

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA:

Ingeniería Eléctrico – Mecánica en Gestión Empresarial Industrial

TÍTULO

“Estudio del sistema de cogeneración a partir de biomasa en los ingenios azucareros”

AUTOR:

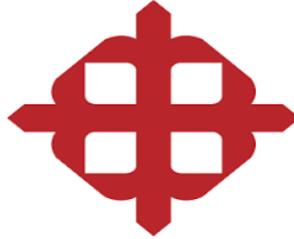
Aguirre Parra Julio Zhady

TUTOR

Ing. Montenegro Tejada Raúl, M.Gs.

Guayaquil – Ecuador

2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA:

Ingeniería Eléctrico – Mecánica en Gestión Empresarial Industrial

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Julio Zhady Aguirre Parra**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico–Mecánico en Gestión Empresarial Industrial.

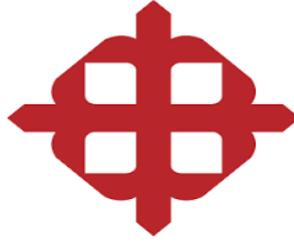
TUTOR

Ing. Montenegro Tejada Raúl, M.Gs.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Heras Sánchez Miguel Armando, M.Sc.

Guayaquil, 22 de Septiembre del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA:

Ingeniería Eléctrico – Mecánica en Gestión Empresarial Industrial

AUTORIZACIÓN

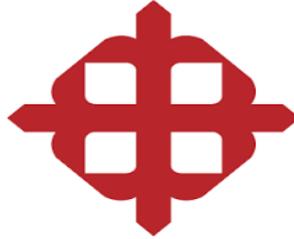
Yo, **Julio Zhady Aguirre Parra**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Proyecto de Titulación: **“Estudio del sistema de cogeneración a partir de biomasa en los ingenios azucareros”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 22 de Septiembre del año 2015

AUTOR

Julio Zhady Aguirre Parra



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA:

Ingeniería Eléctrico – Mecánica en Gestión Empresarial Industrial

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo, Julio Zhady Aguirre Parra

DECLARO QUE:

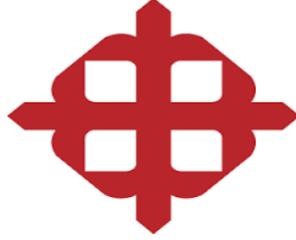
El trabajo de Titulación: **“Estudio del sistema de cogeneración a partir de biomasa en los ingenios azucareros”**, previa a la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 22 de Septiembre del año 2015

AUTOR

Julio Zhady Aguirre Parra



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA:

Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Industrial

CALIFICACIÓN

DEDICATORIA

Este trabajo lo hago en memoria de todas las personas que durante estos 5 años de estudios, me han acompañado y han aportado su granito de arena.

Personas que continúan dando su apoyo incondicional en cada momento de mi vida como es mi familia, amigos y seres queridos, y también por esas personas que ya no están físicamente a mi lado, pero que en mis recuerdos y corazón siempre lo estarán, gracias a sus consejos y ejemplo soy la persona que soy, en especial a mi Abuelo

Don Julio Delfín Parra.

No puedo olvidar a las dos mujeres de mi vida, mi madre y hermana que con su constante apoyo, consejos y amor me han inculcado valores y principios para continuar con un futuro estable y feliz.

Finalmente dedico este trabajo a las adversidades que se presentan en algún momento de la vida, estos pequeños tropiezos, nos dan la oportunidad de conocer realmente de que estamos hecho y sacar el coraje necesario para cumplir las metas y sueños que tanto anhelamos conseguir.

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios y la Virgen María por darme el conocimiento y fuerzas para poder concluir este trabajo, a mi familia que me ha brindado su apoyo incondicional en cada momento de mi vida, a mis profesores que me compartieron sus conocimientos para poder aplicarlos en mi futura vida profesional.

Un agradecimiento en especial la Sociedad Agroindustrial San Carlos, que durante mis estudios me acogió en sus instalaciones, permitiendo expandir mis conocimientos y sobre todo desenvolverme en el ámbito laboral y ganar experiencia.

“Durante centenares de miles de años, el hombre luchó para abrirse un lugar en la naturaleza. Por primera vez en la historia de nuestra especie, la situación se ha invertido y hoy es indispensable hacerle un lugar a la naturaleza en el mundo del hombre.”

Santiago Kovadloff

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Tipo de investigación.....	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Metodología.....	5
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	6
CAPÍTULO 2.....	6
ENERGÍAS RENOVABLES.....	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Tipos de energía renovable.....	6
2.2.1 Energía solar fotovoltaica.....	6
2.2.2 Energía eólica.....	7
2.2.3 Energía biomasa.....	8
2.2.4 Energía hidráulica.....	9
2.2.5 Energía Mareomotriz.....	10

2.2.6 Energía geotérmica	11
CAPÍTULO 3.....	13
BIOMASA	13
3.1 Definición de biomasa	13
3.2 Ventajas	14
3.3 Desventajas	14
3.4 Clasificación	15
3.5 Biomasa disponible con fines energéticos.....	17
3.6 Características térmicas de la biomasa.	19
3.7 Aspectos medio ambientales de la combustión de biomasa.....	23
CAPÍTULO 4.....	26
LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA INDUSTRIA.....	26
4.1 Reseña histórica	26
4.2 Definición de la caña de azúcar	29
4.3 Distribución de caña de azúcar en el mundo	30
4.4 Variedades de caña de azúcar.....	32
4.5 Cultivos de caña de azúcar en Ecuador.....	34
4.6 Composición de la caña de azúcar.....	37
4.7 Bagazo de caña de azúcar	38
4.7.1 Composición	38
4.7.2 Porcentaje de humedad	40
CAPÍTULO 5.....	41

INGENIO SAN CARLOS	41
5.1 Descripción de la empresa.	41
5.2 Breve descripción de los servicios que presta la empresa.	42
5.3 Proceso producción del ingenio San Carlos.	43
CAPÍTULO 6.....	49
SISTEMAS DE COGENERACIÓN	49
6.1 Definición de Cogeneración	49
6.2 Ventajas de la cogeneración	52
6.3 Desventajas de la cogeneración	53
6.4 Elementos que conforman un sistema de cogeneración	53
6.4.1 Fuente de energía primaria	53
6.4.2 Elemento motor	53
6.4.3 Sistema eléctrico	54
6.4.4 Sistema de aprovechamiento de la energía calorífica	56
6.5 Clasificación de los sistemas de Cogeneración	61
6.5.1 Topping cycles o sistemas superiores o de cabeza.	61
6.5.2 Bottoming cycles o sistemas de cola.	63
PARTE II APORTACIONES.....	65
CAPÍTULO 7.....	65
SISTEMA DE COGENERACIÓN EN INGENIO SAN CARLOS ACTIVADO POR BIOMASA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	65
7.1 Introducción.....	65

7.2 Análisis del ingenio azucarero	67
7.3 Análisis de carga	78
CAPÍTULO 8.....	81
POTENCIAL ENERGÉTICO DE UNA HÉCTAREA DE CAÑA DE AZÚCAR ..	81
8.1 Introducción.....	81
8.2 Cálculos	82
CAPÍTULO 9.....	90
IMPACTO AMBIENTAL.....	90
CAPÍTULO 10.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
10.1 Conclusiones.....	94
10.2 Recomendaciones	95
BIBLIOGRAFÍA	97

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Paneles fotovoltaicos.....	7
Figura 2. 2 Aerogenerador Alstom	8
Figura 2. 3 Tipos de biomasa con las que se puede generar energía.....	9
Figura 2. 4 Embalse y central hidroeléctrica de Manduriacu	10
Figura 2. 5 Conjunto de torres mareomotrices	11
Figura 2. 6 Modelo de una planta geotérmica	11

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 Tipos de biomasa.....	13
Figura 3. 2 Leña que se obtiene en los bosques que se la puede utilizar como biomasa	15
Figura 3. 3 Astillas de madera	16
Figura 3. 4 Cultivo energético de sorgo.....	16
Figura 3. 5 Biomasa residual de industria maderera.....	18
Figura 3. 6 Estiercol de ganado vacuno que será utilizado como biomasa	18
Figura 3. 7 Procesamiento de residuos sólidos urbanos	19

CAPÍTULO 4

Figura 4. 1 Fábrica de azúcar en las Indias Holandesas 1850	27
Figura 4.2 Planta de caña de azúcar.....	31
Figura 4. 3 Distribución de cultivos de caña de azúcar en todo el mundo	30
Figura 4. 4 Variedades de caña de azúcar en el Ecuador.....	33

Figura 4. 5 Cultivo de caña de azúcar en la Cuenca del Río Guayas	37
Figura 4. 6 Hectareaaje y distribución porcentual de las principales variedades de caña de azúcar cosechadas en los ingenios: La Troncal, San Carlos ,Valdez y cañicultores.....	38
Figura 4.7 Producción de caña (TCH), sacos de azúcar por hectárea (SAH) y toneladas de bagazo por hectáreaaje (TBH) de las principales variedades de caña de azúcar cosechadas en los ingenios: La Troncal, San Carlos y Valdez.....	40
Figura 4. 8 Bagazo de caña de azúcar, movido por bandas transportadoras del Ingenio San Carlos.....	43

CAPÍTULO 5

Figura 5. 1 Instalaciones de la Sociedad Agrícola e industrial San Carlos S.A.	41
Figura 5. 2 Antiguas instalaciones de la Soiedad Agrícola e industrial San Carlos S.A	43
Figura 5. 3 Jornales realizando corte manual de caña de azúcar.....	44
Figura 5. 4 Cosechadora realizando corte mecanizado de caña de azúcar	44
Figura 5. 5 Trapiche con cuatro molinos de extracción de jugo de caña de azúcar. .	45
Figura 5. 6 Tachos o templas que posee el Ingenio San Carlos	Error! Bookmark not defined.
Figura 5. 7 Proceso de fabricación de azúcar a partir de la caña.....	48

CAPÍTULO 6

Figura 6. 1 Esquema tradicional de producción de calor y electricidad	50
Figura 6. 2 Producción integrada de calor y electricidad con cogeneración	51

Figura 6. 3 Montaje de una turbina a vapor	54
Figura 6. 4 Turbo-generador Weg de 150 MVA	55
Figura 6. 5 Transformador Weg de 5 a 300 MVA.....	56
Figura 6. 6 Caldera de compañía Caldema con capacidad de 300Tn/h de vapor a una presión de 65kfg/cm ²	57
Figura 6. 7 Caldera acua-tubular y sus principales componentes.....	57
Figura 6. 8 Caldera piro-tubular y sus principales componentes.....	58
Figura 6. 9 Caldera con sistema HRSG y sus principales componentes	59
Figura 6. 10 Construcción de una turbina a gas.....	62
Figura 6. 11 Turbina a vapor	63
Figura 6. 12 Esquema de Bottoming cycles con accionamiento de turbina a gas	64

CAPÍTULO 7

Figura 7. 1 Planta de cogeneración del Ingenio San Carlos.	66
Figura 7. 2 Desembarco de Caña de azúcar en el swim bag del Ingenio San Carlos para su posterior picado	68
Figura 7. 3 Motores eléctricos Weg que dan movimiento a los molinos de los trapiches en el ingenio San Carlos.....	69
Figura 7. 4 Estructura y diseño de la caldera número ocho	70
Figura 7. 5 Estructura y diseño de Caldera número nueve	71
Figura 7. 6 Turbo generador número tres de la planta de cogeneración en el Ingenio San Carlos.....	75
Figura 7. 7 Turbo generador número cuatro de la planta de cogeneración en el Ingenio San Carlos.....	81

Figura 7. 8 Turbo generador número cinco en la planta de cogeneración en el Ingenio San Carlos.....	82
Figura 7. 9 Estructura de un ingenio azucarero, con proceso de molienda, extracción de jugo y generación de energía eléctrica mediante cogeneración.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Características típicas de diferentes tipos de biomasa para la generación de energía.....	21
Tabla 3. 2 Composición elemental de la biomasa	22
Tabla 3. 3 Densidad aparente típica de los diferentes tipos de biomasa.....	23

CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1 Área, producción y productividad de la caña de azúcar	31
Tabla 4. 2 Denominación de cada variedad de caña dependiendo del país en que se produce	34
Tabla 4. 3 Producción de caña de azúcar y de algunas variedades e los ingenios: La Troncalm San Carlos y Valdez	36

CAPÍTULO 6

Tabla 6. 1 Eficiencia de un sistema de cogeneración versus a plantas termoeléctricas.	52
Tabla 6. 2 Parámetros de rendimiento de sistemas típicos de cogeneración	64

CAPÍTULO 7

Tabla 7. 1 Condiciones de operación de caldera número ocho del Ingenio San Carlos	72
Tabla 7. 2 Condiciones de operación de caldera número nueve del Ingenio San Carlos.....	73

Tabla 7. 3 Niveles de consumo y generación eléctrica en el Ingenio San Carlos durante la zafra 2014.....	79
--	----

RESUMEN

Este trabajo de titulación tiene como objetivo principal dar a conocer nuevos sistemas de generación de energía, como es el sistema de cogeneración a partir de biomasa de bagazo de caña de azúcar, mediante sistemas más eficientes y amigables con el medio ambiente, y mezclando varios campos de estudio, no solo en el ámbito eléctrico o mecánico, si no también agrícola permitiendo diversificar las posibles soluciones para la demanda de energía que existe en el mundo.

En los capítulos que se desarrollan en este trabajo de titulación, se explicará los tipos de energía renovable, enfatizando la biomasa en el campo energético. Además se realiza una breve explicación del origen e historia de la caña de azúcar en el mundo y el Ecuador, así mismo su importancia en la sociedad, tanto en el marco alimenticio como energético.

Además se expondrá el estudio de los sistemas de cogeneración, las ventajas y desventajas de éstos, los tipos de cogeneración existentes, los elementos, maquinaria y tecnología que este tipo de generación de energía necesita para funcionar. También se analizan relaciones matemáticas que determinan los parámetros de funcionamiento de los principales equipos del sistema de cogeneración, en base de generación de vapor y energía eléctrica y así poder tener una referencia de que cantidad de hectáreas de caña de azúcar se debe cosechar para obtener 1 MW de energía eléctrica. Y con esto saber el impacto ambiental positivo que este sistema brinda al ecosistema además de la eficiencia que posee, con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

This degree work has as main objective to provide new power generation systems, such as cogeneration system of biomass from sugarcane bagasse, through more efficient and friendlier to the environment systems, and mixing various fields study, not only in the electrical or mechanical field, but also allowing diversify agricultural potential solutions for energy demand that exists in the world.

In the chapters that are developed in this work degree, the types of renewable energy will be explained, emphasizing the biomass in the energy field.

Besides a brief explanation of the origin and history of sugarcane in the world and Ecuador is done, also its importance in society, both in the food and energy framework.

Besides studying cogeneration systems, the advantages and disadvantages of these, the types of cogeneration, items, equipment and technology that this type of power generation needs to function will be discussed. Mathematical relationships that determine the operating parameters of the main equipment of the cogeneration system are also analyzed on the basis of steam generation and power so we can have a reference that acreage of sugarcane should be harvested to obtain 1 MW of electricity. And with that know the positive environmental impact that this system provides the ecosystem besides effectiveness at with their conclusions and recommendations.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

En los presentes días el consumo de energía eléctrica en nuestro país y el mundo se incrementa a una velocidad exorbitante, debido al desarrollo industrial, económico y hogares. Por lo que se debe crear nuevos sistemas de generación eléctrica o mejorarlos para que sea más eficiente su producción.

Es por esta razón que este trabajo se enfoca en sistemas de cogeneración de energía eléctrica a partir de biomasa de bagazo de caña de azúcar con el fin de conocer los beneficios que brinda, por ser más eficiente al otorgarnos energía limpia y renovable para las grandes industrias como es el caso de los ingenios azucareros en nuestro país. Las empresas que lo implementan tienen un pensamiento verde, innovador y futurista, ya que están utilizando biocombustibles para mitigar el impacto de sus actividades sobre el medio ambiente al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además esta actividad también puede generar ingresos para la empresa de algunas maneras: primero ahorrando dinero en costos de energía para hacer funcionar todos sus equipos auto - abasteciéndose con Turbo-Generadores, y también vendiendo excedentes de energía eléctrica a la Empresa Eléctrica del Ecuador por medio del Sistema Nacional Interconectado. Algo muy interesante de estos sistemas, es que disminuyen las pérdidas en la transmisión y distribución de energía eléctrica

debido a que la energía que se expende a la E. E. E. se la entrega a sectores aledaños, eliminando así procesos de distribución y transmisión a grandes distancias.

Otra parte atractiva de este sistema de generación de energía, es la venta de créditos de carbono, de acuerdo con lo suscrito en el protocolo de Kioto de 1997, que brinda incentivos económicos a las empresas privadas que mejoren sus sistemas de producción evitando generar emisiones de CO₂. (Revisar Anexo 6)

Este tipo de generación ayuda a reducir el consumo de combustibles fósiles dando una independencia energética a la industria que empieza a utilizar sistemas de cogeneración, además de usar procesos más eficientes adaptables a los medios que existen en nuestro país. Por lo que se ha realizado un análisis entre los sistemas de generación convencional y cogeneración, a partir de Biomasa de bagazo de caña de azúcar.

1.2 Planteamiento del problema

Hoy en día no se hace más que hablar de los cambios climáticos que ya se pueden evidenciar en nuestro planeta, deshielo de glaciares , aumento del nivel del agua en los mares ,temperaturas extremas nunca antes registradas , falta de lluvias , cambio total de las etapas del clima en el año .Todo esto se debe al uso desmesurado de combustibles fósiles para satisfacer la gran demanda de energía eléctrica por parte del hombre en su vida diaria y procesos industriales.

Esta problemática ha permitido buscar nuevos métodos de obtención de energía o que sean mucho más eficientes. Como es el reemplazo de generación de energías

convencionales que son muy contaminantes, a energías mas amigables; como es el caso de cogeneración a partir de biomasa en los ingenios azucareros.

Un tiempo atrás no se tenía conocimiento del potencial energético que poseía el bagazo de caña de azúcar como fuente generadora de energía eléctrica mediante cogeneración, por lo que los ingenios azucareros gastaban muchos recursos, en trasladar dicha materia orgánica a grandes campos para su degradación natural, lo que provocaba cierto nivel de contaminación por gases de descomposición o la quema de estos.

Ahora se puede aprovechar este residuo como combustible para alimentar calderas de alta presión muy eficientes, evitando costos de traslado del bagazo para su descomposición, obteniendo una fuente generadora de energía renovable y amigable con el medio ambiente. Logrando disminuir notablemente costos de combustible y producción en el proceso de elaboración de azúcar y derivados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar un análisis completo que nos permita conocer el proceso de generación de energía eléctrica mediante cogeneración por biomasa, a partir de bagazo de caña de azúcar, reemplazando los sistemas de generación convencional utilizados antiguamente en los ingenios por sistemas CHP por sus siglas en inglés (Combined Heat and Power) producción combinada de calor y electricidad.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Conocer los alcances de biomasa de bagazo de caña de azúcar para la producción de energía eléctrica.
- ✓ Conocer los beneficios que traen, nuevos sistemas de producción de energía eléctrica.
- ✓ Hallar la cantidad de energía eléctrica que se puede obtener a partir de una hectárea de caña de azúcar
- ✓ Determinar la factibilidad del uso de bagazo de caña de azúcar como fuente generadora de energía eléctrica.
- ✓ Establecer las diferencias de combustión entre combustibles fósiles y biomasa.

1.4 Tipo de investigación

Es una investigación descriptiva donde se explicará los procesos por los cuales pasa la materia prima que es la caña de azúcar hasta obtener bagazo que será el combustible que alimente el sistema de cogeneración CHP, y así conocer la generación de energía eléctrica, a partir de una hectárea de caña de azúcar .Para lo cual se realizará un estudio de las propiedades de la caña de azúcar y los elementos que conforman un sistema de cogeneración CHP.

1.5 Hipótesis

Los ingenios azucareros son grandes industrias que consumen gran cantidad de energía para poder elaborar azúcar y derivados, en esta actividad se utiliza energía térmica y eléctrica que se la obtiene de la misma materia prima que se origina de la extracción del jugo de caña de azúcar, el bagazo.

Los sistemas de cogeneración brindan una nueva manera de generar calor y electricidad, mediante un sistema secuencial, permitiendo tener sistemas más eficientes y amigables con el medio ambiente. Así mismo dando una nueva opción de generación de energía eléctrica.

1.6 Metodología

En este trabajo de titulación se utilizo la metodología descriptiva, debido que se explican cada uno de los procesos que se realizan para obtener el bagazo de caña de azúcar y a su vez , cada una de las etapas que conforman el sistema de cogeneración para poder obtener energía térmica y eléctrica. En este trabajo se mezclan muchas ramas de la ingeniera por lo que se describen procesos químicos, agrícolas , eléctricos, mecánicos entre otros.

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2 ENERGÍAS RENOVABLES

2.1 Introducción

Son aquellas que colaboran al cuidado del medio ambiente y provienen de los recursos naturales limpios por lo que ayudan a mitigar los efectos contaminantes provocados por los combustibles fósiles derivados del petróleo. Existen algunos tipos de energía renovable que son una alternativa para la generación de energía eléctrica y amigable con el medio ambiente.

2.2 Tipos de energía renovable

Existen algunos tipos de energía renovable, se mencionarán las más importantes como: energía solar fotovoltaica, energía eólica, biomasa, energía hidráulica, energía mareomotriz y energía geotérmica.

2.2.1 Energía solar fotovoltaica.

Es producida por la radiación electromagnética originada por el sol, esta se la obtiene en módulos fotovoltaicos mediante una diferencia de potencial que producen los electrones en un semiconductor originando así energía eléctrica con corriente continua.

La energía solar fotovoltaica obtenida en paneles solares resulta del efecto fotoeléctrico, donde la energía lumínica del sol (producida por las fusiones de átomos de hidrógeno para formar helio) se transforma en electricidad. En la figura

2.1 se puede apreciar conjunto de paneles solares colocados en el techo de un edificio, que proporcionarían energía limpia.



Figura 2. 1 Paneles fotovoltaicos
Fuente: Alternativas Energéticas España(2012).

2.2.2 Energía eólica

Se origina por una masa de aire con diferentes temperaturas y, por ende, diferentes presiones y densidades , el conjunto de estos factores producen el movimiento de las aspas que hacen girar el rotor consiguiendo transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, y luego por inducción electromagnética en electricidad.

Los aerogeneradores (máquinas que generan energía eléctrica a partir del viento), son ubicados en áreas abiertas donde se puede obtener una buena cantidad de viento. Y a través del movimiento capturado por un generador, se puede generar electricidad. En la actualidad, sólo el 1% de la energía generada en el mundo proviene de este tipo de fuente de energía eólica. En la figura 2.2 se muestra un aerogenerador marca Alstom pioneros en el diseño y construcción de esa tecnología.

Los principales países o zonas que generan energía eléctrica a partir del viento son: Unión Europea (117.289 Mw), India (20.150 Mw), Canadá (7.803Mw), Brasil (3.456 Mw).



Figura 2. 2 Aerogenerador Alstom
Fuente: Alstom Company (2014).

2.2.3 Energía biomasa

Es un tipo de energía que proviene de los compuestos orgánicos que se originan en algún proceso biológico como: los residuos que se generan en proceso de producción, los seres vivos, vegetación y excrementos de animales .Por lo cual a partir de la biomasa se pueden obtener “biocombustible”.

La principal ventaja de la biomasa es que los gases producidos en la combustión tienen un nivel muy bajo de compuesto de azufre, causante de la lluvia ácida, que los procedentes de la combustión del carbono. En la figura 2.3 se muestra los principales tipos de biomasa que existen.

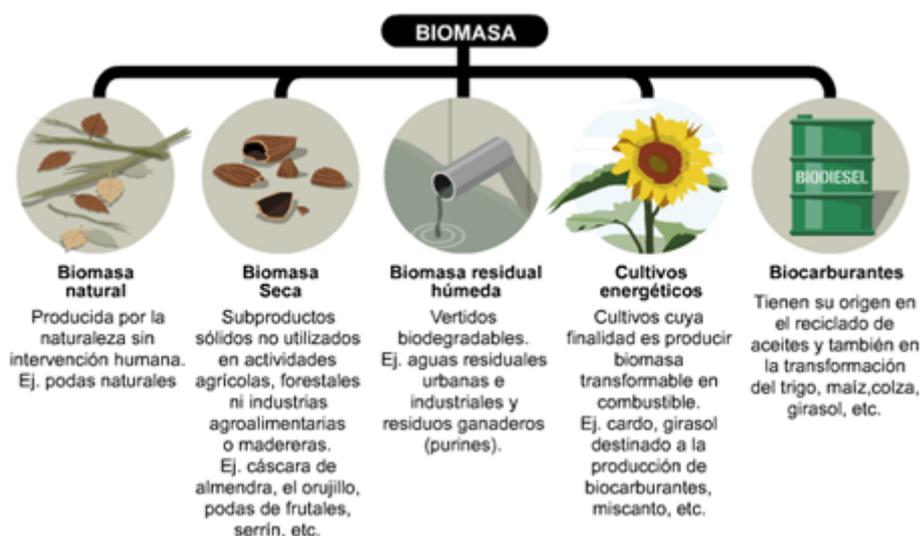


Figura 2. 3 Tipos de biomasa con las que se puede generar energía
 Fuente: Ecohouses España (2013).

2.2.4 Energía hidráulica

Es la que se aprovecha la energía potencial de grandes volúmenes de agua retenidos en una presa, utilizando las vertientes hidrográficas de una zona. La energía potencial durante su caída se convierte en cinética lo que es transportada a gran velocidad y pasa por las turbinas, que producirá un movimiento de rotación a un eje conectado a un generador eléctrico, que finalmente producirá una diferencia de potencial.

El agua es uno de los principales recursos para generar energía eléctrica limpia, debido al costo de generación y producción son muy bajos. En la figura 2.4 se aprecia la central hidroeléctrica Manduriacu, ubicada entre las provincias de Pichincha e Imbabura con una capacidad de 65MW.



Figura 2. 4 Embalse y central hidroeléctrica de Manduriacu

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador (2015)

2.2.5 Energía Mareomotriz

Es la energía que se genera aprovechando el movimiento del mar producido por las fuerzas de atracción gravitatoria entre el sol, la luna y la tierra , se la considera como una fuente renovable inagotable ya que se utiliza el agua de los océanos.

Su funcionamiento está en la diferencia de alturas que puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural del agua, cercano con mecanismos de canalización y depósito, así obtener la rotación del eje. Su acoplamiento a un alternador se puede utilizar para generar electricidad que luego es transportada a una central eléctrica en tierra firme para ser distribuida a los

consumidores. (proyectopv, 2010). En la figura 2.5 se observa un conjunto de torres mareomotrices, que generarán energía limpia.

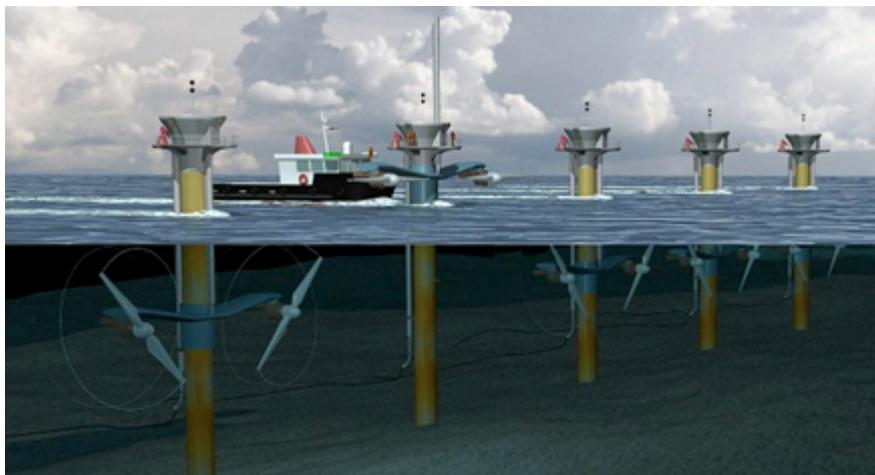


Figura 2. 5 Conjunto de torres mareomotrices
Fuente: Proyecto Pv (2007)

2.2.6 Energía geotérmica

Es la energía que se obtiene del calor almacenado en el interior de la tierra, este calor generado se transmite a través del subsuelo donde se encuentran a temperaturas muy altas, como se muestra en la figura 2.6



Figura 2. 6 Modelo de una planta geotérmica
Fuente: Guía de Energía Sostenible (2012)

La energía geotérmica se la extrae principalmente de los volcanes o lugares cercanos a estos, por lo que su construcción es compleja pero los resultados de producción energética son alentadores, por lo que se perfila como una fuente de energía amigable con el medio ambiente, ya que las emisiones de dióxido de carbono son muy bajas.

CAPÍTULO 3

BIOMASA

3.1 Definición de biomasa

Se entiende por biomasa a toda materia orgánica renovable que puede ser de origen vegetal como animal, en la cual se almacena energía, como se muestra en la figura 3.1. En las plantas en el momento de realizar la fotosíntesis acumulan energía y los animales captan esa energía a partir de alimentarse de vegetales. También se considera como Biomasa a todos los desechos orgánicos, que se originan en la vida cotidiana del hombre, en los procesos industriales, en crianza de ganado, descomposición de basura, etc. Es decir toda materia orgánica que se someta a un debido proceso puede generar biomasa ya que en su estructura molecular contiene carbono, principal elemento químico para la combustión. Toda esta energía que posee la biomasa puede transformarse en otros tipos de energía para el bienestar del hombre, principalmente en energía térmica y eléctrica mediante procesos de combustión o descomposición, que permitirán aprovechar esta energía almacenada.

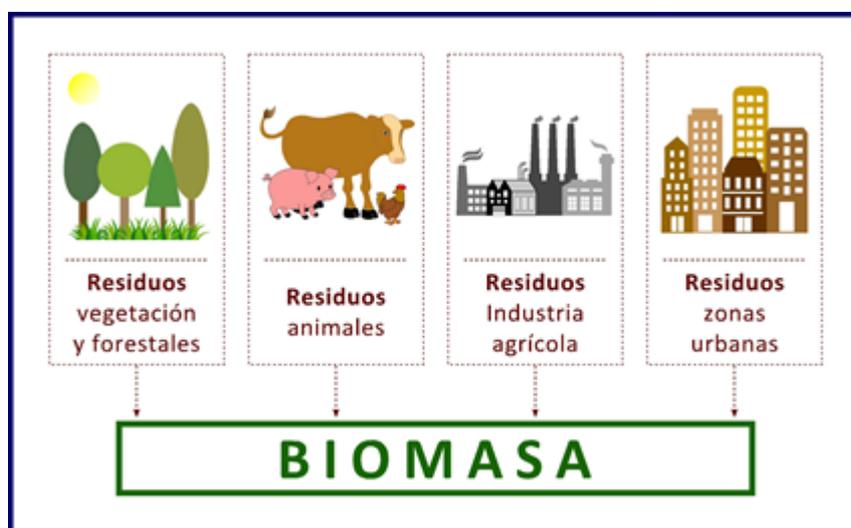


Figura 3. 1 Tipos de biomasa
Fuente: Genusglobal (2014)

3.2 Ventajas

- ✓ La biomasa es un tipo de combustible utilizado para generar energía amigable con el medio ambiente, disminuyendo el uso de combustibles fósiles que afectan al medio ambiente.
- ✓ Se reducen considerablemente los niveles de CO₂, azufre y otros gases de efecto invernadero, en el proceso de generación de energía.
- ✓ Evita emisiones de gas metano CH₄ o Dióxido de carbono CO₂ que antes se producían al llevar los desechos orgánicos a rellenos sanitarios o se los incineraba.
- ✓ Los combustibles biomásicos contienen niveles mínimos de sulfuro por lo que no se puede producir lluvia ácida con estos combustibles.
- ✓ La ceniza de la biomasa se la aplica como abono en plantaciones.
- ✓ Los precios de la biomasa, no dependen del mercado de energía como es el caso del petróleo, ya que la mayor parte de la biomasa proviene de desechos orgánicos.

3.3 Desventajas

- ✓ La biomasa posee baja densidad relativa de energía, por lo que se requiere de grandes volúmenes para producir potencia.
- ✓ Al combustionar se produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno y otros gases, perjudiciales para la salud. Se estima que se produce 0,885 Kg de CO₂ al quemar 1 kg de bagazo de caña de azúcar con una humedad del 50% (Sidalc , 2014)

- ✓ El poder calorífico de la biomasa depende directamente del contenido de humedad en ella ya que si el bagazo tiene mayor cantidad de humedad su combustión no será tan efectiva y no producirá la energía térmica que se desea, es por eso que se requerirá un buen proceso de secado o extracción de humedad.

3.4 Clasificación

Existen algunos tipos de biomasa pero solo se mencionarán los más importantes por su factibilidad para la generación de energía. Se pueden clasificar así:

a) Natural

Se encuentra en los ecosistemas naturales que existen en el planeta, un ejemplo claro es la leña que se encuentra en los bosques, se puede observar en la figura 3.2



Figura 3. 2 Leña que se obtiene en los bosques que se la puede utilizar como biomasa
Fuente: Guroa (2013)

b) Residual

Pueden ser forestales, agrícolas, industriales forestales, industriales agrícolas, residuos biodegradables como se indica en la figura 3.2; todos estos son los

desechos que no pueden ser utilizados más para la producción principal de una industria.



Figura 3. 3 Astillas de madera
Fuente: Innergy-engineering (2013)

c) Cultivos energéticos:

Se denominan cultivos energéticos a las siembras agrarias que generan material exclusivamente dedicado a su aprovechamiento energético, como son la paulownia, brassica carinata, cardo, sorgo; estas permiten crear especialmente etanol y biodiesel. En la figura 3.4 se muestra el cultivo de sorgo que se lo utiliza específicamente para generar energía.



Figura 3. 4 Cultivo energético de sorgo
Fuente: Instituto nacional de tecnología agropecuaria de Argentina (2013)

3.5 Biomasa disponible con fines energéticos.

Existen algunos tipos de biomasa como se explicó anteriormente, pero hoy en día la demanda de energía ha originado que se cree mayores cantidades de biomasa para poder satisfacer esta necesidad energética.

La biomasa como fuente energética conlleva a un análisis minucioso de su disponibilidad y distribución de los recursos. Por lo que la biomasa de origen residual y de cultivos energéticos son las formas más factibles para la generación de energía.

La biomasa de origen residual es el conjunto de materiales biomásicos originados en las actividades de producción, transformación y consumo, se puede llegar a la conclusión que estas no poseen un valor económico, ya que son los residuos con los que se elaboró un producto, y estos residuos producían costos adicionales para su destrucción o movilización.

La biomasa disponible con fines energéticos se clasifican dependiendo del origen en:

a) Residuos agrícolas y forestales.

Los residuos agrícolas son todos los elementos de los cultivos de alimentos o industriales (ejemplo: aceite de palma) como las raíces, hojas o frutos no aprovechables, que no pueden ser consumidos o comercializados. En algunas ocasiones estos elementos pueden llegar a ser un peligro por la contaminación que pueden provocar, ya que su proceso de eliminación es muy complejo y costoso.

Los residuos forestales se originan en los bosques con carácter industriales, donde quedan desperdicios de cortezas, ramas, hojas, etc. Todas las actividades

industriales del sector de la madera generan residuos susceptibles de ser empleados como combustible. En la figura 3.5 se puede apreciar los residuos de la industria maderera que se los puede utilizar como combustible.



Figura 3. 5 Biomasa residual de industria maderera
Fuente: Centro forestal de Cataluña (2012)

b) Residuos ganaderos y agroindustriales.

El estiércol es un gran residuo ganadero, como se observa en la figura 3,6 que ha sido sustituido por abonos sintéticos lamentablemente y los residuos agroindustriales provienen de las grandes fábricas que realizan derivados de la agricultura, ambos sirven para generar energía mediante biomasa.



Figura 3. 6 Estiércol de ganado vacuno que será utilizado como biomasa
Fuente: Ambientan (2012)

c) Residuos sólidos urbanos.

Estos se originan a partir de la actividad cotidiana del ser humano en las ciudades o comunas. Su mantenimiento y destrucción son un problema que se expande aceleradamente, debido a su continuo crecimiento.

En la figura 3.7 se aprecia una planta de procesamiento de residuos para su combustión y así aprovechar su poder energético a partir de biomasa.



Figura 3. 7 Procesamiento de residuos sólidos urbanos
Fuente: Ingeniería química.net (2012)

3.6 Características térmicas de la biomasa.

Los distintos tipos de biomasa poseen sus propias características específicas que permiten determinar la forma como se debe utilizar en el momento de la combustión. Los parámetros más determinantes que se analizan en la estructura de la biomasa son :

Poder calorífico.

Contenido de humedad.

Contenido de ceniza.

Composición elemental.

Densidad aparente.

a) Poder calorífico

Indica la energía química combinada en el combustible en referencia a un ambiente estandarizado.

A la energía calorífica no se la puede determinar directamente, depende del poder calorífico superior y poder calorífico inferior como se explica a continuación:

Poder calorífico superior (PCS)

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido es este cambio de fase. (Santiago García Garrido, 2012)

Poder calorífico inferior (PCI)

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. (Santiago García Garrido, 2012)

En la tabla 3.1 se puede comparar el poder calorífico de algunos tipos biomasa que se los suele utilizar para activar sistemas de cogeneración.

Tabla 3. 1 Características típicas de diferentes tipos de biomasa para la generación de energía

Tipo	PCI, h (kJ/kg)	CH, h (%)	CC, s (%)
Bagazo de caña de azúcar	7000 - 8000	40 - 60	1,7 - 3,8
Cáscara de cacao	13000 - 16000	7 - 9	7 - 14
Cáscara de coco	18000	8	4
Cáscara de café	16000	10	0,6
Mazorcas de maíz	13000 - 15000	10 - 20	2
Cáscara de arroz	14000	9	19
Paja	12000	10	4,4
Madera	8400 - 17000	10 - 60	0,25 - 1,7
Carbón vegetal	25000 - 32000	1 - 10	0,5 - 6
PCI, h: Poder calorífico inferior, húmedo CC,s: Contenido de cenizas,seca CH, h: Contenido de humedad, húmedo			

Fuente: BTG-1987, conversión térmica de biomasa a energía, Vinna

b) Contenido de humedad.

Es la cantidad de agua existente en el material, un estudio de la humedad en el combustible es muy importante ya que permite medir el nivel de aprovechamiento energético, pues es la que mas influye en el poder calorífico de la biomasa. Cuanto mayor es la humedad, menor es el poder calorífico, ya que hay más agua que evaporar, provocando mayor consumo de combustible para generar vapor. (Santiago García Garrido, 2012)

c) Contenido de ceniza

La proporción de cenizas de la biomasa es alrededor del 1% aunque en cáscaras o cortezas puede aumentar algo. Al contenido de cenizas se lo puede expresar de la

misma forma como el contenido de humedad sobre una base húmeda, seca, o seca libre de ceniza, el contenido de ceniza se expresa generalmente sobre una base seca.

d) Composición elemental

Los componentes principales que conforman la biomasa son carbono, oxígeno, e hidrógeno. La mayor parte de la biomasa suele poseer pequeñas proporciones de nitrógeno. En la Tabla 3.2 se muestra la composición elemental que posee la biomasa

Tabla 3. 2 Composición elemental de la biomasa

Elemento	Símbolo	% Peso(base seca libre de ceniza)
Carbono	C	44 - 51
Hidrogeno	H	5.5 - 6.7
Oxigeno	O	41 - 50
Nitrógeno	N	0.12 - 0.6
Azufre	S	0.0 - 0.2

Fuente: BTG-1987, conversión térmica de biomasa a energía, Vinna

e) Densidad aparente

La densidad aparente denota la proporción entre la materia seca y el volumen aparente e influye en el volumen necesario con fines de transporte y de almacenamiento. La densidad aparente varía mucho. En la tabla 3.3 se indican la densidad aparente típica de los diferentes tipos de biomasa. (Terminología unificada de Bioenergía,2013)

Tabla 3. 3 Densidad aparente típica de los diferentes tipos de biomasa

Biomasa Herbácea		Densidad aparente (kg/m ³)
Rollos	Paja	85
	Heno	100
Pacas	Paja	140
	Heno	160
Biocombustible	Paja	70
	Plantas enteras	150
Pellets de paja		500

Fuente: BTG-1987, conversión térmica de biomasa a energía, Vinna

3.7 Aspectos medio ambientales de la combustión de biomasa.

A pesar de que la combustión de biomasa es un método energético amigable con el medio ambiente no significa que no afecte a este, la atmósfera es el medio que más se suele contaminar. Además la combustión incompleta de la biomasa provoca emisiones de partículas y otros pequeños componentes que afectan el ambiente local, regional y global, pero en mínimas proporciones.

La contaminación a la atmósfera a partir de la quema de biomasa, dependerá esencialmente de los métodos de combustión que se apliquen, tecnología, características del combustible y medidas de emisión primaria y secundaria que se implementen en las calderas. Si los aspectos anteriormente mencionados se los

emplea correctamente, la contaminación a la atmósfera será mínima, permitiendo ser una vía fiable en materia energética y ambiental.

Existen muchos tipos de biomasa que se los utiliza como combustibles, y cada uno de ellos posee propiedades únicas y especiales, por su composición química y estructural, por lo que se han originado distintos tipos de aplicaciones de la combustión de biomasa. Estas aplicaciones van desde la calefacción de hogares, hasta la generación de energía en centrales eléctricas.

Es por eso que la selección de las tecnologías del control de contaminación atmosférica será diferente, dependiendo del tipo de área donde será aplicada. Generalmente las medidas de reducción de emisiones desarrolladas para la combustión de combustibles fósiles pueden también ser aplicadas para los usos de la combustión de biomasa. Todas las aplicaciones de la combustión de biomasa se benefician de un proceso optimizado de la combustión, que reduce emisiones de la combustión incompleta que se produce a partir de ella.

Para las aplicaciones a pequeña escala de la combustión de biomasa, las medidas de reducción de emisión secundaria no son a menudo rentables, y las regulaciones de las emisiones usualmente no son tan estrictas como para las aplicaciones a grande escala de la combustión de biomasa. Existen dos tipos de combustión en la biomasa por lo que se deben emplear dos métodos para la emisiones de gases a la atmósfera y así disminuir la contaminación. El primer tipo

son las emisiones de la combustión completa y la segunda las emisiones de la combustión incompleta

a) Emisión de la combustión completa

Cuando existe combustión completa de biomasa se emiten los siguientes gases a la atmósfera:

- ✓ Dióxido de carbono CO_2
- ✓ Óxidos de nitrógeno
- ✓ Óxido nitroso N_2O
- ✓ Óxidos de azufre
- ✓ Cloruro de hidrógeno HCl
- ✓ Metales pesados

b) Emisión de la combustión incompleta

La mezcla no ideal entre el aire y el combustible en la cámara de combustión, falta total de oxígeno o temperaturas bajas en el momento de la combustión, son las principales razones por las cuales se producen combustiones incompletas, provocando las siguientes emisiones a la atmósfera:

- ✓ Monóxido de carbono CO
- ✓ Metano CH_4
- ✓ Componentes Orgánicos volátiles que no contienen metano
- ✓ Policlorados Dioxinas y Furanos
- ✓ Amoníaco NH_3
- ✓ Ozono O_3 (a nivel del suelo)

CAPÍTULO 4

LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA INDUSTRIA

4.1 Reseña histórica

Conocer la historia real, del cultivo de caña de azúcar es muy complejo debido que existen múltiples versiones de sus orígenes que aun no se ha podido comprobar. Existe un poema muy antiguo en la isla de Nueva Guinea , que cuenta una leyenda local, en la que dos pescadores accidentalmente encontraron un pedazo de caña atrapado entre sus redes. Ellos deshicieron de él; pero, al día siguiente un nuevo trozo de caña fue encontrado, y aunque nuevamente los pescadores lo ignoraron, éste seguía apareciendo constantemente, día tras día en sus redes. Hasta, que uno de los pescadores tomó la iniciativa de plantar el pedazo de caña en tierra , y de allí nació una mujer, quien se convirtió en la esposa de aquél pescador, y de esa unión surgió la humanidad entera (Parker, 2010).

Lo cierto es que la caña de azúcar se expandió primero desde Asia hacia India y luego de India hacia Persia, para luego esparcirse hacia Europa , la principal razón para que este cultivo se difunda tan rápido y a gran escala fue las conquistas árabes y la expansión del Islam en Europa. En especial, las costas del mediterráneo se convirtieron en el lugar perfecto para sembrar este cultivo

Las razones que permitieron lograr el éxito del negocio de la caña de azúcar en aquella época fueron: contar con extensos territorios fértiles ; y disponer de mano

esclava que realizara los trabajos en el cañaveral, como se muestra en la figura 4.1 (Galloway, 1989; Schwartz, 1985).



Figura 4. 1 Fábrica de azúcar en las Indias Holandesas 1850
Fuente:A. Salm (2012)

Pero en realidad los Españoles y Portugueses fueron quienes esparcieron el cultivo de caña de azúcar por el mundo, debido a sus expediciones y conquistas de nuevos territorios. Iniciando en las islas africanas de Madeira, São Tomé y las Canarias (Mintz, 1999). Hasta ese momento, el principal motor en las plantaciones eran los esclavos Sirios y de otras partes del norte de África; pero fue precisamente en estas islas donde se propagó un mayor uso de esclavos provenientes del África sub-sahariana. (Schwartz, 1985; Ryder, 1969; Parker, 2011).

Con el descubrimiento de América en 1493, Cristóbal Colón llevó caña de azúcar de las islas canarias. Visualizando un gran negocio azucarero al ver la

facilidad y rapidez con que crecía la caña de azúcar en aquellas tierras fértiles y vírgenes. (Rakatin, 1954; Morison, 1991).

Sin embargo, fueron los portugueses quienes se dieron cuenta del potencial económico de los ingenios azucareros en sus colonias de América. La costa de Brasil fue dividida en parcelas, las cuales fueron asignadas a unos pocos nobles portugueses (fidalgos), para que maximicen el desarrollo económico de esa colonia. Pronto empezaron a aparecer los nuevos barones de la caña de azúcar de Brasil, quienes controlaban los ingenios principalmente en Pernambuco y Bahía a finales del siglo XVI y principios del siglo XVII (Schwartz, 1985). Gracias a la caña de azúcar, Brasil fue por un tiempo la colonia Europea más rica de América. (Parker, 2011).

A finales del siglo XVIII, una serie de ideas revolucionarias permitieron crear un cambio cultural y social de Europa. La era de la esclavitud empezaba a llegar a su fin a principios del siglo XIX, lo que provocó un declive en la productividad en los ingenios azucareros. (Harrison, 2001; Yun and Laremont, 2001). Con la abolición de la esclavitud existió un gran periodo de continuo decaimiento en los ingenios azucareros, hasta que en la década de los 70 se ha ido mejorando los sistemas de cultivo, producción y procesamiento de la caña de azúcar y sus derivados, lo que ha conllevado a que este cultivo sea un modelo de éxito económico en el sector agroindustrial ya no solo como un producto alimenticio, si no también viendo lo como un generador de energía limpia para el planeta mediante biocombustibles y sistemas de cogeneración.

4.2 Definición de la caña de azúcar

Saccharum officinarum más conocida como caña de azúcar perteneciente a la familia de las Gramíneas, tiene su origen genético en Nueva Guinea. En la figura 4.2 se observa una planta de caña de azúcar. Esta posee una alta eficiencia fotosintética (su cuota oscila entre 150 y 200% sobre la media de otras plantas). Existen algunas variedades, pero en si la planta se forma desde 4 hasta 12 tallos que miden de 3 a 5 m de altura. Su gran importancia en el mercado mundial se debe a su gran contenido de azúcar (sacarosa) que va desde el 11% y 16%.



Figura 4. 2 Planta de caña de azúcar

Fuente: Starrenviromental (2011)

4.3 Distribución de caña de azúcar en el mundo

Los cultivos de caña de azúcar ocupan un extensión de 20.42 millones de hectáreas en todo el mundo, en la figura 4.3 se puede observar su distribución en el planeta, estas proveen un total de 1333 millones de toneladas métricas (FAO, 2003). El área cultivada con caña de azúcar y la productividad varían considerablemente la región donde se encuentren los cultivos por aspectos geográficos y climatológicos (Tabla 4.1). Brasil es el principal productor con un área (5.343 millones de ha), mientras que Australia tiene la mayor productividad promedio (85.1 ton/ha). Existen alrededor de 121 países productores de caña de azúcar, en los cuales Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, México, Cuba, Colombia, Australia, USA, Filipinas, Sudáfrica, Argentina, Myanmar, Bangladesh conforman el 86.0% del área y el 87.1% de la producción mundial (Tabla 4.1).



Figura 4. 3 Distribución de cultivos de caña de azúcar en todo el mundo
Fuente: Sugarcane crops (2012)

Tabla 4. 1 Área, producción y productividad de la caña de azúcar.

País	Área	Producción	Productividad
Brazil	5.343	386.2	72.3
India	4.608	289.6	62.8
China	1.328	92.3	65.5
Thailand	0.970	64.4	66.4
Pakistan	1.086	52.0	47.9
Mexico	0.639	45.1	70.6
Colombia	0.435	36.6	84.1
Australia	0.423	36.0	85.1
USA	0.404	31.3	77.5
Philippines	0.385	25.8	67.1
Indonesia	0.350	25.6	73.1
Cuba	0.654	22.9	35.0
South Africa	0.325	20.6	63.4
Argentina	0.295	19.2	65.2
Myanmar	0.165	7.5	45.4
Bangladesh	0.166	6.8	41.2
WORLD	20.42	1333.2	65.2

Fuente: FAO (Food and Agriculture Organization), 2003

La caña de azúcar es un gran recurso natural renovable, por su fuente de azúcar, biocombustible, fibra, fertilizante y muchos otros productos y subproductos con sustentabilidad ecológica. El jugo de la caña de azúcar es utilizado en la producción de azúcar blanca, azúcar morena y panela. Mientras el bagazo y la melaza son subproductos de la industria azucarera.

Las melazas, el principal subproducto, es la materia prima para las industrias del alcohol y sus derivadas. Actualmente el exceso de bagazo es usado como materia prima para la industria del papel y ahora con la modernización de los ingenios azucareros se puede generar energía eléctrica a partir de cogeneración.

4.4 Variedades de caña de azúcar.

Las variedades de caña de azúcar que se cultivan siempre son el principal tema de discusión que gira en torno al sistema productivo. Por lo que se debe realizar un estudio previo del suelo, clima, zona geográfica, para determinar que tipo o variedad de caña de azúcar se sembrará y de brinde resultados óptimos en el momento de la cosecha y molienda. Ahora se cuenta con variedades modificadas en los laboratorios que brindan mayores beneficios, resistentes a plagas y las inclemencias del clima.

La caña de azúcar está apta para cosecha cuando alcanza un nivel superior a 16% de sacarosa y 85% de pureza del jugo de caña esto se obtiene en lapsus de 12 a 16 meses dependiendo del tipo de variedad de caña de azúcar que se cultivó.

Dependiendo de la época del año que es sembrada la caña se clasifican como variedades tempranas, de media estación y variedades tardías, respectivamente.

Por lo tanto, los términos tempranas, de media estación y tardías no corresponden a una clasificación natural, sino que representan una calificación relativa en una evaluación comparativa de las variedades. La razón de los distintos tiempos de siembra es facilitar la cosecha de cada variedad en la época correcta por los

estaciones climáticas del año que son diferentes en todos los países productores de caña de azúcar, con el objetivo de mejorar la recuperación de los cañaverales y consecuentemente, aumentar la producción de azúcar. (Sugarcane crops, 2012)



Figura 4. 4 Variedades de caña de azúcar en el Ecuador
Fuente: CINCAE Centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador (2012)

La denominación de cada variedad de caña de azúcar corresponderá al país en el cual fue desarrollada u obtenida. Algunos ejemplos: Argentina - NA; Sudáfrica - N; Australia - Q; Brasil - CB, IAC, PB, RB y SP; Colombia - ICA; Cuba - C; USA - CP; Filipinas - Phil; India - Co; Indonesia - POJ; Perú - PCJ; Egipto - E; Puerto Rico - PR; Ecuador - EC; e Isla Mauricio - M. Generalmente la sigla es seguida de tres o más dígitos (Tabla 4.2)

Tabla 4. 2 Denominación de cada variedad de caña dependiendo del país que se produzca

País	Variedad
Brasil	SP-77-5181, RB-85-5453, SP-81-3250, SP-80-1816, RB-85-5113, SP-80-3280, RB-1049, SSSP-71-5181, BR85-5113, BR72-454, BR83-5486
India	CoS.687, CoPant.84211, CoJ.64, CoLk.8001, Co.1148, CoS.767, CoS.802, CoC.671, CoC.85061, Co.8021, Co.6304, Co.1148, CoJ.79, CoS.767, Co.740, CoM.7125, Co.7527, CoC.671, Co.740, Co.8014, Co.7804, Co.740, Co.8338, Co.6806, Co.6304, Co.7527, Co.6907, Co.7805, Co.7219, Co.7805, Co.8011
Louisiana	CP 65-357, CP 70-321, CP 72-370, CP 74-383, CP 79-318, LCP 82-89, LHo 83-153, LCP 85-384, HoCP 85-845, LCP 86-454, HoCP 91-555
Tailandia	91- 2 -29, K 92 -181, K 95 -84
Ecuador	ECU-01, EC – 02 - 03 - 04
Sudáfrica	CP 66 - 1043, NCo 376, N 12, N 14, N 16, N 17, N 19, N 21, N 22, N 23, N 24, N 25, N 26, N 27, N 28, N 29, N 30, N31,N32, N33, N 35, N 36, N 37, N 39, N 40, N 41

Fuente: Sugarcane crops, (2012) CINCAE, (2013)

4.5 Cultivos de caña de azúcar en Ecuador.

En Ecuador se estima que existen 110.000 Ha. de cultivos de caña de azúcar, 74100 Ha. están destinadas a la producción de Azúcar y el resto para la producción de panela. Se debe señalar que en Ecuador existen dos periodos en los ingenios azucareros, de enero a junio se lo conoce como mantenimiento, donde se realiza un mantenimiento preventivo a todas las instalaciones de los ingenios ya que el invierno no permite ingresar de la manera más adecuada a los cañaverales, el segundo periodo es conocido como zafra , que va desde de julio hasta diciembre donde se realiza la correspondiente cosecha del cultivo y elaboración de azúcar y derivados en las

instalaciones de los ingenios azucareros. En la figura 4.5 se muestra los cultivos de caña de azúcar en la cuenca del Río Guayas.

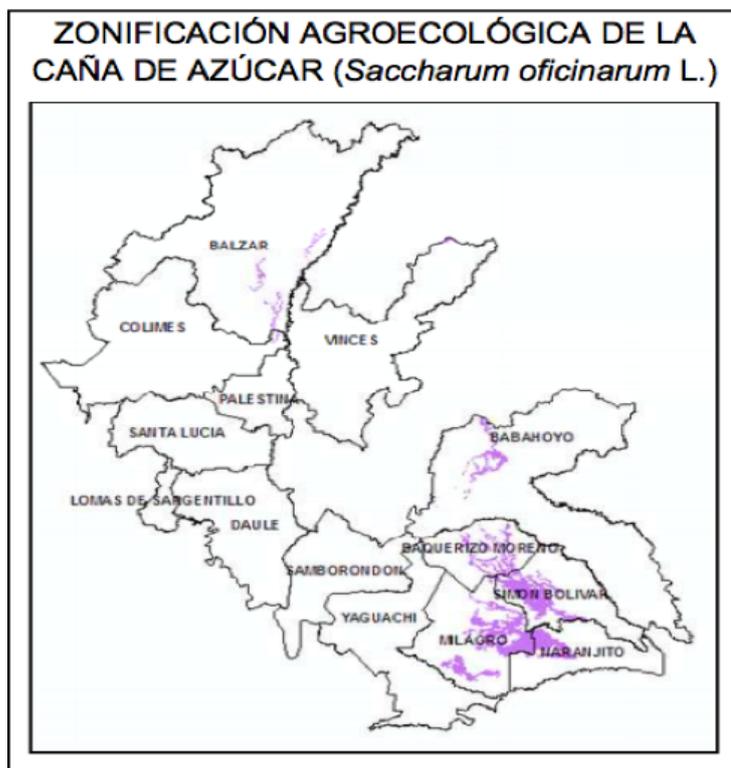


Figura 4. 5 Cultivos de caña de azúcar en la Cuenca del Río Guayas
Fuente: Magap (2012)

La mayor parte de los cultivos de caña se encuentran en la costa Ecuatoriana por sus condiciones climáticas y ricos suelos aptos para este cultivo , específicamente en la cuenca del río Guayas. En nuestro país existe varios tipos de caña cultivados, estas tipos llamados variedades se ha desarrollado en laboratorios de los ingenios azucareros pero en especial con el apoyo de CINCAE (Centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador), las variedades que existen se las explica en la Fig. 4.6 y Tabla 4.3

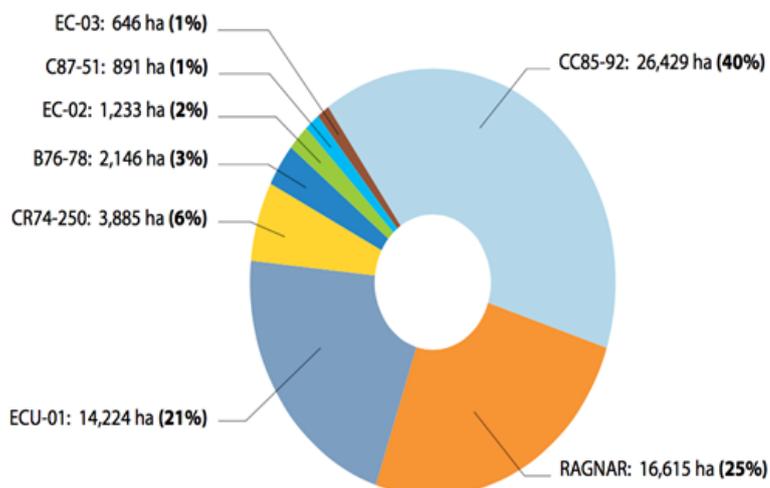


Figura 4. 6 Hectareaje y distribución porcentual de las principales variedades de caña de azúcar cosechadas en los ingenios: La Troncal, San Carlos, Valdez y cañicultores
Fuente: CINACE - Centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador (2013)

Tabla 4. 3 Producción de caña de azúcar y azúcar de algunas variedades e los ingenios: La Troncalm San Carlos y Valdez

Tipos de Caña	TCH	KATC	SAH
CC85-92	84,7	93,4	159,3
ECU-01	80,3	93,3	146,3
Ragnar	74,1	96,4	142,1
CR74-250	78,5	98,8	141,1
B76-78	71,9	90,6	127,1
EC-02	92,7	95,6	169,4
Miscelánea	65,2	93,5	120,9
C87-51	62,9	93,8	116,9
EC-03	114,4	88,5	201,5
SP79-2233	75,9	96,8	136,1
Abreviaturas	TCH= Toneladas de caña por hectárea KATC= Kilogramos de azúcar por tonelada de caña SAH= Sacos de azúcar de 50 Kg. por Hectárea		

Fuente: CINACE Centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador (2013).

4.6 Composición de la caña de azúcar.

La parte principal de la caña de azúcar es el tronco, y nos enfocaremos en este para este trabajo; la caña está compuesto por una parte sólida que es la fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se pueden encontrar otras sustancias en pequeñas proporciones. La composición varía de acuerdo a la variedad de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. Pero se ha determinado porcentajes como punto de referencia:

- ✓ Fibra (11-16%)
- ✓ Sacarosa (8-15%)
- ✓ Agua (73-76%)

La sacarosa del jugo se convierte en azúcar y derivados mediante un sistema de cristalización, mientras la fibra constituye el bagazo, que se acumula como biomasa en los exteriores de los trapiches para su posterior combustión y así poder aprovechar su poder calorífico.

Otros constituyentes de la caña presentes en el jugo son:

- ✓ Glucosa (0,2-0,6%)
- ✓ Fructosa (0,2-0,6%)
- ✓ Sales (0,3-0,8%)
- ✓ Ácidos orgánicos (0,1-0,8%)
- ✓ Otros (0,3-0,8%)

4.7 Bagazo de caña de azúcar

El Bagazo de caña de azúcar se produce como consecuencia de la fabricación de azúcar y se lo considera un subproducto de esta producción. Es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras. De origen fibroso, heterogéneo compuesto de granulométrica, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.



Figura 4. 7 Bagazo de caña de azúcar, movido por bandas transportadoras del Ingenio San Carlos
Fuente: El Autor (2013)

4.7.1 Composición

El bagazo, es una fibra residual de la caña de azúcar que se obtiene después de la molienda en los trapiches de un ingenio, se lo considera un combustible natural por sus propiedades de combustión para producir vapor en los ingenios. Su tamaño es uniforme con una longitud promedio de 5-7.5 cm. y no excede de los 2 cm. de ancho. El rango de densidad varía entre 120-160 Kg/m.

Está compuesto de fibra, agua, sólidos solubles y cenizas pero es importante conocer su composición química que afecta su uso como combustible. (Carta trimestral Cenicaña, Arbey Carvajal, 2003). La composición del bagazo de caña de azúcar variará dependiendo de la variedad de caña que se ha cosechado y el lugar donde se la ha sembrado, pero suelen tener los mismos porcentajes de composición química, media y de fibra.

a) Composición química

En la composición química del bagazo se pueden encontrar los siguientes elementos:

- ✓ Carbono (23%)
- ✓ Oxígeno (22%)
- ✓ Hidrógeno (3%)
- ✓ Cenizas (2%)
- ✓ Agua (50%)

b) Composición media :

- ✓ Humedad (50%)
- ✓ Fibra (46%)
- ✓ Brix (sólidos solubles en agua 2%)
- ✓ Impurezas minerales (2%)

c) Composición de la fibra:

- ✓ Celulosa (48%)

- ✓ Hemicelulosa
- ✓ Lignina (mayor poder calorífico) 12%

4.7.2 Porcentaje de humedad

La cantidad de agua existente en el bagazo de la caña de azúcar, afecta de forma directa en su energía disponible, al momento de combustionar en las calderas.

Se sabe que existen dos formas generales de humedad: agua libre y agua ligada. La primera, que es la predominante, se expulsa con facilidad y conforma el gran contenido de humedad del bagazo. Mientras el agua ligada se halla combinada. Se encuentra en los hidratos las proteínas, estas requieren para su eliminación un calentamiento adicional. Entonces podemos concluir que hablar de humedad, es perder peso por añadir calor en forma de vapor.

CAPÍTULO 5

INGENIO SAN CARLOS

5.1 Descripción de la empresa.



Figura 5. 1 Instalaciones de la Sociedad Agrícola e industrial San Carlos S.A.

Fuente: I.S.C. Ingenio San Carlos (2014)

El Ingenio se encuentra ubicado en la provincia del Guayas, y es propiedad de la Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A. Su extensión actual es de 25.000 hectáreas aproximadamente que se distribuyen en los cantones: de Marcelino Maridueña, Naranjito y El Triunfo. Esta empresa nació como una hacienda a finales del siglo XIX y con el tiempo se ha convertido en uno de los principales complejos agro-industriales del Ecuador. (I.S.C. Ingenio San Carlos, 2013)

Produce anualmente alrededor de 2000,000 toneladas métricas de caña que generan una cifra cercana a los 3.050.000 sacos de 50 Kg. de azúcar blanco en distintas presentaciones. Se produce también azúcar crudo para exportación y, en menor medida para la satisfacción de necesidades del mercado nacional, se elaboran otros productos como azúcar impalpable, panela, panela granulada, miel de caña, etc.

El Ingenio inició sus labores en 1897 y, desde entonces, ha generado a su alrededor un área poblada de rápido desarrollo debido a la numerosa fuerza laboral que requiere este tipo de industrias tanto en la parte agrícola como industrial. (I.S.C. Ingenio San Carlos, 2013)

El Ingenio San Carlos produce alrededor del 33% del azúcar que el mercado nacional consume y también exporta sus productos a otros países. San Carlos cultiva directamente entre el 65 y el 70 % de la caña que muele anualmente comprando la diferencia a cañicultores y finqueros de zonas aledañas. (Ingenio San Carlos, 2013)

La empresa se caracteriza por su alto sentido de responsabilidad social que se refleja en beneficios y servicios importantes concedidos a sus trabajadores y sus familias. (Ingenio San Carlos, 2013)

5.2 Breve descripción de los servicios que presta la empresa.

Esta empresa está en la capacidad de producir anualmente alrededor de 2000,000 toneladas métricas de caña con lo que se genera una cifra cercana a los 3.050.000 sacos de 50 Kg. de azúcar en distintas presentaciones. Se produce también azúcar crudo para exportación y, en menor medida para la satisfacción de necesidades del mercado nacional, se elaboran otros productos como azúcar impalpable, panela, panela granulada, miel de caña, etc. (I.S.C. Ingenio San Carlos, 2014)

Además a partir del año 2004, se inició la generación de excedentes de energía eléctrica en base a biomasa (bagazo de caña) que son vendidos al Mercado Eléctrico Mayorista (M.E.M.) del Ecuador, que los generan dos turbos generados de 12MW ,16 MW y a partir del año 2014 se incrementó un nuevo generador de 43 MW que trabaja en conjunto con una nueva caldera de 950 psig (I.S.C. Ingenio San Carlos, 2014)



Figura 5. 2 Antiguas instalaciones de la Sociedad Agrícola e industrial San Carlos
Fuente: I.S.C. Ingenio San Carlos (1887)

5.3 Proceso producción del ingenio San Carlos.

En el ingenio San Carlos se realiza el proceso de cosecha después de 13 meses que se ha sembrado las diversas variedades de caña , y se la puede recoger por dos sistemas que son el corte manual o la cosecha mecanizada.

En el primer sistema se emplea machetes, y los jornales cortan la caña formando pequeñas pilas que se las ubica en el centro, luego estas son alzadas por las llenadoras y colocada en los camiones que la transportan hacia la fábrica como se puede ver en la Fig. 5.3. Mientras la cosecha mecanizada consiste en que máquinas llamadas cosechadoras, cortan, pican, limpian y botan a la caña hacia un camión o

carretón, que se ubica y rueda paralelo a la cosechadora. Este tipo de cosecha es más eficiente debido a que se reduce el tiempo de espera entre el corte y el traslado a la fábrica. (I.S.C. Ingenio San Carlos, 2013)



Figura 5. 3 Jornales realizando corte manual de caña de azúcar.
Fuente: Revista el Agro (2012)



Figura 5. 4 Cosechadora realizando corte mecanizado de caña de azúcar
Fuente: Revista El Pregón (2013)

La caña cosechada es llevada hacia la fábrica por medio de camiones, procediendo a pesarlos y distribuirlos hacia los trapiches. El Ingenio posee dos tandem de molinos con sus respectivas viradoras de caña. Receptada la caña en los trapiches, se somete ésta a un lavado para retirar la tierra y la suciedad. Luego la caña pasa por un conjunto de picadoras, que tienen el objetivo de desmenuzar la caña lo mas pequeño posible. El buen corte desmenuzado de la caña permitirá un mejor trabajo de extracción en los molinos y rendimiento de jugo. Durante este proceso sólo se realiza una fragmentación de la caña pero sin extraerle el jugo, ya que la caña desmenuzada es transportada a través de un conductor hacia los molinos para comprimirla y extraer el jugo contenido en la caña Fig 5.5. El jugo que se extrae es bombeado al proceso para su tratamiento de desinfección y clarificación. Este jugo mezclado no es un jugo limpio, pues contiene tierra, arena, residuos de caña y otras impurezas por lo que debe ser clarificado para poder ser utilizado en el proceso. (Ingenio San Carlos, 2014)



Figura 5. 5 Trapiche con cuatro molinos de extracción de jugo de caña de azúcar.
Fuente: Productos de la caña (2012)

Una vez obtenido la mayor cantidad de jugo en los trapiches el jugo de caña pasa por un proceso de desinfección para destruir agentes patógenos, bacterias, microbios que pueden estar presentes, luego se clarifica el jugo pasando por un sistema de sedimentación que permite separar la tierra u otras impurezas que están presentes en el jugo, es conveniente que el jugo se lo caliente a una temperatura no mayor de los 273 ° F para que exista una mejor separación de sedimentos.

Luego del calentamiento se agrega floculante para agrupar en forma de flóculos las impurezas sólidas insolubles presentes, que al ser más pesadas que el jugo tienden a sedimentar, todo este procesos se lo realiza en equipos llamados clarificadores

Las impurezas (tierra, arena, residuos de cal y residuos de floculante) que han sido separadas del jugo se lo denominan "cachaza". (Ingenio San Carlos, 2014)

La cachaza por haber estado en contacto con el jugo es un lodo que contiene parte de jugo, el cual debe ser recuperado. Esto se realiza mediante filtros rotativos al vacío, de la cual se obtiene:

a) Una torta sólida de cachaza, que por tener presencia de elementos nutrientes es utilizada como abono en los cultivos de caña. (I.S.C. Ingenio San Carlos, 2013)

b) Un jugo sucio llamado "jugo filtrado", que es alimentado al clarificador de jugo para separarle las impurezas sólidas presentes y obtener un jugo que pueda ser recirculado al proceso. (I.S.C. Ingenio San Carlos, 2013)

Luego el jugo clarificado pasa a la sección de evaporación para eliminar el 82-87 % agua presente en el jugo, por efecto del trabajo de los evaporadores de múltiple efecto se logra reducir el contenido de agua al 33-40 % (60-67 °Brix), denominándose "meladura" al jugo concentrado que sale de los evaporadores.

La meladura presenta contenidos de sólidos insolubles que deben ser eliminados, por lo que ésta es sometida a un proceso de clarificación por flotación y así obtener una meladura más clara con la finalidad de lograr un azúcar de buena calidad. Para llegar a obtener los cristales de azúcar (sacarosa) se requiere eliminar el agua sobrante en la meladura, esto se realiza durante la cocción de las templeas en equipos llamados “tachos”, que no son otra cosa que evaporadores de simple efecto que trabajan al vacío. En un sistema de tres templeas se producen tres tipos de masas cocidas o templeas: las "A", las "B" y las "C". En la Fig. 5.6 se puede observar los tachos que existen en el ingenio San Carlos.



Figura 5. 6 Tachos o templeas que posee el Ingenio San Carlos

Fuente: El Autor (2015)

Las templeas A son las de azúcar comercial y las otras son materiales para procesos internos que permiten obtener finalmente una miel final o melaza con bajo contenido de sacarosa. Para elaborar las templeas A se concentra la masa hasta obtener 91 – 92° Brix. Al llegar a esta concentración se descarga la templea hacia los

cristalizadores. Para lograr la separación de los cristales presentes en la templa se emplean centrifugas de primera. Los cristales separados son denominados "azúcar A", que es el azúcar comercial, y la miel separada es llamada "miel A", que es recirculada al Piso de Tachos para su agotamiento interno. (Ingenio San Carlos, 2014)

El azúcar de tipo "A" después de la centrifugas se lo somete a un secado utilizando una secadora rotativa, para luego conducirla a tolvas de almacenamiento para su posterior envasado en sacos triple capa de papel kraft. El producto envasado es inmediatamente transportado hacia las Bodegas de Azúcar para su almacenamiento y posterior entrega a los clientes. En la Fig5.7 se puede observar un diagrama de procesos de un ingenio azucarero.

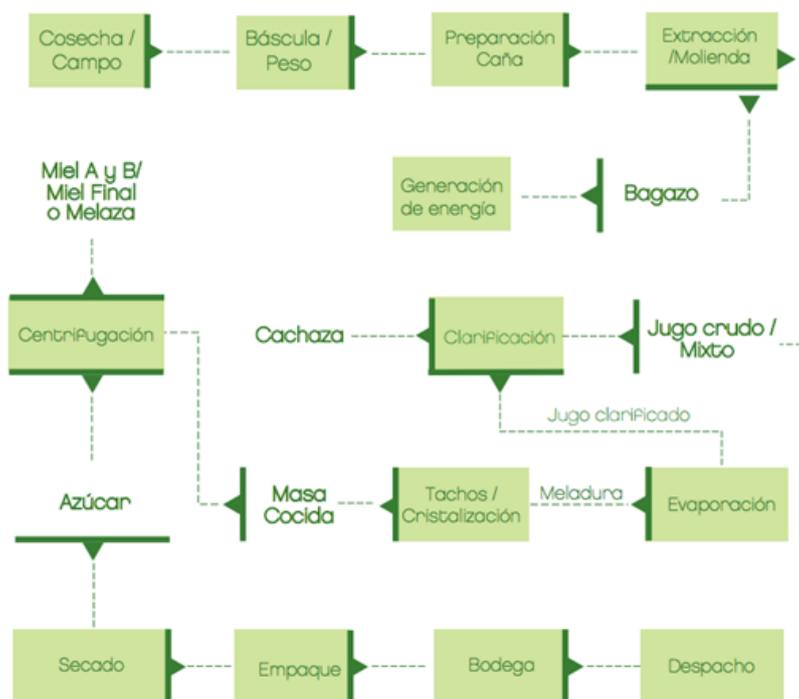


Figura 5. 7 Proceso de fabricación de azúcar a partir de la caña
Fuente: Ingenio San Carlos (2014)

CAPÍTULO 6

SISTEMAS DE COGENERACIÓN

6.1 Definición de Cogeneración

Un sistema de cogeneración es la generación secuencial o simultánea de múltiples formas de energía útil (generalmente mecánica, térmica y eléctrica) en un único sistema integrado. Este permite evitar pérdidas en forma de entalpía o exergía. Los sistemas de cogeneración son eficientes energéticamente, que brindan mayor competitividad al momento de generar energía, además que permite exportar energía si existe excedentes , lo que crea fuentes de empleo además de colaborar con el medio ambiente ya que se utiliza de una manera más eficiente los combustibles utilizados en el proceso.

La cogeneración se conoce desde 1882, cuando Thomas Edison, aplicó la idea en la primera central eléctrica de Estados Unidos (Pearl Station, NY) dando servicio a 59 clientes, con una eficiencia del 50% del combustible utilizado.

La cogeneración permite generar energía mediante la producción combinada, en lugar de separada, de calor y electricidad. Se considera que existe cogeneración de alta eficiencia cuando el ahorro es superior al 10% (UE,2004)

En la Fig 6.1 se puede observar el sistema convencional de generación de energía , que consiste quemar grandes cantidades de combustible en centrales termoeléctricas para la generación de energía eléctrica , retiradas de los usuarios,

luego la energía generada es transportada y distribuida por el sistema interconectado de electricidad hasta al consumidor lo que produce pérdidas en los conductores al momento de ser transportada y distribuida la energía, a su vez este consumidor necesita otros tipos de energía para sus procesos de producción en especial energía térmica, por lo que necesitara de una caldera propia para producir este tipo de energía.

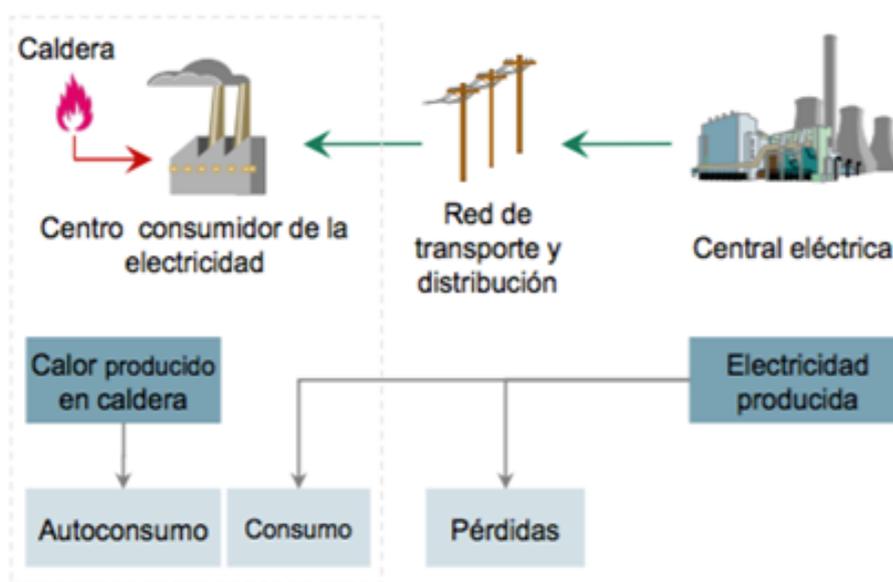


Figura 6. 1 Esquema tradicional de producción de calor y electricidad
Fuente: Javier Rodríguez (2013)

En la Fig. 6.2 se explica el mismo ejemplo anterior pero aplicando el sistema de cogeneración, al cogenerar electricidad y calor en la propia industria, se eliminan pérdidas en el sistema de transportación y distribución eléctrica, se genera la cantidad necesaria de energía eléctrica y térmica que se requiere, que antes era suministrada por las termoeléctricas y calderas.

En caso de existir excedentes de energía eléctrica se puede entregar dicha energía al entorno local por medio de la red eléctrica, proporcionando rubros a la empresa que posee este tipo de sistema de generación de energía.

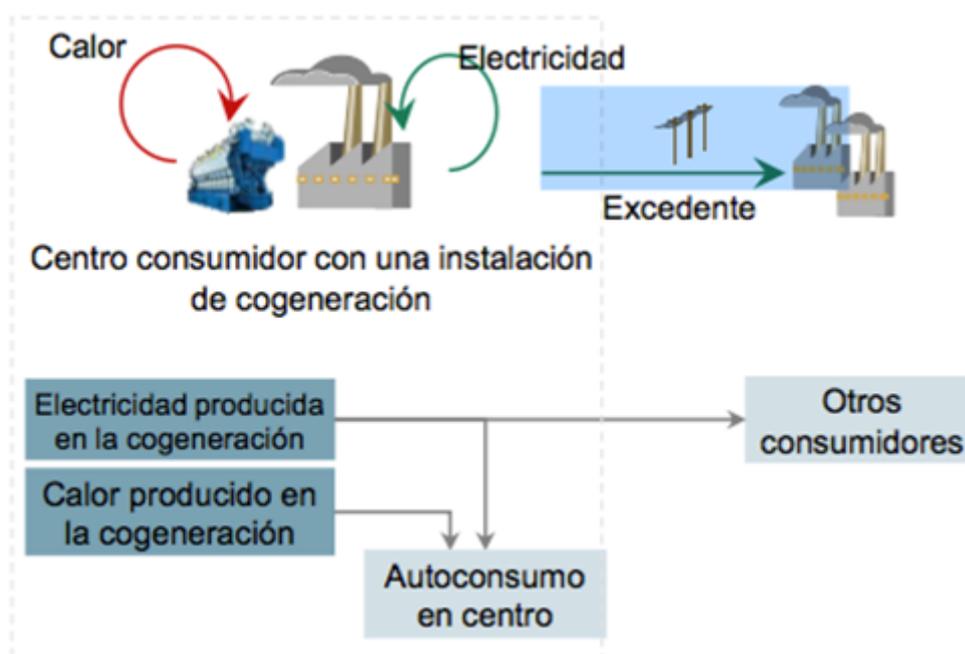


Figura 6. 2 Producción integrada de calor y electricidad con cogeneración
Fuente: Javier Rodríguez (2013)

Las industrias que utilizan sistemas de cogeneración tienen un rendimiento eléctrico del 10% mayor frente a las plantas termoeléctricas, además que se aprovecha mejor el poder calorífico inferior (PCI) teniendo una eficiencia del 13.3% frente a la generación tradicional. Lo que caracteriza como eficiente a un sistema de cogeneración es el porcentaje de sus pérdidas en transmisión y distribución de energía eléctrica que son de 0%. En la Tabla 6.1 se puede observar más detalladamente los porcentajes de eficiencia de un sistema tradicional versus a un sistema de cogeneración.

Tabla 6. 1 Eficiencia de un sistema de cogeneración versus a plantas termoeléctricas.

		Generación Termoeléctrica	Cogeneración
Rendimiento eléctrico en generación	EP	43,7%	53,5%
	PCI	46,1%	59,4%
Perdidas de Red		5,4%	0%
Rendimiento eléctrico total	EP	41,4%+29%	53,5%
	PCI	43,7%	59,4%

Fuente: MITYC (2008)

6.2 Ventajas de la cogeneración

- ✓ Mayor eficiencia energética en la generación de energía eléctrica.
- ✓ Minimización de pérdidas de energía en la red de transporte y distribución, ya que no es necesario transportar energía largas distancias.
- ✓ Venta de excedentes de energía eléctrica.
- ✓ Menores emisiones al medio ambiente, en particular de CO₂, el principal gas de efecto invernadero
- ✓ Reemplazo de combustibles fósiles, por biomasa o gas natural.
- ✓ Rendimientos más altos debido a la sustitución de instalaciones antiguas por tecnologías nuevas con mejores prestaciones.
- ✓ La cogeneración ofrece una opción de la dependencia de los mercados energéticos.

6.3 Desventajas de la cogeneración

- ✓ Altos costos de inversión, por requerir de un gran número de componentes.
- ✓ Al poseer mayor número de componentes, se tienen que implementar nuevos programas de mantenimiento y operación.
- ✓ Tiempo de arranque muy lento.
- ✓ Baja relación de energía eléctrica/ energía térmica.
- ✓ Poseer el área requerida para componentes y el tiempo de instalación, ya que el montaje y calibración de equipos toma tiempo, en especial cuando se trabaja con grandes flujos y potencias.
- ✓ Regular que los niveles de tensión sean los adecuados y mantener un buen factor de potencia de la planta, para no tener problemas con el rendimiento eléctrico.

6.4 Elementos que conforman un sistema de cogeneración

En una planta de cogeneración existen elementos imprescindibles para su óptimo funcionamiento, estos son:

6.4.1 Fuente de energía primaria

Los sistemas de cogeneración por lo general usan gas natural, biomasa y combustibles líquidos para poder generar energía, que son la fuente primaria para accionar las calderas

6.4.2 Elemento motor

Por lo general la conforman turbo-máquinas motoras como las turbinas a gas o turbinas a vapor. Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido

en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.

La turbina es un máquina rotativa que transforma la energía de un vapor de agua o gas en energía mecánica a través del movimiento de sus palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, como se puede observar en la Fig.6.3, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar, que además puede estar acoplada a un generador eléctrico para generar energía eléctrica.



Figura 6. 3 Montaje de una turbina a vapor
Fuente: COSAG (2012)

6.4.3 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico en una planta de cogeneración se encuentra compuesto por tres elementos principales que son:

✓ Generador eléctrico

Es una máquina capaz de producir y mantener una diferencia de potencial eléctrica en sus dos polos, transformando la energía mecánica en eléctrica. Se obtiene esta transformación por la interacción de un campo magnético en los conductores eléctricos que se encuentran en el estator. A esto se lo conoce como fuerza electromotriz o FEM. En la Fig. 6.4 se observa un generador eléctrico de la compañía Weg



Figura 6. 4 Turbo-generador Weg de 150 MVA
Fuente: Weg Company (2014)

✓ Transformador

Es una máquina estática que mediante inducción electromagnética permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. En la Fig 6.5 se observa un transformador Weg de 300 MVA.

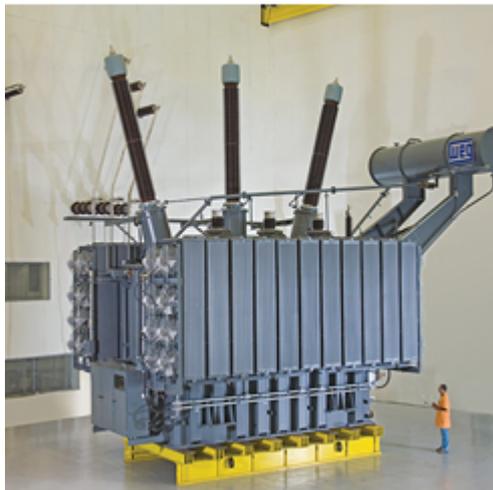


Figura 6. 5 Transformador Weg de 5 a 300 MVA
Fuente: Weg Company (2014)

6.4.4 Sistema de aprovechamiento de la energía calorífica

En los sistemas de cogeneración el elemento vital para que sea eficiente es la caldera, ya que éstas pueden contar con un sistema de recuperación de calor, la que optimiza los recursos térmicos en la generación de vapor. Por lo que se hará una breve explicación de las calderas para poder tener conocimiento de estas.

6.4.4.1 Caldera

Las calderas son máquinas capaces de generar vapor a través de transferencia de calor a una presión constante, en el que un fluido líquido, se calienta y cambia su estado hasta convertirse en vapor de alta presión y así poder desarrollar otro trabajo en otras máquinas mecánicas. En la Fig. 6.6 se puede observar la estructura externa de una caldera fabricada por la compañía Caldema.



Figura 6. 6 Caldera de compañía Caldema con capacidad de 300Tn/h de vapor a una presión de 65kfg/cm²

Fuente: Caldema company (2015)

Los principales tipos de calderas son las acuotubulares y pirotubulares, el primer tipo son aquellas que por dentro de sus tubos circula agua y en su exterior se encuentran la llamas o calor vivo provocados por la quema de un combustible, permitiendo que el agua que se encuentra en el interior de los tubos se convierta en vapor. En la Fig. 6.7 se puede apreciar los componentes de una caldera acua-tubular.

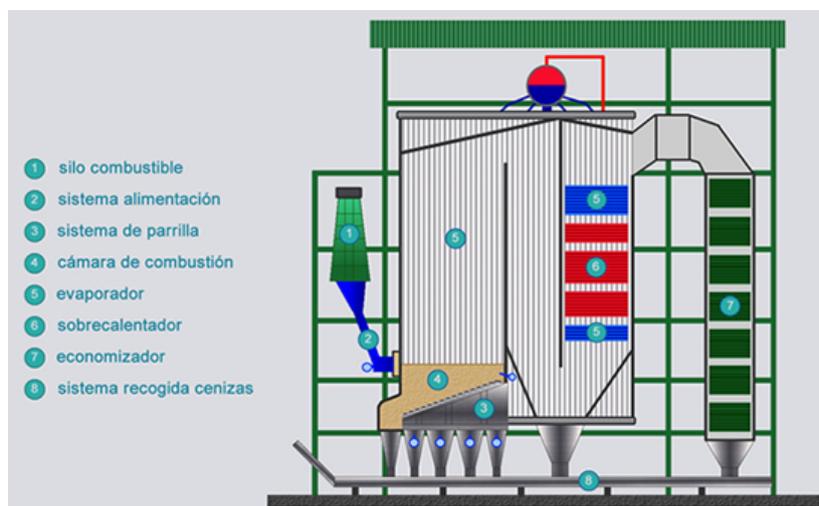


Figura 6. 7 Caldera acua-tubular y sus principales componentes

Fuente: BSMS Energy (2013)

Las calderas piro-tubulares tienen un sistema totalmente diferente a las acuotubulares, ya que en el interior de los tubos circulan gases producto de la quema de combustibles en el hogar, alrededor de los tubos se encuentra el líquido que procederá a calentarse para formar vapor. En la Fig. 6.8 se puede apreciar los componentes de una caldera piro-tubular.

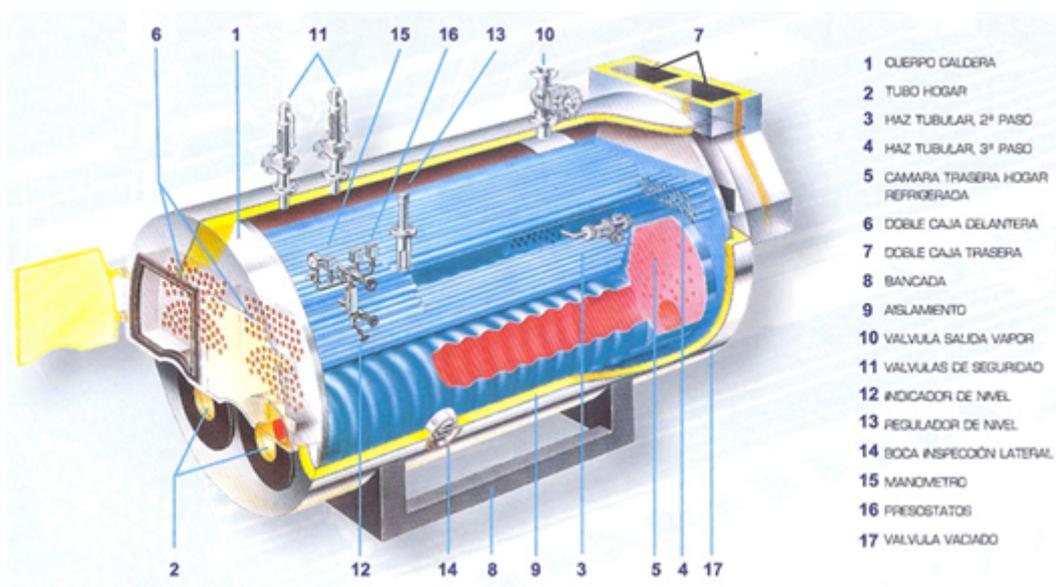


Figura 6. 8 Caldera piro-tubular y sus principales componentes
Fuente: SOGECAL (2012)

6.4.4.2 Caldera de recuperación de calor y componentes (HRSG-Heat recovery steam generator)

La caldera de recuperación de calor o HRSG (heat recovery steam generator) en un ciclo combinado es el elemento encargado de aprovechar la energía de los gases de escape de la turbina de gas transformándola en vapor. Con posterioridad, ese vapor puede transformarse en electricidad por una turbina de gas, ser utilizado en procesos industriales o en sistemas de calefacción centralizados. Las calderas de

recuperación de calor pueden clasificarse en calderas con o sin postcombustión y en calderas horizontales o verticales y también por el número de veces que el agua pasa a través de la caldera conocidas como OTSG (One Time Steam Generator). (Opex-energy,2013) En la Fig. 6.9 se puede apreciar los componentes de una caldera con sistema HRSG.

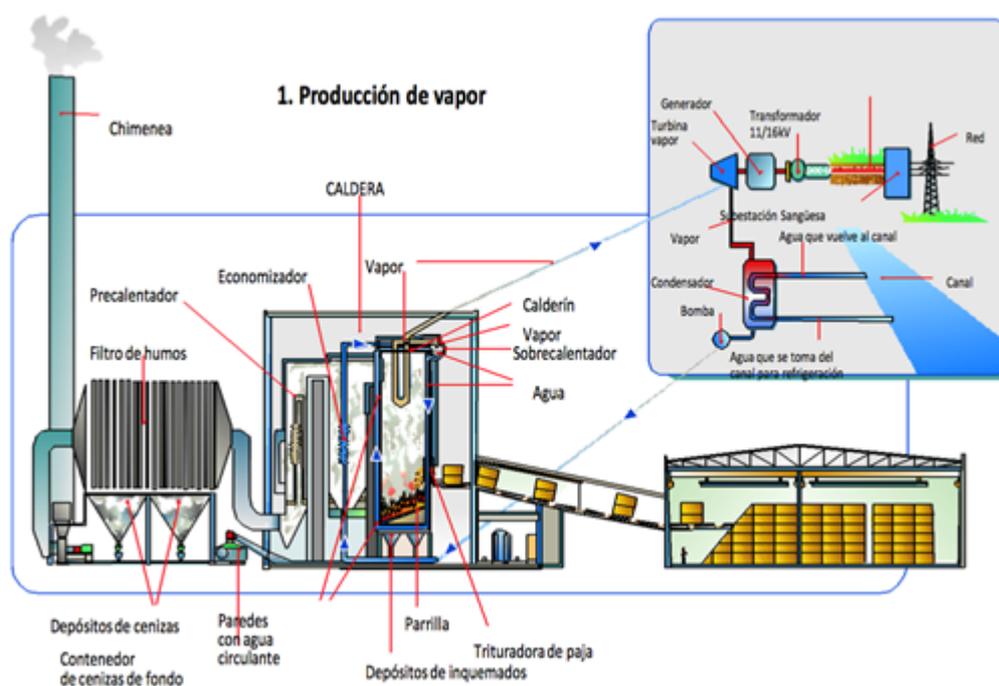


Figura 6. 9 Caldera con sistema HRSG y sus principales componentes
Fuente: Santiago García Garrido (2012)

Los principales componentes de una caldera con sistema de recuperación de calor son:

- a) Desgasificador, es el encargado de eliminar los gases disueltos en el agua de alimentación, oxígeno principalmente y otros gases que nos podría provocar corrosiones. (Opex-energy, 2013)

- b) El hogar es el espacio de la caldera en el que se realiza la combustión del combustible utilizado y que constituye la denominada zona de radiación, al ser este el mecanismo de transmisión de calor que tiene lugar en el mismo, por efecto de la llama. Las paredes que delimitan el hogar pueden ser de material refractario (calderas de hogar caliente), de tubos de agua (calderas de hogar frío), o bien una combinación de los mismos. (Opex-energy, 2013)
- c) Tanque de agua de alimentación, depósito donde se acumula el agua que alimenta a el sistema, esta agua debe ser muy pura para evitar obstruir los conductos, erosionarlos o corroerlos por las sustancias que lleven con ellos. (Opex-energy, 2013)
- d) Calderín, es el lugar de donde se alimenta el evaporador de agua y el sobrecalentador de vapor. Puede haber diferentes tipos de calderines según la turbina de vapor que alimenten ya sean de baja, media o alta presión. - Bombas de alimentación, son las encargadas de enviar el agua desde el tanque de agua de alimentación a su calderín correspondiente. (Opex-energy, 2013)
- e) Economizadores, son los intercambiadores encargados de precalentar el agua de alimentación con el calor residual de los gases de escape, aprovechando su energía con lo que aumentamos el rendimiento de nuestra instalación y evitamos saltos bruscos de temperatura en la entrada de agua. (Opex-energy, 2013)
- f) Evaporadores, son intercambiadores que aprovechan el calor de los gases de escape de temperatura intermedia para evaporar el agua a la presión del circuito correspondientes, la circulación del agua a través de ellos puede ser forzada o natural, en la forzada se utilizan bombas y en la natural el efecto termosifón,

aunque también se usan bombas en los momentos de arranque o cuando sea necesario, devolviendo el vapor al calderín. (Opex-energy, 2013)

- g) Sobrecalentadores y Recalentadores, son los intercambiadores que se encuentran en la parte más cercana a la entrada de los gases procedentes de la combustión en la turbina de gas, el vapor que sale ya está listo para ser enviado a la turbina de vapor, este vapor debe ser lo más puro posible y debe ir libre de gotas de agua que deteriorarían nuestra turbina, también debemos tener controlada la temperatura y presión del vapor para evitar estrés térmico en los diferentes componentes. (Opex-energy, 2013)

6.5 Clasificación de los sistemas de Cogeneración

Los sistemas de cogeneración se clasifican dependiendo del orden en que realicen la generación de energía calorífica y la energía eléctrica estas son:

6.5.1 Topping cycles o sistemas superiores o de cabeza.

Son aquellos en los que la energía primaria se utiliza para producir un fluido caliente y a presión que genera energía mecánica y el calor residual del fluido se utiliza en el proceso industrial. Según el elemento motor que utilicen estos sistemas de cabeza pueden clasificarse en:

- a) Con turbina de gas

Este tipo de turbinas se acciona por la expansión de gases calientes procedentes de una cámara de combustión en la que el aire se introduce mediante

un compresor accionado por la propia turbina. En la Fig 6.10 se visualiza la construcción de una turbina a gas.

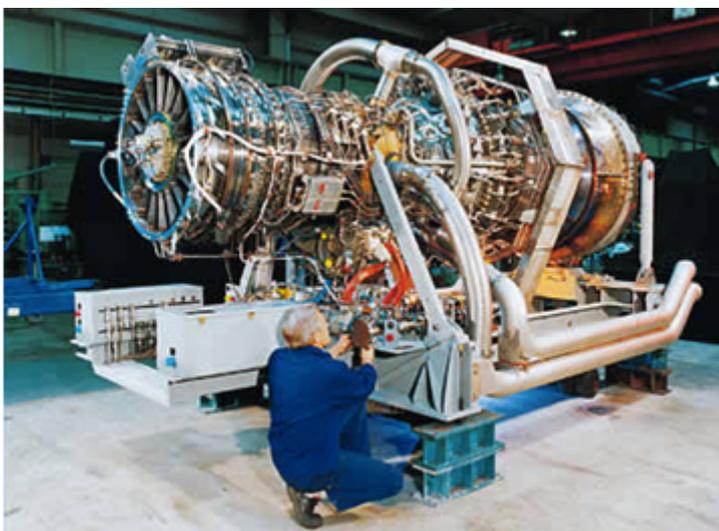


Figura 6. 10 Construcción de una turbina a gas
Fuente: Turbina de gas (2012)

Su funcionamiento consiste en aspirar aire de la atmósfera y comprimirlo para pasarlo a la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible produciéndose la ignición. Los gases calientes originados en la combustión fluyen a través de la turbina y se expanden moviendo el eje que acciona el compresor de la turbina.

b) Con turbina de vapor

Su accionamiento se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. En la Fig. 6.11 se observa la estructura interna de una turbina a vapor.

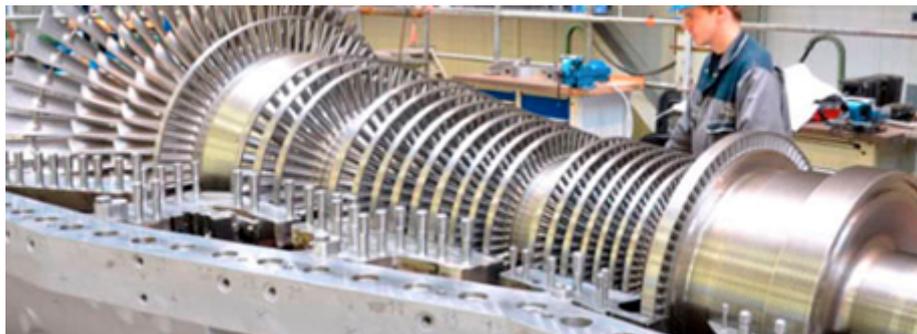


Figura 6. 11 Turbina a vapor
Fuente: Directindustry (2012)

Las turbinas de vapor se pueden clasificar de la siguiente manera:

- ✓ Turbinas de contrapresión: El de vapor de salida de la turbina es mayor que la presión atmosférica.
- ✓ Turbinas de condensación: En ellas el vapor se expande desde la presión de entrada hasta una presión por debajo de la atmosférica, condensándose el vapor y bombeándose el agua de nuevo a la caldera.

6.5.2 Bottoming cycles o sistemas de cola.

En un ciclo reutilización de combustible, ya que el combustible primario produce energía térmica de alta temperatura (para satisfacer necesidades térmicas) y el calor rechazado del proceso se utiliza para generar energía a través de una caldera de recuperación y un generador de turbina(energía eléctrica).En la Fig. 6.12 se puede apreciar el sistema completa del una de cogeneración que funciona con sistema de cola, cada unos de los componentes que lo conforman y la forma de aprovechar la energía térmica mediante una caldera.

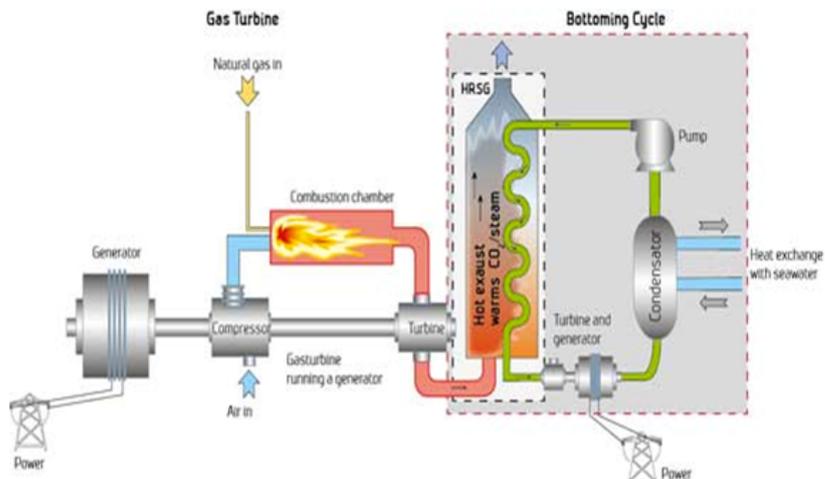


Figura 6. 12 Esquema de Bottoming cycles con accionamiento de turbina a gas
Fuente: SINTEF (2012)

En la tabla 6.2 se puede ver los parámetros de rendimiento de los sistemas típicos de cogeneración , además se puede apreciar sus porcentaje de eficiencia, pudiendo comparar motores de combustión con turbinas a gas.

Tabla 6. 2 Parámetros de rendimiento de típicos sistemas de cogeneración

Motor Principal en Sistema de cogeneración	Rango Nominal (Eléctrico)	Generación Eléctrica Velocidad de Calentamiento (kcal/kWh)	Eficiencia, %		
			Conversión Eléctrica	Recuperación Térmica	Total de Cogeneración
Pequeños motores Alternos	10 - 500 kW	2650 - 6300	20 - 32	50	74 - 82
Grandes motores Alternos	500 - 3000 kW	2400 - 3275	26 - 36	50	76 - 86
Motores a Diesel	10 - 3000 kW	2770 - 3775	23 - 38	50	73 - 88
Grandes Turbinas a Gas	10 - 20 MW	2770 - 3275	26 - 31	50	78 - 81
Turbinas a Vapor	10 - 100 MW	2520 - 5040	17 - 34	-	-

Fuente :Comisión de Energía de California, (1982)

PARTE II APORTACIONES

CAPÍTULO 7

SISTEMA DE COGENERACIÓN EN INGENIO SAN CARLOS ACTIVADO POR BIOMASA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

7.1 Introducción

En Ecuador uno de los principales productos agrícolas es la caña de azúcar, creando así la industria azucarera a través de los ingenios azucareros, ésta requiere de grandes cantidades de energía térmica y eléctrica para poder producir azúcar y sus derivados.

Para poder suplir esta gran demanda de energía existen sistemas de cogeneración que son factibles para este tipo de industrias, ya que este tipo de generación de energía puede cubrir sus necesidades de energía térmica para el proceso de elaboración de azúcar (cocción) y también sus necesidades de energía eléctrica para hacer funcionar los motores que permiten la molienda en los trapiches y otros equipos. Además de ser beneficioso con el ecosistema ya que con el bagazo de caña de azúcar que se obtiene de la molienda se puede aprovechar y utilizarlo como combustible que hace funcionar a este sistema de cogeneración, dejando atrás los combustibles fósiles.

Adicional la cantidad de bagazo obtenida en los ingenios azucareros es considerable, lo que permite tener excesos de energía eléctrica producidos por el sistema de cogeneración. Esto brinda la oportunidad de vender estos excedentes de energía a la Empresa Eléctrica del Ecuador, siendo una opción adicional y amigable con el medio ambiente para satisfacer parte la demanda del país.

Es por eso que se ha realizado el estudio de dicho sistema , en el Ingenio San Carlos, empresa pionera en el país en la utilización de energía limpia y amigable con el medio ambiente, lo que le ha hecho acreedora de 4 puntos verdes (1.Cogeneración de energía eléctrica; 2.Optimización de utilización de agua de fábrica; 3.Agricultura de precisión; 4.Recuperación de aceite), premios otorgados por el Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Esta empresa cuenta con un ingenio que se autoabastece de energía a partir de un sistema de cogeneración activado por el bagazo de caña de azúcar que ellos mismos lo obtienen de la molienda. En la Fig. 7.1 se puede observar las instalaciones de la planta de cogeneración que posee el ingenio.



Figura 7. 1 *Planta de cogeneración del Ingenio San Carlos.*
Fuente: I.S.C. Ingenio San Carlos (2012)

La cantidad de generación y venta de energía eléctrica en un ingenio azucarero a través de un sistema de cogeneración dependerá de la modernización de equipos, que brindarán confiabilidad y eficiencia energética

7.2 Análisis del ingenio azucarero

Para este análisis de generación eléctrica a partir de biomasa a través de cultivos de caña de azúcar, el cultivo es sometido a varios procesos, que se explicará a continuación.

Todo empieza en el patio de cañas donde se procede a depositar la caña proveniente de los canteros del ingenio San Carlos y cultivos de pequeños agricultores de la zona, existen dos formas como se puede obtener la caña: a) es por el corte manual que se utiliza la fuerza del hombre y ; b) el método mecánico cuando maquinaria pesada corta de cepa la caña, dando mejores resultados.

Estos dos tipos de presentaciones son vertidos en un sistema de transportación, el cual los dirigirá a un conjunto de grandes cuchillas mecánicas para fraccionarlos en pequeñas porciones, y así su molienda hacer más fácil y eficiente, en la obtención de jugo de caña de azúcar y restar humedad al bagazo . En la Fig. 7.2 se puede observar como se abastece los swim bag de un trapiche con caña de azúcar para su proceso de corte.



Figura 7. 2 Desembarco de Caña de azúcar en el swim bag del Ingenio San Carlos para su posterior picado
Fuente: Diario El Universo (14 Agosto 2010)

Existen dos trapiches en el ingenio, Trapiche A con una capacidad de molienda de 200Tn/h y el trapiche B con una capacidad de 320Tn/h .Su sistema es el mismo, estos están constituidos por un conjunto de molinos accionados por motores eléctricos, como se puede ver en la Fig. 7.3, tiempo atrás eran activados por turbinas de vapor , pero a partir de la repotenciación de la fábrica e integración del sistema de cogeneración, se cambio por motores eléctricos por ser más eficientes , y así poder evitar pérdidas de vapor y con estas generar más energía eléctrica en la planta de cogeneración.



Figura 7. 3 Motores eléctricos Weg que dan movimiento a los molinos de los trapiches en el ingenio San Carlos
Fuente: Omaconsa (2013)

La caña picada atraviesa un conjunto de molinos pero por cada uno de estos se vierte agua y jugo de caña mediante un sistema de bombeo , al jugo y agua previamente se eleva su temperatura para poder extraer el pol y sacarosa , ya que con temperatura es mucho más fácil poder extraer esos contenidos de la caña.

Luego de todo este proceso queda caña picada extraída su mayor cantidad de jugo y humedad que se lo conoce como bagazo, este es el combustible principal para las calderas que accionarán el sistema de cogeneración.

El bagazo de caña de azúcar es transportado por un sistema de bandas hacia la caldera ocho y caldera nueve que son las que están ancladas directamente al sistema de cogeneración y se explica a continuación.

La caldera número 8 es de serie AUP (Acotubular único pasaje) con parrilla inclinada “GI” ,diseñada para quemar combustibles como el bagazo de

caña de azúcar, leña picada, además aceite pesado, etc., tiene un sistema de limpieza rápida y eficiente, retirando las cenizas por medio de vapor, transporte de tornillo sin fin y válvula rotativa, como se puede apreciar Fig.7.4

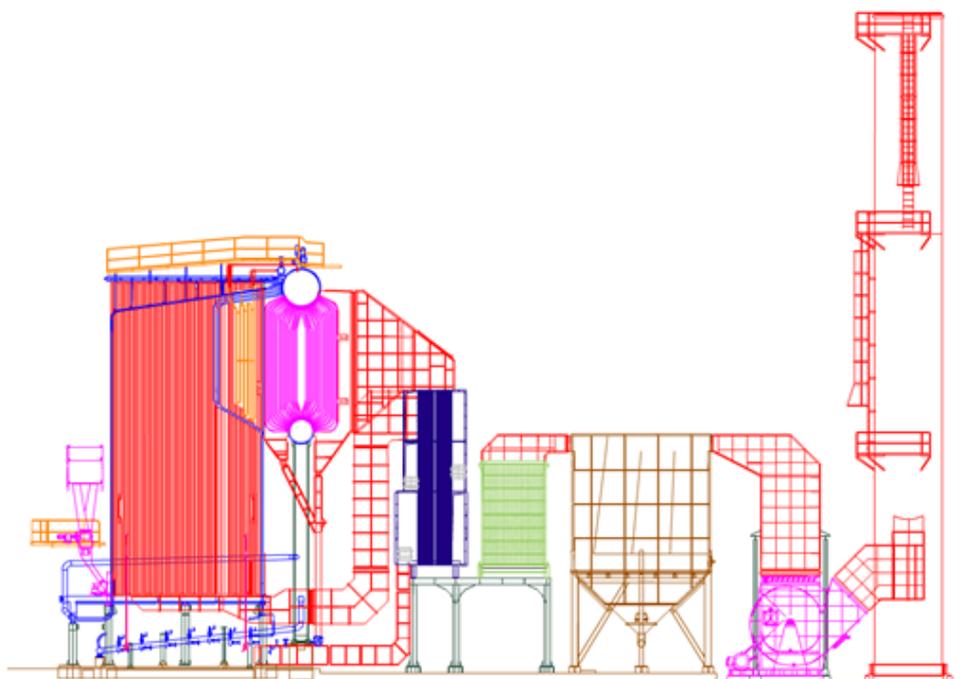


Figura 7. 4 Estructura y diseño de la caldera número ocho en el Ingenio San Carlos
Fuente: Caldema (2003)

Su funcionamiento consiste en que el aire primario para la quema de combustible es pre-calentado por medio de gases en el calentador de aire primario e insuflado por conductos debajo del emparrillado.

Para tener una combustión completa, encima del emparrillado es insuflado el aire secundario, a una presión más alta, ocasionando la turbulencia necesaria para la combustión y con temperatura más alta para asegurar la quema del combustible.

Los gases de combustión ceden calor a las paredes de agua nervuradas del hogar, sobrecalientan el vapor en el serpentín del sobrecalentador e

intercambian calor en las superficies del fascículo tubular en un pasaje único por el mismo

El rendimiento térmico de la caldera es la relación entre la cantidad de calor recuperado de los gases de combustión y el calor total recibido por la unidad.

Todo esto permite que la caldera genere 120.000kg/h vapor a una presión de 42kgf/cm² a una temperatura de 400 °C. Todo el vapor se transportará por cañerías de acero negro de cédula 80 a la planta de cogeneración.

La caldera número nueve pertenece a la serie "AMD" hecha con parrilla inclinada, posee un diseño para la quema de combustibles como el bagazo de caña, leña picada, aceite combustible, etc., como se puede observar en la Fig.7.5.

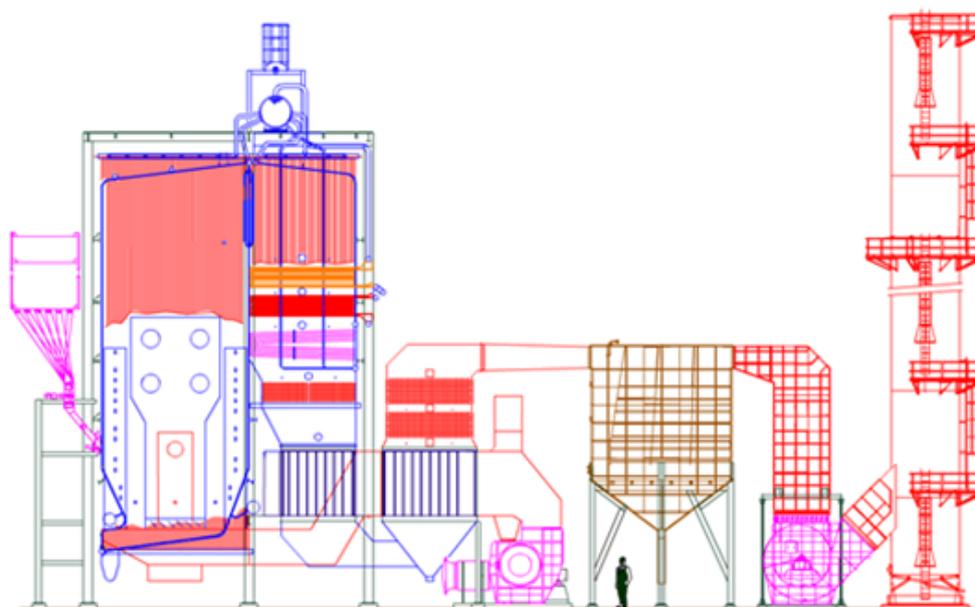


Figura 7. 5 Estructura y diseño de Caldera número nueve en el Ingenio San Carlos
Fuente: Caldema (2010)

El funcionamiento de la Caldera nueve es el mismo que el de la caldera número ocho, con la única diferencia en la forma de su horno ya que es de mayor capacidad, produciendo 220.000kg/h de vapor a una presión de 78 kgf/cm² a una temperatura de 525 °C.

En la tabla 7.1 y 7.2 se puede ver las características y condiciones de operación de la caldera número ocho y caldera número nueve respectivamente, estas condiciones son proporcionadas por el fabricante en este caso Caldema.

Tabla 7. 1 Condiciones de operación de caldera número ocho del Ingenio San Carlos

Condiciones de Caldera #8	
Tipo	“AUP” Acuotubular con único pasaje de gases
Modelo	AUP-405G1-PSE
Capacidad máxima continua	120000 Kg/h
Presión de Proyecto	52 Kgf/cm 2
Temp. del Vapor	400 °C
Temp. del agua de alimentación	105 °C
Temp. del aire local	27 °C
Sistema de Tiro	Balancedo
Número de secciones del emparrillado	5
Tipo de parrilla	Inclinada fija y plana de báscula
Combustible	Bagazo de caña/ aceite combustible
Capacidad	120000 Kg/h
Presión de Operación	42 Kgf/cm2
Temperatura	400 °C

Fuente :Manual de operación Caldema, (2003)

Tabla 7. 2 Condiciones de operación de caldera número nueve del Ingenio San Carlos

Condiciones de Caldera #9	
Tipo	“AMD” Acuotubular Monodrum
Modelo	AMD-73-7GI
Capacidad máxima continua	220000 Kg/h
Presión de Proyecto	78 Kg/cm ²
Temp. del Vapor	525 °C
Temp. del agua de alimentación	105 °C
Temp. del aire local	25 °C
Sistema de Tiro	Inducido
Número de secciones del emparrillado	7
Tipo de parrilla	Inclinada fija
Combustible	Bagazo de caña/ aceite combustible
Capacidad	220000 Kg/h
Presión de Operación	67 Kg/cm ²
Temperatura	525 °C

Fuente: Manual de operación Caldema, (2008)

El vapor de alta presión producido por las calderas número ocho y nueve es dirigido a la planta de cogeneración. Ésta cuenta con un sistema de turbinas TGM a vapor, acopladas cada una de ellas a sus respectivos generadores eléctricos WEG por medio de un reductor de velocidad.

Al conjunto de estas máquinas tanto turbina, reductor y generador se los conoce como “turbo generador”. En la planta de cogeneración existen 3 turbos generadores, dos de ellos poseen un sistema de expulsión de gases a contrapresión y uno a condensación. Estos turbo generadores en la planta de cogeneración se los denomina como: turbo generador tres (contrapresión), turbo

generador cuatro (condensación) y turbo generador cinco (contrapresión) ; debido al orden de su adquisición. Cada turbo generador cuenta con diferentes capacidades de generación eléctrica.

Se debe conocer que los turbo generadores tres y cuatro trabajan exclusivamente con la caldera número ocho mientras el turbo generador número cinco es accionado con el vapor de alta presión de la caldera número nueve.

Los tres turbo generadores permanecen en constante equilibrio de cargas, debido a que dos de ellos (turbo generador tres y turbo generador cinco) entregan vapor de sus sistemas de contrapresión, para procesos de fabricación de azúcar y derivados. En especial los turbo generadores que trabajan con la caldera número ocho (turbo tres y turbo cuatro) ya que el vapor de escape del turbo generador cinco satisface en gran porcentaje las necesidades de la fábrica.

A continuación se explicará con detalle las características técnicas de cada turbo generador de la planta de cogeneración:

El turbo tres tiene una turbina a contrapresión ,que se alimenta de un flujo de vapor promedio de 570 Klb/h a una presión promedio de 600 psig y por medio de su sistema de contrapresión eyecta un vapor de escape de 20 psig que es utilizado en el proceso de elaboración de azúcar . El vapor hace girar los álabes de la turbina a 6000 rpm y mediante un reductor de velocidad con relación 3:1 brinda una velocidad nominal de 1800 rpm al eje del generador

eléctrico WEG síncrono de dos polos a 60Hz , potencia aparente de 16 MVA a un factor de potencia 0.8 a 13800 V con un tipo de excitatriz principal. En la Fig. 7.6 se puede apreciar el turbo generador tres existente en la planta de cogeneración del ingenio San Carlos.



Figura 7. 6 Turbo generador número tres de la planta de cogeneración en el Ingenio San Carlos
Fuente: Uni-systems (2010)

El turbo generador cuatro posee una turbina a condensación, este sistema consiste en reutilizar el vapor de extracción de la turbina mediante torres de enfriamiento. Este turbo generador se alimenta de 460 Klb/h de vapor a 600psig que hace girar a 6000 rpm la turbina y mediante un reductor de velocidad con relación de 3:1 brinda una velocidad nominal al eje del generador de 1800 rpm, este generador síncrono de dos polos a 60Hz con potencia aparente de 12 MVA, factor de potencia 0.8 a 13800 V con un tipo de excitatriz principal. En la Fig. 7.7 se puede apreciar el turbo generador cuatro que posee la planta de cogeneración del ingenio San Carlos.



Figura 7. 7 Turbo generador número cuatro de la planta de cogeneración en el Ingenio San Carlos
Fuente: Omaconsa (2013)

El turbo generador 5 esta formado por una turbina a contrapresión, que se alimentan de un flujo máximo de vapor de 220Tn/h a una presión promedio de 900 psig y por medio de su sistema de contrapresión eyecta un vapor de escape de 20 psig que es utilizado en el proceso de elaboración de azúcar , el vapor hace girar los alabes de la turbina a 5440 rpm y mediante un reductor de velocidad con relación 3:1 brinda una velocidad nominal 1800 rpm al eje del generador eléctrico WEG síncrono de dos polos a 60Hz , con una potencia aparente de 54 MVA a un factor de potencia 0.8 a 13800 V con un tipo de excitatriz principal. En la Fig. 7.8 se puede apreciar el nuevo turbo generador cinco que adquirió la planta de cogeneración del ingenio San Carlos, este comenzó a operar desde la zafra 2014



Figura 7. 8 Turbo generador número cinco en la planta de cogeneración del Ingenio San Carlos
Fuente: CEYM Compañía eléctrica y mecánica (2015)

Cuando los turbo generadores producen energía eléctrica, ésta es rectificadora para su distribución, mediante una barra de 13,8 KV.

Una parte de la energía generada se entrega para satisfacer las necesidades de la fábrica para la producción de azúcar y derivados, y el excedente se lo vende al MEER, utilizando el sistema interconectado Eléctrico Nacional.

Para el caso de la venta de excedentes de energía se tiene acoplado dos transformadores de 25MVA cada uno para elevar la el voltaje a 69KV y así poder entregar a la red de energía pública.

En la Fig 7.9 se puede ver cada uno de los componentes principales que posee un ingenio azucarero para la producción de azúcar y derivados, y además generación de energía eléctrica mediante cogeneración

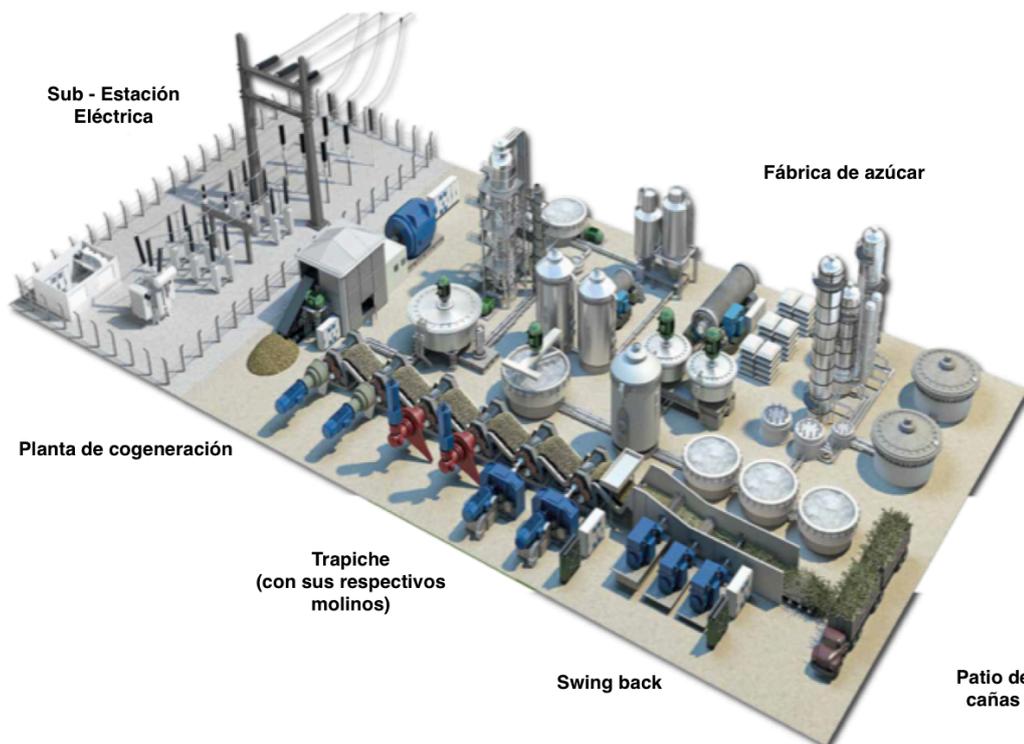


Figura 7. 9 Estructura de un ingenio azucarero, con proceso de molienda, extracción de jugo y generación de energía eléctrica mediante cogeneración.
Fuente: WEG Company (2012)

El Ingenio San Carlos mediante el sistema de cogeneración activado por biomasa de bagazo de caña de azúcar generó 182.791 MW/H en la zafra del año 2014, que conformaron 198 días de producción.

De esta generación de energía eléctrica se exportó al Sistema Interconectado Nacional 121.329 MW/H, una magnitud considerable de energía que se aporta para el país y el mundo tomando en cuenta el bajo impacto ambiental que ésta produce por ser un tipo de energía renovable como es la biomasa.

7.3 Análisis de carga

En la tabla 7.3 se puede observar la potencia de generación y consumo que posee el ingenio. La generación de energía eléctrica se la realiza en la planta de

cogeneración a través de tres turbo generadores. Mientras los sectores de gran consumo de energía eléctrica del ingenio azucarero lo conforman: el trapiche A que cuenta con 6 motores eléctricos acoplados cada uno de ellos a un molino; Trapiche B que posee 5 motores eléctricos también acoplados cada uno de ellos a un molino para la extracción de jugo de caña; el patio de caña que lo conforman la bandas de trasportación, swim bag, sistemas hidráulicos, bombas de recirculación y otros equipos; cogeneración que lo conforman todos los elementos y dispositivos que permiten activar el funcionamiento de la caldera número ocho y caldera número nueve; y por ultimo todos los equipos, máquinas y elementos que se usan para la elaboración de azúcar en la fábrica.

Tabla 7. 3 Niveles de consumo y generación eléctrica en el Ingenio San Carlos durante la zafra 2014

ENERGÍA ELÉCTRICA			
Consumo (MW/H)		Generación (MW/H)	
Fábrica	65024,196	Turbo generador 3	30.960
Talleres	481,551	Turbo generador 4	28.925
No industrial	1394,320	Turbo generador 5	122.906
Total	6690,067	Total	182.791

Fuente: I.S.C Ingenio San Carlos (2015)

Se ha realizado un estudio del diagrama eléctrico unifilar que se explica en el Anexo 7, en este se puede divisar las cargas que existen en la fábrica y como los turbos generadores entregan energía eléctrica a la planta y sus excedentes al sistema interconectado internacional.

También en el anexo 9 se da a conocer el funcionamiento especial del relé de mando del generador, para el funcionamiento de los turbos generadores tres, cuatro y cinco que existen en la planta de cogeneración del Ingenio San Carlos

Por otra parte también en el Anexo 9 se muestra una implantación que contempla todos los elementos que conforman el sistema de cogeneración del ingenio San Carlos, su respetiva plata de generación de calor que la conforma la caldera ocho y nueve, como el cuarto donde se encuentras los tres turbo generadores, la planta de osmosis.

CAPÍTULO 8

POTENCIAL ENERGÉTICO DE UNA HÉCTAREA DE CAÑA DE AZÚCAR

8.1 Introducción

Los siguientes cálculos que se realizan en este capítulo se basan en la zafra 2014 del Ingenio San Carlos, tomando en cuenta el funcionamiento de la caldera número ocho con los turbo-generadores tres y cuatro, y la caldera número nueve con el turbo-generador cinco. A su vez estas dos calderas son alimentadas con el bagazo obtenido de los Trapiches A y B que posee el ingenio. Todos estos datos son reflejados en la Tabla 8.1

Para los siguientes cálculos se tomo ciertos parámetros de referencia que la fábrica utiliza, ya que la generación de vapor por parte de las calderas y generación de energía eléctrica que producen los turbo generadores varían dependiendo al transcurso de la zafra y necesidades de la fábrica para la obtención de azúcar y derivados.

Se hallará el consumo de combustible de las calderas, así como el consumo de vapor de los turbo generadores, estos con su respetiva generación de energía eléctrica; todos estos resultados se los relacionará con el hectareaje de caña de azúcar para así poder determinar que “cantidad de energía eléctrica puede proveer una hectárea de caña de azúcar utilizando sistemas de cogeneración”. Estos resultados podrán variar en cada ingenio azucarero por características de la caña de azúcar, sus sistemas de producción y tecnología que posean. En el anexo 1 se muestra una tabla

expuesta en la revista caña verde del ingenio San Carlos donde exponen sus valores de producción de la zafra 2014.

Tabla 8. 1 Datos de producción del Ingenio San Carlos durante la zafra 2014

Resultados Zafra 2014	
Total de hectáreas cosechadas	23.169,15 Ha
Rendimiento	191,31 lb de azúcar /T.M.C
Generación	182.791 MWH
Exportación de energía	121.329,485 MWH
Consumo propio	66'900,467 KWH que incluyen 537,238 KWH comprados

Fuente: I.S.C Ingenio San Carlos (2015)

8.2 Cálculos

a) Caldera número ocho.

Primero se determinará los valores promedio de consumo de combustible y generación de vapor de la caldera número ocho en 198 días de zafra 2014 y tomando como referencia que en una hectárea de caña de azúcar existe alrededor de 88,32 toneladas de caña.

En los cálculos que se realizarán se incluye un margen de error del 19% debido a varios factores como: la producción no es estándar en todos los terrenos que se siembra, es decir una hectárea puede producir más toneladas de otras, el porcentaje de bagazo varia dependiendo de la variedad de caña cosechada, la humedad que poseerá el bagazo depende directamente de el tipo de caña cultivada.

En la parte industrial dependerá del proceso de molienda, entre mas jugo se obtenga menor humedad poseerá el bagazo y obteniendo mejor combustión

en las calderas. Como es de conocimiento general ningún equipo trabaja al 100% de su capacidad es por lo que parámetros de generación varían constantemente.

Y por último la función principal de los ingenios azucareros es obtener azúcar por lo que lo mas importante para este tipo de industria es conseguir su producto estrella y luego completar procesos adicionales como la generación de energía eléctrica para la venta.

Con los datos antes mencionados se puede determinar las toneladas de bagazo que existen en una hectárea caña de azúcar , mediante regla de tres simple.

$$\frac{88,32 \text{ Tn caña de azúcar}}{\text{Ha}} \times \frac{29,17\% \text{ bagazo}}{1\text{Tn de caña de azúcar}}$$

$$= 25,76 \frac{\text{Tn}}{\text{ha}} \text{ de bagazo}$$

El fabricante de la caldera número ocho ha determinado que ésta consume **55.056 kg/h bagazo**; entonces en un día consume:

$$\frac{55.056 \text{ Kg bagazo}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ Tn}}{1.000\text{Kg}} = \mathbf{55,06 \text{ Tn/h bagazo}}$$

$$\frac{55,06 \text{ Tn bagazo}}{\text{h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = \mathbf{1.321,44 \text{ Tn/día bagazo}}$$

El fabricante entrega el valor de la relación vapor combustible que para el caso de la caldera número ocho es 2,18

$$\text{Relación vapor combustible} = \frac{\text{Cantidad de Vapor}}{\text{Cantidad de combustible}}$$

$$2,18 = \frac{\text{Cantidad de Vapor}}{55,06 \text{ Tn/h de bagazo}}$$

Cantidad de vapor generado = 120,03 Tn/h de vapor

$$2,18 = \frac{\text{Cantidad de Vapor}}{1.321,44 \text{ Tn/día de bagazo}}$$

Cantidad de vapor generado = 2.880,73 Tn/día de vapor

El consumo de bagazo de la caldera número ocho durante los 198 días de zafra que existieron en el ingenio San Carlos fue de:

$$1.321,44 \text{ Tn/día. Bagazo} \times 198 \text{ días} = \mathbf{261.645,12 \text{ Tn de bagazo}}$$

Así mismo se puede deducir la cantidad de hectáreas que ésta caldera consume en los días de zafra para poder generar energía.

$$261.645,12 \text{ Tn de bagazo} \times \frac{1\text{Ha.}}{25,76\text{Tn bagazo}} = \mathbf{10.157,03 \text{ Ha.}}$$

Para obtener un valor aproximado se ha estimado un 19% de error.

$$\text{Valor real} = \text{Valor neto} \times \% \text{ error}$$

$$\text{Valor real} = 10.157,03 \text{ Ha.} \times 0,81$$

$$\text{Valor real} = \mathbf{8.227,22 \text{ Ha.}}$$

Las 8227,22 Ha de caña de azúcar que se queman en la caldera número ocho representan el 35,51% de la zafra 2014.

55,056 Tn/h bagazo generan **120,03 Tn/h de vapor** en la caldera 8

1.321,44 Tn/día bagazo generan **2.880,73 Tn/día de vapor** en la caldera 8

b) Caldera número nueve.

A continuación se determinará los valores promedio de consumo de combustible y generación de vapor de la caldera número nueve en 198 días de zafra 2014 y tomando como referencia que en una hectárea de caña de azúcar existe alrededor de 88,32 toneladas de caña.

El porcentaje de bagazo en una tonelada de caña de azúcar es de 29,17%, con este dato se puede obtener un promedio de las toneladas de bagazo que existen en una hectárea de caña de azúcar.

$$\frac{88,32 \text{ Tn caña de azúcar}}{\text{Ha}} \times \frac{29,17\% \text{ bagazo}}{1 \text{Tn de caña de azúcar}}$$

$$= \mathbf{25,76 \frac{\text{Tn}}{\text{ha}} \text{ de bagazo}}$$

El fabricante de la caldera número nueve ha determinado que ésta consume **100 Tn/h bagazo**; entonces en un día consume :

$$\frac{100 \text{ Tn bagazo}}{\text{h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 2.400 \text{ Tn/día bagazo}$$

El fabricante da el valor de la relación vapor combustible que para el caso de la caldera número nueve es 2,2

$$\text{Relación vapor combustible} = \frac{\text{Cantidad de Vapor}}{\text{Cantidad de combustible}}$$

$$2,2 = \frac{\text{Cantidad de Vapor}}{100 \text{ Tn/h de bagazo}}$$

Cantidad de vapor = 220 Tn/h de vapor

$$2,2 = \frac{\text{Cantidad de Vapor}}{2.400 \text{ Tn/día de bagazo}}$$

Cantidad de vapor = 5.280 Tn/día de vapor

El consumo de bagazo de la caldera número nueve durante los 198 días de zafra que existieron en el ingenio San Carlos fue de:

$$2.400 \text{ Tn/día. Bagazo} \times 198 \text{ días} = \mathbf{475.200 \text{ Tn de bagazo}}$$

Así mismo se puede deducir la cantidad de hectáreas que esta caldera consume en los días de zafra para poder generar energía.

$$475.200 \text{ Tn de bagazo} \times \frac{1\text{Ha.}}{25,76\text{Tn bagazo}} = \mathbf{18.447,20 \text{ Ha.}}$$

Para obtener un valor aproximado se ha estimado un 19% de error.

$$\text{Valor real} = \text{Valor neto} \times \% \text{ error}$$

$$\text{Valor real} = 18.447,20 \text{ Ha.} \times 0,81$$

$$\text{Valor real} = \mathbf{14942,232 \text{ Ha.}}$$

Las 14.942,23 Ha. de caña de azúcar que se queman en la caldera número ocho representan el 64,49 % de la zafra 2014.

100 Tn/h bagazo generan 220 Tn/h de vapor en la caldera 9

2.400 Tn/día bagazo generan 5.280 Tn/día de vapor en la caldera 9.

Hay que mencionar que la mayor parte del vapor de alta presión producido por la caldera número ocho es utilizado para procesos de elaboración de azúcar y derivados, por lo que los turbo tres y cuatro constantemente varían su capacidad de generación eléctrica por lo que no se los puede tomar en cuenta para el análisis del cálculo de la cantidad de energía eléctrica que puede generar una hectárea de caña de azúcar .

Sin embargo la caldera número nueve entrega la mayor parte de su vapor de alta presión al turbo generador por lo que si se puede considerar para realizar un cálculo

aproximado de la cantidad de energía eléctrica que se puede obtener a partir de una hectárea de caña de azúcar, que se explicará a continuación.

Se conoce que por cada 5 Tn de vapor el turbo generador número cinco produce 1 Mw/h , con lo que podemos concluir.

$$\frac{5 \text{ Tn/h vapor}}{200 \text{ Tn/h vapor}} \times \frac{1 \text{ Mw/h}}{1} = 40 \text{ Mw/h}$$

Como se explicó en los cálculos de la caldera número nueve, ésta quema aproximadamente 100 Tn/h de bagazo para poder producir 200Tn/h de vapor de alta presión, y con esto el turbo generador número cinco puede producir 40 Mw/h.

Si se conoce que 25,76 Tn de bagazo hay en 1Ha. de caña de azúcar podremos relacionar los valores de combustible, vapor y energía eléctrica para obtener cuanta energía eléctrica se puede generar a partir de una hectárea de caña de azúcar.

Primero se obtendrá la cantidad de hectáreas que necesita la caldera numero nueve al quemar 100 Tn de bagazo.

$$\frac{1 \text{ Ha. caña de azúcar}}{1} \times \frac{25,76 \text{ Tn bagazo}}{100 \text{ Tn bagazo}} = 3,88 \text{ Ha.}$$

$$\frac{3,88 \text{ Ha. caña de azúcar}}{1 \text{ Ha. caña de azúcar}} \times \frac{40 \text{ Mw/h}}{1} = \mathbf{10,31 \text{ Mw/h.}}$$

Con lo que se puede llegar a la conclusión que 1 Ha. de caña de azúcar puede producir 10,31 Mw/h mediante el sistema de cogeneración con una caldera de tipo HRSG. (Heat recovery steam generator).

CAPÍTULO 9

IMPACTO AMBIENTAL

Todo sistema de generación de energía provoca un impacto ambiental positivo o negativo, en este caso el sistema de cogeneración en un ingenio azucarero activado por biomasa de bagazo de caña, si provoca contaminación ya que al quemar el bagazo para generar energía térmica y eléctrica se emite CO_2 a la atmósfera, se calcula que por cada kilogramo de bagazo de caña de azúcar quemado se originan 0,885 kg de CO_2 , pero estos valores se contrarrestan debido a dos razones importantes que son:

- a) Los ingenios azucareros cuentan con grandes cultivos de caña de azúcar, esta planta tarda alrededor de un año para ser cosechada, en el transcurso de este tiempo esta planta realiza la acción de fotosíntesis que permite transformar la energía solar en energía química, esta reacción química permite captar Dióxido de carbono (CO_2) del aire transformarlo en oxígeno (O) y expulsarlo a la atmósfera.

Adicional la caña de azúcar tiene un tipo de fotosíntesis C4 lo cual significa que en su metabolismo producen moléculas, con

cuatro átomos de carbono. Esto permite un crecimiento más acelerado. Cabe recalcar que la mayor parte de las plantas poseen un tipo de fotosíntesis C3.

Es por esto que en un año, una hectárea de caña de azúcar puede captar más de 20 toneladas de Dióxido de carbono (CO_2) y en el mismo tiempo producir 14 toneladas de Oxígeno (O).

Por lo que el ingenio San Carlos a través de sus cultivos capta aproximadamente 46.3383 Tn de dióxido de carbono y también produce alrededor de 324.368 Tn de oxígeno que son vertidas a la atmósfera.

Si el ingenio molió 2'177.408 toneladas métricas de caña en su zafra 2014, estas producirán:

$$\frac{1 \text{ Tn caña de azúcar}}{2177408 \text{ Tn caña de azúcar}} \times \frac{29,17\% \text{ es bagazo}}{?} =$$

617647,91 Tn bagazo

Sabiendo que al quemar 1Kg de bagazo origina 0,885 kg de CO₂

$$\frac{0,001 \text{ Tn bagazo}}{617647,91 \text{ Tn bagazo}} \times \frac{0,000885 \text{ TnCO}_2}{?} =$$

546618,4 Tn CO₂

La compensación del impacto ambiental es de:

Total de CO₂ = CO₂ generado - CO₂ captado

Total de CO₂ = 546.618,4 Tn CO₂ – 463.383 Tn CO₂

Cabe recalcar que este total de CO₂ permitió generar 182.791 MW en 198 días que consistió la zafra 2014 del Ingenio San Carlos.

Total de CO₂= 83.235,4 Tn CO₂

- b) El ingenio San Carlos en su zafra 2014 generó 182.791 MWH produciendo alrededor de 83.235,4 Tn de CO₂. Si se conoce que una central termoeléctrica produce 650 Kg de CO₂ para poder generar aproximadamente 1MW.(CE Comisión Europea), se podrá realizar una comparación de los dos sistemas de generación de energía eléctrica , obteniendo:

$$\frac{1MW}{182.791 MW} \times \frac{650 KgCO_2}{?} =$$

118'814.150 kg de CO₂ → **118.814,15 Tn de CO₂**

Es decir que al producir la misma cantidad de energía eléctrica, el sistema de cogeneración es más eficiente y no contamina tanto como las termoeléctricas, aproximadamente un 30% menos de emisiones de CO₂

- c) Al utilizar un sistema de cogeneración se minimizan las pérdidas de transmisión de energía eléctrica, ya que los excedentes de energía se entregan a sectores aledaños.

Las perdidas que se producen en las líneas de transmisión, circuitos de distribución primaria y secundaria y transformadores de transmisión son

producto del efecto de Joule que es uno de los fenómenos físicos, cuyo enunciado es: cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, se genera calor debido al rozamiento de los electrones con el conductor produciendo pérdidas de energía. Este fenómeno se lo puede determinar por la siguiente ecuación.

$$Q = I^2 \times R \times t \text{ (Watts)}$$

Estas pérdidas se presentan en el calentamiento de los cables y bobinados de los transformadores de distribución.

Otro tipo de pérdidas que existen en los sistemas de distribución y transmisión son las causadas por histéresis y corrientes parásitas.

Las pérdidas por histéresis se producen exclusivamente al magnetizar el núcleo del transformador, mientras las pérdidas parásitas se deben a la corriente de Foucault debido que se originan corrientes inducidas sobre un material ferromagnético que están sometidas a un campo magnético en un intervalo de tiempo, todos los equipos eléctricos poseen pérdidas eléctricas de Foucault debido al material que son construidos.

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

- ✓ Emplear cogeneración en fábricas que necesiten en sus procesos de producción, energía térmica y energía eléctrica permite obtener un sistema de alta eficiencia , ya que maximiza el uso del combustible primario.

- ✓ El sistema de cogeneración es una tecnología rentable por diversos motivos: se logra una independencia energética debido que se autoabastece de energía eléctrica antes proporcionada por la Empresa Eléctrica Ecuatoriana, permitiendo eliminar considerables costos de consumo eléctrico; otro motivo es que si existen excedentes de energía eléctrica estos se los puede poner a disposición al MEM (Mercado eléctrico Mayorista) para su venta.

- ✓ Con la implementación del sistema de cogeneración en un ingenio azucarero se ha demostrado la capacidad de generación térmica y eléctrica que esta puede tener, además de poder determinar el potencial energético que posee una hectárea de caña de azúcar referente a los sistemas de cogeneración, el sistema será mas eficiente siempre y cuando si invierta en tecnología y el sistema de extracción de jugo de en la caña de azúcar sea el más óptimo para tener un bagazo con menor humedad y así aumentar el poder calorífico de este.

- ✓ El uso de sistemas de cogeneración con biomasa permiten mitigar la contaminación provocada por los gases de efecto invernadero producidos en las calderas de un ingenio azucarero dejando de quemar combustibles fósiles, por biomasa de bagazo de caña de azúcar, que esta fábrica posee de sus procesos industriales en la elaboración de azúcar.

10.2 Recomendaciones

- ✓ Es importante promover el uso de nuevos sistemas alternos de generación de energía eléctrica para poder satisfacer las necesidades que la industria y sociedad requieren y así disminuir considerablemente el uso de combustibles fósiles que provocan un impacto ambiental negativo.
- ✓ Al implementar un sistema de cogeneración en cualquier industria es recomendable cambiar equipos obsoletos, por mas eficientes o repotenciar la fábrica, como es el cambio de turbinas a vapor que por motores eléctricos.
- ✓ En el caso de utilizar bagazo de caña de azúcar como combustible, se deben analizar algunos aspectos: la actividad principal del ingenio es la producción de azúcar no la de generación de electricidad, por lo que en los cultivos que ellos utilicen siempre preferirán una variedad de caña con mayor cantidad de jugo y pol, lo que provocará un cierto problema del bagazo respecto a su cantidad de humedad y su combustión en las calderas, se podrá minimizar este inconveniente de la humedad con una óptima molienda en los trapiches.

Sin embargo las nuevas calderas HRSG cuentan con un sistema adicional que consiste en que la entrada del bagazo al hogar de la caldera sea por la parte superior ya que hasta llegar al hogar que se encuentra en la parte inferior habrá perdido un porcentaje de humedad, es por esto que este tipo de calderas son de gran altura, para dar mayor poder calorífico al combustible que en este caso es el bagazo de caña de azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ proyectopv. (2010). *La pagina de la vida*. Retrieved Sabado de Febrero de 2015 from <http://www.proyectopv.org/2-verdad/energiamarem.htm>
- ✓ Ingenio San Carlos. (Enero de 2015). *www.sancarlos.com.ec*. From sancarlos:
http://www.sancarlos.com.ec/portal/html/themes/ingenio/pdf/cana_verde_enero2015.pdf
- ✓ Caldema Company. (2008). *Manual de operacion caldera AMD*.
- ✓ Caldema Company. (2003). *Manual de operacion caldera AUP-4055G1*.
- ✓ Arboliza XXI S.L. (2013). Retrieved 25 de JULIO de 2015 from <http://arboliza.es/compensar-co2/calculo-co2.html>
- ✓ Ingenio San Carlos. (2012). *sancarlos.com*. Retrieved 23 de Mayo de 2014 from [sancarlos.com: http://www.sancarlos.com.ec/portal/html/themes/ingenio/pdf/proceso_produccion.pdf](http://www.sancarlos.com.ec/portal/html/themes/ingenio/pdf/proceso_produccion.pdf)
- ✓ uco. (n.d.). *uco.es*. Retrieved 1 de Agosto de 2015 from [uco.es: http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema_11/tema_11_18.pdf](http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema_11/tema_11_18.pdf)
- ✓ UPS. (2014). *ups.edu.ec*. Retrieved 13 de Junio de 2015 from [eups.edu.ec: http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1898/2/01%20Perdidas%20en%20distribucion.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1898/2/01%20Perdidas%20en%20distribucion.pdf)
- ✓ Rodriguez, J. (2010). Cogeneracion. *Cogeneracion*, (p. 111).
- ✓ Recursostic Education. (n.d.). *recursostic.education.es*. Retrieved 10 de Julio de 2015 from [recursostic.education.es:](http://recursostic.education.es)

http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/energia_termica/energia_termica/problema.pdf

- ✓ CINCAE. (Octubre de 2004). *cincae.org*. Retrieved 23 de Julio de 2015 from cincae.org: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/FISOLOGIA-Y-MEJORAMTO.pdf>
- ✓ Carralero, I. F. (n.d.). *Bagazo de caña de azúcar: ¿energía o etanol carburante?* . Retrieved 11 de Julio de 2015 from cubasolar: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar31/HTML/Articulo02N.htm>
- ✓ División de Efectividad en el Desarrollo de IIC. (1 de Febrero de 2013). *Ingenio San Carlos II*. Retrieved 3 de Julio de 2015 from iic.org: <http://www.iic.org/es/proyectos/project-disclosure/ec3868a-02/ingenio-san-carlos-ii>
- ✓ Mónica Julieth Valencia Botero, C. A. (19 de Junio de 2013). *Evaluacion ambiental para procesos que usan residuos de la de la industria de los biocombustibles comp materias primas*. Retrieved 12 de Junio de 2015 from Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372013000100009&script=sci_arttext
- ✓ Sollano, M. C. (31 de Octubre de 2012). *Regulacion sobre cogeneracion eficiente en Mexico*. Retrieved 11 de Julio de 2015 from cne: <http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.exe?CMD=VEROBJ&MLKOB=663192591212>
- ✓ *Guia tecnica para la medida y determinacion del calor util, de la electricidad y del ahorro de energia primaria de cogeneracion de alta eficiencia*. (Abril

- de 2008). Retrieved 3 de Junio de 2015 from idae:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Guia_calculo_calor_util_Hchp-Echp-PES_c24e48c1.pdf
- ✓ SEGOB Mexico. (22 de Febrero de 2012). *Metodologia de eficiencia de sistemas de cogeneracion*. Retrieved 16 de Junio de 2015 from dof:
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5178907&fecha=22/02/2011
 - ✓ CONELEC. (16 de Enero de 2015). *Ley organica del servicio publico de energia electrica*. Retrieved 8 de Junio de 2015 from CONELEC:
<http://www.conelec.gob.ec/normativa/Ley%20Org%C3%A1nica%20del%20Servicio%20P%C3%BAblico%20de%20Energ%C3%ADa%20El%C3%A9ctrica.pdf>
 - ✓ Vergara, D. F. (Octubre de 2012). *Experiencias: Proyectos Energéticos Sector Eléctrico Ecuatoriano con Biomasa*. Retrieved 3 de Julio de 2015 from iner:
http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/CONELEC_Proyectos-Energ%C3%A9ticos-Sector-El%C3%A9ctrico-Ecuatoriano-con-Biomasa_Paola_Andino.pdf
 - ✓ CEYM. (20 de Febrero de 2014). *Turbogeneradores*. Retrieved 17 de Junio de 2015 from ceymglobal: <http://ceymglobal.com/blog/category/news/>
 - ✓ OMACONSA. (2013). *San Carlos servicios EPC*. Retrieved 9 de Junio de 2015 from OMACONSA:
<http://www.omaconsa.com.ec/webpages/detalle.php?s=5&sd=2&act=1>

- ✓ CEYM. (4 de Marzo de 2013). *CEYM awarded the 44 MW Turbine Engineering and Consulting at Ingenio San Carlos*. Retrieved 4 de Junio de 2015 from ceym: <http://ceymglobal.com/blog/author/ceym/>
- ✓ Ingenio San Carlos. (2014). *Inauguración de la Segunda Etapa del Proyecto de Cogeneración Eléctrica del Ingenio San Carlos*. Retrieved 2 de Julio de 2015 from sancarlos: <http://www.sancarlos.com.ec/portal/es/web/ingeniosancarlos/cogeneracion-segunda-etapa>
- ✓ Ingenio San Carlos. (n.d.). *Proyecto de cogeneracion*. Retrieved 12 de Junio de 2015 from sancarlos: http://cd4cdm.org/Latin%20America/Ecuador/WorkshopElectricGeneration/12b-ProyectoSanCarlos_Puga.pdf
- ✓ Eléctrica, J. G. (2011). *Cogeneración, un Aprovechamiento Eficiente de la Energía*. Retrieved 27 de Junio de 2015 from Universidad Pontificia bolivariana: [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)_COGENERACION_UN_APROVECHAMIENTO_EFICIENTE_DE_LA_ENERGIA_x8YTNo.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_COGENERACION_UN_APROVECHAMIENTO_EFICIENTE_DE_LA_ENERGIA_x8YTNo.pdf)
- ✓ CINCAE. (18 de Abril de 2013). *Caña de Azúcar: Cultivo para la sostenibilidad*. Retrieved 19 de Junio de 2015 from cincae: <http://cincae.org/cana-de-azucar-cultivo-para-la-sostenibilidad/>
- ✓ cenicana. (2004). *Proceso de obtencion de azucar*. Retrieved 20 de Junio de 2015 from cenicana: http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_obtencion.php

- ✓ opex-energy. (n.d.). *Ciclos Combinados*. Retrieved 23 de Julio de 2015 from opex-energy: http://opex-energy.com/ciclos/calderas_hrsg.html
- ✓ sugarcane crops. (n.d.). *Manejo de la cosecha*. Retrieved 20 de Junio de 2015 from [sugarcane crops: http://www.sugarcane crops.com/s/agronomic_practices/harvesting_management/](http://www.sugarcane crops.com/s/agronomic_practices/harvesting_management/)

ANEXOS

ANEXO 1

Resultado de Zafra 2014 en el Ingenio San Carlos

RESULTADOS ZAFRA 2014



Producción de Azúcar ISC	3'665,209	Sacos de 50 Kg
Galones de melaza producido	14'540,648	
Toneladas métricas de caña molida	2'177,408	T.M.C.
Caña propia:	13,640.93	Ha
Caña comprada:	9,528.22	Ha
Total Hectáreas cosechadas	23,169.15	Ha
Rendimiento:	191.31	lb de Azúcar / T.M.C.
Generación:	187'692,714	KWH
Exportación de energía:	121'329,485	KWH
Consumo propio:	66'900,467 KWH que incluyen 537,238 KWH comprados	

RECERTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO (S.G.I.)



Durante los días 16, 17 y 18 de diciembre del año en curso se realizó la Auditoría de Recertificación del Sistema de Gestión Integrado (S.G.I.) de Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S. A. a cargo de la empresa auditora Bureau Veritas Certification.

El equipo de auditores externos estuvo conformado por la Ing. Nidia Malpica, como auditor líder, y los Ings. Mario García, Rommel Tapia, Pablo Cevallos, Juan Carlos Bajaña, Carlos Gaete, Luigi Argüello y Stalin Sánchez.

Culminados los tres días de auditoría el equipo auditor de Bureau Veritas concluyó que San Carlos cumple con todos los requisitos establecidos en las normas internacionales ISO 9001:2008 (Gestión de Calidad), ISO 14001:2004 (Gestión Ambiental) y OHSAS 18001:2007 (Gestión de Seguridad & Salud Ocupacional), procediéndose por ello a otorgar la Recertificación del Sistema de Gestión Integrado (S.G.I.) empresarial.

Mejorar continuamente la eficacia y eficiencia de los procesos, elaborando productos inocuos que cumplan los requisitos legales, normativos y de clientes, preservando el ambiente y controlando los riesgos de Seguridad & Salud asociados a nuestras actividades, es el permanente compromiso de Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S. A. para con sus clientes y la comunidad en general.



ANEXO 2**Datos de referencia de caldera número ocho**

CALDEMA - EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA.

DADOS REFERENCIALESCLIENTE: **INGENIO SAN CARLOS**DIRECCION.....: Gral Elizalde, 114 – Apartado Correo Letra “S”
Guayaquil – Ecuador.

NUESTRA CONFIRMACION.....: 01.111

CALDERA: AUP-40-5GB-PSE

AÑO FABRICACION.....: 2.001

CAPACIDAD DE PRODUCCION.....: 120 Tv/h

PRESION DE TRABAJO: 42 Kgf/cm²

ANEXO 3

Condiciones de operación de caldera número ocho

4. CONDICIONES DEL PROYECTO :

4.1 Condiciones Principales :

Tipo.....	"AUP" Acuotubular con único pasaje de gases	
Modelo.....	AUP-40-5G1-PSE	
Capacidad máxima continua.....	120.000	kg/h
Presión de Proyecto.....	52	kgf/cm ²
Temperatura del Vapor.....	400	°C
Temp.del agua de alimentación..	105	°C
Temperatura del aire local.....	27	°C
Sistema de tiro.....	Balanceado	
Número de secciones del emparrillado.....	05 (cinco)	
Tipo de parrilla.....	Inclinada fija y plana de báscula	
Combustible.....	Bagazo de caña / aceite combustible	

ANEXO 4

Especificaciones técnicas de caldera número ocho

4.4 Combustible :

El desempeño (performance) de la unidad generadora de vapor es basado en los combustibles descritos a continuación :

	<u>Bagazo de caña</u>	<u>Aceite combustible</u>
ANALISIS ELEMENTAL		% PESO
Carbono (C)	23,42	85,85
Hidrógeno (H ²)	3,23	10,50
Oxígeno (O ²)	21,46	1,00
Nitrógeno (N)	0,00	1,00
Azufre (S)	0,00	1,50
Humedad	51,00	0,00
Cenizas	0,88	0,15
Poder calorífico superior	2214 kcal/kg	10485 kcal/kg
Poder calorífico inferior	1744 kcal/kg	9933 kcal/kg

ANEXO 5

Especificações técnicas de caldeira número oito

CALDEMA		EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA			
EQUIPAMENTO: AUP-40-5GB-PSE		ELABORADO: J CALDEIRA	DATA: 14/08/2003	REF.: PPC 03072	
CLIENTE: SAN CARLOS		VERIFICADO: J CALDEIRA	DATA: 14/08/2003	REV.: 2	
		APROVADO: J BARATA	DATA: 14/08/2003	FI. Nº: 01/02	
PERFORMANCE PREVISTA	OPÇÕES	01.217			
	DESCRIPTIVO	AUP 40 5GI PSE			
	RESUMIDO	OPERANDO CON			
	UNIDADES MÉTRICAS	42 kgf/cm ² y 430 °C			
TIPO DE COMBUSTÍVEL	-	BAG CANA			
UMIDADE DO COMBUSTÍVEL	%	54			
PODER CALORÍFICO INFERIOR	kcal/kg	1517			
PODER CALORÍFICO SUPERIOR	kcal/kg	1986			
QUANTIDADE DE VAPOR	kg/h	120000			
QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL	kg/h	64412			
RELAÇÃO VAPOR COMBUSTÍVEL	kg/kg	1,86			
RENDIMENTO AO P.C.I.	%	83,4			
RENDIMENTO AO P.C.S.	%	63,7			
CARGA TÉRMICA DA FORNALHA	kcal/m ³ .h	147111			
TEMPO DE RESIDÊNCIA	seg	2,21			
QUANTIDADE DE GÁS	kg/h	283666			
QUANTIDADE DE AR	kg/h	221451			
PRESSÃO DE PROJETO	kgf/cm ²	52,0			
PRESSÃO DE OPERAÇÃO NO SUPER	kgf/cm ²	42,0			
PRESSÃO DE OPERAÇÃO NO TUBULÃO	kgf/cm ²	44,5			
TEMP. VAPOR SUPERAQUECIDO	°C	431			
TEMP. VAPOR SATURADO	°C	257			
TEMP. ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO	°C	105			
TEMP. ÁGUA SAÍDA ECONOMIZADOR	°C	173			
TEMP. GÁS SAÍDA CALDEIRA	°C	413			
TEMP. GÁS SAÍDA ECONOMIZADOR	°C	174			
TEMP. GÁS SAÍDA PRÉ - AR SEC.	°C	331			
TEMP. GÁS SAÍDA PRÉ - AR PRIM.	°C	270			
TEMP. AR SAÍDA PRÉ - AR SEC.	°C	342			
TEMP. AR SAÍDA PRÉ - AR PRIM.	°C	222			
TEMP. AR AMBIENTE	°C	30			

CALDEMA		EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA						
EXCESSO DE AR	%	35						
CO2	%	14,6						
CALORIAS VAPOR (ENTALPIA)	kcal/kg	783,8						
CALORIAS ÁGUA (ENTALPIA)	kcal/kg	105,0						
DIFERENÇAS CALÓRICAS VAPOR/ÁGUA	kcal/kg	678,8						
CALOR TOTAL TROCADO	Gcal/h	81,45						
CALOR TOTAL REQUERIDO NA CALDEIRA	Gcal/h	97,66						
PERDA DE CARGA NA FORNALHA (GÁS)	mm.c.a.	8						
PERDA DE CARGA CALDEIRA (GÁS)	mm.c.a.	25						
PERDA DE CARGA ECONOMIZADOR (GÁS)	mm.c.a.	44						
PERDA CARGA PRÉ-AR SEC. (GÁS)	mm.c.a.	44						
PERDA CARGA PRÉ-AR PRIM. (GÁS)	mm.c.a.	22						
PERDA DE CARGA LAVADOR (GAS)	mm.c.a.	50						
PERDA DE CARGA DUTOS (GÁS)	mm.c.a.	25						
PERDA DE CARGA TOTAL (GÁS)	mm.c.a.	217						
PERDA NA GRELHA (AR)	mm.c.a.	30						
PERDA NOS TUBEIROS (AR)	mm.c.a.	400						
PERDA CARGA PRÉ-AR SEC. (AR)	mm.c.a.	59						
PERDA CARGA PRÉ-AR PRIM. (AR)	mm.c.a.	15						
PERDA DE CARGA DUTOS (AR)	mm.c.a.	25						
PERDA DE CARGA TOTAL SEC. (AR)	mm.c.a.	484						
PERDA DE CARGA TOTAL PRIM. (AR)	mm.c.a.	70						
SUPERFÍCIE RADIANTE	m ²	408						
SUPERFÍCIE CONVECTIVA	m ²	2100						
SUPERFÍCIE DO SUPERAQUECEDOR	m ²	440						
SUPERFÍCIE DO ECONOMIZADOR	m ²	1370						
SUPERFÍCIE DO PRÉ-AR SEC.	m ²	1968						
SUPERFÍCIE DO PRÉ-AR PRIM.	m ²	1450						
SUPERFÍCIE DE QUEIMA	m ²	40,7						
VOLUME DA FORNALHA	m ³	664						
OBSERVAÇÕES :								
REVISÃO Nº	01	02	03	04	05	06	07	08
DATA	11/11/2003	17/06/2004						
ELABORADO	FERNANDO	JOÃO PEDRO						
APROVADO	J.BARATA	J.BARATA						

ANEXO 6

Protocolo de Kioto

Artículo 2

1. Con el fin de promover el desarrollo sostenible, cada una de las Partes incluidas en el anexo I, al cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3:

- a) Aplicará y/o seguirá elaborando políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales, por ejemplo las siguientes:
 - i) fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional;
 - ii) protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio ambiente; promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la reforestación;
 - iii) promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático;
 - iv) investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales;
 - v) reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones que sean contrarios al objetivo de la Convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado;
 - vi) fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal;
 - vii) medidas para limitar y/o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en el sector del transporte;
 - viii) limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos así como en la producción, el transporte y la distribución de energía;

ANEXO 7

Diagrama Unifilar

ANEXO 8

Relé de mando del generador



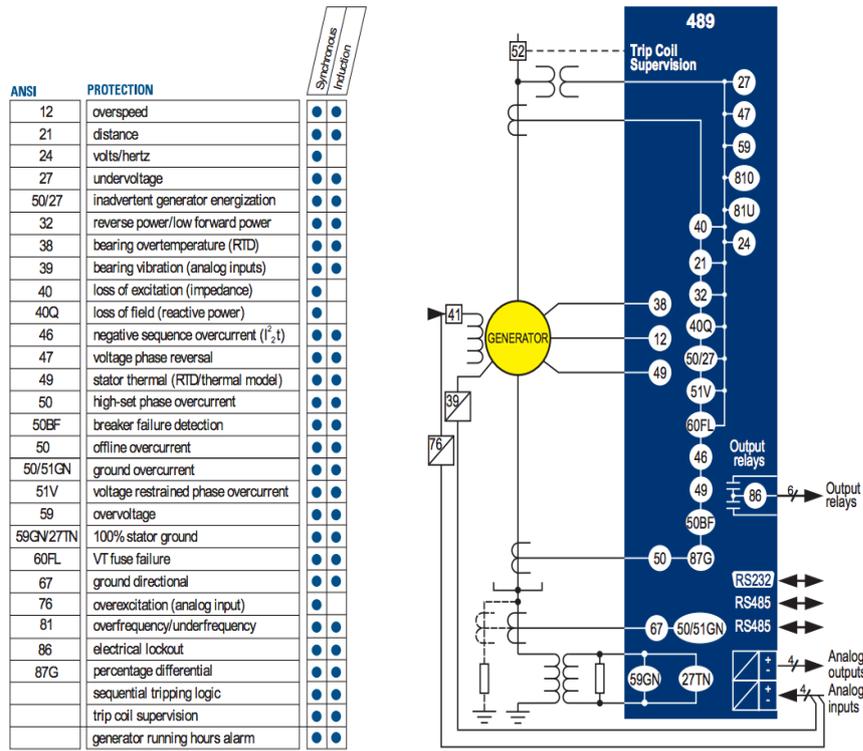
489 Generator Management Relay

Chapter 2: Introduction

2.1 Overview

2.1.1 Description

The 489 Generator Management Relay is a microprocessor-based relay designed for the protection and management of synchronous and induction generators. The 489 is equipped with 6 output relays for trips and alarms. Generator protection, fault diagnostics, power metering, and RTU functions are integrated into one economical drawout package. The single line diagram illustrates the 489 functionality using ANSI (American National Standards Institute) device numbers.



808783E8.CDR

FIGURE 2-1: Single Line Diagram

Fault diagnostics are provided through pretrip data, event record, waveform capture, and statistics. Prior to issuing a trip, the 489 takes a snapshot of the measured parameters and stores them in a record with the cause of the trip. This pre-trip data may be viewed using the NEXT key before the trip is reset, or by accessing the last trip data in actual values page 1. The event recorder stores a maximum of 256 time and date stamped events including the pre-trip data. Every time a trip occurs, the 489 stores a 16 cycle trace for all measured AC quantities. Trip counters record the number of occurrences of each type of trip. Minimum and maximum values for RTDs and analog inputs are also recorded. These features allow the operator to pinpoint a problem quickly and with certainty.

A complete list protection features is shown below:

ANEXO 9

Implantación de la planta de Cogeneración I.S.C.