libro blanco del control automático en la industria de la caña de azúcar*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Raul_Rivas-Perez/publication/275154825_Generadores_de_vapor_de_bagazo_y_su_control/links/5534113d0cf27acb0def8f3d.pdf
- Pinasco, H. (2013). *Generación de Energía con cultivos y residuos forestales*. Obtenido de http://www.produccionbovina.com.ar/Biodigestores/21-cultivos_y_residuos_forestales.pdf
- Rincón Martínez, J. M., & Silva Lora, E. E. (2017). *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. Obtenido de http://www.ianas.org/books/books_2017/Bioenergia.pdf
- Silva, L. (2016). *Bioenergía y Biorefinerías para la caña de azúcar y palma de aceite*. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11928/11921>
- Trebilcock, M. F., Santamaría, F., & Alarcón, J. A. (2014). *Análisis de la estabilidad transitoria en un sistema industrial con congeneración propia interconectado con el sistema de potencia*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=zbajp0zS3Pk&list=RDkXYGKKqT7CM&index=27>