

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Incremento de Beneficios en un Ingenio Azucarero  
Mediante el Mejoramiento del Uso del Bagazo de Caña  
de Azúcar”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo la obtención del Título de :**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Presentada por:**

**Roberto Rodríguez Cheing**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2004**

## **AGRADECIMIENTO:**

Mi total agradecimiento a Dios y La Virgen María, mis principales apoyos. A mi abuelita, siempre conmigo para transmitirme su dirección y cariño, a mi mamá, a mis tíos y hermana que han permanecido vigilantes de mi desarrollo profesional.

## **DEDICATORIA**

A Patricia, mi querida esposa, quien siempre me ha empujado a culminar lo empezado, a mis hijas Andrea y Alejandra, motivos de mis esfuerzos y aspiraciones.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

**(Reglamento de Graduación de la ESPOL).**

---

ROBERTO RODRÍGUEZ CHEING



## RESUMEN

En la presente tesis de grado se hace análisis de las condiciones de trabajo de un ingenio azucarero con relación a los excedentes de bagazo procedentes de la molienda se describen las áreas de la planta que requieren vapor generado por las calderas que queman el bagazo como combustible, se estudia también el bagazo y las cantidades disponibles de este subproducto.

Luego se analizan las proposiciones del equipamiento que se requeriría para aprovechar mejor la quema del bagazo basados en le sobrecalentamiento del vapor y los turbogeneradores mas apropiados para operar la planta de generación con el propósito de vender energía eléctrica al sistema nacional. Se detallan los resultados del mejoramiento del grupo de calderas y la incorporación de dos nuevos grupos turbogeneradores.

Se establecen al final los beneficios económicos con la implantación de un nuevo sistema de generación por la combustión del bagazo, obteniendo como principales indicadores los siguientes: el bagazo anteriormente desperdiciado estaba por el orden de 30.000 toneladas anuales que ahora ya es consumido en su totalidad.

La generación de energía eléctrica fue aumentada de 6 MW hasta 18.5 MW, produciendo para el ingenio un importante flujo de caja neto de más de USD 3`500.00,00 anuales.

# INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del Proceso de Fabricación de azúcar.....	3
1.2 Descripción del ingenio motivo del estudio.....	12
1.3 El bagazo: fuente de energía.....	13
1.4 Utilización actual del bagazo y beneficios que reporta al ingenio.....	17
CAPITULO 2	
2. SOLUCION AL PROBLEMA	
2.1 Soluciones propuestas.....	20
2.2 Incremento de la capacidad de generación de energía eléctrica.....	23
2.3 Equipamiento necesario, costo del proyecto.....	31



2.4 Beneficios a obtener. Estudio de factibilidad del proyecto.....42

2.5 Implementación del proyecto.....43

### CAPITULO 3

#### 3. EVALUACION DE LOS CAMBIOS REALIZADOS

3.1 Aprovechamiento actual del bagazo.....44

3.2 Ahorros obtenidos: transporte y energía eléctrica no comprada..45

3.3 Ingresos por ventas de energía eléctrica.....45

### CAPÍTULO 4

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....46

4.2 Recomendaciones.....47

### APÉNDICES

### BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1 Distribución de vapor (antes).....	24
Figura 2.2 Distribución de vapor (después).....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Principales Parámetros del Ingenio.....	13
Tabla 2. Composición Químico del Bagazo (en g/100g de bagazo seco).....	16
Tabla 3. Utilización del Bagazo (antes).....	25
Tabla 4. Utilización del Bagazo (después).....	27
Tabla 5. Consumo Específico de Turbinas a Instalar.....	30
Tabla 6. Selección de Tamaño de los Grupos Turbogeneradores.....	31
Tabla 7. Características de la Caldera.....	32
Tabla 8. Condiciones de Trabajo de la Turbina a Contrapresión – Extracción.....	35
Tabla 9. Materiales de la Turbina a Contrapresión – Extracción.....	35
Tabla 10. Condiciones de Trabajo de la Turbina a Condensación.....	37
Tabla 11. Materiales de la Turbina a Condensación.....	37
Tabla 12. Datos Técnicos del Condensador.....	38
Tabla 13. Datos Técnicos de la Torre de Enfriamiento.....	39
Tabla 14. Materiales de la Torre de Enfriamiento.....	40
Tabla 15. Características de las Bombas de Circulación del Condensador.....	41
Tabla 16. Costo del Proyecto.....	41

## INTRODUCCION

Los ingenios azucareros, aquellos que utilizan caña de azúcar como materia prima, obtienen como subproducto el bagazo el cual es la materia fibrosa remanente una vez que se ha extraído el jugo de la caña. Este bagazo siempre ha sido utilizado como combustible para alimentar a las calderas que proveen vapor para las necesidades de la planta.

La utilización final del vapor es en los equipos evaporadores que concentran el jugo de la caña de azúcar, incrementando su viscosidad hasta que finalmente se convierte en azúcar. Sin embargo, es práctica común de los ingenios generar vapor a una presión más alta de la necesaria para los procesos de evaporación y utilizar este vapor de más alta presión para mover accionamientos de turbinas correspondientes a los molinos de caña y a grupos turbogeneradores, obteniendo así energía eléctrica para satisfacer las necesidades de la fábrica y otras áreas del ingenio.

La solución desarrollada en este proyecto comienza con el mejoramiento en el grupo de calderas, incorporando una mayor eficiencia y más alta presión, con el objetivo de obtener mayor cantidad de energía térmica del recurso de bagazo disponible.

# CAPÍTULO 1

## 1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.

### 1.1 Descripción del proceso de fabricación de azúcar.

La recepción de las cañas para la fábrica, se hace directamente en la báscula del batey (terminal de transportes de caña). El transporte se asegura en este caso por camiones y tractores con remolques.

#### **El conductor de caña.**

El conductor de caña, a menudo descrito como la banda de caña es el tablero movedizo que lleva la caña a la fábrica y que asegura la

# **CAPÍTULO 2**

## **2. SOLUCIÓN AL PROBLEMA.**

### **2.1 Soluciones propuestas**

Las características del bagazo permiten la existencia de varias opciones de aprovechamiento para el mismo, así tenemos:

- Materia prima para fabricación de papel
- Materia prima para la fabricación de aglomerados
- Abono para los campos
- Mejoramiento del uso como combustible de calderas para conseguir una mayor generación de energía eléctrica.

# CAPÍTULO 3

## 3. EVALUACION DE LOS CAMBIOS REALIZADOS

### 3.1 Aprovechamiento actual del bagazo.

El objetivo principal del proyecto era mejorar los ingresos y beneficios de la empresa mediante la mejor utilización del recurso que representa el bagazo. Ahora ya no se desperdicia el mismo, se lo utiliza completamente haciendo que además de no tener que pagar para evacuarlo, genere importantes ingresos a la compañía.

Al final de la zafra, una vez que se había ejecutado el proyecto, las grandes “montañas” de bagazo ya no estaban más, había sido quemado en las calderas produciendo energía. Energía eléctrica que es de muchas maneras más limpia que la que generan muchas térmicas convencionales ya que el combustible que representa el

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Al desarrollar el proyecto sacamos como conclusiones las siguientes mejoras:

1. Se incrementó el porcentaje de uso del bagazo, siendo usado ahora en un 100%.
2. La eficiencia en el rendimiento del combustible mejoró de manera global en un 14.5% ya que pasamos de tener 1.66 libras de vapor por libra de bagazo a un promedio de 1.90 libras de vapor por libra de bagazo.



## **BIBLIOGRAFÍA**

**BABCOCK & WILCOX**, Steam/ its generation and use, The Babcock & Wilcox Company, USA, 1978

**BALOH TONE**, Energy Manual for Sugar Factories, Druckhaus am Treptower Park, Berlin, 1995

**BEEMAN DONALD**, Industrial Power Systems Handbook, Mc Graw-Hill Book Compay, Inc, New York, 1955

**CENICAÑA**, Manual de Auditoría Energética para los Ingenios Azucareros de Colombia, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cali, 1999.



Posteriormente se incrementó la capacidad de generación de energía eléctrica de ingenio adquiriendo dos grupos turbogeneradores, uno a contrapresión – extracción y el otro a condensación. De mayor tamaño y mas eficientes que el existente hasta esa fecha en el ingenio.

Con los cambios propuestos se buscará mejorar índices de productividad de la planta, tales como el porcentaje de utilización del bagazo, eficiencia energética del área de calderas y potencia de energía eléctrica generada.



alimentación de los molinos transportándola desde el patio hasta ellos.

A lo largo del conductor existen los niveladores de caña cuya función principal es igualar la caña en el conductor y para en cierto grado nivelar el colchón de caña. Un trabajo eficiente de los niveladores se reflejará en una operación eficiente de las cuchillas picadoras de caña. Con la caña entera, no es posible alimentar regularmente a los molinos. Con la instalación de un nivelador, sobre el conductor, puede obtenerse un colchón de caña de un grueso casi uniforme. Sin embargo, ese colchón llegará a los molinos en paquetes sucesivos, y su baja densidad hará difícil el trabajo de los molinos además de aumentar la posibilidad de atoros.

El trabajo de la cuchilla es convertir a las cañas enteras en un material formado por pedazos cortos y pequeños que forman una masa compacta que cae fácilmente en la tolva de alimentación y que los molinos tomarán sin dificultad absorbiéndola de una manera.

Las cuchillas cañeras, entonces ejecutan dos funciones y tienen dos ventajas:

- a) Favorecen la capacidad de los molinos transformando la caña en una masa compacta y homogénea.
- b) Mejoran la extracción de los molinos rompiendo la corteza de la caña y facilitando así su desintegración y la extracción del jugo.

### **Molinos**

Los molinos están constituidos por lo general de 3 mazas o cilindros horizontales, cuyos centros unidos forman un triángulo isósceles. Dos mazas se encuentran al mismo nivel y girando en la misma dirección, denominándose “maza cañera” a la maza por donde entra la caña y “maza bagacera” a la maza por donde sale el bagazo. La otra maza está situada sobre las anteriores y gira en sentido contrario, a ella se la conoce como “maza mayor o superior”.

La acción de compresión de las mazas se realiza en dos períodos:

- a) La caña pasa entre la maza superior y la maza cañera
- b) La caña pasa entre la maza superior y la maza bagacera

Los conductores intermedios son cadenas que llevan el bagazo de la salida de un molino a la entrada del siguiente.

### **Conductores de bagazo**

El bagazo que sale del último molino debe distribuirse en los hornos de las calderas. Para este fin, se eleva por un elevador de bagazo, que lo tira sobre un conductor horizontal para distribuirlo a lo largo de los hornos de las calderas. Si el último molino y la batería de la caldera están cerca el uno de la otra y en misma orientación, el mismo conductor puede ser a la vez elevador y distribuidor. Estos conductores son generalmente de rastrillos.

### **Proceso jugo-azúcar**

El tratamiento del jugo comprende los siguientes pasos:

#### **Defecación**

Este es el único tratamiento de los 4 indicados que se practica universalmente. La purificación es, sobre todo, física. Se forma un precipitado fácil de observar en la probeta debido, sobre todo, a materiales coagulados. Este precipitado arrastra las impurezas físicas al envolverlas.

#### **Sulfatación**

La defecación es indispensable y universal. No ocurre lo mismo con la sulfatación. La mayor parte de las fábricas de azúcar del mundo no la

tienen. Sin embargo, es el procedimiento auxiliar de la defecación más común.

Tiene sobre el jugo los siguientes efectos:

- 1.- Elimina las materias colorantes (propiedad común de todos los ácidos)
- 2.- Transforma en compuestos ferrosos incoloros las sales férricas que pueden formarse por el contacto del jugo con los tanques, tuberías y molinos.

### **Fosfatación**

Se ha demostrado que cuanto mayor es la cantidad de ácido fosfórico en el jugo es más fácil la clarificación. El ácido fosfórico que se agrega al jugo precipita una parte de los coloides y de las materias colorantes que contiene. El precipitado que forma con la cal es el fosfato tricálcico. Desafortunadamente éste es un precipitado gelatinoso difícil de filtrar.

### **Clarificación**

Se llama clarificador al decantador continuo. Un decantador continuo es un tanque al que se hace llegar de manera regular y continua el jugo por decantar y que es lo suficiente grande para que la velocidad de escurrimiento y de circulación del jugo sea de un valor tan bajo



que no impida que la decantación se realice. El jugo claro obtenido sale por la parte superior del clarificador de manera regular y continua tal como lo hacen las cachazas (residuo de bagacillo y jugo) por la parte inferior. Con este aparato se tiene todas las grandes ventajas del trabajo continuo: se eliminan las pérdidas de tiempo y de capacidad que se originan en el llenado y el vaciado de tanques, se elimina mano de obra.

### **Calentamiento del jugo**

La temperatura a que se calienta el jugo tiene una gran importancia en la clarificación. En la práctica lo recomendable es calentar ligeramente por encima del punto de ebullición, es decir 215 - 220 °F ( 102 - 104 °C ).

A más baja temperatura la clarificación será incompleta. La formación de flóculos deficiente. La coagulación de las gomas, ceras, albúminas etc. será incompleta. El jugo clarificado nebuloso y turbio. Finalmente, cachaza floja, y azúcar de baja calidad. A más alta temperatura se produce destrucción de azúcares, formación de color, incremento en la producción de mieles, y caída excesiva del PH en los clarificadores.

### **Filtración**

La decantación separa los jugos tratados en dos partes:

- a) El jugo claro, que sube a la superficie.
- b) La cachaza, que se reúne en el fondo. El jugo claro va a la fabricación, es decir, generalmente a la evaporación.

La cachaza debe filtrarse a fin de separar del jugo el precipitado que contiene junto con las sales insolubles que se han formado y el bagazo fino, que arrastró. El filtro se compone de un tambor que gira alrededor de un eje horizontal el cual se sumerge, en parte, en el líquido por filtrar. La periferie sirve como superficie filtrante. Cada una de las secciones de la superficie se une individualmente a una tubería de vacío por medio de un pequeño tubo metálico que conecta con un distribuidor situado en una de las extremidades del eje.

La parte exterior está formada por una tela de cobre perforada muy finamente.

### **Evaporación**

La purificación del jugo produjo jugo claro. Este jugo es azúcar disuelta en agua junto con ciertas impurezas. Cuando se ha quitado ya la mayor cantidad posible de estas impurezas queda por eliminar el agua. Este es el objeto de la evaporación.

La concentración se lleva al máximo tratando de dejar al líquido madre sólo el espacio libre entre cristales. A la mezcla obtenida, cristales sólidos y licor madre viscoso, se da el nombre de “masa cocida”. Una masa semejante no se maneja como el jugo o como la meladura. Por esta razón la concentración se separa en 2 etapas:

- a) La evaporación propiamente dicha, que va del jugo claro a la meladura y durante la cual se obtiene un producto líquido.
- b) El cocimiento que comienza justamente antes de que los granos aparezcan en la meladura y que continúa hasta la contracción máxima.

Las impurezas permanecen en el licor madre junto con una parte de sacarosa. Deben entonces, separarse los cristales de azúcar de la miel, tratando de extraer de ésta el máximo del azúcar que encierra.

La evaporación se realiza en intercambiadores de calor de simple efecto y otros de múltiple efecto.

El cocimiento por otro lado tiene lugar en equipos intercambiadores de calor también pero que son conocidos con el nombre de Tachos. Mediante el cocimiento se busca llegar a la Cristalización. La academia de la lengua define Cristalización como la acción de hacer

que ciertas sustancias tomen carácter cristalino. Esta definición se ajusta a nuestro objetivo ya que hacemos que la sacarosa tome una forma cristalina.

### **Centrifugación**

Una vez que el licor madre se agotó hasta el límite práctico, queda únicamente separar a los cristales para obtener el azúcar en la forma comercial. Esta operación se lleva a cabo en secadores centrífugos, a los que se llama: “Centrífugas”. La operación se conoce como “purgado”, “centrifugado” o “centrifugación”.

Prácticamente todas las centrífugas azucareras al presente en el mundo, están basadas en la máquina Weston, llamada así por el nombre del ingeniero británico que la creó en su forma presente. La centrífuga consiste en una canasta cilíndrica diseñada para recibir la masa cocida por tratar y colocada en un eje vertical en cuyo extremo superior se encuentra el motor o la toma de fuerza que mueve a la máquina.

La canasta está perforada con numerosos orificios que permiten el paso de las mieles y está provista de anillos circulares que resisten la fuerza centrífuga; la canasta está guarnecida con una malla de metal

que retiene el azúcar y deja pasar las mieles. La canasta esta abierta en su parte superior para permitir la alimentación de la masa cocida y en el fondo para descargar el azúcar

### **Secado del azúcar**

Si el contenido de humedad del azúcar disminuye, su deterioración se hace más lenta. El azúcar crudo contiene agua en una cantidad que varia del 0.5 al 2%. Esta cantidad puede reducirse del 0.2 al 0.5%, con el empleo de un secador. La reducción de la humedad del azúcar permite que el azúcar se conserve mejor.

## **1.2 Descripción del ingenio motivo del estudio.**

El ingenio motivo del estudio procesa caña de azúcar en cantidad aproximada de 1,800,000 toneladas métricas por zafra. La zafra tiene una duración aproximada de 6 meses (julio a diciembre).

La caña es cosechada por trabajadores que realizan el trabajo de corte y por máquinas cosechadoras, sin embargo, la proporción siempre se prefiere hacia la caña cortada por las personas que a pesar el mayor costo, tiene una mejor calidad de corte que beneficia el trabajo de la fábrica al procesarla. El transporte se realiza por camiones y por vagones de carretas haladas por tractores que llevan

la caña hasta la entrada de la fábrica donde es pesada he introducida ya al proceso.

El cuadro siguiente nos da idea de la fábrica en mención:

**TABLA 1**  
**PRINCIPALES PARÁMETROS DEL INGENIO**

Toneladas Métricas de Caña por Zafra	1,800,000
Días de zafra	180
Toneladas Métricas de Caña procesada por día	10,000
Rendimiento aproximado de la caña de azúcar (Libras de azúcar/Tonelada de Caña)	200
Sacos de 50 kg por zafra	3,265,865
Contenido de Fibra de la Caña	12.50%
Cantidad de Bagazo (% sobre caña)	29.40%

### 1.3 El bagazo: fuente de energía

Se denomina bagazo al residuo fibroso que queda de la caña de azúcar después de ser sometida a un proceso de extracción o a etapas del mismo. Así, por ejemplo, cuando la extracción es por

medio de molinos se habla de bagazo del 1er, 2do, 3er, etc molino. El bagazo que abandona el tandem de molinos se llama “bagazo final”, pero para nuestros efectos lo denominaremos solamente “bagazo”.

Este subproducto de la agroindustria cañera, tan viejo como la industria misma, ha venido ganando importancia en los últimos años por el potencial que ofrece como materia prima para otros productos.

El uso eficiente del bagazo como combustible representa una de las ventajas competitivas más importantes de la industria azucarera de caña. Sin embargo, dicha industrial está aún muy lejos de aprovechar cabalmente las oportunidades ofrecidas por el bagazo para el aumento de su propia rentabilidad.

### **Características físicas del bagazo**

Las características del bagazo pueden variar en un rango bastante amplio de acuerdo a las características de la caña, del suelo, del clima, del momento y del tipo de la cosecha y del método de extracción empleado. Algunos rangos de variación encontrados en la práctica son:

Contenido de agua: 45 a 57%

Contenido de fibra: 53 a 39%

Sólidos disueltos: 2 a 6 %

La fibra está constituida por los componentes insolubles en agua y puede subdividirse a su vez en dos componentes principales: fibra verdadera (células de paredes fuertes y duras, cilíndricas) y médula (células de paredes delgadas y blandas, de forma irregular que constituyen el tejido interior del tallo).

### **Densidad del bagazo**

A granel

Suelto (dependiendo de la humedad): 80 a 120 kg/m<sup>3</sup>

Apilado 160 a 240 kg/m<sup>3</sup>

En pacas de

0.45 x 0.56 x 0.81 m<sup>3</sup> 564 kg/m<sup>3</sup>

0.30 x 0.30 x 0.50 m<sup>3</sup> 890 kg/m<sup>3</sup>

La composición química del bagazo, ha sido estudiada por diferente autores. La tabla siguiente muestra algunos resultados.



**TABLA 2**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO (EN G/100G DE BAGAZO SECO)**

Carbono C	46.2
Hidrógeno, H	5.7
Oxígeno, O	42.1
Nitrógeno, N	0.3
Azufre, S	0.03
Cenizas	5.7

**Poder calorífico del bagazo**

Siendo el bagazo un combustible no homogéneo cuya composición puede variar no solamente entre distintas regiones cañeras sino que también durante el transcurso de la cosecha en un a misma región, resulta lógico que diferentes autores hayan desarrollado diferentes ecuaciones empíricas para el poder calorífico del bagazo. Por ejemplo, Beaton y Silva informan sobre resultados obtenidos en cuba para bagazo de 40% de humedad:

Tipo de corte	Hu (Btu/lb)
Manual	3,726
Centro de acopio	3,673
Mecanizado	3,603

Donde  $H_u$  se refiere al poder calorífico inferior.

Las expresiones empíricas para el poder calorífico inferior del bagazo toman en consideración las pérdidas térmicas relacionadas al vapor de agua que se forma en la combustión debido al hidrógeno contenido en el bagazo y al vapor de agua proveniente de la humedad del combustible. El vapor de agua abandona la caldera junto con los gases de chimenea.

Para posteriores referencias en esta tesis, usaremos el valor de  $H_u = 3,053$  Btu/lb ya que el bagazo a considerar tiene aproximadamente del 50% de humedad.

#### **1.4 Utilización actual del bagazo y beneficios que reporta al ingenio.**

Es evidente que la principal fuente de energía de la fábrica de azúcar es el vapor, producido en calderas generalmente de tubos de agua y que utilizan como combustible al bagazo de la caña ya molida.

La fibra de la caña, es en general suficiente para que la cantidad de bagazo producida por el molino, se utilice a su vez, como combustible en los hornos de las calderas y produzca todo el vapor necesario para el movimiento de los motores y para la fabricación.

Para conseguir procesar caña y convertirla en azúcar, de acuerdo al primer capítulo un ingenio azucarero necesita vapor como principal fuente de energía. El proceso de fabricación de azúcar requiere de vapor en sus intercambiadores de calor, evaporadores, cuádruple efectos y otros para poder concentrar el jugo de caña en su proceso hacia la elaboración de azúcar. Por otro lado, necesita de fuerza motriz para sus equipos.

Lo usual en fábricas que necesitan vapor para su proceso es que utilicen calderas operando a cierta presión y temperatura, para posteriormente hacer pasar el vapor por válvulas de expansión para hacer caer la presión del mismo a la que el proceso necesita. La desventaja obvia de esta operación es el desperdiciar parte de la energía contenida en el vapor al simplemente reducir su presión sin obtener ningún trabajo en ese proceso.

Los ingenios azucareros suelen hacer pasar este vapor por turbinas a contrapresión, que son utilizadas para mover los molinos u otros equipamientos y para generar energía eléctrica en turbogeneradores. Es en este momento en que se convierte en una operación de Cogeneración. De esta forma, el ingenio, en épocas de zafra obtiene importantes ahorros ya que puede autogenerar la energía eléctrica

que necesita para su proceso y en un ingenio de las características indicadas anteriormente, dicho ahorro puede estar en el orden de US\$ 450,000 – 500,000 por mes de zafra.

Sin embargo, la cantidad de bagazo disponible excede lo necesario para suplir las necesidades arriba anotadas así que se convierte en un recurso subutilizado y es el objetivo de esta tesis encontrar la mejor opción de aprovechamiento de este recurso.



El uso del bagazo como materia prima para la fabricación de papel es algo que ya se había intentado anteriormente, vendiéndolo a una compañía papelera que lo usaba para extraer la pulpa del bagazo y llevarla a su proceso de fabricación. Sin embargo, los caminos del negocio cambiaron ya que a la compañía papelera le resultaba más barato comprar papel reciclado para su proceso en vez de procesar la pulpa de bagazo. Por otro lado, los cada vez más exigentes requisitos ambientales hicieron que para poder continuar con el uso de pulpa de bagazo, había que construir una planta de tratamiento de residuos para procesar el “licor negro” que resultaba luego de la extracción de la pulpa. El alto costo de esta inversión sumada a los bajos precios del papel reciclado hizo que este tipo de aprovechamiento no sea más viable.

Es interesante el proyecto de utilización del bagazo como materia prima para aglomerados, sin embargo en el país no existe por el momento industria dedicada a esta actividad. Se ha escuchado que existe interés de compañías asiáticas a instalar fábricas de aglomerados pero utilizando como materia prima la caña guadúa y no el bagazo como tal. La incertidumbre del mercado para este tipo de inversión hace que este aprovechamiento no sea viable.

Los ingenios en su mayoría aprovechan las propiedades orgánicas del bagazo para incorporarlo a los suelos de los canteros de caña una vez

que la cosecha ha pasado por ellos. De esta manera se busca reincorporar al suelo algunos nutrientes como nitrógeno, potasio, entre otros. Se realiza esta labor en pequeña escala, principalmente en los campos de caña que se encuentran más cerca de la fábrica del ingenio ya que el costo de transporte hacia lugares más lejanos resulta oneroso. A pesar de que se han encontrado moderados beneficios con esta actividad a nivel agrícola, no se ha extendido mayormente ya que la relación costo-beneficio no termina de convencer a los ejecutivos de la empresa. Es una alternativa que se sigue estudiando a nivel agrícola.

La energía eléctrica por otro lado, es la idea que más apoyo recibió desde le principio. Si tomamos como antecedente que este país es uno de los que mayor costo de energía eléctrica tiene a nivel de Sudamérica, aproximadamente 12 centavos de dólar por kilovatio hora para los consumidores finales.

El costo de producción que representa la compra de energía eléctrica es impactante en los resultados finales de las compañías en general. Por otro lado, desde hace algún tiempo existe la normativa legal que permite que compañías de cualquier tipo puedan generar energía eléctrica para su consumo propio y vender excedentes si los tuvieran.

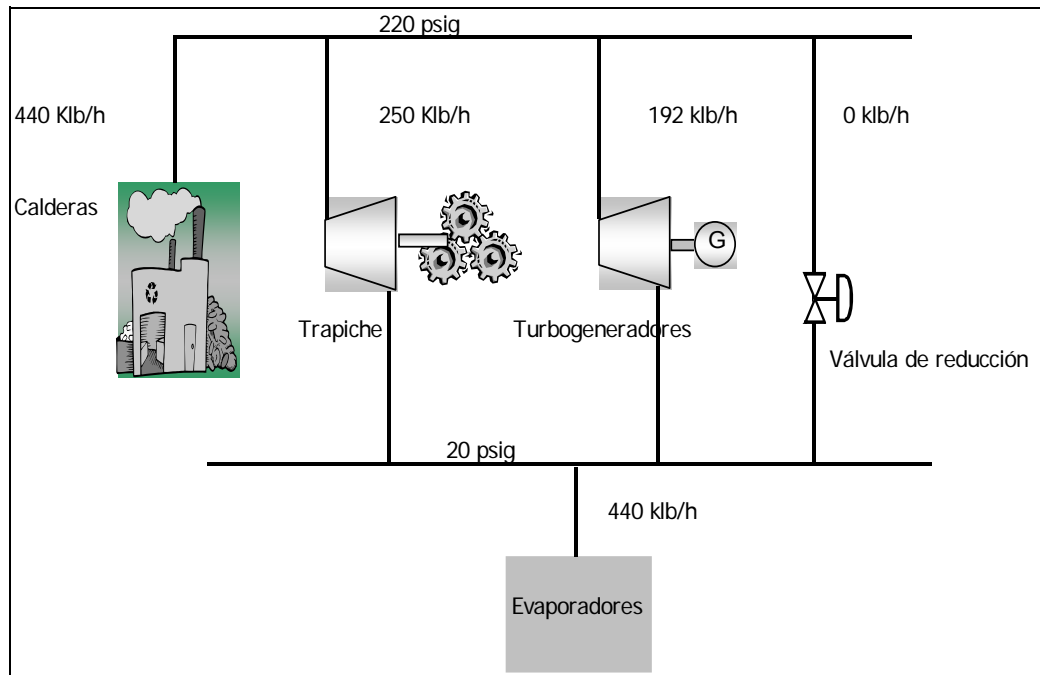
Esto permite pensar en este tipo de proyecto para en primer lugar, lograr un beneficio de reducción de costos de otras empresas del mismo grupo que pueden ser beneficiadas con un costo de energía eléctrica que a nivel de grupo resultaría insignificante ya que el combustible que se utiliza para dicha generación tiene un costo marginal prácticamente de nada por ser un subproducto del proceso anterior. Sin embargo, para temas económicos, no se está diciendo que el bagazo no tiene valor, al contrario, el costo de oportunidad que tiene es tremendamente importante por los beneficios que puede otorgar a quienes lo aprovechan eficientemente. Esta es la opción de solución escogida.

## **2.2 Incremento de la capacidad de generación de energía eléctrica.**

### **Situación actual**

La figura siguiente grafica la actual disposición de los equipos térmicos que utiliza el ingenio de este estudio para la producción de vapor, energía eléctrica y proceso. En la situación actual se dispone de calderas que en conjunto generan 400 klb/h de vapor a 220 psig y 500 grados F lo cual se distribuye entre los accionamientos de los molinos de caña y los consumos de los turbogeneradores que proporcionan los 6 MW que necesita la planta para operar.





**FIGURA 2.1 DISTRIBUCIÓN DE VAPOR (ANTES)**

Ambos tienen su presión de escape a 20 psig para suplir las necesidades de vapor del proceso que están en el mismo orden de 440 klb. Por otro lado, tenemos la válvula de reducción que permite que en el caso de deficiencia de vapor en la línea de 20 psig por algún problema en los molinos o en los turbogeneradores, compensar el déficit de flujo de vapor para esta línea.

Podría verse como un sistema bien balanceado sin embargo, como habíamos explicado anteriormente, existe la posibilidad de un mejor aprovechamiento del bagazo.

**TABLA 3**  
**UTILIZACIÓN DEL BAGAZO (ANTES)**

<b>Disponibilidad de energía en el bagazo</b>				
	<b>Hora</b>	<b>Diario</b>	<b>Zafra</b>	
Toneladas Bagazo	121.20	2,908.92	523,605	
BTU	815,787,072	19,578,889,738	3,524,200,152,916	
	<b>Caldera 1</b>	<b>Caldera 2</b>	<b>Caldera 3</b>	<b>TOTAL</b>
Klb vapor/h	180	120	140	440
Eficiencia	60.5%	60.5%	62.5%	61.1%
BTU/h entrega	202,032,000	134,688,000	157,136,000	493,856,000
BTU/h recibe	333,937,190	222,624,793	251,417,600	807,979,583
libras bagazo /h	109,380	72,920	82,351	264,651
Toneladas bagazo/h	49.61	33.08	37.35	120.04
Libras vap/Libras bag	1.65	1.65	1.70	1.66

La tabla anterior, que muestra el consumo de bagazo de las calderas versus la disponibilidad del mismo nos da un excedente de 5,011 toneladas de bagazo por año, a pesar de que los resultados prácticos, basados en reportes de desalojo de bagazo al final de zafra, muestran que el excedente real está en orden de las 50,000 toneladas debido a que las calderas no trabajan al 100% durante todo el tiempo.

### **Mejoramiento**

Existen tecnologías conocidas para mejorar el aprovechamiento de la capacidad energética de los ingenios. Los principales son:

- Calderas de alta presión
- Turbinas de contrapresión y condensación
- Bajar consumos de vapor de baja presión para procesos
- Electrificar accionamientos

En este caso, se comenzó por obtener una mayor cantidad de vapor, mejorando la eficiencia del banco de calderas, se propone adquirir inicialmente una de mayor presión y eficiencia. Al hacerlo, la utilización de vapor quedaría de la siguiente manera:

Como se puede ver, se han conseguido varias cosas: se utiliza la totalidad del bagazo lo cual nos da un flujo adicional de vapor de

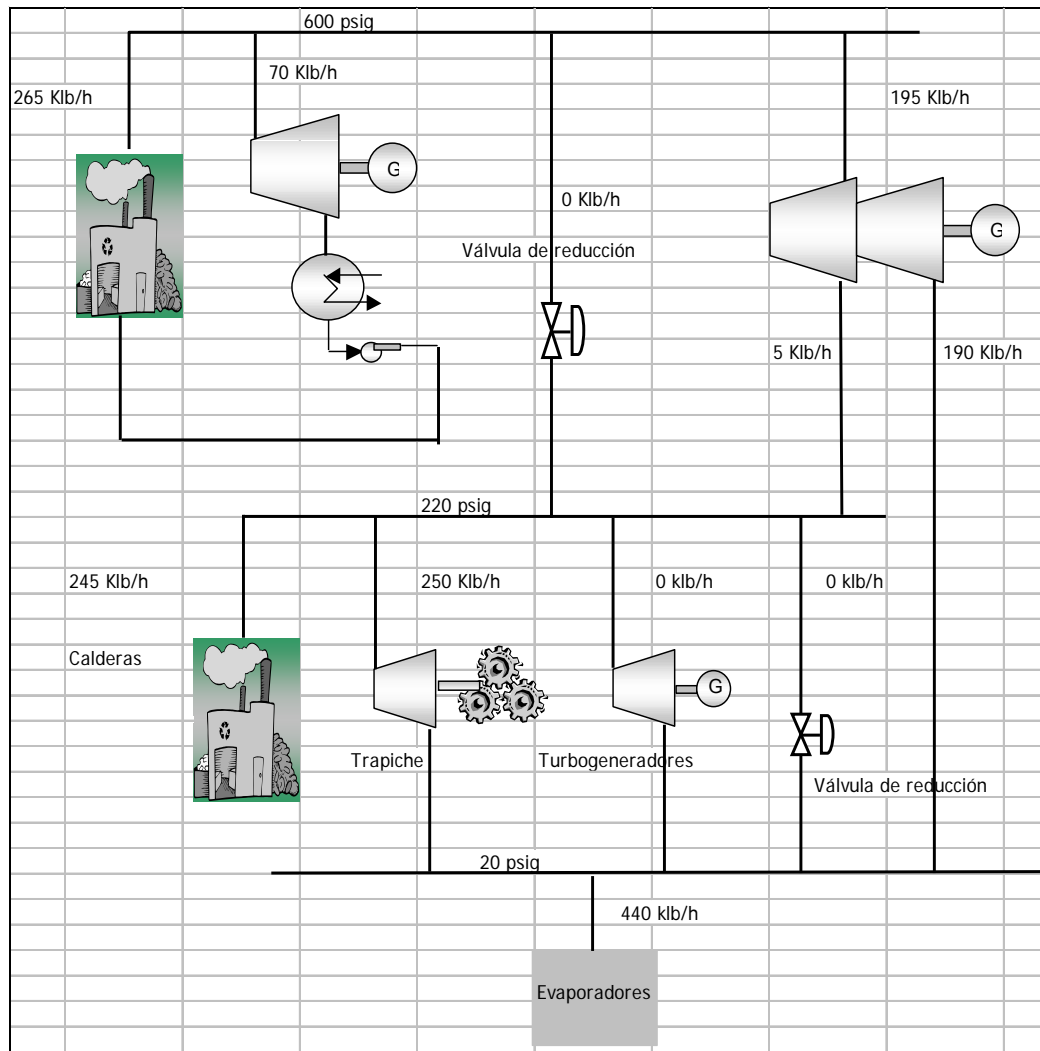
**TABLA 4.**  
**UTILIZACIÓN DEL BAGAZO (DESPUÉS)**

<b>Disponibilidad de energía en el bagazo</b>				
	<b>Hora</b>	<b>Diario</b>	<b>Zafra</b>	
Toneladas Bagazo	121.20	2,908.92	523,605	
BTU	815,787,072	19,578,889,738	3,524,200,152,916	
	<b>Caldera 2</b>	<b>Caldera 3</b>	<b>Caldera 4</b>	<b>TOTAL</b>
Klb vapor/h	105	140	265	510
Eficiencia	60.5%	62.5%	80.0%	70.0%
BTU/h entrega	117,852,000	157,136,000	297,436,000	572,424,000
BTU/h recibe	194,796,694	251,417,600	371,795,000	818,009,294
libras bagazo /h	63,805	82,351	121,780	267,936
Toneladas bagazo/h	28.94	37.35	55.24	121.54
Libras vap/Libras bag	1.65	1.70	2.18	1.90

70,000 libras de vapor por hora, por otro lado, ahora tenemos 265,000 libras/hora de vapor a 600 psig lo cual nos permite hacer mejoramientos en el sistema de generación como veremos más adelante. Por lo pronto, hemos pasado de una eficiencia general del grupo de calderas de 61.1% al 70%. La caldera 1 por el momento queda sin uso pero a manera de respaldo para cualquier eventualidad de las demás.

Ahora que se dispone de una mayor cantidad de vapor y de más alta presión una parte de él, se puede incrementar la generación de energía eléctrica adquiriendo dos turbogeneradores, uno a contra presión y extracción y el otro a condensación. El turbogenerador ya existente se lo mantiene pero para casos de emergencia.

La figura a continuación muestra cuál sería la nueva distribución de vapor en el ingenio. Con esa disponibilidad de vapor, calcularemos el tamaño de los equipos a ser adquiridos:



**FIGURA 2.2 DISTRIBUCIÓN DE VAPOR (DESPUÉS)**

La tabla siguiente muestra el cálculo de los consumos específicos de las turbinas a ser instaladas, basadas en las diferentes presiones a las que trabajarían. Las eficiencias indicadas son las indicadas por el fabricante.

**TABLA 5.**

**CONSUMO ESPECÍFICO DE TURBINAS A INSTALAR**

	<b>600 / 220</b>	<b>600 / 20</b>	<b>600 / 4"Hg</b>
P1 psig	600	600	600
T1 °F	750	750	750
P2 psig	220.00	20.00	4" Hg
h1	1,379.40	1,379.40	1,379.40
h2 (isentropic)	1,267.40	1,106.00	972.00
%Efic Turbina	0.73	0.74	0.86
h2'	1,297.87	1,178.24	1,029.57
Consumo específico teórico Lb/HP-Hr	22.72	9.31	6.25
Consumo específico real LB/HP-Hr	31.21	12.65	7.27
<b>Consumo específico real LB/KWH</b>	<b>41.82</b>	<b>16.95</b>	<b>9.75</b>

Ahora, con los flujos de vapor disponibles, se calculan los tamaños de los equipos turbogeneradores a adquirir. La tabla siguiente muestra los tamaños seleccionados.

En la tabla 6 se indican tres escenarios de operación, el escenario A, es el más probable y responde a los flujos de vapor indicados en la figura 2, el escenario B corresponde a la eventualidad de que falle alguna caldera de 220 psig y ese vapor tenga que ser suplido por la

**TABLA 6**  
**SELECCIÓN DE TAMAÑO DE LOS GRUPOS TURBOGENERADORES**

	Presión de salida		Escenario A	Escenario B	Escenario C
Turbogenerador Contrapresión - Extracción	220 psig	Klb/h	5	115	5
	20psig	Klb/h	190	150	145
	Potencia	KW	<b>11,330</b>	<b>11,613</b>	<b>8,675</b>
Turbogenerador Condensación	4"Hg	Klb/h	70	-	115
	Potencia	KW	<b>7,179</b>	-	<b>11,795</b>
<b>TOTALES</b>		Klb/h	<b>265</b>	<b>265</b>	<b>265</b>
		KW	<b>18,509</b>	<b>11,613</b>	<b>20,470</b>

caldera a 600 psig y el escenario C muestra la posibilidad de que los requerimientos de vapor de 20 psig disminuyan por indisponibilidad de algún equipo del área de evaporadores de tal forma que los requerimientos de vapor de 20 psig disminuirán por lo que tendremos una mayor cantidad de vapor disponible para usarlo en el turbogenerador de condensación. En resumen, los tamaños escogidos para la compra de estos equipos serán de 12 MW cada uno.

### **2.3 Equipamiento necesario. Costo del proyecto**

Los equipos principales a ser adquiridos para la implementación del proyecto son: la caldera, el turbogenerador a contrapresión – extracción y el turbogenerador a condensación.



**TABLA 7**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA CALDERA**

Tipo de Combustible	-	Bagazo de Caña
Humedad del Combustible	%	52.0
Poder calorífico inferior	Btu/lb	3,052.8
Poder calorífico superior	Btu/lb	3,904.2
Capacidad	lb/h	265,000.0
Cantidad de combustible	lb/h	121,377.6
Relación vapor/combustible	lb/lb	2.2
Eficiencia	%	80.0
Carga térmica del horno	Btu/ft <sup>3</sup> h	15,792.2
Tiempo de residencia	seg	2.4
Cantidad de gas	lb/h	577,006.4
Cantidad de aire	lb/h	457,368.3
Presión de proyecto	psi	739.6
Presión de operación del supercalentador	psi	597.4
Presión de operación del domo	psi	632.9
Temperatura vapor supercalentado	°F	752.0
Temperatura vapor saturado	°F	494.6
Temperatura agua alimentación	°F	180-220
Temperatura agua salida economizador	°F	329.0
Temperatura gas salida caldera	°F	759.2
Temperatura gas salida economizador	°F	334.4
Temperatura aire ambiente	°F	86.0
Exceso de aire	%	35.0
CO <sub>2</sub>	%	14.6
Superficie radiante	ft <sup>2</sup>	4,391.7
Superficie convectiva	ft <sup>2</sup>	22,625.7
Superficie del supercalentador	ft <sup>2</sup>	4,090.3
Superficie del economizador	ft <sup>2</sup>	39,288.2
Volumen del horno	ft <sup>3</sup>	23,450.2

### **Caldera**

La tabla anterior muestra las principales características de la caldera para el proyecto.

### **Turbogenerador a Contrapresión – Extracción**

#### **Turbina**

Turbina de múltiple etapa de contrapresión con extracción controlada, bi-partida horizontalmente, con hasta tres válvulas de regulación integradas en la parte superior de la caja de la turbina, accionadas independientes por medio de hasta tres servo motores hidráulicos, garantizando excelente estabilidad de rotación y parcialización de la carga. La turbina dispone de dos válvulas de cierre-rápido (una para la entrada principal de vapor, otra para la extracción) accionadas por cilindro hidráulico.

El conjunto rotor es realizado de forjado integral. El rotor es soportado por un cojinete radial – axial y un cojinete radial. El rotor es provisto de un buje de compensación para equilibrar el conjunto en relación a la presión de salida del vapor, reduciendo el empuje axial. La turbina es provista de aislamiento térmico y cubierta en plancha metálica. El sistema de regulación de la turbina consiste en un regulador electrónico, apto para controlar la frecuencia del generador, el caudal

de extracción y permite operar en paralelo con la concesionaria y/o con otros turbo generadores existentes, si requerido.

### **Reductor**

Reductor de simple etapa, de dientes bi-helicoidales y ejes paralelos, caja en hierro fundido, bi-partida horizontalmente, con ejes montados sobre chumaceras de deslizamiento. Dientes tratados térmicamente, cementados y rectificadas de acuerdo con lo más rígidos parámetros de calidad. Contactos entre dientes y chumaceras lubricados con aceite en circuito cerrado a presión.

### **Turbogenerador a Condensación**

#### **Turbina**

Turbina de múltiple etapa de condensación, bi-partida horizontalmente, con tres válvulas de regulación integradas en la parte superior de la caja de la turbina, accionadas independientes por medio de tres servo motores hidráulicos, garantizando excelente estabilidad de rotación y parcialización de la carga. La turbina dispone de una válvula de cierre rápido accionada por cilindro hidráulico.

**TABLA 8**  
**CONDICIONES DE TRABAJO DE LA TURBINA DE CONTRAPRESIÓN -  
EXTRACCIÓN**

Punto de carga		<b>1</b>	<b>2</b>
Presión del vapor de entrada	<b>psig</b>	<b>600</b>	<b>600</b>
Temperatura del vapor de entrada	<b>°F</b>	<b>750</b>	<b>750</b>
Caudal de vapor vivo	<b>lb/h</b>	<b>150.000</b>	<b>265.000</b>
Presión de extracción	<b>psig</b>	<b>220</b>	<b>220</b>
Caudal de extracción	<b>lb/h</b>	<b>0</b>	<b>115.000</b>
Presión de escape	<b>psig</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Caudal de vapor de salida	<b>lb/h</b>	<b>150.000</b>	<b>150.000</b>
Velocidad turbina	<b>Rpm</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>
Velocidad de salida reductor	<b>Rpm</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>
Potencia en los bornes del generador	<b>KW</b>	<b>8.850</b>	<b>11.600</b>

**TABLA 9**  
**MATERIALES DE LA TURBINA DE CONTRAPRESIÓN – EXTRACCIÓN**

Partes de entrada de vapor	<b>ASTM A 217 WC1</b>
Caja de la turbina	<b>ASTM A 217 WC1</b>
Rotor / Eje	<b>AISI/ SAE 4340</b>
Inyectores	<b>AISI 420</b>
Alabes	<b>AISI 420</b>
Partes Internas de las Válvulas	<b>AISI 4340 (NITRURADO)</b>
Cinta de Cobertura del Rotor (integral)	<b>AISI 420</b>
Tubería de aceite	<b>ASTM A 106 / SAE 1020</b>

El conjunto rotor es realizado de forjado integral. El rotor es soportado por un cojinete radial – axial y un cojinete radial. El rotor es provisto de un buje de compensación para equilibrar el conjunto en relación a la presión de salida del vapor, reduciendo el empuje axial. La turbina es provista de aislamiento térmico y cubierta en plancha metálica

El sistema de regulación de la turbina consiste en un regulador electrónico que actúa directamente en la apertura de las válvulas de control.

### **Reductor**

Reductor de simple etapa, de dientes bi-helicoidales y ejes paralelos, caja en hierro fundido, bi-partida horizontalmente, con ejes montados sobre chumaceras. Dientes tratados térmicamente, cementados y rectificadas de acuerdo con lo más rígidos parámetros de calidad. Contactos entre dientes y chumaceras lubricados con aceite en circuito cerrado a presión.

TABLA 10

## CONDICIONES DE TRABAJO DE LA TURBINA A CONDENSACIÓN

Punto de carga		1	2
Presión del vapor de entrada	<b>Psig</b>	600	600
Temperatura del vapor de entrada	<b>°F</b>	750	750
Caudal de vapor vivo	<b>lb/h</b>	70,000	115,000
Presión de extracción	<b>Psig</b>	-	-
Caudal de extracción	<b>lb/h</b>	-	-
Presión de escape	<b>Psig</b>	4" Hg	4" Hg
Caudal de vapor de salida	<b>lb/h</b>	70,000	115,000
Velocidad turbina	<b>rpm</b>	8,000	8,000
Velocidad de salida reductor	<b>rpm</b>	1,800	1,800
Potencia en los bornes del generador	<b>KW</b>	7,230	11,880

TABLA 11

## MATERIALES DE LA TURBINA A CONDENSACIÓN

Partes de entrada de vapor	<b>ASTM A 217 WC1</b>
Caja de la turbina	<b>ASTM A 217 WC1</b>
Rotor / Eje	<b>AISI/ SAE 4340</b>
Inyectores	<b>AISI 420</b>
Alabes	<b>AISI 420</b>
Partes Internas de las Válvulas	<b>AISI 4340 (NITRURADO)</b>
Cinta de Cobertura del Rotor (integral)	<b>AISI 420</b>
Tubería de aceite	<b>ASTM A 106 / SAE 1020</b>

### **Sistema completo de condensación**

Sistema compuesto de un condensador principal tipo casco y tubos, condensadores auxiliares para/ eyectores de partida y operación, moto-bombas para extracción del condensado y sistema de control de nivel. El conjunto forma una unidad compacta con los eyectores y respectivos condensadores auxiliares montados en el cuerpo del condensador principal e interconectados por tuberías.

**TABLA 12**  
**DATOS TÉCNICOS DEL CONDENSADOR**

Fluido Casco / Tubos	<b>Vapor / Agua</b>
Caudal de vapor (máx)	<b>115.000 lb/h</b>
Caudal de agua necesaria (aprox.)	<b>740.000 gal/h</b>
Temperatura max. entrada de agua enfriamiento	<b>86°F</b>
Temperatura de salida del agua (aprox.)	<b>104°F</b>
Presión del agua de enfriamiento	<b>0,24 psig</b>
Presión de vapor	<b>4" Hg A</b>
Nº de pases Casco / Tubos	<b>1 / 2</b>

### **Torre de enfriamiento y accesorios**

El enfriamiento del agua que circula por el condensador de superficie será hecho por una torre de enfriamiento dimensionada según los

datos técnicos descritos en la tabla que sigue. La torre posee estructura en acero carbono revestido con protección anti-corrosiva y carcasa en PRF. Todos los componentes que entran en contacto con el agua y/o aire húmedo son protegidos con un revestimiento especial a la prueba de corrosión. El tanque colector del agua debe ser en concreto.

**Datos técnicos y de proyecto (preliminares)**

**TABLA 13**

**DATOS TÉCNICOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO**

Caudal total de agua (aprox.)	753.000 gal/h
Número de celdas	04
Temperatura del agua caliente	104 °F
Temperatura del agua fría	86 °F
Temperatura del bulbo húmedo	78.8 °F
Nivel de ruido por ventilador a 2 m	85 dB
Tiro de aire tipo inducida	
Potencia consumida (por celda)	55 HP
Potencia nominal del motor(por celda)	80 HP
Motor eléctrico tipo TCVE IPW-55 4 Polos 60 Hz	
Perdida de agua por evaporación	1,85%
Perdida de agua por arrastre	0,01%
Presión requerida en la entrada del agua	5,65 mCA
No. de celdas	4



TABLA 14

## MATERIALES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

<b>Estructura</b>	<b>Acero carbono revestido</b>
<b>Carcaza</b>	<b>Plástico Reforzado c/ Fibra de Vidrio</b>
<b>Tanque de agua fría</b>	<b>Concreto</b>
<b>Llenamiento</b>	<b>Polipropileno</b>
<b>Eliminadores de gotas</b>	<b>Polipropileno</b>
<b>Sistema de distribución</b>	<b>Celdas de PVC/PRFV</b>
<b>Ventilador</b>	<b>Cubo de aluminio / Aletas en PRFV</b>

El agua que circula por el condensador de superficie será proveniente de la torre de enfriamiento, la circulación será hecha por medio de dos (02) moto-bombas, una en operación y otra de stand-by. Los datos técnicos de las mismas están presentados como sigue:

**TABLA 15**  
**CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS DE CIRCULACIÓN**  
**DEL CONDENSADOR**

Caudal de agua	<b>753.000 gal / h</b>
Altura manométrica	<b>35,0 m</b>
Rotación nominal	<b>1.150 rpm</b>
Potencia consumida	<b>440 HP</b>
Potencia instalada	<b>530 HP</b>
Motor eléctrico	<b>6 polos 60 HZ</b>

**Costo del Proyecto**

La tabla siguiente muestra el presupuesto estimado para el proyecto:

**TABLA 16**  
**COSTO DEL PROYECTO**

Caldera e instalaciones de vapor	\$ 7,000,000
Turbogenerador Contrapresión - Extracción	\$ 1,270,000
Turbogenerador Condensación	\$ 1,870,000
Torre de enfriamiento	\$ 470,000
Subestaciones eléctricas	\$ 435,000
Instalaciones eléctricas	\$ 1,700,000
Edificios	\$ 500,000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 13,245,000</b>

## **2.4 Beneficios a obtener. Estudio de factibilidad del proyecto**

El proyecto tiene dos beneficios netos: eliminar la necesidad de desalojar el bagazo excedente al final de la zafra y los beneficios inherentes a tener una mayor generación de energía eléctrica.

Con respecto a este segundo, se lo analizó de la siguiente forma: con la incorporación de nuevos equipos, la demanda del ingenio se incrementa de 6 MW a aproximadamente 7 MW, por otro lado, la generación en condiciones normales estará en el orden de 18.5 MW lo cual nos deja un excedente de energía de 11.5 MW.

El destino para estos 11.5 MW estará distribuido de la siguiente manera: 8.5 MW para las empresas filiales al ingenio y la diferencia, es decir, 3 MW para ser vendido al sistema nacional.

El estudio de factibilidad se muestra en el Apéndice A. En el mismo se puede observar lo rentable del proyecto arrojando un Valor Actual Neto de US\$11,359,882 para un período analizado de 10 años así como una Tasa Interna de Retorno de 25.3%.

Visto de esta manera, el proyecto se recupera en un poco menos de 5 años.

## **2.5 Implementación del proyecto**

Aún siendo un proyecto de grandes proporciones, debido a su gran potencial demostrado en el estudio de factibilidad, fue aprobado por los directivos de la empresa, comenzando las actividades para su implementación.

El cronograma que consta en el Apéndice B muestra a breves rasgos los pasos seguidos para el montaje del mismo. La duración del montaje fue de aproximadamente 12 meses calendarios una vez que empezaron a llegar las partes de la caldera. Antes de eso, el tiempo que requirió el fabricante de la caldera para producir las partes fue de 8 meses.



bagazo es un recurso renovable que ayuda a reemplazar el consumo de combustibles fósiles.

### **3.2 Ahorros obtenidos: transporte y energía eléctrica no comprada**

Es poco el tiempo que ha transcurrido desde la implementación del proyecto hasta escribir este documento si embargo, los beneficios se hacen evidentes. Definitivamente se ha empezado con el ahorro de los aproximadamente US\$50,000 que representaba el desalojo del bagazo sobrante.

### **3.3 Ingresos por venta de energía eléctrica**

Del total generado en los 25 días, 1,800,000 KW-h fueron entregados en venta obteniendo ingresos por US\$72,000. Los beneficios son evidentes aún en el poco tiempo que ha sido posible operar. Para las siguientes zafras las expectativas son muy altas.



Lo anterior se traduce en un aumento en la generación de energía de un 208% pasando de generar 6 MW a 18.5 MW con la utilización de grupos turbogeneradores más eficientes que existente anteriormente.

3. El objetivo del proyecto era incrementar los beneficios del ingenio aprovechando de mejor manera la utilización del bagazo. El beneficio que se obtiene del mismo es de US\$3,523,000 anuales lo cual cumple ampliamente con el objetivo.

#### **4.2 Recomendaciones**

No cabe duda de las bondades del proyecto, sin embargo, tal como es usual en ese tipo de empresas, siempre hay que continuar la mejora y por lo tanto nacen las recomendaciones que siguen:

1. Con los equipos instalados en las capacidades especificadas en este documento, se debe buscar la forma de optimizar aún más y obtener mejores réditos del proyecto.
2. Vender más energía eléctrica y la forma de hacerlo es disminuir el consumo energético del ingenio tanto en vapor como en energía eléctrica ya que todo ahorro en ese sentido representa energía que puede ser finalmente vendida.



- 3.** Por esto, es conveniente comenzar con los estudios correspondientes para mejorar los procesos, electrificar accionamientos, pensar en turbinas más eficientes donde existen algunas ya de muchos años y así en adelante.

## APÉNDICES

