



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA PARA UN SISTEMA RECUPERADOR DE CAÑA  
MECANIZADA EN INGENIO MAGDALENA S. A.**

**José Luis Márquez Jiménez**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA UN SISTEMA RECUPERADOR DE CAÑA  
MECANIZADA EN INGENIO MAGDALENA S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOSÉ LUIS MÁRQUEZ JIMÉNEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### PROPUESTA PARA UN SISTEMA RECUPERADOR DE CAÑA MECANIZADA EN INGENIO MAGDALENA S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de marzo de 2015.

  
José Luis Márquez Jiménez

Guatemala 7 de agosto de 2015

Ingeniero  
Roberto Guzmán Ortiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor director:

Respetuosamente, le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA UN SISTEMA RECUPERADOR DE CAÑA MECANIZADA EN INGENIO MAGDALENA S.A.** presentado por el estudiante **José Luis Márquez Jiménez**, carné **2008 19015**, y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su Examen General Público y recomiendo su aprobación para el efecto.

atentamente,

  
Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

---

Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado 3071



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.240.2015

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA UN SISTEMA RECUPERADOR DE CAÑA MECANIZADA EN INGENIO MAGDALENA S.A.** del estudiante **José Luis Márquez Jiménez** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador del Área Complementaria  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, agosto de 2015

Ref.E.I.M.283.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA UN SISTEMA RECUPERADOR DE CAÑA MECANIZADA EN INGENIO MAGDALENA S.A.** del Estudiante **José Luis Márquez Jiménez**, Carné No. **2008-19015** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre de 2015

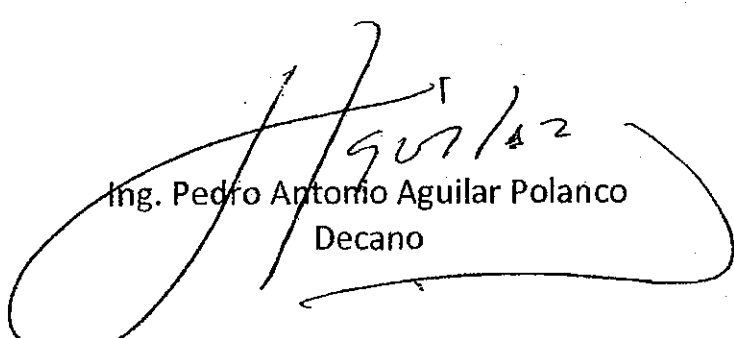
/oej



DTG. 502.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA PARA UN SISTEMA RECUPERADOR DE CAÑA MECANIZADA EN INGENIO MAGDALENA S. A.**, presentado por el estudiante universitario: **José Luis Márquez Jiménez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2015

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por ser el supremo creador del universo y por haber guiado mis pasos desde mis primeros años e iluminar mi mente, dándome conocimiento, entendimiento, sabiduría y convertir lo que en mi niñez era un sueño en una hermosa realidad.

### **Mis padres**

Luis Arnoldo Márquez Vásquez y María Victoria Jiménez Jiménez, por brindarme su amor, cariño, dedicación; sobre todo por apoyarme en todo momento y confiar siempre en mí; hoy con la culminación de esta etapa ven la recompensa de todos sus esfuerzos.

### **Mi hermana**

Diana Maribel Márquez Jiménez, gracias por todos los buenos momentos que hemos pasado juntos y por su cariño incondicional.

### **Mi hijo**

José Daniel Márquez, el regalo más grande que me ha dado Dios. Gracias por tu paciencia, por ser el motorcito que me da la fuerza para seguir adelante y no darme por vencido.

### **Mi familia en general**

Por todas las muestras de cariño y apoyo a lo largo de estos años.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios; porque en esta institución tuve la oportunidad de formarme profesionalmente.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por permitirme ser parte de ella y asimismo ser el camino para llegar hasta el éxito.
<b>Ingenio Magdalena</b>	Por permitirme realizar en sus instalaciones el presente trabajo de graduación, adquiriendo conocimiento, experiencia y amistades.
<b>Ingenieros</b>	Luis Nájera, Edson Gómez, Erick Vela, Pablo de León, Mynor Carranza y Sergio Soto, por su amistad y apoyo, por brindarme el conocimiento para la realización de este trabajo.
<b>Los señores</b>	Jhony Leal, Gledy Boanerges, Carlos Jiménez, Gonzalo Hernández, Rocael García, Juan Carlos Álvarez, Nery Hernández y Julio Pérez, por su amistad, conocimiento, experiencia y apoyo brindado para poder culminar este logro.

**Ing. Carlos Pérez**

Por la asesoría, consejos, apoyo y tiempo brindado para la realización de este proyecto.

**Mis amigos de la  
Facultad**

Fabián Pérez, Luis Herrera, Amaury Villatoro, Hugo Orellana, Pedro García, Daniel Quiñonez, Francisco Orozco, Ricardo Aragón, Kimberlin Ramírez, Andrea Tejeda, Jocelin Leal y Azucena Valdez. Gracias por su apoyo en todo momento, por las anécdotas que hemos compartido juntos y que nunca olvidaré.

**Las familias**

Velásquez Cabrera, García Juárez, Chávez Juárez. Por el apoyo incondicional a lo largo de estos años.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	1
1.1. La empresa.....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Estructura organizacional .....	3
1.2. Plan estratégico.....	5
1.2.1. Visión.....	5
1.2.2. Misión .....	5
1.2.3. Principios .....	5
1.2.4. Valores .....	6
1.2.5. Productos.....	7
1.2.6. Política de gestión .....	8
1.2.7. Política de seguridad y salud ocupacional.....	9
2. ASPECTOS TEÓRICOS A CONSIDERAR .....	11
2.1. Producción de la caña de azúcar .....	11
2.2. Contenido de materias extrañas en la caña de azúcar.....	12
2.2.1. Tallos limpios.....	12
2.2.2. Materia extraña.....	13

2.2.3.	Tierra del campo y suciedad .....	13
2.3.	Cosecha de la caña de azúcar .....	14
2.3.1.	Métodos de cosecha .....	14
2.3.2.	Quema.....	14
2.3.3.	Cosecha mecánica <i>versus</i> cosecha manual .....	15
2.3.4.	Sistema de transporte .....	16
2.3.5.	Descarga de la caña .....	16
2.3.6.	Recepción de la caña.....	16
2.3.7.	Grúa hidráulica .....	16
2.4.	Limpieza tradicional con agua.....	17
2.5.	Sistema de cribado.....	20
2.5.1.	Superficies de cribado.....	20
2.5.1.1.	Chapas perforadas.....	20
2.5.1.2.	Mallas metálicas.....	21
2.5.2.	<i>Trommels</i> .....	21
2.5.3.	Principales factores del cribado.....	21
2.5.3.1.	Dimensión de la malla .....	22
2.5.3.2.	Forma de aberturas .....	23
2.5.3.3.	Dimensión relativa de partícula y abertura .....	24
2.5.3.4.	Ángulo de ataque de las partículas .....	25
2.5.3.5.	Humedad.....	26
2.5.3.6.	Espesor de la capa de material .....	26
2.5.3.7.	Movimiento de la criba .....	27
2.6.	Sistemas de ventilación.....	27
2.6.1.	Ventilador centrífugo .....	28
2.6.2.	Características de funcionamiento de los ventiladores .....	29
2.6.3.	Características de los ventiladores.....	30

	2.6.3.1.	Caudal .....	30
	2.6.3.2.	Presión .....	32
	2.6.3.3.	Rendimiento.....	33
	2.6.3.4.	Leyes del ventilador.....	33
	2.6.3.5.	Variación de la potencia por arrastre de sólidos.....	33
	2.6.3.6.	Variación de potencia por otros factores.....	34
3.		OPERACIÓN DE LIMPIEZA EN SECO DE CAÑA DE AZÚCAR .....	35
	3.1.	Mesas de caña .....	35
		3.1.1. Mesas de alimentación .....	35
		3.1.2. Mesa alimentadora de caña tándem “A” .....	36
	3.2.	Sistema de limpieza de caña en seco .....	39
	3.3.	Especificaciones actuales de funcionamiento .....	42
		3.3.1. Comparación en el consumo de agua .....	45
		3.3.2. Beneficios del ahorro en el consumo de agua .....	47
	3.4.	Propuesta de equipo de recuperación de caña mecanizada ..	47
		3.4.1. Diagrama de flujo del proceso .....	52
		3.4.2. Selección de sistema de ventilación centrífugo .....	53
		3.4.3. Selección de sistema mecánico.....	57
		3.4.4. Especificaciones de instalación. ....	59
4.		ANÁLISIS DE LA PROPUESTA.....	63
	4.1.	Estimación de caña recuperada, ventajas y desventajas .....	63
	4.2.	Concepto general de mantenimiento.....	66
		4.2.1. Mantenimiento preventivo.....	66
		4.2.2. Mantenimiento correctivo.....	67

4.2.3.	Mantenimiento en sistema recuperador de caña mecanizada .....	68
4.2.4.	Mantenimiento en época de reparación .....	68
4.2.4.1.	Mantenimiento de mesa tándem A.....	68
4.2.4.2.	Mantenimiento de rodillos principales ..	73
4.2.5.	Mantenimiento en época de zafra .....	75
CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES .....		81
BIBLIOGRAFÍA.....		83

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama del Ingenio Magdalena, S. A. ....	4
2.	Políticas de gestión .....	8
3.	Política de seguridad y salud ocupacional .....	9
4.	Tipos de abertura para cribado .....	23
5.	Detalle de aberturas de cribado. ....	24
6.	Influencia de inclinación de la criba.....	25
7.	Tipos de aspas de impulsor para ventiladores centrífugos. ....	29
8.	Características típicas de funcionamiento de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia adelante .....	31
9.	Características típicas de funcionamiento de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia atrás .....	31
10.	Cadena tipo <i>Rivetless</i> .....	37
11.	Mesa alimentadora de caña tándem “A” .....	38
12.	Mesa alimentadora de caña tándem “A” con sistema de limpieza en seco.....	42
13.	Descarga de caña de azúcar sobre mesa conductora. ....	43
14.	Nivelador de caña de azúcar.....	44
15.	Vista lateral del sistema de rodillos principales .....	45
16.	Caña mecanizada pasando por el proceso de limpieza en seco .....	48
17.	Cantidad de caña mecanizada que se pierde en el proceso de limpieza en seco .....	49
18.	Plano de ubicación para la instalación de un sistema recuperador de caña mecanizada. ....	50



19.	Área disponible para la instalación de un sistema de recuperación de caña mecanizada.....	50
20.	Detalle de área disponible para la instalación de un sistema recuperador de caña mecanizada.....	51
21.	Diagrama de flujo del proceso de un sistema recuperador de caña mecanizada .....	52
22.	Sistema de ventilación para recuperación de caña mecanizada .....	56
23.	<i>Trommel</i> con criba .....	58
24.	Sistema mecánico para la recuperación de caña mecanizada .....	59
25.	Vista lateral de tambor con criba .....	60
26.	Detalle de acople de motorreductor y corona .....	61
27.	Detalle en 3D de acople de motorreductor y corona.....	61
28.	Sistema recuperador de caña mecanizada.....	62
29.	Vista en 3D del sistema recuperador de caña mecanizada .....	62

## TABLAS

I.	Consumo de agua por lavado en mesa receptora en zafra 2009 – 2010.....	19
II.	Cantidad de agua ahorrada en zafra 2011 - 2012 y 2012 - 2013 .....	46
III.	Ahorro total de agua durante las zafras 2011 - 2012 y 2012 - 2013 .....	46
IV.	Selección de ventilador centrífugo.....	53
V.	Indicadores de recuperación de caña mecanizada.....	64
VI.	Ficha de seguimiento para recuperación de caña mecanizada .....	65
VII.	Ficha técnica de mantenimiento en época de reparación en mesa del tándem A.....	69
VIII.	Ficha técnica de mantenimiento en época de reparación de rodillos principales del tándem A.....	74

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>hp</b>	Caballos de potencia
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>g caña</b>	Gramos de caña
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/mm<sup>2</sup></b>	Kilogramo sobre milímetro cuadrado
<b>kW</b>	Kilowatts
<b>Lb/Tc</b>	Libra por tonelada caña
<b>MW</b>	Mega watts
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metro cúbico sobre segundos
<b>m/s</b>	Metro sobre segundos
<b>msnmm</b>	Metros sobre el nivel medio del mar
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mmcda</b>	Milímetros de columna de agua
<b>mm Hg</b>	Milímetros de mercurio
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje
<b>in Hg</b>	Pulgadas de mercurio
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>Tn</b>	Tonelada
<b>Tc</b>	Tonelada caña
<b>TM</b>	Tonelada molida

**ton/m<sup>2</sup>**

Tonelada por metro cuadrado

**ton/m<sup>3</sup>**

Tonelada por metro cúbico

**WF**

Viga de acero perfil "I" o "H" según *standard* americano

## GLOSARIO

<b>ASAZGUA</b>	Asociación de Azucareros de Guatemala.
<b>Bagazo</b>	Es el residuo de la caña molida en uno molino o de un tándem, que sirve como combustible para alimentar las calderas.
<b>Cabrestante</b>	Es un dispositivo mecánico, rodillo o cilindro giratorio, impulsado manualmente, por una máquina de vapor, un motor eléctrico o hidráulico, con un cable o una cuerda que sirve para arrastrar, levantar y desplazar objetos o grandes cargas.
<b>Cachaza</b>	Es un residuo en forma de sedimento, obtenido en el proceso de la producción de azúcar. Su composición presenta valores relativamente altos de carbono, fósforo y calcio, que lo hacen un recurso aprovechable en la fertilización de cultivos (principalmente caña de azúcar) y mejoramiento de suelos.
<b>Caña mecanizada</b>	Sistema en el cual se realiza toda la labor totalmente con máquinas cosechadoras que cortan, trocean, limpian y alzan la caña de azúcar.

<b>Capilaridad</b>	Propiedad de un sistema sólido-líquido, manifestado por la tendencia del líquido a subir o bajar por la pared del sólido del nivel del líquido restante.
<b>Chapa</b>	Lámina de metal que se utiliza para las construcciones mecánicas.
<b>Chumacera</b>	Tipo de cojinete deslizante que tiene movimiento ya sea oscilatorio o rotatorio, en conjunto con el muñón con el que opera.
<b>Cogollos</b>	Es la parte interior, tierna y más apretada de las hortalizas.
<b>Corona</b>	Es un elemento dentado utilizado en transmisiones, sea en un engranaje o en una transmisión por cadena.
<b>Criba</b>	Es un utensilio que se emplea para limpiar y separar materiales de las hojas, polvo y otros sólidos no deseados con que se haya mezclado.
<b>Guardamotor</b>	Es un interruptor especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobreintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores.

<b>Herbácea</b>	Es una planta que no presenta órganos decididamente leñosos. Los tallos de las hierbas son verdes y mueren generalmente al acabar la buena estación, siendo sustituidos por otros nuevos si la hierba es vivaz.
<b>Lubricante</b>	Sustancia grasa o aceitosa que se aplica a ciertas piezas mecánicas para que el rozamiento sea menor.
<b>Maza</b>	Es un rodillo de hierro fundido especialmente para hacer el proceso de compresión de la caña.
<b>Melaza</b>	Líquido más o menos viscoso, de color pardo oscuro y sabor muy dulce, que queda como residuo de la fabricación del azúcar de caña.
<b>Pateador</b>	Es un eje rotativo lento provisto de brazos radiales; es el encargado de levantar y golpear la caña contra una lámina y así desprender gran cantidad de tierra; se encuentra ubicado en la parte superior de la mesa alimentadora de caña.
<b>Peine</b>	Es una pieza de hierro fundido que en uno de sus lados tiene dientes, cuyo fin es limpiar el rayado de las mazas.
<b>Pol</b>	Es la sacarosa contenida en una disolución, expresada como porcentaje, determinado analíticamente por un sacarímetro o polarímetro.

<b>Potencia</b>	Cantidad de trabajo que se efectúa por unidad de tiempo.
<b>Ratio</b>	Es la relación de transmisión de un tren de engranajes, también conocido como su relación de velocidad, es la relación de la velocidad angular del engranaje de entrada a la velocidad angular del engranaje de salida.
<b>RACs</b>	Residuos agrícolas de la cosecha cañera.
<b>Rodamiento</b>	Elemento mecánico formado por elementos rodantes, que ayuda a la disminución de la fricción.
<b>Sacarosa</b>	Popularmente conocida como azúcar común, se encuentra formada por la combinación de glucosa y de fructosa.
<b><i>Sprocket</i></b>	Rueda o cilindro dentado empleado para transmitir un movimiento giratorio o alternativo desde una parte.
<b>Tándem</b>	Línea de producción de los ingenios azucareros, donde se lleva a cabo la extracción del jugo.
<b>Torque</b>	Efecto giratorio que produce una fuerza aplicada a un cuerpo provisto de un eje.

<b>Turbo generador</b>	Equipo utilizado para la generación de energía eléctrica. El término turbo se aplica en su nombre porque es impulsado por una turbina, y el término generador porque el dispositivo impulsado por la turbina es llamado generador (generador eléctrico).
<b>Trash</b>	Se le llama así a los residuos de la caña de azúcar; pueden ser de origen mineral (piedras, tierra, arcilla, ente otros) y vegetal (hojas, cogollos, entre otros).
<b>Trommels</b>	Se compone de un tambor cilíndrico perforado que normalmente se eleva en un ángulo en el extremo de alimentación. Es utilizado para separar materiales de distintos tamaños.
<b>Zafra</b>	Es el tiempo de cosecha de la caña de azúcar; la cual es transportada hacia el ingenio, donde se realiza el proceso de fabricación del azúcar.





## RESUMEN

En la cosecha del 2010 el Ingenio Magdalena S. A. tomó la decisión de cambiar el proceso de limpieza de caña de un sistema húmedo a uno en seco. Entre las muchas razones para hacerlo estuvo el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos* (Acuerdo Gubernativo 236 - 2006).

Este Acuerdo Gubernativo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales estableció una serie de estándares y procedimientos en la materia que se debían de cumplir, por lo que el Ingenio Magdalena tuvo que buscar otras formas de operar. Además, la demanda del agua y su descarga en los afluentes era un problema que se daba una vez utilizada para limpiar la caña. Otros problemas estaban relacionados con el desgaste de los equipos tales como el daño a las calderas por exceso de materia extraña no combustible, y la materia que ingresaba a la fábrica.

Por tal razón en la zafra 2010 - 2011 se instaló un sistema de limpieza en seco en las mesas de descarga; sin embargo pudo notarse que cuando la caña es cortada mecánicamente, grandes cantidades de canutos se filtran entre la luz existente entre los discos que forman parte de los rodillos del sistema de limpieza en seco; por tal razón se realiza la propuesta de un sistema recuperador de caña mecanizada, que será capaz de retornar al proceso de fabricación de azúcar toda la materia prima que actualmente se pierde y a la vez separar las hojas provenientes de la caña para ser utilizadas como biocombustible en las calderas; asimismo separar la tierra adherida a la caña de azúcar y ser devuelta al campo.



# OBJETIVOS

## General

Realizar una propuesta para un sistema recuperador de caña de azúcar mecanizada en el Ingenio Magdalena, S. A. que permita eficientar en un 80 % la producción de azúcar sin dañar significativamente el medio ambiente.

## Específicos

1. Determinar la situación actual del Ingenio Magdalena, S. A. así como su expansión y la forma en la que beneficia el desarrollo del país.
2. Evaluar el proceso actual, los métodos, variables y factores a tomar en cuenta para la limpieza de la caña de azúcar.
3. Comprender la forma de operación de limpieza en seco de la caña de azúcar y realizar una propuesta eficiente para la situación actual.
4. Identificar la factibilidad de la propuesta para mejorar la productividad de la empresa, utilizando las hojas provenientes de la caña de azúcar como una alternativa de biocombustible.



## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar se produce en más de cien países y constituye un cultivo de gran importancia en su gestión económica. Es un cultivo con una producción de biomasa que le da un lugar privilegiado en cuanto a la protección del medio ambiente, por su alta eficiencia en el proceso de fotosíntesis.

Paradójicamente, los métodos de cosecha de la caña están orientados a aprovechar solo los tallos de la planta, dejando el resto en el campo, en el mejor de los casos como residuos agrícolas de la caña (RACs), generalmente quemados antes del corte en aras de alcanzar alta productividad en la cosecha, y por la poca asistencia al desarrollo de tecnologías para el corte mecanizado de la caña, la recolección, la preparación y la manipulación de los RACs, para el aprovechamiento integral de la caña.

Cuando la caña es quemada para el corte, o cuando los RACs son quemados en las instalaciones de limpieza, se produce una contaminación del medio ambiente por diseminación de cenizas, humos y gases tóxicos, que amenazan a la población aledaña con enfermedades broncorrespiratorias, que afectan la calidad de vida del hombre, las plantas y los animales.

Los RACs, compuestos por hojas verdes y secas, cogollos y cañas no recuperables, una vez preparados representan un valioso recurso natural, renovable anualmente, abundante y propio para la industria de los derivados, como alimento animal, energía, fertilizantes, entre otros, con incidencia favorable en la protección del medio ambiente y alta rentabilidad económica.

En un plan a futuro sostenible, Guatemala tiene como objetivo la eliminación de la quema de caña, la mecanización completa de la cosecha de la caña verde (corte y limpieza en seco) y la disminución de la quema de combustibles fósiles en la producción de energía eléctrica; por este motivo el Ingenio Magdalena ha instalado un sistema de limpieza en seco en las fábricas, para la limpieza de la caña y el aprovechamiento de la materia vegetal como combustible para mayor producción de energía eléctrica.

El sistema de limpieza en seco instalado en el Ingenio Magdalena está formado por un juego de rodillos principales que consiste en un grupo de ejes con discos que giran en una misma dirección formando un tamiz, dejando pasar únicamente tierra, piedras, hojas y algún objeto extraño que pueda recoger la caña al ser cortada.

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de proponer un sistema eficiente, que sea capaz de recuperar y evitar pérdida de canutos de caña en la separación de *trash* (se le llama así a las impurezas que trae la caña, que pueden ser de origen vegetal o mineral) en mesas de caña para obtener beneficios en producción de azúcar, mediante la instalación de un equipo para la recuperación de canutos de caña mecanizada. La meta es recuperar el 80 % de caña que se pierde en *trash*.

Dicha propuesta se realizará en tándem A como plan piloto, ya que allí es donde se muele el 80 % de toda la caña mecanizada que maneja el Ingenio. Según datos de laboratorio de caña, del total de *trash* que trae la caña mecanizada, un 3 % es caña moledera, del cual el 60,5 % correspondiente a canutos de caña, lo que hace que el 1,82 % de caña mecanizada se pierda en el *trash*. La cantidad en peso de canutos caña que se espera recuperar con 80 % de eficiencia es de 7 945 toneladas anuales.

# **1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

La información del presente capítulo tendrá como finalidad brindar la información correspondiente acerca del Ingenio Magdalena S. A.

## **1.1. La empresa**

El Ingenio Magdalena, S. A. es una empresa agroindustrial dedicada a la producción de azúcar y sus derivados (alcohol, melaza y energía eléctrica). Este ingenio cuenta con 4 unidades de negocio (operación, comercialización, administración y financiera).

### **1.1.1. Historia**

A comienzos de los años 80, Ingenio Magdalena es reubicado en la finca Baganvilla km 99,5 carreteras a Sipacate, La Democracia Escuintla, (localización actual). Anteriormente, el Ingenio estaba instalado en la finca Magdalena, de la cual se deriva su nombre, ubicada en la aldea El Rodeo, Escuintla. Inicialmente, dedicaba su operación a producción de mieles como materia prima para fabricación de licor.

Con el cambio de administración se inicia una etapa de crecimiento continuo. Se adquirió un tándem de molinos a Central Guánica, Puerto Rico, sustituyendo los molinos iniciales, alcanzado las 18 200 TM de azúcar durante este período.



Durante la zafra de 1990 – 1991 se alcanzó una producción de 53 792 TM de azúcar, con una plantación de 5 550 hectáreas.

En los años siguientes se innovan los sistemas de corte, alojamiento de cortadores y sistemas de transporte; se completa la instalación de los molinos 5 y 6 del tándem de Guánica y se adicionan terceras mazas. Además, comienzan incipientemente las inversiones para un programa de cogeneración.

En el período de 1994 a 1996 se duplica la producción de la zafra de 1990 - 1991, alcanzando una producción de 105 855 TM de azúcar. En la fábrica se inicia una nueva ampliación con la adquisición de un nuevo tándem de molinos adicionales, con capacidad de 9 200 TM, elevando la molienda a 16 000 TM de caña molida por día.

En el 2005 se logró una expansión en el área agrícola de 1 570 nuevas hectáreas, sumando una cobertura total de 36 000 hectáreas de plantación de caña; además se incrementó en riego cubriéndose 56 % del área del cultivo.

La fábrica amplía sus instalaciones con un tándem adicional de molinos con una capacidad de 9 200 TM diarias de molienda. Con esta instalación, Magdalena es el primer ingenio de la región que cuenta con tres tándems de molinos, y en energía se instala una planta adicional de cogeneración con capacidad de 30 MW.

Se instalaron de líneas de transmisión 230 kW construcción e instalación de subestación de interconexión de 230 kW en el municipio de Siquinalá, Escuintla. Asimismo un turbo de 45 MW y una planta termoeléctrica de 45 MW (zafra 2008 - 2009).

En el 2012, se inaugura la nueva planta de generación de energía eléctrica adicionando 60 MW a la capacidad instalada del ingenio y se inicia la instalación de un domo para almacenar azúcar refino con una capacidad de 76 mil Tn.

En el 2013 se inicia la instalación de una nueva caldera con un turbogenerador para aumentar la capacidad instalada en la planta de energía. Se finaliza la construcción del domo de azúcar.<sup>1</sup>

### **1.1.2. Estructura organizacional**

El organigrama del Ingenio Magdalena, S. A. contiene información representativa de una organización hasta determinado nivel jerárquico; a esta clasificación se le denomina por su ámbito organigrama general.

Por su contenido, se puede decir que es un organigrama integral, ya que representa todas las unidades administrativas y productivas de una organización, así como sus relaciones de jerarquía o dependencia.

Por su ámbito, es general, porque contiene información representativa de una organización hasta determinado nivel jerárquico, según su magnitud y características.

Por su presentación, es un organigrama vertical, el cual muestra las unidades ramificadas de arriba hacia abajo a partir del titular en la parte superior, desagregando los diferentes niveles jerárquicos en forma escalonada.

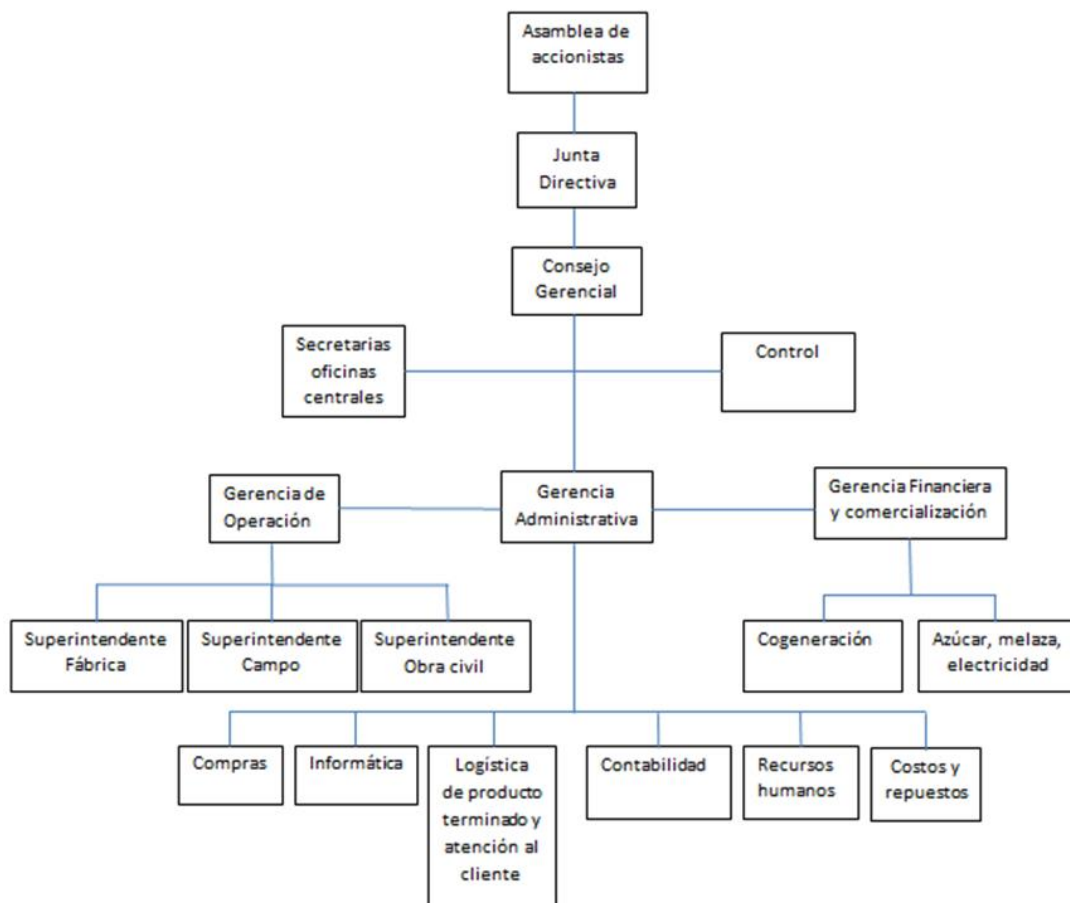
---

<sup>1</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_historia](http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page_historia). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

La relación de este organigrama es lineal (relación principal de autoridad lineal) ya que transmite la autoridad y responsabilidad correlativa a través de una sola línea, establece una relación de subordinado entre las diversas unidades.

La departamentalización es de tipo funcional, ya que los departamentos están divididos por funciones básicas y responde a reunir los cargos de acuerdo con la similitud de tareas que se desarrollan en los mismos.

Figura 1. **Organigrama del Ingenio Magdalena, S. A.**



Fuente. Departamento de Recursos Humanos, Ingenio Magdalena S. A.

## **1.2. Plan estratégico**

Toda empresa, para su funcionamiento necesita un plan estratégico, para la obtención de mejores resultados en un marco de calidad y desempeño.

### **1.2.1. Visión**

“Desarrollamos con innovación y eficiencia productos alimenticios, agrícolas y energéticos para mejorar la calidad de vida de las persona”.<sup>2</sup>

### **1.2.2. Misión**

“Somos una empresa agroindustrial líder, que a través de la eficiencia, rentabilidad, crecimiento, diversificación de nuestras actividades y creación de fuentes de trabajo, satisfacemos las necesidades de nuestros clientes con productos de calidad”.<sup>3</sup>

### **1.2.3. Principios**

“Dios: sabemos que en Él y por Él somos. Es nuestra inspiración para tomar decisiones y para la correcta administración de los recursos con que nos ha provisto.

Trabajo: nuestra realización se basa en el sentimiento de logro y metas cumplidas, nos permite dejar un legado a través del tiempo, con el que vemos crecer a nuestra gente y nuestro país.

---

<sup>2</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_mision](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_mision). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

<sup>3</sup> *Ibíd.*

Familia: motivo y razón que nos impulsa a lograr nuestros ideales trabajando con honradez, dedicación y visión; en ella cultivamos nuestros valores y principios por los que trascendemos, contribuyendo al desarrollo de los nuestros y la sociedad.

Patria: es la que engrandecemos con nuestro esfuerzo diario en su desarrollo y de quien nos enorgullecemos por su riqueza, belleza natural, tradiciones y costumbres”.<sup>4</sup>

#### **1.2.4. Valores**

“Responsabilidad: actuamos con pleno conocimiento de nuestras obligaciones, sintiendo como propios los objetivos de la organización, procurando el bien y asumiendo las consecuencias de nuestros actos con un verdadero compromiso por contribuir con el progreso del país.

Integridad: obramos con rectitud y con probidad, basados en la transparencia de nuestros actos para cumplir con los compromisos acordados, apegados a nuestra visión y principios, siempre buscando la superación constante con esfuerzo positivo, sin el deterioro de otros.

Servicio: somos confiables. Nos entregamos con dedicación para lograr la satisfacción y confianza de nuestros colaboradores, clientes, accionistas, proveedores y comunidades, valorando y construyendo nuestra relación con ellos”.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_principios](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_principios). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

<sup>5</sup> Ibíd.

### 1.2.5. Productos

“Azúcar (refina, morena y vitaminada): el azúcar, producto líder de Magdalena Tierra Dulce, ha mostrado una creciente demanda, la cual ha llevado a extender las plantaciones considerablemente. Como efecto positivo se ha generado oportunidad de empleo y mercado”.<sup>6</sup>

“Alcohol: Ingenio Magdalena, como productor de caña de azúcar, aprovecha cada uno de los derivados de este cultivo, lo que permite la optimización de los recursos y la diversificación de los mismos. Basados en este sistema, se producen alcoholes y gases (extracción de CO<sub>2</sub> y metano) utilizando la melaza (miel no cristalizable) como materia prima”.<sup>7</sup>

“Energía: ante la oferta disponible y la demanda energética en Guatemala, se creó una ventana para contribuir al mercado energético. Esto motivó la exploración de nuevas alternativas y la inversión en la construcción de una planta de cogeneración, que funciona a través de la combustión de bagazo de caña de azúcar”.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_azucar](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_azucar). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

<sup>7</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_alcohol](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_alcohol). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

<sup>8</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_energia](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_energia). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

### 1.2.6. Política de gestión

En Ingenio Magdalena existe el compromiso de lograr la satisfacción de los clientes, a través de:

- Productos que cumplen sus necesidades y expectativas
- El desarrollo de una cultura de servicio
- La mejora continua de capacidades humanas y tecnológicas
- El desarrollo del entorno social y ambiental

“Este compromiso es la base para la rentabilidad y sostenibilidad del negocio”.<sup>9</sup>

Figura 2. Políticas de gestión



Fuente. Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_gestion](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_gestion). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

<sup>9</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_gestion](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_gestion). Consulta: 18 de noviembre de 2014.

### 1.2.7. Política de seguridad y salud ocupacional

El Ingenio Magdalena está comprometido en asegurar un ambiente laboral sano y seguro, enfocado en la prevención de lesiones y enfermedades ocupacionales a través de:

- Participación activa de los colaboradores
- Cumplimiento de los requisitos legales aplicables
- Cumplimiento de compromisos para la satisfacción de clientes
- La mejora continua en cada actividad para asegurar nuestros recursos y activos <sup>10</sup>

Figura 3. Política de seguridad y salud ocupacional



Fuente. Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_seguridad](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_seguridad) Consulta: 18 de noviembre de 2014.

---

<sup>10</sup> Ingenio Magdalena S. A. [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_seguridad](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_seguridad). Consulta: 18 de noviembre de 2014.





## **2. ASPECTOS TEÓRICOS A CONSIDERAR**

El presente capítulo tiene la finalidad de describir la producción y procesos de limpieza de la caña de azúcar.

### **2.1. Producción de la caña de azúcar**

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño, que se cultiva en países tropicales y subtropicales; constituye una de las principales actividades económicas de Guatemala, debido a la diversidad de productos finales que de ella se derivan. Para el cultivo de la caña de azúcar, se pueden identificar tres grandes grupos de actividades que se realizan en el campo:

- Siembra
- Manejo de plantación
- Cosecha

El azúcar es un endulzante de origen natural, sólido, cristalizado, constituido esencialmente por cristales disueltos de sacarosa, obtenidos a partir de la caña de azúcar. La caña de azúcar tiene entre 8 y 15 % de sacarosa. La caña es sometida a un proceso de molienda de donde se obtiene el jugo de la caña.

El azúcar se puede clasificar por su grado de refinación. Normalmente la refinación se expresa visualmente a través del color (azúcar moreno, blanco y refino), y por el porcentaje de sacarosa que contienen los cristales.

La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos. La nueva planta o retoño crece a partir de cogollos o yemas de los nudos de tallo, asegurando así una descendencia uniforme.

La producción de la caña varía significativamente de un área a otra, dependiendo de la variedad, factores climáticos, disponibilidad de agua, formas de cultivo y la duración del tiempo de crecimiento.

Generalmente no se requiere volver a sembrar caña luego de cada cosecha, sino que se deja crecer de nuevo para producir una siguiente cosecha, denominada soca o rebote. La producción de la caña se reduce después de varias socas, llegando a un punto en que se debe arar y sembrar caña nuevamente, lo que se conoce como renovación. Generalmente la duración de la temporada de molienda o zafra se da durante el principio del mes de noviembre hasta finales del mes de mayo, y es determinada por condiciones meteorológicas, principalmente la lluvia.

## **2.2. Contenido de materias extrañas en la caña de azúcar**

A continuación se mencionan las principales causas que afectan la calidad del azúcar y la necesidad de implementar nuevas formas para reducir impurezas provenientes del corte de la caña de azúcar.

### **2.2.1. Tallos limpios**

La composición de la caña depende de un gran número de factores, influyendo la edad de la caña, las condiciones de cultivo y crecimiento, el uso de madurantes y enfermedades.

### **2.2.2. Materia extraña**

Las hojas y cogollos son considerados como materia extraña, pero también lo es todo lo demás que sea entregado con la caña incluyendo hojas, suelo del campo, suciedad, rocas y pedazos de hierro; estos materiales son todos perjudiciales, pero generalmente no se miden.

Sin embargo, en varios lugares se han hecho intentos por medir hojas y cogollos y estimar el suelo con base en análisis de ceniza y caña. Estas mediciones han sido hechas con el propósito de mejorar la calidad de la caña entregada a la fábrica de azúcar.

### **2.2.3. Tierra del campo y suciedad**

La tierra en la caña, no es medida directamente en la mayoría de industrias azucareras, debido a que no es fácil hacerlo. Sin embargo, este tiene un efecto muy significativo sobre los costos en las fábricas de azúcar, siendo por lo tanto un factor importante en el costo de producción de azúcar.

Todos los sólidos no solubles de caña se definen como fibra, de manera que el suelo en la caña es considerado para efectos analíticos como fibra. El único método que brinda una medida confiable del suelo en la caña es el análisis de ceniza.

Una cantidad excesiva de tierra en la caña aumenta los costos de mantenimiento, conduce a incrementar las pérdidas de sacarosa, reduce la capacidad de molienda y de las calderas, además de acarrear un mayor uso de combustibles suplementarios.

## **2.3. Cosecha de la caña de azúcar**

Las labores de cosecha se realizan a partir del mes de noviembre hasta finales de abril, período que coincide con la época seca.

### **2.3.1. Métodos de cosecha**

La cosecha de la caña se realiza manualmente o con máquinas cosechadoras. Aproximadamente el 80 % de la caña de azúcar del mundo todavía se cosecha a mano, pero hay industrias en nuestro país en las cuales la caña de azúcar es cosechada mecánicamente y está incrementando progresivamente. Hay muchas razones que explican por qué en países productores de azúcar han implementado sistemas mecánicos de cosecha. Estas incluyen el desinterés o escasez de cortadores para cosechar la caña, altos costos de los jornales y bajo rendimiento laboral.

### **2.3.2. Quema**

El más simple, y probablemente más efectivo método de reducción del material no deseado en la caña es la quema antes o después de la cosecha. Este método ha sido usado en el mundo por muchos años. Así la contaminación por humo y partículas aéreas se incrementan ante un rechazo público, y se vio que la caña quemada se deterioraba más rápido que la caña sin quemar. Fue estimado que del 1 % al 2 % de la sacarosa en la caña es perdido como resultado del lavado.

Esta actividad facilita la labor del cortador aumentando su eficiencia toneladas/días/hombre y disminuye la cantidad de basura, permitiendo mayor

rendimiento de azúcar por toneladas de caña. Se toman en cuenta las normas del país divulgadas por la Asazgua.

### **2.3.3. Cosecha mecánica *versus* cosecha manual**

En muchos países con bajos costos de mano de obra, es aún más económico cosechar la caña manualmente. En casos donde la topografía incluye terrenos inclinados y montañosos, la cosecha mecánica no es viable porque las máquinas cosechadoras no pueden ser usadas en este tipo de terrenos. En la mayoría de casos, el corte manual conduce a menos pérdidas en el campo y mejor calidad de caña que la cosecha mecánica. Con cosecha manual, la caña se corta y se apila en hileras o chorras. Las hojas y cogollos pueden ser removidos por el cortero antes de apilar la caña; en otros casos la caña es descollada cuando se encuentra tendida en el suelo.

La cosecha manual puede incluir el uso de alzadoras mecánicas. La carga manual conduce siempre a mejor calidad de caña con menos limitación respecto de las condiciones del campo, pero es cada vez menos común. Con carga mecánica, el modo de operación de la alzadora es importante, pues una operación incorrecta puede causar que grandes cantidades de suelo del campo y rocas sean cargados con la caña. Esto es particularmente importante cuando la caña en hileras es amontonada a empujones. Alternativamente los corteros pueden formar pequeñas pilas de caña en los campos, minimizando la posibilidad de recoger cantidades excesivas de suelo y rocas.

#### **2.3.4. Sistema de transporte**

La caña se entrega usando distintos tipos de cargadores y vehículos. Estos pueden incluir tractor y remolque, camiones con un solo o varios vagones conocidos comúnmente como jaulas.

#### **2.3.5. Descarga de la caña**

La caña trozada generalmente se almacena en los vagones o remolques y puede ser manipulada con menos material perdido por caída, además, los trozos fluyen más fácilmente, con una menor propensión a formar atascamientos y tacos que son particularmente frecuentes con tallos de caña entera.

#### **2.3.6. Recepción de la caña**

La caña de azúcar se transporta a través de diversos medios al ingenio. Posteriormente, es pesada en básculas anexas a la fábrica y se descarga en las mesas alimentadoras por medio de grúas cañeras, grúas-puente, grúas hidráulicas, volteadores laterales u otros equipos. Las mesas son colocadas lateralmente y en ellas se hace la limpieza de la caña de azúcar, con el fin de eliminar la arena y tierra proveniente del campo. Esta área recibe el nombre de *batey*.

#### **2.3.7. Grúa hidráulica**

Disponen de un cabrestante hidráulico, constituyen una herramienta de gran utilidad en el ámbito de la logística, las operaciones de carga y descarga.

Las grúas hidráulicas cuentan con una serie de ventajas, vinculadas fundamentalmente a su potencia, peso y seguridad.

Básicamente es un dispositivo mecánico que aprovecha energía hidráulica para su funcionamiento, consta de una parte fijada al piso vinculada a un brazo móvil; este último es el encargado de elevar la carga; estas dos partes de la grúa son accionadas por uno o más pistones hidráulicos que son los que en realidad ejercen la fuerza necesaria. En muchos países de Latinoamérica a las grúas que utilizan cabrestante se les denomina malacates.

#### **2.4. Limpieza tradicional con agua**

Los grandes volúmenes de agua que pueden ser consumidos en la limpieza (lavado) de caña, extracción de jugo, los subsecuentes procesos en la producción de vapor para el proceso y generación de energía, reportan que la caña cosechada puede requerir de 1 800 kg de agua por tonelada de caña limpia. El agua es el material más usado en muchos ingenios azucareros para la limpieza de la caña; sin embargo no es el más efectivo, ya que se pierde sacarosa en este proceso.

Ventajas de lavar con agua la caña de azúcar:

- Mayor Porcentaje de efectividad de limpieza: este proceso tiene mayor porcentaje de efectividad refiriéndose a la limpieza de la caña en cuanto a la eliminación de agentes extraños en la caña.
- Reducción de impurezas minerales en el proceso: en el proceso de lavado, el agua se encarga de remover la tierra, piedras y partículas



metálicas que ésta contenga al momento que se reciba en la mesa de recepción.

- Menor consumo de insumos: lavando la caña de azúcar con agua, evita que el desgaste de las piezas mecánicas sea menor.
- Costos de mantenimiento: debido a que el desgaste de piezas mecánicas son menores, los paros de producción para mantenimiento serán menores, con esto se evita el tiempo perdido por mantenimientos correctivos.
- Volumen de cachaza: incremento de la capacidad de la fábrica al reducir la cantidad de materia extraña.

Desventajas de lavar con agua la caña de azúcar:

- Alto consumo de agua de una fuente natural: la fábrica debe tener acceso a una fuente externa de agua para el proceso, por lo general es un río; esto ocurre cuando se carece de circuitos diseñados para el manejo del agua. El agua proporcionada al proceso por el río no es retornada en su totalidad, y lo que se retorna es la que sirve para lavados dentro de la fábrica.
- Daño al medio ambiente por la quema de la caña: la caña es quemada en el campo para la eliminación de hojas; estas hojas quemadas provocan una gran cantidad de ceniza en el aire que puede abarcar un radio bastante grande de donde se está efectuando esta labor, aparte provoca elevación de temperatura en el campo de terreno que se practica la quema.

- Pérdidas en el proceso: la cantidad de azúcar que se elimina en el lavado de caña con agua en las mesas alimentadoras es aproximadamente de 800 ppm.

Tabla I. **Consumo de agua por lavado en mesa receptora en zafra 2009 – 2010**

<b>CONSUMO DE AGUA EN ZAFRA 2009 - 2010</b>		
	<b>CAÑA MOLIDA (Tonelada)</b>	<b>CONSUMO DE AGUA (m<sup>3</sup>)</b>
<b>1 hora</b>	1 375	3 902
<b>1 turno 8 horas</b>	11 000	31 218
<b>1 día zafra (24 horas)</b>	33 000	93 654

Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

En la zafra 2009 - 2010 se molió un total de 5 644 478,63 toneladas de caña, por lo que el consumo total de agua fue de 16 019 030,35 m<sup>3</sup>.

Siendo esta la zafra de mayor consumo de agua del Ingenio Magdalena; a partir de este impacto ambiental, el ingenio decidió en las siguientes zafras innovar su sistema de limpieza de la caña en las mesas, e implementar un sistema de limpieza en seco, reduciendo con esto el consumo de agua a partir de la zafra 2011 - 2012.

## **2.5. Sistema de cribado**

El cribado se define como una operación de clasificación por tamaño de fragmentos de dimensiones y formas variadas, obligándolos a enfrentarse a una superficie con aberturas (superficie de cribado) que permitirá el paso de aquellos granos con dimensiones inferiores al tamaño de la abertura (pasante) y reteniendo o rechazando aquellos otros con un tamaño superior a la dimensión de la abertura (rechazo).

### **2.5.1. Superficies de cribado**

Las cribas están compuestas por una superficie de cribado con una serie de agujero y un conjunto mecánico que le produce una oscilación.

#### **2.5.1.1. Chapas perforadas**

Se emplean en aquellas situaciones donde la superficie de cribado debe ser capaz de resistir tamaños de material importantes, dando una mayor vida de servicio que el uso de mallas metálicas.

Presentan menor superficie libre que las mallas metálicas, pero mayor precisión de cribado y menores problemas de cegamiento.

Las perforaciones efectuadas en las chapas pueden ser de diferentes formas y tamaños (redondas, cuadradas, rectangulares con esquinas redondas o cuadradas, hexagonales, entre otros).

### **2.5.1.2. Mallas metálicas**

Las mallas o telas metálicas están formadas por un conjunto de alambres tejidos de forma que las aberturas que proporcionan son cuadradas o rectangulares.

El tejido y luz de abertura es variado y debe evitar las deformaciones de las mallas bajo la acción de las vibraciones y los impactos de los granos de material.

### **2.5.2. Trommels**

Los *trommels* son tambores cilíndricos constituidos por una armadura cilíndrica perforada o por paneles de malla ensamblados, por los que pasarán aquellos granos de dimensiones inferiores.

El rechazo es transportado a través de su interior hasta salir por el extremo del equipo. El movimiento del material se lo proporciona el giro y la inclinación del tambor (en algunos *trommels* se dispone de un resalte concéntrico que facilita el transporte del material).

### **2.5.3. Principales factores del cribado**

En el cribado existe una serie de factores que van a determinar que esta operación se produzca de una manera más o menos rápida: es decir, la velocidad con la que las partículas de dimensiones adecuadas son capaces de atravesar la superficie de cribado. Los principales factores son:

- Dimensión de la malla
- Forma de aberturas
- Dimensión relativa entre las partículas y la malla
- Ángulo de ataque de las partículas
- Humedad
- Espesor de la capa de material
- Movimiento de la criba

### 2.5.3.1. Dimensión de la malla

Anotando que la dimensión de la abertura de la malla viene representada por “a”, se tiene que el número de mallas (hilos) por unidad de superficie de una criba es inversamente proporcional al cuadrado de dicha dimensión, o sea  $a^2$ .

Por otro lado, el peso del material o granos que pasan a través de la malla correspondiente es proporcional al cubo de la abertura de la malla  $a^3$ .

Por lo tanto se deduce de lo anterior que la capacidad de una criba, definiéndose como el peso de material que pasa a través de la malla por unidad de tiempo y por unidad de superficie de cribado, es aproximadamente:

$$P = \frac{a^3}{a^2} = a$$

Donde:

p = peso del material

a = abertura de la malla

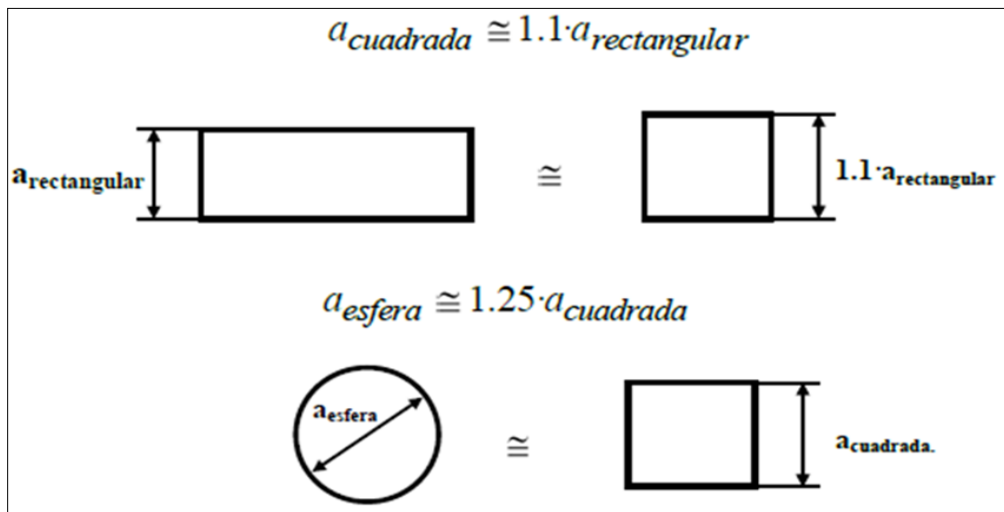
La capacidad de una criba se expresa en toneladas por metro cuadrado hora y por milímetro de abertura de malla.

### 2.5.3.2. Forma de aberturas

La malla de referencia es siempre la malla cuadrada de dimensión “a”. Sin embargo, se ha observado que la forma de las aberturas puede ser diferente a la cuadrada: aberturas circulares (chapas perforadas) y alargadas (chapas perforadas y telas metálicas).

Las aberturas alargadas se pueden tomar como aberturas rectangulares. La conversión de estas formas a la abertura cuadrada de referencia se realiza con los factores que se presentan en la siguiente figura:

Figura 4. Tipos de abertura para cribado



Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena.

[http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod\\_resource/content/1/Tema\\_6\\_-\\_Cribado.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod_resource/content/1/Tema_6_-_Cribado.pdf).

Consulta: marzo de 2015.

El empleo de mallas rectangulares proporciona una mayor superficie libre, lo que da lugar a un incremento de la capacidad de tratamiento por unidad de superficie frente a las de abertura cuadrada.

### 2.5.3.3. Dimensión relativa de partícula y abertura

La probabilidad “P” de que una partícula esférica de diámetro “d”, la cual cae perpendicularmente a la superficie de cribado, pase a través de la malla sin tener en cuenta la posibilidad que rebote sobre los hilos del mallado es:

$$P = \frac{(a-d)^2}{(a+b)^2} = \frac{(a-d)^2}{a^2} \cdot \frac{a^2}{(a+b)^2}$$

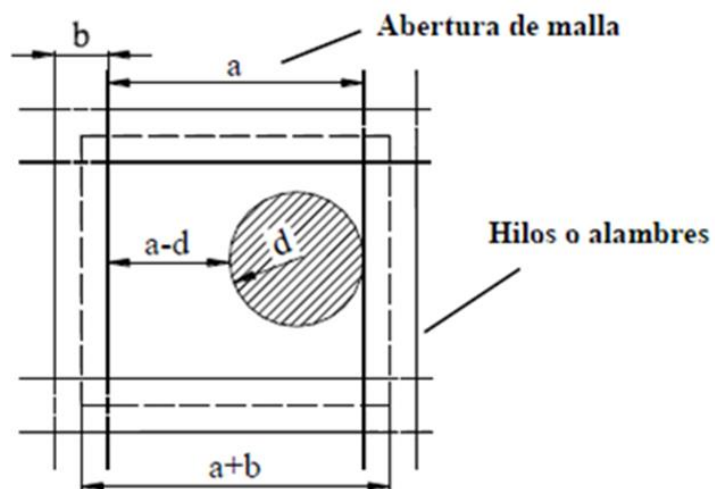
Siendo:

a = dimensión de la malla cuadrada

b = diámetro de los hilos de mallado

d = diámetro de la partícula esférica

Figura 5. Detalle de aberturas de cribado.



Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena.

[http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod\\_resource/content/1/Tema\\_6\\_-\\_Cribado.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod_resource/content/1/Tema_6_-_Cribado.pdf)

Consulta: marzo de 2015.

#### 2.5.3.4. Ángulo de ataque de las partículas

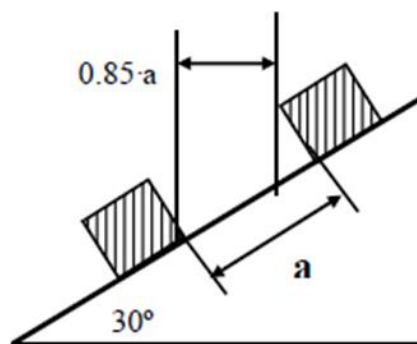
El ángulo de ataque de las partículas o lo que es lo mismo, la inclinación de la criba, tiene una gran influencia sobre la probabilidad de que las partículas pasen a través de la superficie de cribado.

A medida que la inclinación de la criba aumenta, la abertura efectiva disminuye y con ello el tamaño de corte para una misma abertura de malla "a".

A partir de ángulos mayores de  $30^\circ$ , esta influencia se incrementa considerablemente y también con grandes relaciones de  $d/a$ , donde por tanto disminuirá la probabilidad de paso.

Como ejemplo, se puede decir que el corte de una criba de malla cuadrada "a", e inclinada  $30^\circ$  es de  $0,85 \cdot a$ .

Figura 6. Influencia de inclinación de la criba



Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena.

[http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod\\_resource/content/1/Tema\\_6\\_-\\_Cribado.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod_resource/content/1/Tema_6_-_Cribado.pdf).

Consulta: marzo de 2015.



### **2.5.3.5. Humedad**

Este factor es de suma importancia en las operaciones de cribado, pues los materiales completamente secos o completamente húmedos son relativamente fáciles de cribar, pero con un porcentaje de humedad superficial alrededor de 1 %, el cribado se hace de forma dificultosa.

La humedad superficial da lugar a fuerzas de capilaridad entre las partículas que las mantiene unidas, produciéndose fenómenos de cegamiento sobre las telas, o aglomeración de partículas, dando lugar a la formación de mantos.

Por lo tanto, bajos porcentajes de humedad, conllevan a una reducción en la capacidad de cribado y por supuesto, en su eficacia.

### **2.5.3.6. Espesor de la capa de material**

Se sabe que este factor también influye en la velocidad de cribado óptima, existiendo un espesor óptimo que garantiza la máxima rapidez de la operación y una elevada eficacia. El espesor óptimo influye de la siguiente manera:

- Disminución de los rebotes sobre los hilos
- Aprovechamiento de la superficie de cribado
- Aumento de la capacidad del cribado

### **2.5.3.7. Movimiento de la criba**

El movimiento de la criba va a aumentar la probabilidad de que las partículas con un tamaño inferior a la dimensión de la malla, pasen.

Lo que pretende este movimiento es presentar el mayor número de veces la abertura a las partículas aumentando de esta forma la eficacia de cribado.

## **2.6. Sistemas de ventilación**

La ventilación puede definirse como la técnica de sustituir el aire ambiente interior de un recinto, el cual se considera indeseable por falta de temperatura adecuada, pureza o humedad, por otro que aporta una mejora. Esto es logrado mediante un sistema de inyección de aire y otro de extracción, provocando a su paso un barrido o flujo de aire constante, el cual se llevará todas las partículas contaminadas o no deseadas.

Entre las funciones básicas para los seres vivos, humanos o animales, la ventilación provee de oxígeno para su respiración. También puede proporcionar condiciones de *confort* afectando la temperatura del aire, la velocidad, la renovación, la humedad y la dilución de olores indeseables. Entre las funciones básicas para las máquinas, instalaciones o procesos industriales, la ventilación permite controlar el calor, la transportación neumática de productos, la toxicidad del aire o el riesgo potencial de explosión.

Un ventilador consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad, entre otros, y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite energía.

Este propulsor adopta la forma de rodete con álabes, en el caso del tipo centrífugo, o de una hélice con palas de silueta y en número diverso, en el caso de los axiales.

El conjunto, o por lo menos el rodete o la hélice, van envueltos por una caja con paredes de cierre en forma de espiral para los centrífugos y por un marco plano o una envoltura tubular en los axiales. La envolvente tubular puede llevar una reja radial de álabes fijos a la entrada o salida de la hélice, llamada directriz, que guía el aire, para aumentar la presión y el rendimiento del aparato.

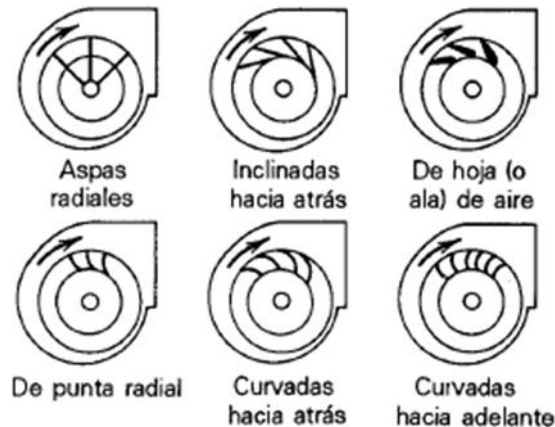
### **2.6.1. Ventilador centrífugo**

Un ventilador centrífugo es un aparato que impulsa el aire a lo largo de su cuerpo, seguidamente es desviado rápidamente en forma radial de dicho eje. El aire se reúne en una carcasa o caracol, y se concentra en una sola dirección.

Estos ventiladores centrífugos pueden subclasificarse en: curvados hacia adelante, radiales, curvados hacia e inclinados hacia atrás, dependiendo de la forma de las aspas del impulsor; además, las aspas curvadas hacia atrás con doble espesor se llaman hoja de aire.

Las aplicaciones de los ventiladores son muy variadas y extensas ya que pueden lograrse presiones de hasta unos 2 600 mm de columna de agua y caudales desde 10 litros por segundo hasta 1 000 m<sup>3</sup>/s.

Figura 7. Tipos de aspas de impulsor para ventiladores centrífugos



Fuente: PITA, Edward. *Acondicionamiento del aire principios y sistemas*. p. 280.

### 2.6.2. Características de funcionamiento de los ventiladores

Existe una resistencia en el flujo de fluidos, originada por la fricción, al flujo de aire que pasa por los ductos. Para vencer esa resistencia se debe suministrar energía al aire, en forma de presión. Esto se obtiene mediante el impulsor rotatorio del ventilador, que ejerce fuerza sobre el aire y origina tanto flujo del aire como aumento de su presión.

Al flujo volumétrico de aire que sale, y la presión que crea el ventilador se les llama características de funcionamiento. Otras características de funcionamiento importantes son la eficiencia y la potencia al freno (BHP, *brake horsepower*, caballos de potencia al freno).

Es útil conocer el funcionamiento del ventilador para su selección correcta y procedimientos adecuados de localización de fallas.

Para describir el funcionamiento de ventiladores se usarán los siguientes símbolos y definiciones:

- CFM = flujo volumétrico, pies cúbicos por minuto
- Hs = presión estática, milímetros columna de agua
- Hv = presión de velocidad, milímetros columna de agua
- Ht = presión total, milímetros columna de agua
- BHP = alimentación de potencia al freno
- N = velocidad, revoluciones por minuto
- d = densidad del aire, kilogramos por metro cúbico
- ME = eficiencia mecánica, caballos de fuerza

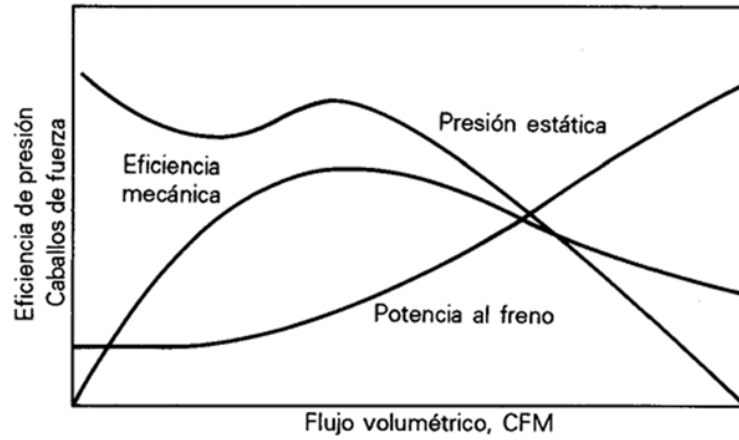
### **2.6.3. Características de los ventiladores**

Un ventilador, de un tipo y tamaño determinado se caracteriza por la relación entre el caudal suministrado, la presión total o estática y la potencia consumida, que determina el rendimiento energético. Estos parámetros se representan mediante curvas características o en tablas de datos. Las curvas características son datos que debe facilitar el fabricante.

#### **2.6.3.1. Caudal**

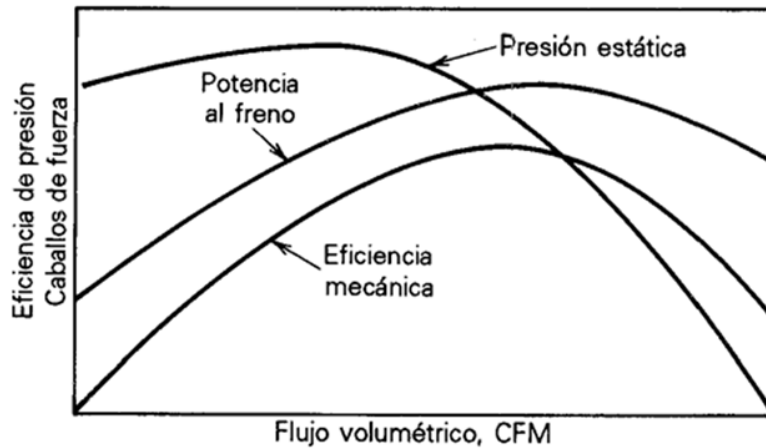
Es el volumen de fluido que circula por el ventilador en la unidad de tiempo. En realidad esta definición es exacta para ventiladores de media y baja presión, pues en los de alta presión debería tenerse en cuenta la compresibilidad del fluido, variando entonces la definición de la siguiente forma: es la masa de aire (o fluido) que circula por el ventilador en la unidad de tiempo, para una masa de aire (o de fluido) en las condiciones normales: temperatura (70 °F), humedad relativa (65 %) y presión (29,92 in Hg).

Figura 8. **Características típicas de funcionamiento de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia adelante**



Fuente: PITA, Edward. *Acondicionamiento del aire principios y sistemas*. p. 281.

Figura 9. **Características típicas de funcionamiento de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia atrás**



Fuente: PITA, Edward. *Acondicionamiento del aire principios y sistemas*. p. 281.

El funcionamiento de los ventiladores se comprende de mejor manera cuando se presenta en forma de gráficas. Las figuras 8 y 9 son curvas típicas de funcionamiento para ventiladores centrífugos con álabes curvados hacia adelante y hacia atrás. Algunas de las características importantes son:

- La presión desarrollada, tanto por los ventiladores de álabes curvos hacia adelante como los curvos hacia atrás, presentan un ligero pico máximo a la mitad del rango de flujos, y a continuación la presión baja cuando aumenta el flujo.
- La potencia (BHP) necesaria en los ventiladores de álabes curvos hacia adelante aumenta bruscamente con el flujo, pero en los álabes curvos hacia atrás aumenta en forma gradual, llega a un máximo, y después disminuye.
- Con frecuencia se puede alcanzar una mayor eficacia máxima con el ventilador de aspas curvas hacia atrás.

### **2.6.3.2. Presión**

Se puede definir la presión como la diferencia algebraica entre las presiones totales medias en las bocas de impulsión y de aspiración, las cuales se expresan en milímetros de columna de agua ( $29,92 \text{ in Hg} = 10,332 \text{ mmcda}$ ); se debería hacer en este momento la distinción entre presión estática y presión dinámica. La primera es la presión interior de un fluido que se halla moviéndose en línea recta, es decir, el valor que indicaría un manómetro que se moviera dentro de la corriente del fluido con la misma velocidad que este.

La segunda es la máxima aceleración de presión que tiene lugar en una corriente de fluido frente al centro de un obstáculo y que equivale a la presión necesaria para la aceleración del fluido desde el estado de reposo a la velocidad que posee en cada momento.

#### **2.6.3.3. Rendimiento**

La calidad aérea y mecánica de un ventilador se juzga por su rendimiento, que se define como el cociente entre la potencia utilizada y la suministrada.

#### **2.6.3.4. Leyes del ventilador**

A las relaciones entre las características de funcionamiento para un ventilador dado, trabajando en condiciones cambiadas, o para ventiladores de construcción similar de diversos tamaños, se les llama leyes de los ventiladores. Estas relaciones son útiles para predecir el funcionamiento cuando las condiciones cambian.

#### **2.6.3.5. Variación de la potencia por arrastre de sólidos**

Normalmente los ventiladores transportan fluidos gaseosos limpios; no obstante, hay casos en los que el fluido, gases o aire, llevan en suspensión determinadas cantidades de materia sólida, tal como el polvo, hojas, sustancias químicas, agua, entre otros, las cuales además de producir en ocasiones un efecto altamente abrasivo dentro del equipo, hacen también que la presión y la potencia necesarias se vean modificadas en cuanto estas materias sólidas pueden aumentar el peso específico del fluido en circulación.



Puesto que se conoce el volumen del fluido en circulación y su peso específico, se determinará el peso real del fluido, al cual se le sumaría el de las materias sólidas arrastradas, obteniéndose así el peso total a transportar, el cual se divide por su volumen para obtener el peso específico de la mezcla.

Una vez conocido el peso específico de la mezcla se puede fácilmente determinar la potencia necesaria, teniendo en cuenta que las potencias absorbidas son directamente proporcionales a los pesos específicos de los fluidos de circulación.

#### **2.6.3.6. Variación de potencia por otros factores**

Como es sabido, con la altitud varía la densidad de los fluidos y lo mismo sucede con la temperatura que modifica dicha densidad. Por tanto deberán tenerse en cuenta tales condiciones a la hora de calcular potencia absorbida.

Cuando la temperatura es elevada, la potencia absorbida es menor, ya que entonces la densidad del aire disminuye.

El disponer de guardamotors apropiados es una buena precaución y el costo del mismo se amortiza rápidamente por la reducción de las posibles averías ya citadas.

### **3. OPERACIÓN DE LIMPIEZA EN SECO DE CAÑA DE AZÚCAR**

El objetivo de este capítulo es presentar una descripción del problema a solucionar respecto de las impurezas provenientes en la caña de azúcar, por lo cual se inicia adquiriendo el conocimiento del proceso limpieza de la misma.

#### **3.1. Mesas de caña**

Son las encargadas de recibir la caña de azúcar y transportarla de manera uniforme para ser limpiada, eliminando así sólidos o materia extraña como la tierra, sales, minerales, piedras y otros que se adhieren a ella en el campo durante el alce a las jaulas que la transportan hacia la fábrica.

##### **3.1.1. Mesas de alimentación**

Las fábricas que manipulan atados de caña normalmente cuentan con una o varias mesas de descarga de caña, sobre las cuales los atados pueden descargarse.

Una o más mesas de caña se descargan sobre conductores transversales o directamente sobre el conductor de caña principal. Es posible entonces alimentar caña al conductor principal a partir de diferentes sistemas de alimentación, logrando que diferentes tipos de entrega de caña puedan ser aceptados mientras que se consigue aún alimentar uniformemente al molino.

Las mesas tienen una cubierta sólida y sistemas de cadena que arrastran la caña hasta la descarga. En la mayoría de casos se requiere de dos o más conductores alimentadores diferentes, para suministrar suficiente caña al sistema de tasas de molienda elevadas. Un nivelador se localiza en la parte superior del conductor; este consiste de un eje rotativo lento, provisto de brazos radiales que aseguran que la caña caiga suavemente desde el extremo de la carga del conductor, evitando así que caiga una gran cantidad de caña junta.

### **3.1.2. Mesa alimentadora de caña tándem “A”**

Es una mesa alimentadora de doble ancho y doble eje motriz en tándem para limpieza en seco eficiente de la caña, con 25 grados de inclinación; esta limpieza en seco se lleva a cabo por el golpeteo de la caña contra un deflector provocado por un eje pateador; la tierra se separa en un conjunto de rodos, la cual se transporta por medio de bandas conductoras hacia el silo de descarga de *trash*, esta mesa está montada de forma perpendicular al conductor auxiliar.

Esta mesa recibe la caña de los camiones por medio de los descargadores y la alimenta al conductor auxiliar.

La estructura de la mesa tiene un área proyectada de 48 pies de ancho por 56 pies de longitud y está fabricada con columnas y vigas WF y forradas con lámina de hierro negro.

Para el arrastre de la caña cuenta con veinticuatro hileras de cadenas tipo *Rivetless*, y tablillas de arrastre fabricadas en angular de 3” x 3/8” x 41”.

Figura 10. **Cadena tipo *Rivetless***



Fuente. Equipment. [http://equipment.cl/site/ver\\_ficha/14](http://equipment.cl/site/ver_ficha/14). Consulta: marzo de 2015.

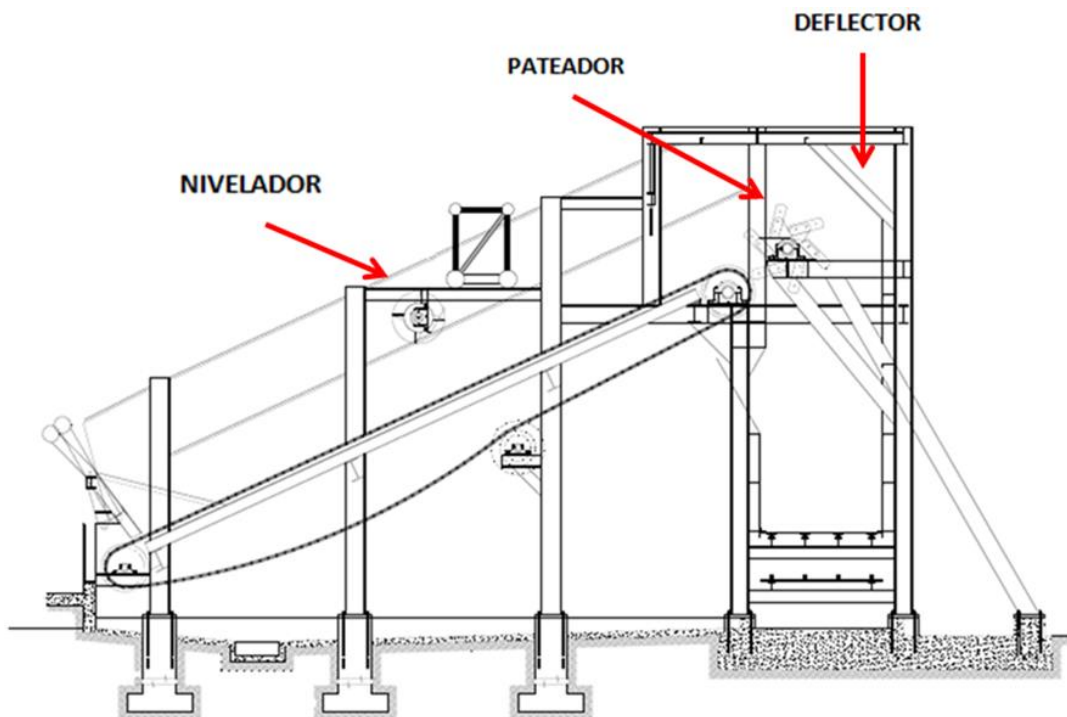
La mesa cuenta con dos ejes motrices fabricados con tubo de hierro de 24", con diámetro cédula 80, en cada uno de los cuales están montados 12 *sprockets* de 8 dientes para cadena; los extremos de los ejes descansan en chumaceras de 5-15/16". También cuenta con dos ejes coleros fabricados con tubo de 20" apoyados en ejes y chumaceras de 4-15/16". Para su accionamiento proporcionado por 2 motores eléctricos de 40 hp de 1 200 rpm con 2 reductores ratio 29:1.

Sobre la mesa está instalado un nivelador de caña de doble eje fabricado con tubo de 20", diámetro cédula 60 y ejes de 5-15/16"; diámetro en los extremos apoyados en chumaceras de bronce. Para su movimiento se utilizan dos motorreductores de 30 hp/1775 rpm y ratio 17:1.

El pateador está fabricado en dos secciones unidas de 30" con diámetro de 24' 4,3/4" de largo para hacer un total de 51'5,1/2" fabricado de tubo cédula 30 de 30" de diámetro con 14 discos de refuerzo interno y eje de 5-15/16" con 500 aspas; el movimiento se realiza con motor eléctrico de 150 hp/1 750 rpm una caja reductora de 150 hp con entrada de 1 750 rpm y salida de 126 rpm, ratio 13.9 con *sprockets* de 21 dientes.

La mesa consta de un conjunto de 36 rodos fabricados con tubo 6", cédula 80 y eje de 2-5/16"; fabricándose rodos tipo A con 85 platos de 12" de diámetro exterior, con lámina de 3/8' y 6" diámetro interno, tipo B con 84 platos; tipo C con 85 platos y tipo D con 85 platos; en los extremos hay 72 chumaceras de pared de 2-15/16", con 24 acoplamientos flexibles con 6 motorreductores de 15 hp, con ratio de 29 a 1 750/60 rpm de entrada/salida.

Figura 11. **Mesa alimentadora de caña tándem "A"**



Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

### **3.2. Sistema de limpieza de caña en seco**

El término limpieza en seco se refiere al uso de equipo mecánico o de ventilación que sea capaz de reducir la materia extraña por técnicas que no sean por quemado o lavado con agua caliente.

Existen ventajas significativas al procesar caña limpia. La limpieza de caña en seco antes del procesamiento parece atractiva en relación con el lavado de caña tradicional, pues las pérdidas de azúcar son inferiores. Los sistemas en uso están diseñados para remover alguno o todos los siguientes elementos: hojas de caña, cogollos, raíces y rastrojos, arena o suelo de campo, bolas de arcilla y piedras. El enfoque más rentable es probablemente proporcionar incentivos al cultivador y operador de la cosechadora para suministrar caña limpia.

Para la limpieza de la caña en seco, el principal objetivo es la reducción del consumo de agua y además disminuir las pérdidas de jugo en el proceso; la cantidad de azúcar que se elimina en el lavado de caña tiene valor medio de 800 ppm de azúcar.

El objetivo primordial de hacer la limpieza de la caña es evitar el desgaste prematuro de los equipos de preparación, además de lograr un alto índice de preparación para luego tener una buena extracción, y por último mandar un bagazo de buena calidad para combustible de las calderas, y enviar jugo lo más limpio posible hacia la fábrica.

Ventajas de la limpieza en seco de la caña de azúcar:

- Reducción de los impactos ambientales: debido a que en la limpieza de la caña de azúcar en seco ya no es necesario un alto consumo de agua en las mesas receptoras, esto reduce el consumo de agua. Tampoco es necesaria la quema de la caña en el campo ya que el sistema de limpieza en seco está diseñado para la remoción de hojas de la caña, raíces y rastrojos, suelo del campo, arenas, arcilla y piedras; con esto se deja de contaminar el aire con cenizas, y se evita la elevación de temperatura que esta labor provoca en el campo de cultivo. El suelo de campo que se retira de la caña con este sistema en la mesa es retornado al campo de cultivo.
- Evita pérdidas por quema de caña de azúcar: la intensidad del daño a la caña durante la quema está en función de la intensidad del fuego. Con esta labor se forman grietas en la corteza de la caña y se provoca tensión, puesto que la quema no mata a la caña sino la lastima. La reacción de la caña frente a la quema es verse en la necesidad de cambiar su metabolismo en forma inmediata, consumiendo o transformando parte de las especies de carbohidratos presentes en su composición. La cantidad de azúcar que se destruye durante la quema es variable. Evaluaciones preliminares indican cambios durante la quema equivalentes a 0,40 a 0,50 unidades Pol caña, aunque los valores indicados presentan alta dispersión en las evaluaciones realizadas.
- Evita pérdidas en lavado en mesas receptoras de caña: un porcentaje del azúcar que trae la caña se elimina por el agua debido al lavado en las mesas, elimina según cálculos 5 libras azúcar/tonelada de caña. Se

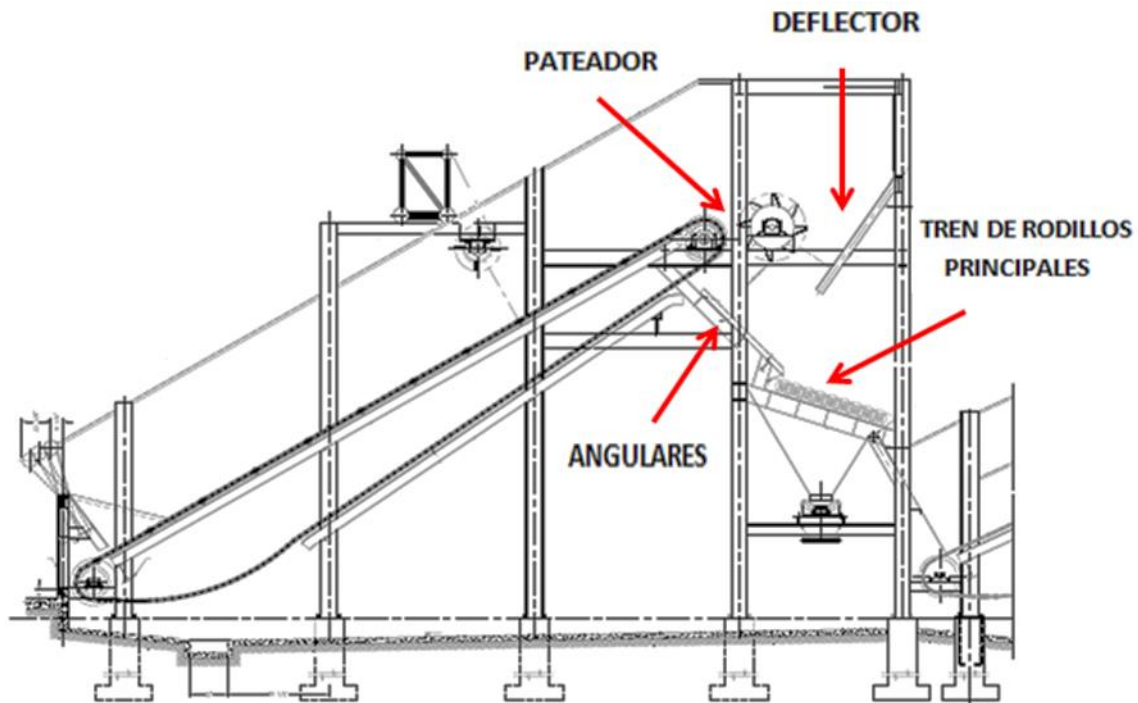
puede decir que la limpieza en seco conlleva a recuperar esa cantidad de azúcar.

Desventajas de implementar la limpieza en seco de la caña de azúcar:

- Costo de instalación de equipo adicional: a la mesa convencional diseñada para lavar la caña de azúcar con agua, se le deben hacer modificaciones debido a que el trabajo de limpieza que hacía el agua, ahora lo hace un eje pateador y una cama de rodillos encargados de retirar de la caña tierra de campo, arena, arcilla, raíces, cogollos y rastrojo; además de implementar un circuito de bandas encargadas de transportar todo este material fuera de la fábrica hacia los camiones encargados de retornarlo al campo nuevamente.
- Mantenimiento y operación: debido a la implementación de nuevos mecanismos a la mesa de recepción de caña, existen más partes mecánicas que sufrirán desgaste y fatiga, por lo tanto se debe intensificar la rutina de mantenimientos. De la misma manera al existir más elementos mecánicos en la mesa.
- Pérdida de materia prima: entre los rodillos de limpieza que se le implementan a la mesa de recepción de caña, existe una abertura equidistante entre uno y otro, en la cual se puede filtrar caña y caer en las bandas encargadas de sacar el material removido en la mesa.



Figura 12. **Mesa alimentadora de caña tándem “A” con sistema de limpieza en seco**



Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

### 3.3. Especificaciones actuales de funcionamiento

El proceso comienza cuando la caña es cortada en el campo, luego es alzada y acomodada en camiones que la transportan hasta el ingenio, es pesada en una báscula para llevar un control de la cantidad de toneladas de caña que se muelen; una grúa hidráulica se encarga de voltear los remolques y dejar caer la caña sobre las mesas de alimentación.

En dichas mesas la caña de azúcar es conducida hasta un nivelador que se localiza en la parte superior del conductor; este consiste en un eje rotativo lento, provisto de brazos radiales que aseguran que la caña caiga suavemente desde el extremo de la carga del conductor, evitando así que haya una gran cantidad de caña junta.

Figura 13. **Descarga de caña de azúcar sobre mesa conductora**



Fuente: mesa receptora de caña, patio de caña, Ingenio Magdalena S. A.

Seguidamente la caña de azúcar es conducida hasta llegar a un pateador, que se encarga de levantarla y golpearla fuertemente contra un deflector y así realizar una prelimpieza ya que de esta manera se puede desprender gran cantidad de tierra que trae la caña, después desciende por unos angulares con una inclinación de 18 grados para después caer sobre un tren de rodillos el cual está formado por 36 ejes con 85 discos el eje macho y 84 discos el eje hembra cada uno de ellos giran en una misma dirección, cada disco tiene un

ancho de 3/4" y un diámetro de 12-3/8" , debido a este mecanismo los discos se traslapan entre sí dejando un espacio que permite la formación de un colador que deja pasar hojas, tierras, arenas y piedras pequeñas que trae la caña, pero se ha logrado observar que cuando la caña trae una longitud de 6" se filtra dentro de este tren de rodos y dicha caña es conducida por una banda transportadora junto con las impurezas que trae la caña y posteriormente es regresada al campo.

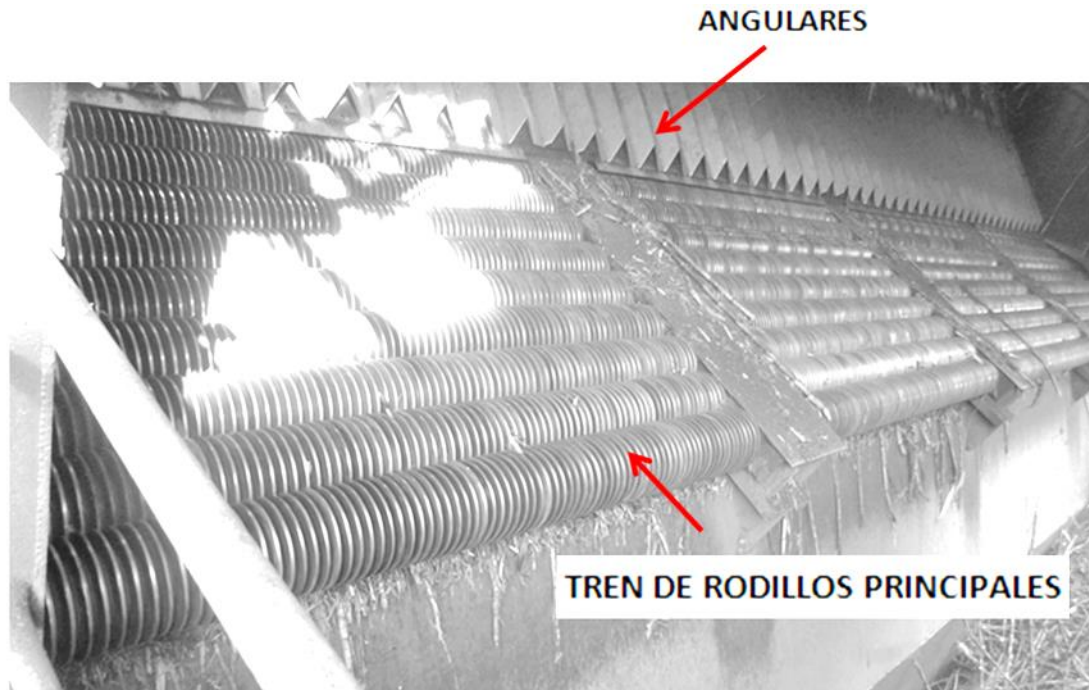
Figura 14. Nivelador de caña de azúcar



Fuente: mesa receptora de caña, patio de caña, Ingenio Magdalena S. A.

Actualmente se tienen instalados 4 bloques con 9 ejes y 6 motores eléctricos de 7,5 hp cada uno; esto quiere decir que cada motor hace girar 6 ejes, los cuales están unidos por transmisión de *sprockets* y cadena.

Figura 15. **Vista lateral del sistema de rodillos principales**



Fuente: mesa receptora de caña, patio de caña, Ingenio Magdalena S. A.

### 3.3.1. **Comparación en el consumo de agua**

El consumo de agua ha sido notorio al cambiar el sistema de lavado de caña húmedo al lavado de caña en seco. En cada zafra el Ingenio Magdalena ha ido incrementando la capacidad de molienda, y con esto se hubiera incrementado el consumo de agua para lavado de la caña, la implementación de la limpieza en seco conlleva reducir totalmente este consumo de agua.

La tabla que se presenta a continuación muestra la cantidad de agua que se ha ahorrado desde la zafra 2011 - 2012.

Tabla II. **Cantidad de agua ahorrada en zafra 2011 - 2012 y 2012 - 2013**

	Zafra 2011 - 2012		Zafra 2012 - 2013	
	Caña molida (Tn)	Cantidad de agua ahorrada (m <sup>3</sup> )	Caña molida (Tn)	Cantidad de agua ahorrada (m <sup>3</sup> )
<b>1 hora</b>	1 521,74	4 318,69	1 634,45	<b>4 638,57</b>
<b>1 turno 8 horas</b>	12 173,92	34 549,58	13 075,60	<b>37 108,55</b>
<b>1 día zafra 24 horas</b>	36 521,76	103 648,75	39 226,80	<b>111 325,65</b>

Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

Tabla III. **Ahorro total de agua durante las zafras 2011 - 2012 y 2012 - 2013**

Zafra	Caña molida (Tn)	Ahorro de agua (m <sup>3</sup> )
<b>2011-2012</b>	5 871 872,52	16 664 374,21
<b>2012-2013</b>	6 930 375,82	19 668 406,58
<b>Total agua ahorrada</b>		<b>36 332 780,79</b>

Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

### **3.3.2. Beneficios del ahorro en el consumo de agua**

La implementación del sistema de limpieza en seco de la caña de azúcar es de beneficio productivo para el ingenio y para el medio ambiente. A continuación se enumeran los impactos ambientales más importantes:

- Reducción del consumo de agua: el Ingenio Magdalena S. A. actualmente tiene la capacidad de moler 42 000 toneladas diarias de caña de azúcar, los cálculos del agua que se está ahorrando con esta relación de molienda es de 119 196 m<sup>3</sup> diarios, mitigando así el impacto ambiental producido por el desperdicio de este recurso natural.
- Recuperación en el proceso: al limpiar en seco la caña de azúcar en la mesa de descarga, se reducen las pérdidas de sacarosa provocadas por el agua, recuperando aproximadamente de 5 libras de azúcar por tonelada de caña lavada.
- Conservación del suelo: ya que se puede procesar la caña sin necesidad de quemarla, se está ayudando a conservar el suelo o la tierra para cultivar, evitando las altas temperaturas a las que se somete en el momento de la quema. De la misma manera se evita la contaminación del aire con la ceniza de las hojas de la caña quemadas.

### **3.4. Propuesta de equipo de recuperación de caña mecanizada**

Como plan piloto se estaría haciendo una propuesta para recuperar caña mecanizada en el tándem "A", ya que es aquí donde llega el 80 % de dicha caña, para la elaboración del azúcar.

Para hacer esta propuesta se hizo un estudio de las formas de limpieza de caña en seco que más se utilizan en las industrias azucareras, siendo las más efectivas el sistema de limpieza por ventilación y el mecánico. Por tal motivo se plantea una idea donde se unen estos dos sistemas de limpieza de caña.

Este sistema será utilizado únicamente cuando la caña sea cortada mecánicamente, ya que cuando la caña es a granel no es tanto el problema de canutos que se puedan filtrar en los rodillos principales y posteriormente son desechados.

Figura 16. **Caña mecanizada pasando por el proceso de limpieza en seco**



Fuente: mesa receptora de caña, patio de caña, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 17. **Cantidad de caña mecanizada que se pierde en el proceso de limpieza en seco**



Fuente: bandas transportadoras de *trash*, patio de caña, Ingenio Magdalena S. A.

A continuación se muestra una imagen que detalla la ubicación de la mesa alimentadora del tándem “A”, así como su respectiva banda transportadora de *trash* y la ubicación para un sistema recuperador de caña mecanizada.



Figura 18. **Plano de ubicación para la instalación de un sistema recuperador de caña mecanizada**

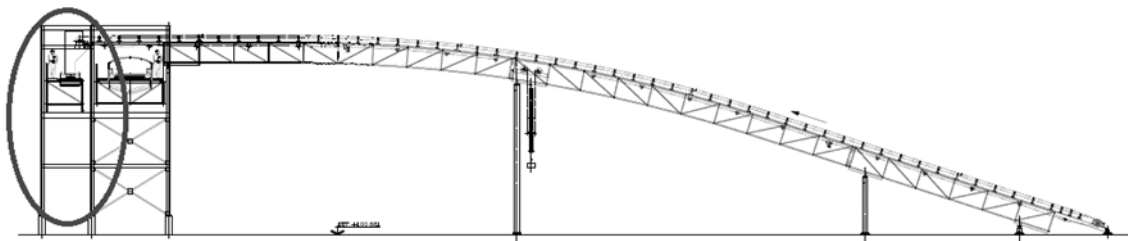


Fuente: Ingenio Magdalena S. A.

[www.google.com.gt/maps/dir//Ingenio+Magdalena/@14.1025363,-91.1997356,21549m/](http://www.google.com.gt/maps/dir//Ingenio+Magdalena/@14.1025363,-91.1997356,21549m/).

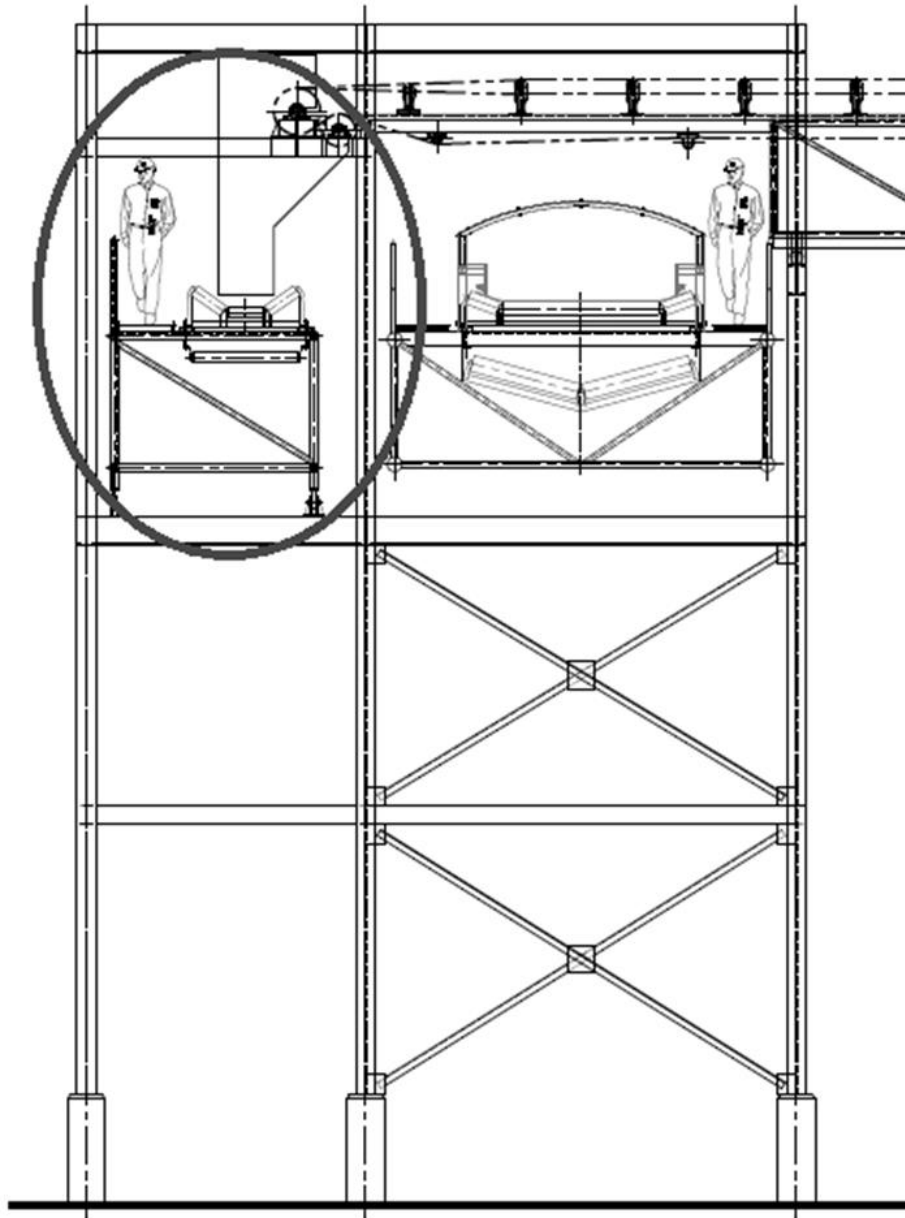
Consulta: 14 de diciembre 2014.

Figura 19. **Área disponible para la instalación de un sistema de recuperación de caña mecanizada**



Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 20. **Detalle de área disponible para la instalación de un sistema recuperador de caña mecanizada**

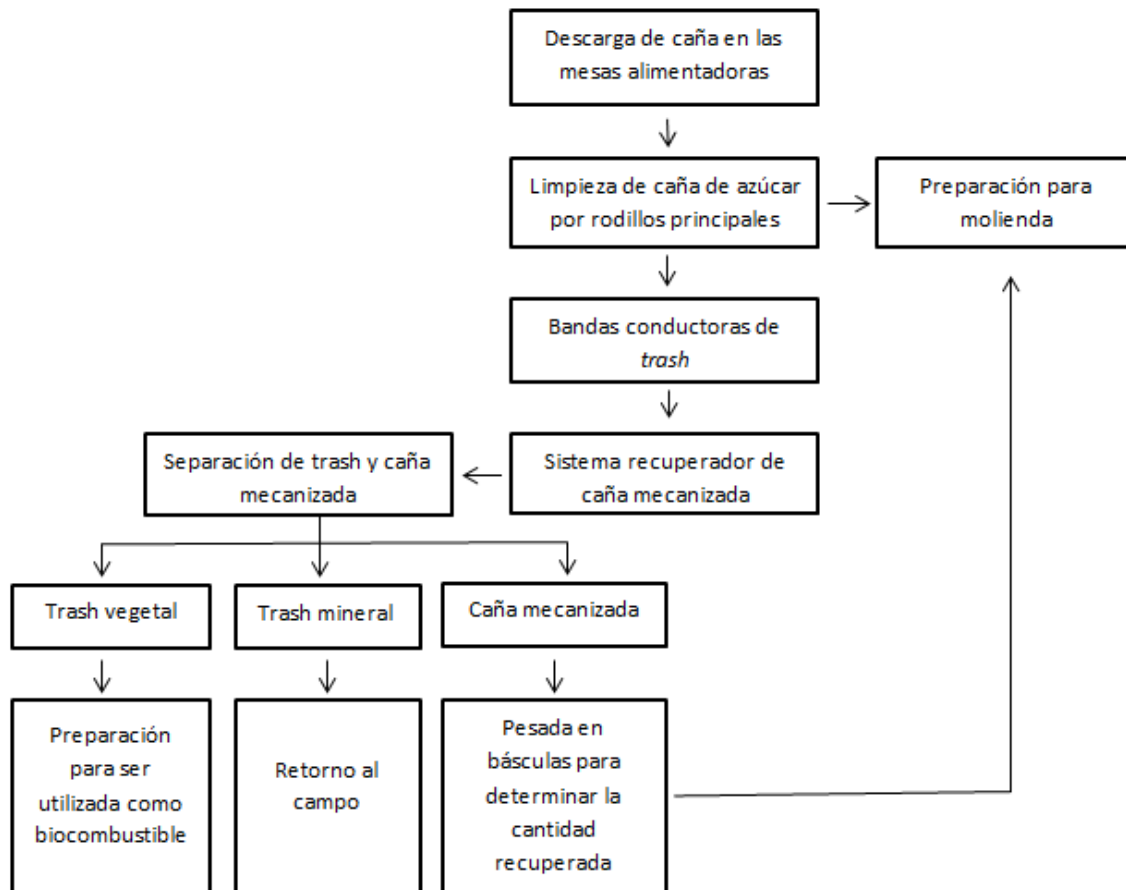


Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

### 3.4.1. Diagrama de flujo del proceso

El siguiente diagrama de flujo indica de una forma más sencilla el análisis del proceso de recuperación de caña de azúcar, ya que presenta los pasos a seguir de una manera gráfica y de esta forma es más fácil comprender dicho proceso.

Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de un sistema recuperador de caña mecanizada



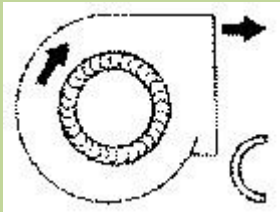
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

### 3.4.2. Selección de sistema de ventilación centrífugo

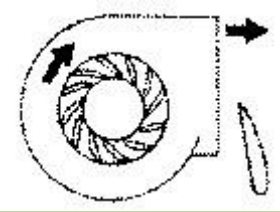
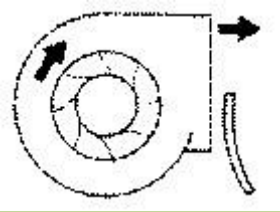
En diferentes industrias de limpieza de materiales se utilizan los sistemas de ventilación para dicho trabajo, en esta propuesta se utilizará un ventilador centrífugo, el cual será el responsable de realizar la separación de hojas provenientes de la caña de azúcar y conducir las hasta una cámara de expansión donde serán almacenadas para luego ser procesadas.

A continuación se muestra una tabla con los posibles tipos de ventiladores centrífugos que pueden ser utilizados para este sistema; también hay que tomar en cuenta que el municipio de La Democracia, Escuintla, se encuentra a una altura aproximada de 165 msnmm y a una temperatura promedio de 25 °C.

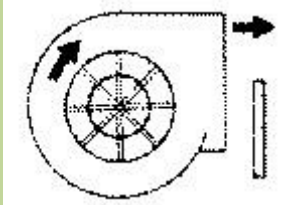
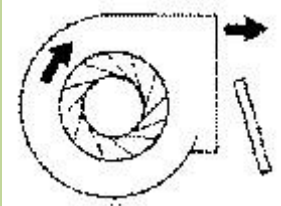
Tabla IV. Selección de ventilador centrífugo

Ventilador	Descripción	Aplicación
Curvadas hacia adelante 	Rotor con palas curvadas hacia adelante, apto para caudales altos y bajas presiones. No es autolimitante de potencia. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.	Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión.

Continuación de la tabla IV.

<p><i>Airfoil</i></p> 	<p>Similar al anterior pero con palas de perfil aerodinámico. Es el de mayor rendimiento dentro de los ventiladores centrífugos. Es autolimitante de potencia.</p>	<p>Es utilizado generalmente para aplicaciones en sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y aplicaciones industriales con aire limpio. Con construcciones especiales puede ser utilizado en aplicaciones con aire sucio.</p>
<p><i>Radial tip</i></p> 	<p>Rotores de palas curvadas hacia delante con salida radial. Son una variación de los ventiladores radiales pero con mayor rendimiento. Aptos para trabajar con palas antidesgaste. Son autolimpiantes. La potencia aumenta de forma continua al aumento del caudal.</p>	<p>Como los radiales, estos ventiladores son aptos para trabajar en aplicaciones industriales con movimiento de materiales abrasivos, pero con un mayor rendimiento</p>

Continuación de la tabla IV.

<p>Palas radiales</p> 	<p>Rotor de palas radiales. Es el diseño más sencillo y de menor rendimiento. Es muy resistente mecánicamente, y el rodete puede ser reparado con facilidad. El diseño le permite ser autolimpiante. La potencia aumenta de forma continua al aumentar el caudal.</p>	<p>Empleado básicamente para instalaciones industriales de manipulación de materiales. Se le puede aplicar recubrimientos especiales antidesgaste. También se emplea en aplicaciones industriales de alta presión.</p>
<p>Inclinadas hacia atrás</p> 	<p>Rotor de palas planas o curvadas inclinadas hacia atrás. Es de alto rendimiento y autolimitador de potencia. Puede girar a velocidades altas.</p>	<p>Se emplea para ventilación, calefacción y aire acondicionado. También puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo.</p>

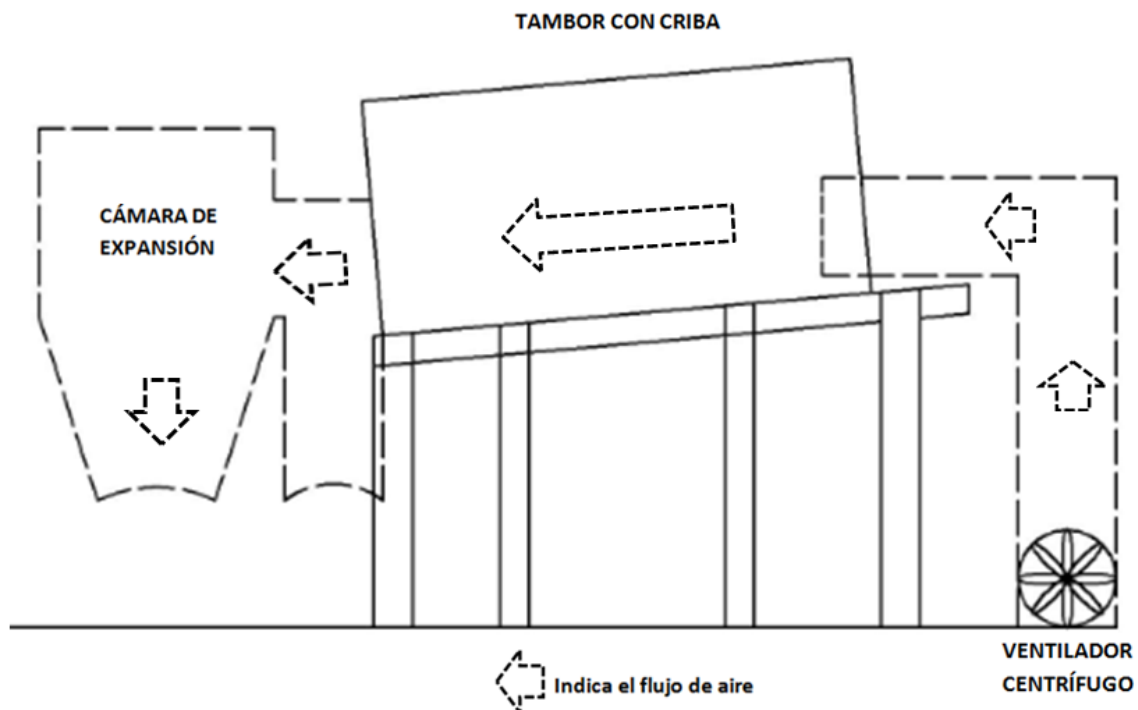
Fuente: Chicago Blower Corporation.

[http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria\\_de\\_los\\_ventiladores.htm](http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm).

Consulta: marzo de 2015.

Una vez seleccionado el tipo de ventilador centrífugo que se desea utilizar, este será el encargado de conducir un flujo de aire que aprovechará la caída de canutos de caña desde la tolva alimentadora hacia tambor con criba, para realizar la separación de las hojas y conducir las hasta una cámara de expansión donde se almacenan, para después ser transportadas hacia un picador de hojas y de esta manera ser utilizadas como biocombustible.

Figura 22. **Sistema de ventilación para recuperación de caña mecanizada**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

### 3.4.3. Selección de sistema mecánico

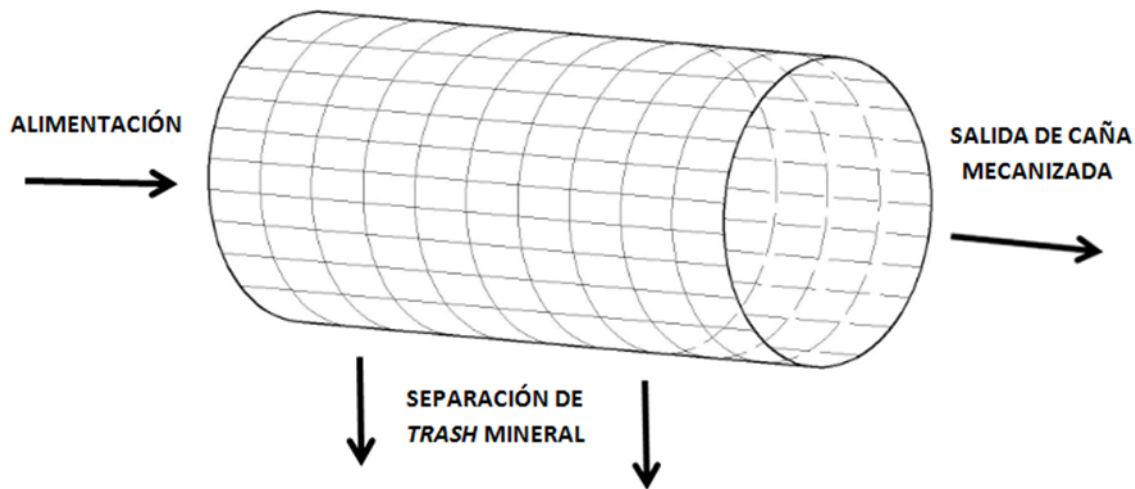
Para hacer la propuesta del sistema mecánico que sea capaz de limpiar y a la vez recuperar la caña mecanizada se utilizará un *trommel* con criba rotatoria; esta es regularmente usada en la clasificación y proceso de lavado de materiales, y es aplicable para materiales secos o húmedos, ya que hace una selección en relación con el tamaño del material de desecho a la entrada, el cual es recuperado por un equipo de transporte mecánico.

La máquina está equipada con un cilindro con huecos cuyos tamaños (diámetros) pueden variar de acuerdo con las necesidades requeridas; permite la separación del material con tamaño mayor al diámetro de las perforaciones, de aquellos de dimensión más pequeña (que pasa a través de los agujeros) y continua a la parte restante en proceso.

El material está en constante movimiento en la dirección longitudinal y radial de la rotación del cilindro, que tiene una inclinación a lo largo y en dirección a la zona de descarga. Durante el paso por la criba (de la zona de carga a la zona de descarga), las partes del material con un tamaño más pequeño que los orificios (piedras, tierra, o pequeños pedazos de metal, entre otros), pasan del tambor y llegan a una tolva con bandas de recolección del material de desecho. El resto del material que en este caso sería canutos de caña, se descargan por la boca de salida y se recupera por un sistema de almacenamiento; previamente se pesa la cantidad de caña recuperada y después se procesa.



Figura 23. **Trommel con criba**

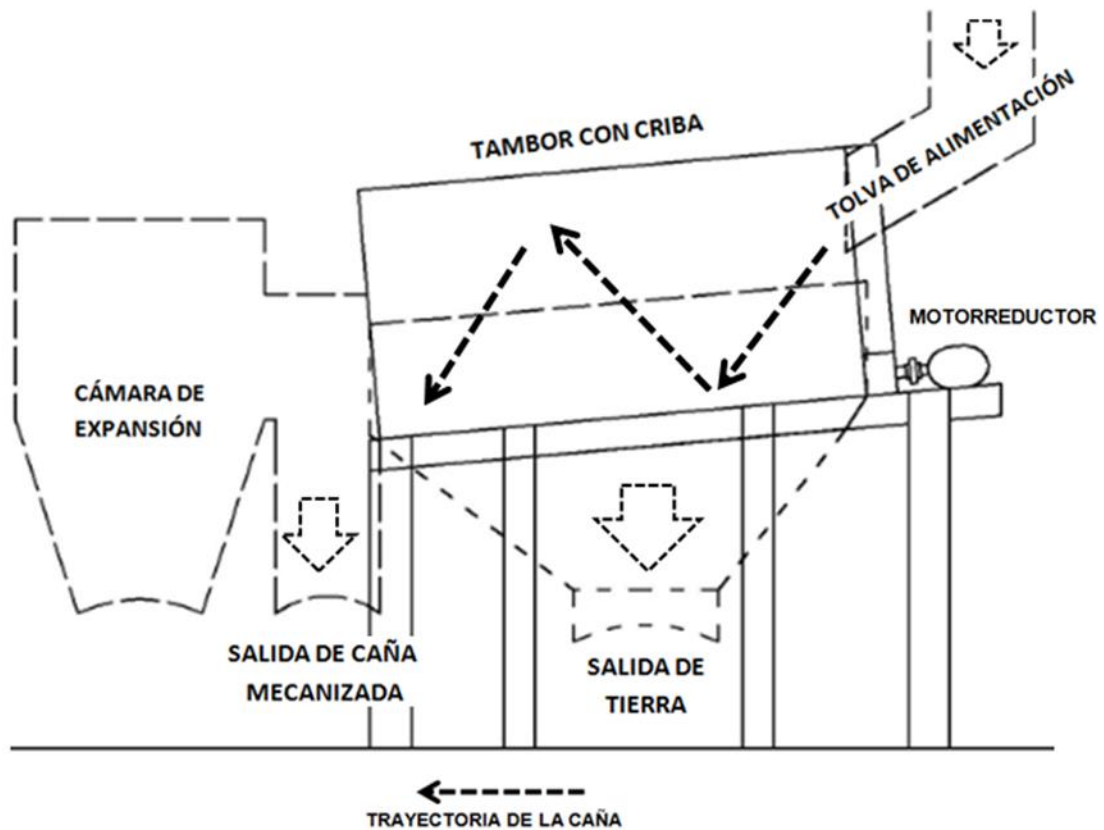


Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

El *trommel* con criba es fácil de instalar, mantener, operar; genera poco ruido y baja cantidad de polvo durante la operación. Requiere de un pequeño espacio y de una pequeña inclinación en su instalación; presenta una operación firme y alta eficiencia de tamizado.

El motorreductor es el encargado de hacer que el tambor gire. El tambor rotatorio debe de ser instalado en cierto ángulo de inclinación, el cual gira sobre un eje con rueditas y chumaceras, debido a la inclinación y rotación del tambor, los materiales en la superficie de la criba se volcarán y moverán. Así, los materiales calificados pasarán por la malla de la criba y serán recolectados, los canutos de caña no calificados serán descargados por el extremo final del tambor rotatorio.

Figura 24. Sistema mecánico para la recuperación de caña mecanizada



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

#### 3.4.4. Especificaciones de instalación.

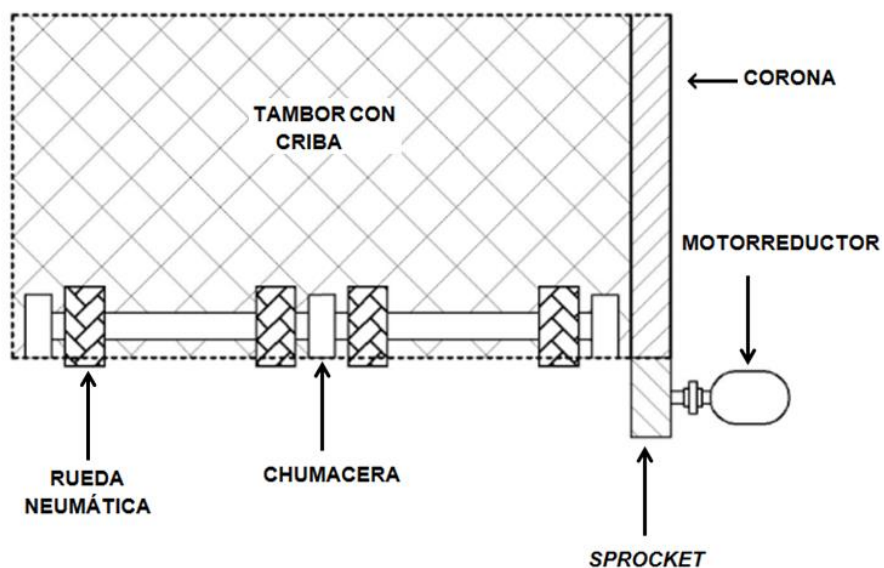
Los *trommel* han sido diseñados especialmente para la limpieza de materiales, y su campo de aplicación es muy amplio. El cilindro de la criba está elaborado con chapas perforadas curvas o por paneles de malla convenientemente ensamblados de grueso espesor, para soportar el movimiento de la caña de azúcar que se encuentra presente en el interior de la máquina.

Los canutos de caña del interior giran sobre sí por impulso del tambor cilíndrico, el movimiento creado permite separar los residuos minerales que pasan a través de las luces de la criba.

La alimentación constante de las máquinas está garantizada por una tolva de carga. La rotación del tambor es dirigida por un motorreductor acoplado con corona y piñón, el cual gira alrededor de un eje que es accionado mediante ejes con neumáticos colocados exteriormente a sus costados inferiores, para transmitir un movimiento de rotación constante hacia el *trommel*.

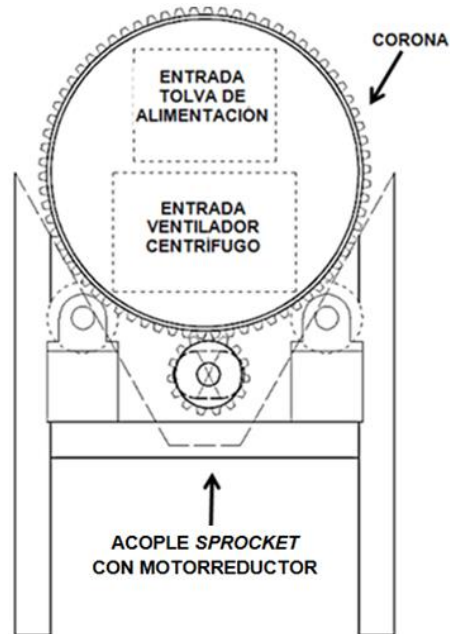
La criba giratoria soluciona el problema de limpieza de los materiales provenientes del campo. Para la remoción de hojas se debe instalar un sistema de aire a alta presión por medio de un ventilador centrífugo, el cual hace que se desprendan las hojas, para ser conducidas hasta una cámara de expansión.

Figura 25. Vista lateral de tambor con criba



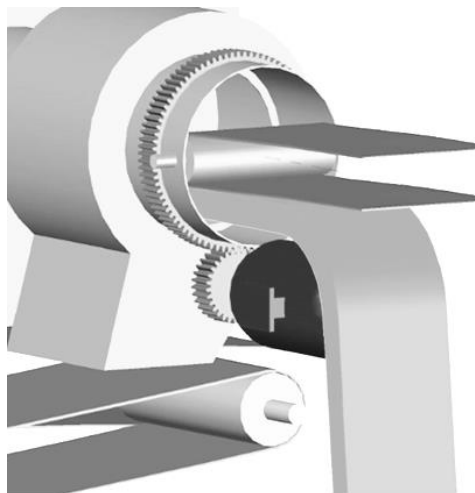
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 26. **Detalle de acople de motorreductor y corona**



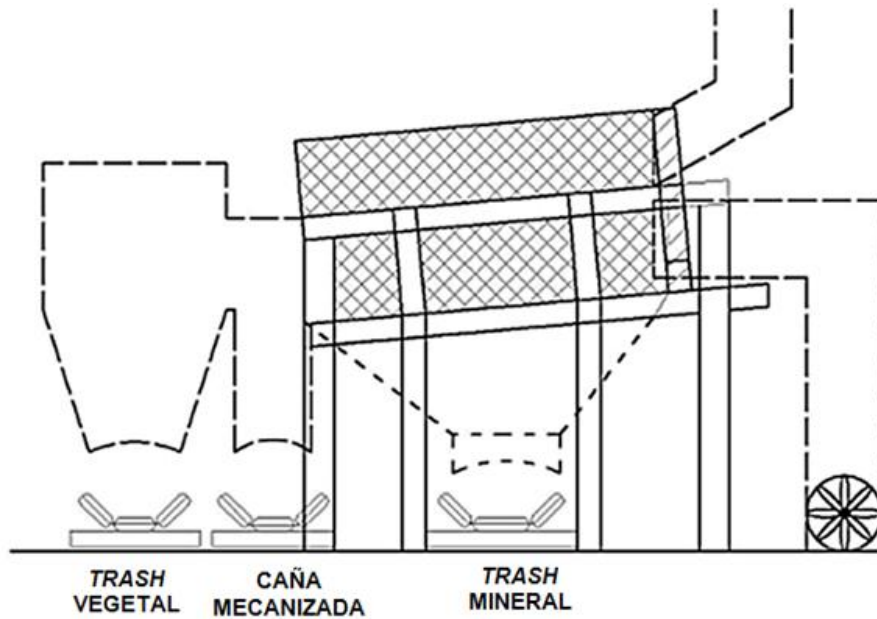
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 27. **Detalle en 3D de acople de motorreductor y corona**



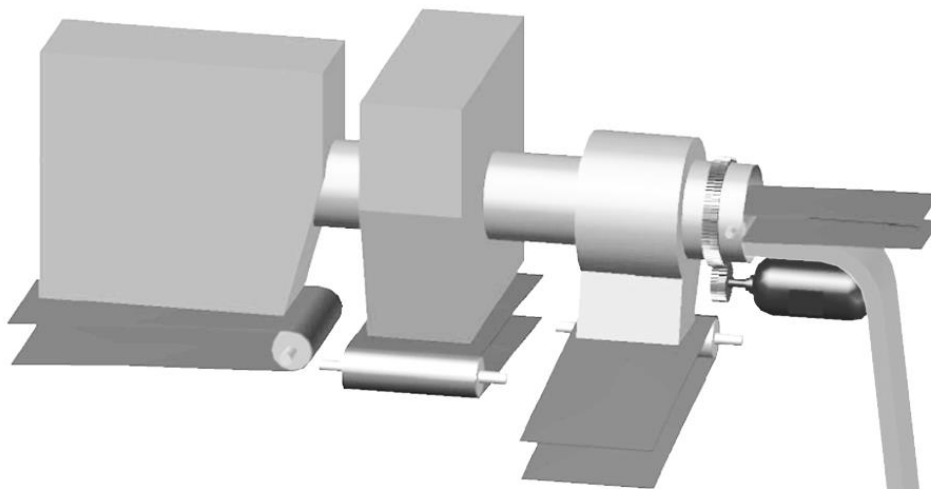
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 28. **Sistema recuperador de caña mecanizada**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 29. **Vista en 3D del sistema recuperador de caña mecanizada**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

## **4. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA**

Para obtener los beneficios esperados con la utilización del equipo de recuperación de caña mecanizada, es necesario tomar en cuenta varios factores que pueden incidir en los resultados; por lo que se hace necesario hacer un análisis profundo sobre las ventajas y desventajas de este sistema; asimismo tener presente que la maquinaria debe funcionar con el menor riesgo de falla, ya que retrasos por reparaciones mayores conllevan a realizar gastos significativos y reducción de los rendimientos operacionales; esto se puede lograr con un programa de mantenimiento de maquinaria, que sea viable y funcional.

### **4.1. Estimación de caña recuperada, ventajas y desventajas**

Para realizar una estimación de la caña recuperada se debe contar con una ficha de seguimiento, donde se incluya la hora en la que el equipo estará en funcionamiento, nombrar a un supervisor de turno, hacer un análisis de peso de la caña para determinar al final del día el porcentaje que fue recuperado.

Ventajas:

- Este sistema será utilizado aproximadamente 6 horas al día y no en forma continua.
- Está diseñado para separar de forma efectiva los residuos minerales provenientes del campo.
- Hay separación continua de sólidos, en forma rápida y con un bajo costo de operación.

- Motorreductor de alto rendimiento que conduce un sistema de *sprockets* que proporciona un esfuerzo de torsión eficiente.
- Velocidad rotatoria ajustable.
- Los sistemas de ventilación son de los más utilizados para una limpieza eficiente de materiales para industria.

Desventajas:

- La criba debe ser limpiada después de cada turno de trabajo.
- Modificación del sistema actual de descarga del *trash*.
- Rediseñar las condiciones de trabajo para instalar el sistema de recuperación de caña mecanizada.

Tabla V. **Indicadores de recuperación de caña mecanizada**

Fecha			
Caña recuperada (Tc)			
Caña molida total (Tc)			
<i>Trash</i> mineral (Tc)			
<i>Trash</i> vegetal (Tc)			
Pol caña (%)			
Pérdida (% Pol)			
Pérdida (Lb/Tc)			
qq (azúcar/día)			
Caña en <i>trash</i> (%) Laboratorio caña			
Caña en <i>trash</i> (%) Laboratorio fábrica			
% caña en <i>trash</i> respecto al total			

Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

Tabla VI. Ficha de seguimiento para recuperación de caña mecanizada

Departamento de maquinaria	Recuperación de caña mecanizada en patio de caña tándem "A"	Fecha:
		Día zafra:
Hora	Peso acumulado (kg)	Responsable
06:00		
07:00		
08:00		
09:00		
10:00		
11:00		
12:00		
13:00		
14:00		
15:00		
16:00		
17:00		
18:00		
19:00		
20:00		
21:00		
22:00		
23:00		
00:00		
01:00		
02:00		
03:00		
04:00		
05:00		
<b>Total día</b>		

Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.



## **4.2. Concepto general de mantenimiento**

En términos generales, por mantenimiento se designa al conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un equipo o restaurarlo, a un estado en el cual el mismo pueda desplegar la función requerida o las que tenía hasta el momento en que se dañó parcial o totalmente.

El mantenimiento no es una función, es un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Objetivos del mantenimiento:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo
- Disminución de los costos de por reparación
- Optimización de los recursos humanos
- Maximización de la vida de la máquina

### **4.2.1. Mantenimiento preventivo**

Gracias al mantenimiento preventivo es posible garantizar el buen funcionamiento de los equipos, ya que este tipo de mantenimiento se ocupa exclusivamente de realizar las pertinentes revisiones y reparaciones que impidan que el aparato se descomponga. Es decir, su principal misión es evitar posibles fallas. Dentro del mantenimiento podrían darse tres modalidades:

- Programado: la revisión se realiza por tiempo; para este tipo de mantenimiento se utilizará el uso de medidores de lubricación en chumaceras, análisis de vibraciones en el motorreductor y medición de caudal en el flujo de aire para determinar posibles fugas; al detectar una

falla o posible falla se establece una fecha para poder sustentar dicha situación.

- Predictivo: se ocupa de determinar el momento preciso que el equipo necesitará ser revisado, por tanto, se predice el tiempo máximo de utilización; en este caso se utilizarán datos del fabricante para determinar la vida útil de los rodamientos en las chumaceras y ejes, desgaste de ruedas y posibles taponamientos de tierra o alguna materia extraña dentro de la criba.
- De oportunidad: se realiza aprovechando aquellos momentos en los que el equipo no se emplea, evitándose de esta manera sacarlo de actividad. Esto puede ser muy útil para un mantenimiento predictivo, debido a que en el ingenio se trabaja solo cierta cantidad de caña mecanizada al día; este equipo se mantendrá en reposo durante varias horas al día, en estos momentos es cuando se le puede dar mantenimiento a dicho sistema y así tenerlo en condiciones óptimas a la hora que sea requerido su funcionamiento.

#### **4.2.2. Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo es aquel que se centra exclusivamente en la corrección de los defectos que se aprecian en el funcionamiento e instalaciones, y a partir de ello repararlos y devolverle la funcionalidad correcta. Eso sí, este tipo puede tener dos modalidades: una que se conoce como inmediata y que se efectuará de manera seguida a la observación de la falla con los medios con los cuales se cuenta, mientras que la diferida, implicará la paralización del equipo en cuestión, para luego llevar a cabo su arreglo.

Las posibles fallas que se pueden presentar en el sistema de recuperación de caña mecanizada podrían ser las siguientes:

- Exceso de canutos, el equipo no se da abasto para dichas proporciones
- Taponamientos de piedras dentro de la criba
- Deficiente flujo de aire, que no sea capaz de desprender las hojas
- Rotación de la criba demasiada alta, que no puede filtrar la tierra en forma efectiva
- Desgaste prematuro de neumáticos

#### **4.2.3. Mantenimiento en sistema recuperador de caña mecanizada**

Este sistema no requiere un mantenimiento tan complejo ya que solo se pondrá a trabajar como máximo 6 horas diarias, debido a que no todo el tiempo entra a la molienda la caña mecanizada; en cierta forma es una gran ventaja, ya que en las horas que se tenga detenido el equipo se le puede dar una inspección y de ser necesario algún tipo de mantenimiento preventivo.

#### **4.2.4. Mantenimiento en época de reparación**

La época de reparación aproximadamente es de junio a octubre, durante estos meses se debe de hacer un mantenimiento completo a los equipos.

##### **4.2.4.1. Mantenimiento de mesa tándem A**

Las mesas alimentadoras llevan un mantenimiento más extenso y minucioso, ya que es una parte importante dentro de la producción del azúcar.

Por tal motivo, en época de reparación deben realizarse procedimientos de mantenimiento, los cuales están indicados en la siguiente ficha técnica:

Tabla VII. **Ficha técnica de mantenimiento en época de reparación en mesa del tándem A**

<b>Mesa de tándem A</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Núm. de personas</b>	<b>Puesto</b>
<b>Eje motriz</b>			
Desmontaje de cadena de transmisión			
Limpieza de cadena de transmisión			
Inspección de cadena de transmisión			
Inspección de estado de eslabones			
Desmontaje de cadena de contraeje			
Limpieza de cadena de contraeje			
Inspección de cadena de contraeje			
Inspección de estado de eslabones			
Desarme de chumaceras			
Desmontaje de eje			
Inspección visual de eje			
Limpieza general de eje			
Inspección de <i>sprockets</i>			
Pintura			
Montaje de eje			
Lubricación			
Armado de chumaceras			
Montaje de cadena de transmisión			
Montaje de cadena de contraeje			

Continuación de tabla VII.

<b>Cadena de arrastre</b>			
Desmontaje			
Inspección visual			
Limpieza general			
Inspección de cadena			
Inspección de estado de eslabones			
Montaje			
<b>Tablillas de arrastre</b>			
Inspección visual			
Desmontaje			
Limpieza general			
Inspección y clasificación			
Cambio de tablillas			
Cambio de tacos			
Montaje			
<b>Eje colero</b>			
Desarme de chumaceras			
Limpieza de chumaceras			
Desmontaje de eje			
Inspección visual de eje			
Limpieza general de eje			
Inspección de <i>sprockets</i>			
Pintura			
Montaje de eje			
Lubricación			
Armado de chumaceras			

Continuación de tabla VII.

Nivelador			
Inspección de tornillería			
Cambio de tornillería			
Desmontaje de cadena de transmisión			
Limpieza de cadena de transmisión			
Inspección de cadena de transmisión			
Inspección de estado de eslabones			
Cambio de eslabones de cadena de transmisión			
Desarme de chumaceras			
Limpieza de chumaceras			
Desmontaje de eje			
Inspección visual de eje			
Limpieza general de eje			
Inspección de fisuras			
Inspección de <i>sprockets</i>			
Recuperación de <i>sprockets</i>			
Cambio de paletas			
Pintura			
Montaje de eje			
Lubricación			
Armado de chumaceras			
Montaje de cadena de transmisión			

Continuación de tabla VII.

<b>Separador de caña</b>			
Desmontaje de cadena de transmisión			
Limpieza de cadena de transmisión			
Inspección de cadena de transmisión			
Inspección de estado de eslabones			
Cambio de eslabones de cadena de transmisión			
Inspección de tornillería			
Cambio de tornillería			
Desarme de chumaceras			
Limpieza de chumaceras			
Desmontaje de eje			
Cambio de cuchillas			
Inspección visual de eje			
Limpieza general de eje			
Inspección de fisuras			
Inspección de <i>sprockets</i>			
Recuperación de <i>sprockets</i>			
Pintura			
Montaje de eje			
Lubricación			
Armado de chumaceras			
Montaje de cadena de transmisión			

Continuación de tabla VII.

<b>Estructura</b>			
Inspección de tornillería			
Cambio de tornillería			
Limpieza general			
Inspección visual			
Cambio de hembras			
Inspección de fisuras en láminas laterales			
Inspección de vigas de carga			
Inspección de soldadura			
Reparación de soldadura			
Pintura			
<b>Tubería y accesorios</b>			
Inspección visual			
Limpieza general			
Inspección de fisura			
Inspección de rosca			
Inspección grietas			
Inspección de conectores			
Pintura			

Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

#### **4.2.4.2. Mantenimiento de rodillos principales**

Los rodillos principales sufren desgaste debido al golpeteo continuo de la caña de azúcar al momento realizar la limpieza de la misma, por tal motivo en



la época de reparación deben cumplirse ciertos lineamientos; los cuales vienen estipulados en la siguiente ficha técnica.

Tabla VIII. **Ficha técnica de mantenimiento en época de reparación de rodillos principales del tándem A**

<b>Mesa de tándem A</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Núm. de personas</b>	<b>Puesto</b>
<b>Rodillos</b>			
Desmontaje de cadena de transmisión			
Limpieza de cadena de transmisión			
Inspección de cadena de transmisión			
Inspección de estado de eslabones			
Inspección de tornillería			
Desarme de chumaceras			
Limpieza de chumaceras			
Desarme de acoplamientos			
Limpieza de acoplamientos			
Desmontaje de rodillos			
Inspección de rodillos			
Cambio de rodillos			
Montaje de rodillos			
Lubricación			
Armado de chumaceras			
Montaje de cadena de transmisión			

Fuente: archivo departamento de maquinaria de área industrial, Ingenio Magdalena S. A.

#### **4.2.5. Mantenimiento en época de zafra**

El mantenimiento que se realiza en la época de zafra es únicamente un mantenimiento correctivo, ya que cada hora de paro de máquinas representa gastos significativos en la producción del azúcar; sin embargo, a cada tres semanas se hace un día de reparación que consiste en detener todos los equipos para darle un chequeo general a cada uno de los mismos; todo esto se realiza mediante paros programados, los cuales deben cumplirse con tareas específicas para llevar a cabo una revisión en determinadas partes de la maquinaria.

El monitoreo bajo condiciones es una de las actividades principales de mantenimiento en la época de zafra, ya que identifica las causas, raíces o los síntomas de las condiciones adversas para una máquina.

Un programa efectivo para el mantenimiento requiere herramientas tales como análisis de vibraciones y de aceites lubricantes para examinar, inspeccionar y determinar la condición del equipo productivo.

Es indispensable que en la época de zafra los operadores y técnicos estén familiarizados con el mantenimiento u operación de los equipos, y consecuentemente tengan el conocimiento de los sonidos normales que produce una máquina, convirtiéndolos en calificados para identificar condiciones inusuales.

Muchas de las inspecciones sensoriales son visuales, y chequear el nivel de aceites en los equipos es una de las más comunes.

Numerosas fallas potenciales en una máquina son prevenidas atendiendo al operario que notifica bajo o inexistente nivel de aceite. Otras funciones valiosas también pueden ser ejecutadas como parte de la inspección visual.

Asuntos relacionados con el lubricante tales como contaminación con agua u otros materiales, degradado u oxidado, y también otras condiciones de la máquina que incluye excesiva vibración, correas y cadenas sueltas o protecciones faltantes, son ejemplos de lo que se puede controlar y documentar en las rutinas de inspección visual.

Otra categoría de inspecciones sensoriales es la auditiva. En algunos casos, el sonido puede dar más información que el monitoreo visual; mientras que la inspección visual es bastante más fácil, la inspección audible puede requerir algún grado de experiencia o entrenamiento para interpretar la condición. Sin embargo, es probable que aún, un operador no entrenado o sin experiencia, al escuchar, pueda notar el cambio de sonido con referencia al normal y reportar esa situación; aún si el problema no está identificado.

Otro método de inspección o sentido es el olfato. Este sentido humano es poderoso y puede ser usado para identificar varias condiciones adversas en los equipos y problemas en los lubricantes.

Entre los aspectos comunes de un lubricante detectables por olor están ciertos tipos de contaminantes tales como solventes, combustibles, refrigerantes y otros químicos. Adicionalmente, un aceite que está altamente oxidado tiene un olor distintivo que lo hace fácilmente identificable.

Algunas condiciones de las máquinas también son detectables por el olor, por ejemplo: correas que resbalan, componentes recalentados y escape de

fluidos; a menudo presentarán un olor distintivo que demandará una investigación.

Los sentidos humanos son una técnica valiosa de monitoreo de la condición y proveen una gran oportunidad para mejorar la eficiencia. La característica principal de esta clase de actividad es que puede ser ejecutada en conjunto con otras tareas de mantenimiento.

Cualquier actividad que coloca al técnico cerca de la máquina es una gran oportunidad para aplicar el monitoreo sensorial. Existen problemas fácilmente observables por un sensor humano entrenado, que de otra manera llegarán a convertirse en fallas catastróficas.



## CONCLUSIONES

1. El uso de la mecanización para el corte de caña de azúcar, también llamado cosecha de caña verde, produce mayor beneficio al medio ambiente ya que así se eliminaría la quema de caña; sin embargo no se puede realizar el cambio total del corte manual por el corte mecánico, ya que muchas familias dependen de dicha labor para generar ingresos económicos, y la implementación del nuevo sistema tampoco pretende afectar la parte socioeconómica de las poblaciones vecinas.
2. En Guatemala operan actualmente 12 ingenios, ubicados en 4 departamentos de la costa del Pacífico según Asazgua; de los cuales la mayoría utilizan el lavado de caña tradicional con agua; sin embargo se espera que en un futuro todos los ingenios opten por cambiar a un sistema de limpieza en seco y de esta manera eficientar la producción de azúcar sin dañar significativamente el medio ambiente.
3. El Ingenio Magdalena cuenta con un sistema de limpieza en seco; dicho sistema es poco efectivo cuando la caña es cortada mecánicamente, por tal razón la implementación de este tipo de sistema recuperador de caña mecanizada es una nueva opción si se desea iniciar con el descenso de los costos de producción del azúcar, ya que se aprovecharían más de 7 000 toneladas de caña que actualmente son perdidas en el proceso de limpieza.
4. Esta propuesta tiene como objetivo principal dar un conocimiento técnico para la instalación y factores a considerar para la implementación de un

equipo adecuado y efectivo para la recuperación de canutos cortados mecánicamente que actualmente se pierden, y de esta manera aumentar el porcentaje de molienda.

## RECOMENDACIONES

1. El uso de cosechadores mecánicos para el corte de caña trae múltiples beneficios para la fabricación del azúcar, pero desde el punto de vista socioeconómico afectaría a los trabajadores del campo que se dedican a realizar el corte manual; por tal razón es necesario tener un balance entre caña cortada mecánicamente y caña cortada manualmente, para que no salgan afectadas ambas partes.
2. Es importante que cada ingenio del país cambie su sistema de lavado de caña húmedo a un sistema de limpieza en seco, ya que de esa forma se evitan pérdidas de sacarosa cuando es lavada tradicionalmente con agua, y a la vez constituye un impacto positivo para el medio ambiente, ya que contribuiría a la conservación del recurso hídrico.
3. Al realizarse el corte de caña de azúcar por medio de cosechadoras mecánicas, debe tomarse en cuenta que es necesario dar un buen tratamiento de limpieza para dicha caña, ya que al ser cortada de esta forma tiende a recoger demasiada suciedad proveniente del campo y si no se le da el proceso adecuado, dicha suciedad puede generar un desgaste prematuro de los equipos mecánicos y fallas dentro de la caldera.
4. La implementación de este tipo de sistema recuperador de caña mecanizada, es una nueva opción si se desea iniciar con el descenso de pérdidas de materia prima para la producción de azúcar; debido a la



simplicidad del proyecto, hace que sea conveniente llevarlo a la realidad en las próximas zafras.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación de Azucareros de Guatemala, Asazgua. [en línea]. <[www.azucar.com.gt](http://www.azucar.com.gt)>. [Consulta: 14 de diciembre de 2014].
2. CHEN, James C. P. *Manual del azúcar de caña*. 2a ed. México: LIMUSA, 1985. 1 200 p.
3. FLINN, Richard. *Materiales de ingeniería y sus aplicaciones*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 1994. 742 p.
4. HUGOT, Emilie. *Manual para ingenieros azucareros*. 2a ed. México: Continental, 1986. 803 p.
5. Ingenio La Unión S. A. [en línea]. <[www.atagua.org.gt/.../Sistema-de-Limpieza-de-caña-en-Seco-Atagua.pdf](http://www.atagua.org.gt/.../Sistema-de-Limpieza-de-caña-en-Seco-Atagua.pdf)>. [Consulta: 8 de agosto de 2014].
6. Limpieza de caña en seco y aprovechamiento de la materia extraña vegetal como combustible en Brasil. *Revista Técnica* núm. 26, 2010. 8 p.
7. MOTT, Robert. *Diseño de elementos de máquinas*. 4a ed. México: Pearson Educación, 2004. 540 p.
8. PITA, Edward. *Acondicionamiento del aire*. 2a ed. México: Compañía Editorial Continental, 2002, 548 p.

9. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. 3a ed. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG., 2012. 796 p.
10. Revista Costa Sur. [en línea]. <[www.azucar.com.gt/revistascostasur/numero16.pdf](http://www.azucar.com.gt/revistascostasur/numero16.pdf)>. [Consulta: 14 de diciembre de 2014].