



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

## **OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN**

**Omar José Orellana Cámara**

Asesorado por la Inga. Msc Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA  
DE AZÚCAR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**OMAR JOSÉ ORELLANA CÁMBARA**

ASESORADO POR LA INGA. MSC NORMA ILEANA SARMIENTO ZECEÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
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
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Haroldo Gramajo Estrada
EXAMINADOR	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
EXAMINADORA	Msc. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

### **OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 15 de octubre de 2012.

**Omar José Orellana Cámara**



Guatemala, 17 de marzo de 2015.  
REF.EPS.DOC.241.03.14

Doctor  
Ariel Ortíz  
Coordinador de la Carrera Ingeniería en  
Industrias Agropecuarias y Forestales  
Facultad de Agronomía.

Ing. Ortiz.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería en Industrias Agropecuarias y Forestales, **Omar José Orellana Cámbara**, Carné No. **200718221** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
**Asesora-Supervisora de EPS**  
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



NISZdS/ra



Guatemala, 17 de marzo de 2015.  
REF.EPS.D.136.03.14

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN”** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Omar José Orellana Cámara** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad Director, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS

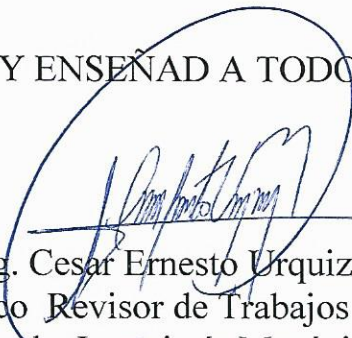


SJRS/ra



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Omar José Orellana Cámbara**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2015.

/mgp



REF.DIR.EMI.091.015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Omar José Orellana Cámara**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2015.

/mgp





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 Industrial, al trabajo de graduación, titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE INDICE DE PREPARACIÓN**, presentado por el estudiante universitario: Omar José Orellana Cámara, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Angel Roberto Sio García  
Decano



Guatemala, junio de 2015

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Padre Celestial me diste la fortaleza y sabiduría para lograr esta meta, gracias por tus bendiciones e iluminar mi camino.
<b>Licda. Alcira Cámbara (q. e. p. d.)</b>	Todo un ejemplo a seguir, se que estarás muy orgullosa de esta meta alcanzada.
<b>Alcira Valentina Orellana del Cid</b>	Hija, que este pequeño triunfo sea de ejemplo para tu vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Mi alma máter, mi casa de estudios, sendero de la verdad, enseñanza superior e investigación.
<b>Facultad de Agronomía, Ingeniería y ENCA</b>	Gracias por los conocimientos adquiridos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis padres</b>	Edna Maritza Cámara Godoy y Omar Oswaldo Orellana Barahona.
<b>Mis hermanos</b>	Juan Miguel y Maritryny Orellana Cámara.
<b>Abuelas</b>	María Trinidad Godoy de Cámara y Jovelina Barahona de Orellana (q. e. p. d.).
<b>Tíos</b>	Ing. José Antonio Cámara Godoy y Licda. Mayra Nineth Cámara Godoy.
<b>Familiares</b>	María Alejandra Alvarado Cámara.
<b>Compañera</b>	Marlyn Lorena del Cid, por estar siempre a mi lado, eternamente agradecido por tu amistad, cariño y amor.
<b>Amigos</b>	Compañeros de estudios gracias por los buenos momentos, en especial a: Víctor Chen, Jaime Pérez, Gerver Larios, Jessica Fuentes, Gloria Martínez, Federico Hernández, William Saballos, Julio Tojin, Otto Berganza, Daniel Sic, Carmen Rodríguez, Juan Andrés, José Miguel Figueroa y a todos los compañeros de la carrera IIAF.

**Ingenio Tululá**

Gracias por abrirme las puertas de sus instalaciones, permitirme adquirir nuevos conocimientos y conocer la principal fuerza de trabajo: su recurso humano.

**Asesores de EPS**

Ing. Erick Orellana López e Inga. Msc. Norma Sarmiento Zeceña.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. INFORMACIÓN GENERAL DEL INGENIO TULULÁ S. A. ....	1
1.1. Reseña histórica de la industria azucarera en Guatemala.....	1
1.2. Descripción .....	2
1.3. Misión .....	4
1.4. Visión .....	4
1.5. Estructura organizacional .....	4
1.6. Descripción de la actividad productiva .....	7
1.6.1. Cultivo de caña de azúcar .....	8
1.6.2. Producción de azúcar crudo y mieles .....	8
1.6.3. Cogeneración de energía eléctrica .....	8
1.6.4. Destilería de rones y alcoholes.....	9
1.6.5. Períodos de operación.....	9
1.7. Descripción de las áreas a evaluar: patio de caña, molinos y laboratorio .....	9
1.7.1. Instalaciones.....	9
1.7.2. Maquinaria y equipo.....	10
1.7.2.1. Mesas alimentadoras.....	10
1.7.2.2. Transportadores de caña .....	11

1.7.2.3.	Picadoras.....	12
1.7.2.4.	Tándem de molinos .....	13
1.7.2.5.	Filtro giratorio.....	14
1.7.2.6.	Motores eléctricos.....	15
1.7.2.7.	Balanza analítica .....	16
1.7.2.8.	Digestor .....	17
1.7.2.9.	Lixiviado (agitador rotativo).....	18
1.7.2.10.	Tamiz de 1".....	19
1.7.2.11.	Mesa de trabajo .....	20
1.7.2.12.	Laboratorio de Control de Calidad.....	20
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL. OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN .....	21
2.1.	Diagnóstico.....	21
2.1.1.	Foda .....	21
2.1.2.	Medio ambiente externo .....	22
2.1.3.	Medio ambiente interno .....	22
2.1.4.	Matriz Foda .....	24
2.2.	Análisis de proceso .....	26
2.2.1.	Fabricación de azúcar .....	27
2.2.1.1.	Preparación .....	27
2.2.1.2.	Molienda .....	28
2.2.1.3.	Clarificación .....	28
2.2.1.4.	Evaporación.....	29
2.2.1.5.	Cristalización .....	30
2.2.1.6.	Centrifugación .....	30
2.2.1.7.	Secado .....	31
2.2.1.8.	Envasado.....	31

2.3.	Preparación de la caña de azúcar .....	31
2.4.	Medición de la preparación de la caña .....	32
2.4.1.	Densidad aparente.....	33
2.4.2.	Tamaño medio de partículas .....	34
2.4.3.	Medición del rompimiento de celdas.....	34
2.5.	Factores que afectan la preparación de la caña .....	35
2.6.	Relación entre lapolarización de celdas abiertas y caña .....	36
2.6.1.	Polarización de celdas abiertas .....	36
2.6.2.	Polarización de caña.....	37
2.6.3.	Análisis de polarización celdas abiertas y caña .....	37
2.7.	Análisis de índice de preparación .....	39
2.7.1.	Análisis de polarización de bagazo.....	39
2.7.2.	Análisis de porcentaje de extracción.....	44
2.7.3.	Cálculo de índice de preparación .....	44
2.8.	Mantenimiento de las picadoras .....	50
2.8.1.	Mantenimiento actual.....	51
2.8.2.	Propuesta de mantenimiento .....	51
2.9.	Eficiencia de picadoras <i>versus</i> propuesta de implementar una desfibradora.....	52
2.9.1.	Efectividad de picadoras en la preparación de la caña .....	52
2.9.2.	Propuesta de implementar una desfibradora .....	52
2.9.3.	Tipo de desfibradora .....	53
2.9.4.	Beneficios .....	54
2.10.	Costos.....	55
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN, PLAN DE AHORRO ENERGÉTICO .....	57
3.1.	Diagnóstico .....	57
3.2.	Consumidores de energía eléctrica en el área industrial .....	57

3.3.	Análisis de consumo energético .....	58
3.4.	Plan de ahorro energético .....	59
3.5.	Indicadores de control de consumo de energía eléctrica .....	62
4.	FASE DE DOCENCIA, PLAN DE CAPACITACIÓN PARA EL PERSONAL DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	65
4.1.	Diagnóstico.....	65
4.2.	Plan de Capacitación.....	67
4.3.	Resultados obtenidos de la capacitación .....	70
4.4.	Costos .....	70
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES .....	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77
	APÉNDICES.....	79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura organizacional de la empresa .....	5
2.	Mesa alimentadora.....	10
3.	Transportadores de caña .....	11
4.	Picadoras .....	12
5.	Tándem de molinos.....	13
6.	Filtro giratorio .....	14
7.	Motores eléctricos .....	15
8.	Balanza analítica .....	16
9.	Fotografía de digestor .....	17
10.	Agitador rotativo .....	18
11.	Tamiz .....	19
12.	Mesa de trabajo .....	20
13.	Diagrama de proceso.....	26
14.	Desfibradora HS COP-5.....	53
15.	Desfibradora HS COP-5.....	54
16.	Bombillas led.....	60

### TABLAS

I.	Lista plana de factores Foda clasificados por función sustantiva .....	23
II.	Diagrama Matriz Foda.....	25
III.	Índices energéticos de consumo en la estación de preparación de caña, compuesta de tres picadoras en línea, zafra 2012-2013.....	36

IV.	Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con dos tasas de molienda, zafra 2012-2013.....	37
V.	Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con cosecha mecánica y manual, zafra 2012-2012.....	38
VI.	Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con condiciones de carga, zafra 2011-2013 .....	38
VII.	Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con dos sistemas de cosecha, zafra 2011-2013.....	38
VIII.	Polarización de bagazo antes de realizar análisis de índice de preparación .....	39
IX.	Polarización de bagazo después de realizar el análisis de índice de preparación .....	41
X.	Formato para cálculo de índice de preparación .....	46
XI.	Resumen índice de preparación .....	47
XII.	Cotización de una desfibradora .....	55
XIII.	Cantidad de personal por área de trabajo.....	57
XIV.	Resumen comparativo de consumo de energía.....	61
XV.	Resumen comparativo de consumo energético .....	62
XVI.	Variación histórica de tarifa no social.....	63
XVII.	Plan de capacitación 2014 .....	67
XVIII.	Costos de capacitación .....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Gal</b>	Galones
<b>°Bx</b>	Grados Brix
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Hrs</b>	Horas
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>Lts</b>	Litros
<b>KW</b>	Kilowatt
<b>km</b>	Kilómetro
<b>m</b>	Métro lineal
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>%</b>	Porcentaje
<b>q</b>	Quintal
<b>LB/TC</b>	Rendimiento comercial
<b>Tm</b>	Toneladas métricas



## GLOSARIO

<b>Acero inoxidable</b>	Se define como una aleación de acero con un mínimo de 10 % de cromo contenido en masa resistente a la corrosión.
<b>Agua de imbibición</b>	Condensados de los evaporadores que se aplican a la maceración en el tercer molino para mayor extracción de jugo en el bagazo.
<b>Alcohol</b>	Conocido como alcohol etílico, con presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78,4 °C su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ), principal compuesto de bebidas embriagantes.
<b>Azúcar</b>	Sacarosa, cuya fórmula química es $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa.
<b>Azúcar crudo</b>	Cristales sueltos de sacarosa cubiertos de una película de miel madre original, no contiene vitamina "A".
<b>Bagazo</b>	Residuo de materia después de haberle extraído el jugo, sirve de materia prima para combustión en las calderas.

<b>Baume °B</b>	Es una escala utilizada para medir las concentraciones de ciertas soluciones (jarabes y ácidos).
<b>Cachaza</b>	Residuo de los filtros a la cual se le ha extraído jugo, esta sirve de abono para los cañales, tiene que contener un rango menor o igual a 2 por ciento.
<b>Gogeneración</b>	Procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente).
<b>Colchón de caña</b>	Volumen de caña a granel que es procesada por las picadoras.
<b>Cosecha</b>	Corte de caña, ya sea manual o mecánica.
<b>Destilar</b>	Operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición.
<b>Evaporador</b>	Intercambiador de calor donde se produce la transferencia de energía térmica, desde un medio para ser enfriado, hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del

dispositivo. Durante el proceso de evaporación, el fluido pasa del estado líquido al gaseoso.

**Grados brix**

(Símbolo °Bx) sirven para determinar el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido, es la concentración de sólidos- solubles, una solución de 25 °Bx contiene 25 g de azúcar (sacarosa) por 100 g de líquido. Dicho de otro modo, en 100 g de solución hay 25 g de sacarosa y 75 g de agua.

**Índice**

Indicador de forma ordenada de datos.

**Jugo**

Sustancia líquida que se extrae de los vegetales o frutas, normalmente por presión, aunque el conjunto de procesos intermedios puede suponer la cocción, molienda o centrifugación de producto original.

**Jugo alcalizado**

Se le ha agregado cal y otros compuestos para bajar su pH y reducir lodos e impurezas en el jugo crudo.

**Jugo cristal**

Es de primera extracción por lo regular del primer molino.

**Jugo crudo**

Mezcla de jugos al cual no se le ha dado tratamiento térmico y no se le ha agregado aditivos.

<b>Meladura</b>	Producto de alimentar los evaporadores con jugo tratado y concentrarlo a 65 °Bx.
<b>Melaza</b>	Miel final o miel tercera, subproducto de los evapocristalizadores de la miel segunda, regularmente utilizada por las destilerías para la producción de alcohol etílico.
<b>Miel primera</b>	Subproducto de alimentar el tacho con meladura concentrada a 65 °Bx y semilla (azúcar con alcohol).
<b>Miel segunda</b>	Subproducto de alimentar el tacho con miel primera y magma (refundido de azúcar).
<b>Miel virgen</b>	Producto de alimentar el tacho con meladura y concentrarla a 85 °Bx.
<b>Molienda</b>	Proceso de extracción de jugo a la caña por medio de molinos de alta presión.
<b>Picadoras</b>	Maquinaria utilizada para romper la caña en particulas finas, esta utiliza cuchillas giratorias.
<b>Polarización</b>	Es una medida del contenido de sacarosa de azúcar, el azúcar con 98 polarización (o 98 grados de polarización) contiene alrededor de 98 por ciento de sacarosa.



<b>Porcentaje de extracción</b>	Cantidad estimada de producción al momento de mejorar un proceso.
<b>Semillas</b>	Mezcla de granos refinados de azúcar con etanol, se utilizan para acelerar el proceso de cristalización del grano de azúcar en el tacho, se utilizan 3 libras de azúcar con 100 mililitros de etanol.
<b>Tacho</b>	Evapocristalizador donde la meladura ingresa y cristaliza para dar paso a las centrifugas de separar azúcar crudo y miel primera.
<b>Tamizado</b>	Pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz, cedazo o cualquier cosa con la que se pueda colar. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz o colador atravesándolo y las grandes quedan atrapadas por el mismo.
<b>Tumbler</b>	Equipo utilizado para desfibrar el tamizado de caña y posteriormente analizar el pol de azúcar.
<b>Tándem</b>	Compuesto por 5 molinos de mazas, donde se produce la molienda y maceración.
<b>Tululá</b>	Proveniente del nahuatl “Tierra de zapotes”.

**Zafra**

Período de corte de caña y molienda por lo general de noviembre a mayo.

## RESUMEN

Después de haber realizado y analizado el diagnóstico situacional, se observó y se identificó que no se cuenta con un índice de preparación de caña de azúcar mayor a un 80 por ciento, escaso porcentaje de extracción de jugo, no se tiene un calendario de mantenimiento de las picadoras, por lo tanto en el transcurso del período de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) en lo que respecta a la fase técnica-profesional se llevó a cabo un análisis en el índice de preparación de caña de azúcar, para optimizar el porcentaje de extracción de jugo, con el objetivo de romper tantas celdas portadoras de azúcar, reducir el polarización de bagazo, producir un material con características apropiadas para la molienda, aumentar la extracción de jugo, mayor combustión en las calderas y obtener una programación en mantenimiento para las picadoras.

Las áreas evaluadas fueron: patio de caña, tándem de molinos y Laboratorio de Control de Calidad, para analizar el índice de preparación se contará con equipo de la más alta tecnología, se podrá relacionar el polarización de celdas abiertas y la polarización de caña, teniendo este análisis se podrá verificar la eficiencia de las picadoras y el porcentaje de preparación de la caña, antes de ingresar al tándem de molinos.

En lo que respecta a la fase de investigación, se realizó un plan de ahorro energético enfocado en los principios de producción más limpia, esto ayudará a ahorrar energía eléctrica, así como sensibilizar a los trabajadores del consumo de este recurso, este plan tendrá como base investigar el consumo en kilowatts del equipo electrónico y la propuesta de contrarrestar los efectos de estos, así como el consumo en kilowatts de trabajadores que operan equipo electrónico,

las áreas primordiales a enfatizar esta investigación son las oficinas, fábrica y laboratorio, todas estas de la división industrial. Estas serán las áreas de mejora, se tomarán las medidas de reducción de consumo para estimar un ahorro total y la propuesta a la Gerencia para la puesta en marcha.

En la fase de docencia se diseñó un plan de capacitación al personal de Laboratorio de Control de Calidad, se realizó de acuerdo a la metodología a emplear para analizar el índice de preparación de caña.

## OBJETIVOS

### General

Optimizar el porcentaje extracción de jugo en caña de azúcar, a través del análisis de índice de preparación y diseñar un plan de ahorro en el consumo de energía eléctrica basado en el concepto de producción más limpia.

### Específicos

1. Establecer indicadores para una mayor producción de miel y azúcar.
2. Analizar la polarización de celdas abiertas en relación a la polarización de caña para lograr un indicador en la preparación de la caña.
3. Determinar el porcentaje de preparación de caña para el cálculo de índice de preparación.
4. Elaborar un calendario de mantenimiento a las picadoras, basado en el análisis de índice de preparación.
5. Medir la efectividad y eficiencia de picadoras *versus* la propuesta de implementar una desfibradora.
6. Capacitar al personal de laboratorio en la optimización del porcentaje de jugo en caña, a través del análisis de índice de preparación.

7. Elaborar un plan de ahorro energético basándose en la metodología de producción más limpia, para reducir el consumo eléctrico en las áreas de oficina, laboratorio y fábrica.

## INTRODUCCIÓN

La industria azucarera para Guatemala es de vital importancia, por el capital que aporta a la nación y las fuentes de trabajo que cada año van en aumento, debido a la alta demanda del azúcar y subproductos. Actualmente Guatemala se encuentra en el quinto lugar a nivel mundial en exportación de azúcar.

La caña de azúcar es esencialmente una combinación de jugo y fibra, el jugo es una solución acuosa de sacarosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, la fibra se define como todo el material insoluble en la caña y por lo tanto, incluye cualquier suciedad o materia extraña, como también a la fibra del tallo.

Ingenio Tzululá S. A., es una industria azucarera reconocida en el país, fundada en 1904, al principio se dedicaba a la producción de panela todavía no se tenía el proceso de azúcar, hasta en 1957 se estandarizó como una industria de azúcar y hasta la fecha produce azúcar crudo y mieles, que se destinan para la producción de alcohol y elaborar finos rones añejos.

En la actualidad existe una gran competencia ante otras empresas e instituciones. Una de las principales metas propuestas es la reducción de costos y el mayor aprovechamiento de la materia prima, que en este caso se trata de la caña de azúcar, por lo tanto se hace necesario una investigación profunda en el índice de preparación de caña de azúcar, esta operación es una previa a la extracción de jugo, del índice de preparación depende de una excelente extracción de jugo, durante el período del Ejercicio Profesional

Supervisado en el Ingenio Tululá S. A., se hará un análisis de índice de preparación de caña de azúcar para optimizar el porcentaje de extracción.



# **1. INFORMACIÓN GENERAL DEL INGENIO TULULÁ S. A.**

## **1.1. Reseña histórica de la industria azucarera en Guatemala**

Luego de la conquista de Guatemala, hacia 1587 ya había un considerable número de trapiches en el Valle de Guatemala, por lo que el ayuntamiento de Santiago, consideró oportuno promulgar las ordenanzas del gremio de "hacedores de azúcar", y establecer el puesto de vendedor de trapiches, quien tendría a su cargo velar por la fijación del precio máximo, las medidas de los "cubos de azúcar" y el valor de los jornales.

Y no fue hasta mediados del siglo XIX, que por ingenio se entendía el "complejo de tierras, construcciones fabriles, construcciones de servicios y vivienda, maquinarias, implementos, esclavos y animales destinados a la fabricación de azúcar de caña". Hoy en día, ingenio es el área industrial donde se procesa la caña, el guarapo y la meladura para obtener azúcar.

Las haciendas azucareras más importantes del siglo XIX, centraron su producción tanto para el consumo interno como para la exportación de azúcar. Algunas trascendieron hasta el siglo XX y muy pocas continúan operando todavía en el siglo XXI. Los más grandes y magníficos ingenios de la época colonial, perdieron el ritmo de producción de los siglos anteriores; en vista de que la mayoría cambió de dueño, lo cual llevó, en algunos casos a su decadencia.

Para mediados del siglo XX, la industria azucarera se concentraba geográficamente en el "cordón cañero", en los departamentos de Escuintla (80,12 %), Suchitepéquez (14 %), Retalhuleu (3,44 %) y Guatemala (2,44 %). De los 11 ingenios que existían, los de mayor capacidad de producción eran: Pantaleón, Concepción, El Baúl, El Salto y Palo Gordo; los más pequeños eran San Antonio Tzululá, Mirandilla, Santa Cecilia, Santa Teresa, Mauricio y San Diego.

## **1.2. Descripción**

El Ingenio Tzululá, S. A. inició labores en 1904, como una finca de algodón y frutas, comenzó a cultivar caña de azúcar en una extensión aproximada de 200 hectáreas, la caña cosechada se procesaba en pequeños trapiches de madera y como producto final se obtenía "panela", todavía no se fabricaba azúcar.

Según los primeros registros, en 1956 la producción fue de 55 qq de azúcar, su proceso de fabricación era muy rudimentario; el transporte de la caña se realizaba en carretones con una capacidad de carga de 1 tonelada, jalados por bueyes; la carga y descarga de la caña se hacía manualmente; los molinos, encargados de exprimir la caña, eran movidos por medio de fuerza animal y por consiguiente se tenía una capacidad de molienda muy baja.

Actualmente, 104 años después, posee una extensión territorial de 5218,75 Ha, siendo su principal actividad económica la producción de caña de azúcar, la elaboración de azúcar y la cogeneración de energía eléctrica; también comercializa subproductos de la caña de azúcar, como: la melaza, aprovechamiento del bagazo y la cachaza; además se dedica al cultivo y extracción de hule (látex). El cultivo de caña de azúcar ocupa un 71,12 por

ciento del área total de la finca Tululá y el área restante es utilizada para el cultivo de árboles de hule, infraestructura y áreas verdes, además arrienda otros terrenos y fincas para cultivar y obtener mayor producción de caña de azúcar.

El Ingenio Tululá fue el lugar indicado para construir las nuevas instalaciones de Destiladora de Alcoholes y Ronés, S. A. (Darsa), cuya actividad es la producción y comercialización de alcoholes destinados a la industria de licores, perfumes y químicos, entre otros.

Destiladora de Alcoholes y Ronés, S. A. tiene clientes de renombre a nivel mundial, dentro de los cuales se pueden mencionar a Diageo con las marcas Captain Morgan®, Vodka Smirnoff®, entre otras; Industrias Licoreras de Guatemala, quien produce el mejor ron del mundo: Ron Zacapa Centenario® y los cotizados rones Añejos Botrán®; Licores de Centroamérica y Compañía de Licores, asimismo Productos AVON® de Centroamérica, Laboratorios Donovan®, Productos Scentia®, Darosa®, Zelsa® y Henkel®. Darsa se destaca por ser una planta altamente automatizada, que trabaja con tecnología alemana, además la calidad y estándar de sus productos están respaldados por el ISO 9001:2008.

La Destiladora provee actualmente más de 50 empleos directos y multiplicará por tres el número de empleos indirectos en sectores de transporte, mantenimiento y suministro de materiales. También brindará otro tipo de beneficios a la región, gracias al establecimiento de una industria tan pujante como la producción de alcoholes.

### **1.3. Misión**

"Satisfacer los gustos más exigentes alrededor del mundo con los roncs añejos y otros productos de la más alta calidad y excelencia, innovando constantemente con un equipo comprometido a una rentabilidad y crecimiento sostenido con responsabilidad social."<sup>1</sup>

### **1.4. Visión**

"Ser la organización líder en la elaboración y comercialización de los mas finos roncs añejos y otros productos para el mundo que disfruta de la excelencia."<sup>2</sup>

### **1.5. Estructura organizacional**

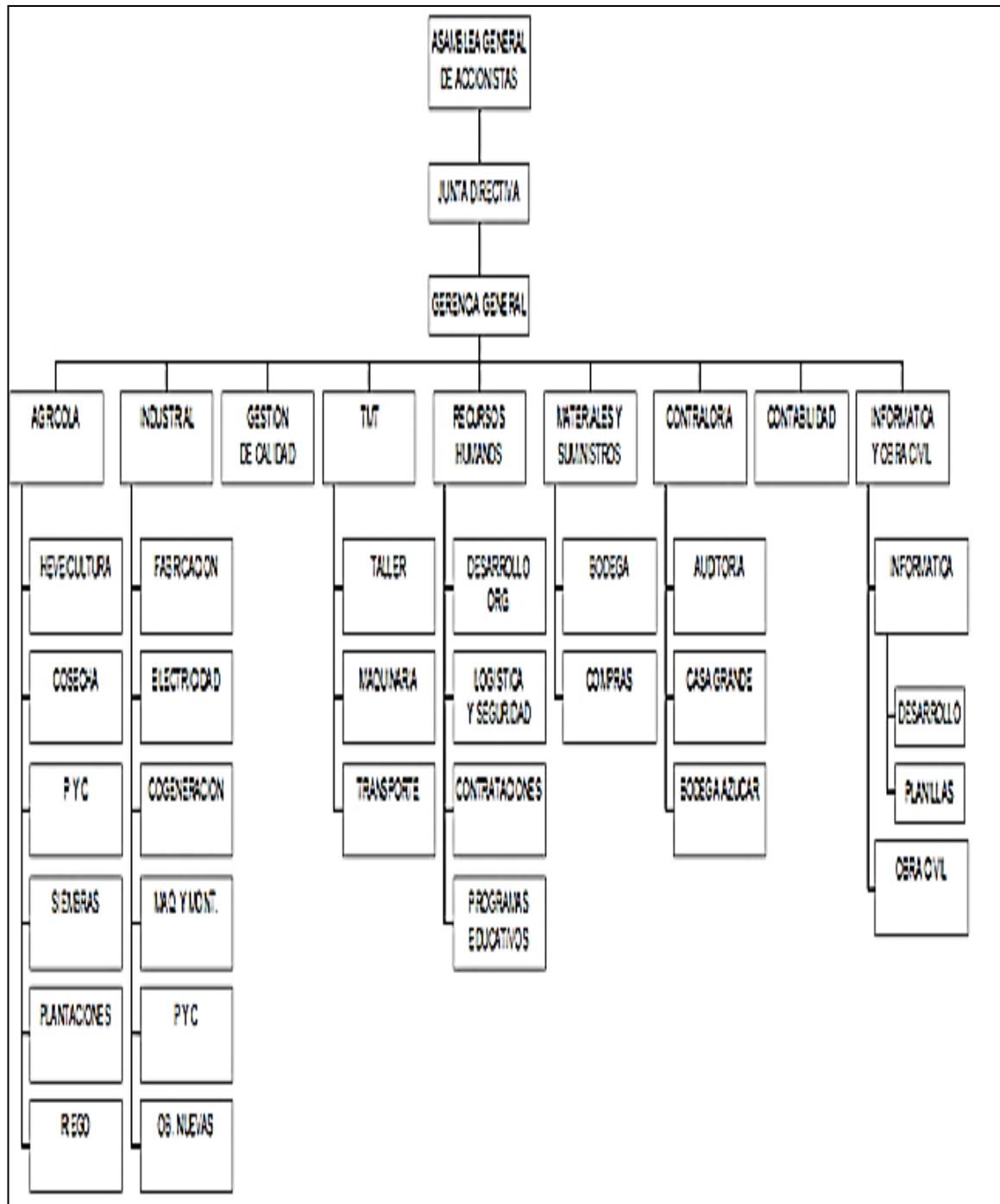
La estructura organizacional del ingenio está fundamentada en dos pilares de suma importancia: unidades operarias y unidades administrativas. Se les llama unidades operarias ya que su trabajo es físico como lo es: campo, talleres, cogeneración y fabricación; las unidades administrativas hacen un trabajo de oficina, como: el área Administrativa, Recursos Humanos, Sistemas de Cómputo, Financiera y Compras. Los niveles de jerarquía de la empresa están resumidos en la estructura organizacional, donde a la cabeza se encuentran los accionistas, Junta Directiva y gerentes de cada una de las áreas (ver figura 1).

---

<sup>1</sup> Ingenio Tzulá

<sup>2</sup> Ibíd.

Figura 1. Estructura organizacional de la empresa



Fuente: Departamento de Recursos Humanos.

Para que los objetivos de la empresa sean cumplidos se debe tener comunicación entre los departamentos y estos entre sus niveles intermedios, se delegan responsabilidades, niveles de mando, metas y objetivos.

- Gerencia General

La Gerencia General realiza todas las acciones especiales para implementar y llevar a cabo las políticas y directrices generales de la empresa, establecidas por los accionistas y Junta Directiva.

- Gerencia Agrícola

Realiza todas las acciones de campo que conllevan al cultivo de la caña de azúcar, objetivos y metas administrativas de Gerencia Agrícola, informe final de zafra y presupuesto para una nueva zafra, además de tener un tiempo de logística para el corte de caña y así proporcionar a fábrica la caña a granel para ser procesada. El Departamento Agrícola se divide en:

- Área Agrícola
- Talleres Agrícolas
- Área de Pesticidas
- Área de Transporte
- Área de Cosecha

- Gerencia Industrial

Se desarrollan el desempeño organizativo de la fábrica y sus procesos, encargada del análisis, interpretación, control de los sistemas productivos con objetivos de gestionar, implementar y establecer estrategias para optimizar los procesos de fábrica, realiza informe final de zafra y presupuesto para una nueva zafra, el Departamento de Fábrica se divide en: área de Maquinaria, Logística, Fabricación y Calidad.

- **Gerencia de Cogeneración**  
Analiza lo referente a la producción de energía eléctrica en el período de zafra, se divide en: área de instrumentación, máquinas y mantenimiento.
- **Gerencia de Recursos humanos**  
Dentro de la Gerencia se tiene la capacidad de mantener a la organización productiva, eficiente y eficaz, a partir del uso del recurso mas importante; el recurso humano. Se divide en Departamento de Reclutamiento, Selección y Contratación, Capacitación, Seguridad Industrial, Salud Ocupacional, Sueldos y Salarios.
- **Gerencia de Sistema de Cómputo**  
Se analizan todos los sistemas electrónicos que tiene cada una de las gerencias y departamentos de la empresa, tiene un solo departamento a su cargo el cual es: Departamento de Informática.
- **Gerencia Financiera**  
La Gerencia Financiera se enfoca en la administración eficiente del capital financiero, así como garantizar la disponibilidad de fuentes de financiamiento de las operaciones de la empresa, se divide en: Departamento de Contabilidad, Auditoría, Tesorería, Compras y Presupuestos.

## **1.6. Descripción de la actividad productiva**

A continuación se detalla el proceso a través del cual se transforma la materia prima para darle un valor agregado y así satisfacer las necesidades del mercado.

### **1.6.1. Cultivo de caña de azúcar**

Ingenio Tululá actualmente tiene más de 5 218,75 Ha de siembra de caña de azúcar, el motivo por el cual dicho ingenio es competitivo en calidad es por ser productores de una misma variedad de caña, en la zafra 2012 – 2013 se llegó a la meta de cosechar mas de 1 144 537,00 toneladas de caña, para luego ser procesadas por medio de la fábrica.

### **1.6.2. Producción de azúcar crudo y mieles**

El azúcar crudo es el producto cristalizado obtenido del cocimiento del jugo de la caña de azúcar, constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa cubiertos por una película de su miel madre original, en la zafra 2012 – 2013 se llegó a la meta de más de 2 200 907,72 qq. El rendimiento comercial de la fábrica es de 219,19 LB/TC en el período de zafra.

La producción de miel virgen ascendió a 4 633 896,14 Gal y la producción de melaza en promedio de 8 011 759,00 galones en 2012.

### **1.6.3. Cogeneración de energía eléctrica**

En el período de zafra 2012 – 2013 se generaron 52 605 685,00 KW por medio de tres turbogeneradores, dicha energía eléctrica es para uso del complejo industrial y el resto es distribuido por la empresa eléctrica.



#### **1.6.4. Destilería de rones y alcoholes**

Actualmente con la meta propuesta de Darsa se están destilando un promedio aproximado de 42 000 000,00 a 59 000 000,00 litros de alcohol etílico o etanol.

#### **1.6.5. Períodos de operación**

En un año calendario el período de operación del ingenio se divide en dos, el tiempo de zafra que es cuando comienza la cosecha de caña y producción de azúcar y mieles, al mismo tiempo se cogenera y la destiladora al máximo de producción, de noviembre hasta abril aproximadamente; en lo que respecta de mayo hasta octubre es el período de reparación, tanto de talleres, cogeneración y fabrica; la destiladora trabaja pedidos pequeños y a capacidad media, mientras tanto campo se ocupa de las labores agrícolas del cultivo de caña.

### **1.7. Descripción de las áreas a evaluar: patio de caña, molinos y laboratorio**

A continuación se describen las principales instalaciones y áreas a utilizar para el cálculo de índice de preparación.

#### **1.7.1. Instalaciones**

El Ingenio Tululá es parte del complejo industrial, de Industrias Licoreras de Guatemala; en dicho complejos se encuentran tres empresas debidamente organizadas, como lo son: Darsa, Carbox e Ingenio Tululá; el acceso principal a dichas instalaciones es por el kilómetro 4,5 carretera al municipio San José La Máquina, departamento de Suchitepequez, aunque las instalaciones se

encuentran en San Andrés Villa Seca, municipio del departamento de Retalhuleu.

### **1.7.2. Maquinaria y equipo**

La fábrica cuenta con maquinaria y equipo adecuado para los procesos de azúcar crudo y mieles, a la vez es proveedor de la materia prima para los procesos de cogeneración.

#### **1.7.2.1. Mesas alimentadoras**

Por medio de los viradores la caña a granel o mecanizada, es descargada de los camiones cañeros hacia las mesas. Se realiza con lavado debido a las impurezas y materia extrañas, el agua que se utiliza son los condensados de los evaporadores y tachos (ver figura 2).

Figura 2. **Mesa alimentadora**



Fuente: ubicada en el patio de maniobras.

### 1.7.2.2. Transportadores de caña

Después que a la caña se le han eliminado parte de las impurezas y materia extraña, la caña a granel o mecanizada pasa por los transportadores que la conducen a la preparación. Los transportadores son de acero inoxidable y utiliza cadenas de rodillos (ver figura 3).

Figura 3. Transportadores de caña



Fuente: transportadores de caña, ubicados en el área de patio de caña.

### 1.7.2.3. Picadoras

Es donde se prepara la caña, aquí no se realiza ningún tipo de extracción. La caña es desfibrada por medio de tres picadoras que cuentan con cuchillas giratorias. La preparación de la caña que pasará al proceso de molienda es un aspecto de gran importancia, por su efecto cuantitativo y cualitativo, como proceso. Al aumentar la densidad del colchón de la caña mejora la capacidad de molienda y al abrirse la celda del jugo se facilita la extracción por compresión en los molinos (ver figura 4).

Figura 4. Picadoras



Fuente: ubicadas en el área de preparación de caña.

#### 1.7.2.4. Tándem de molinos

Es un conjunto de 5 molinos, destinados a extraer la mayor cantidad de jugo a la caña debidamente preparada. Cada molino consta de tres a cuatro rodillos o mazas, el jugo extraído del primer molino es llamado jugo cristal por ser de una mayor pureza, el jugo de los siguientes molinos se llama jugo crudo (ver figura 5).

Figura 5. Tándem de molinos



Fuente: ubicados en el área de Fábrica.

### 1.7.2.5. Filtro giratorio

En el momento en que los molinos extraen el jugo a la caña preparada, este es conducido a un filtro giratorio que le elimina el bagacillo e impurezas, posteriormente el jugo es devuelto al tanque de extracción para luego trasladarlo al tanque de alcalizado (ver figura 6).

Figura 6. Filtro giratorio



Fuente: ubicado en el área de Fábrica.

### 1.7.2.6. Motores eléctricos

Por medio del Departamento de Cogeneración se obtiene energía eléctrica, esta alimenta a los motores y estos la transforman en energía mecánica; estos forman parte de los molinos con su respectivo reductor, los motores eléctricos se utilizan para mover las mazas, picadoras, conductores de caña y filtro giratorio (ver figura 7).

Figura 7. Motores eléctricos



Fuente: ubicados en el Departamento de Cogeneración.

### 1.7.2.7. Balanza analítica

La balanza se utiliza para medir el peso o más de la muestra de colchón de caña preparada. Asimismo, para medir el peso de caña mal preparada y la que indica un excelente índice de preparación, especifica una lectura en kilogramos o libras dependiendo del término que se requiera (ver figura 8).

Figura 8. Balanza analítica



Fuente: ubicada en el Laboratorio de Control de Calidad.



### 1.7.2.8. Digestor

El objetivo principal es desintegrar 300 gramos de colchón de caña preparada. Al desintegrar se obtiene un porcentaje de celdas abiertas, la caña preparada se expone al desintegrador por un tiempo de 15 minutos (ver figura 9).

Figura 9. Fotografía de digestor



Fuente: ubicada en el Laboratorio de Control de Calidad.

### 1.7.2.9. Lixiviado (agitador rotativo)

Este consta de dos tamos lixiviares que se agitan con un movimiento rotativo durante un tiempo de 15 minutos, para tener un comparativo de celdas abiertas y estimar el índice de preparación del colchón de caña (ver figura 10).

Figura 10. **Agitador rotativo**



**Fuente:** Laboratorio de Control de Calidad, en el área de toma de datos.

### 1.7.2.10. Tamiz de 1"

El colchón de caña preparado por las picadoras es una muestra de 20 kilogramos, dicha muestra es una mezcla de caña preparada con otra que las picadoras no han preparado debidamente, ya sea por el proceso o porque las picadoras están perdiendo fuerza o la preparación no es la adecuada, el tamizado es un tipo de cernido donde la caña bien preparada pasa por los orificios de 1" y la caña mal preparada se va almacenado en otro lugar para luego ser pesada y dar paso al porcentaje de preparación (ver figura 11).

Figura 11. Tamiz



Fuente: patio de maniobras, Laboratorio de Control de Calidad.

#### **1.7.2.11. Mesa de trabajo**

Mesa común de acero inoxidable donde se toman lecturas de tiempo, anotaciones importantes y verifican lecturas de polarización de azúcar y grados Brix (ver figura 12).

Figura 12. **Mesa de trabajo**



Fuente: Laboratorio de Control de Calidad.

#### **1.7.2.12. Laboratorio de Control de Calidad**

Es el lugar donde se realizan los análisis de calidad de caña, jugo, azúcar, mieles y melaza, dicho lugar es de suma importancia por ser donde se lleva a cabo la investigación del índice de preparación para optimizar el porcentaje de extracción de jugo, en este laboratorio se encuentran el equipo a utilizar; desintegrador, agitador rotativo, balanza, tamiz y otros. Los resultados son entregados por los analistas de turno.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL. OPTIMIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÍNDICE DE PREPARACIÓN**

### **2.1. Diagnóstico**

Para conocer la situación por la que atraviesa la empresa se realizó un diagnóstico situacional y así poder identificar las oportunidades de mejora dentro de la misma. El diagnóstico realizado se basa en un análisis Foda y una Matriz como se muestra a continuación:

#### **2.1.1. Foda**

El presente análisis Foda es una de herramienta importante, para la investigación del análisis de índice de preparación en caña de azúcar.

Las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, denominadas Análisis Foda, se consideran los factores de maquinaria, equipo humano, materia prima y suministros que representan las influencias del ámbito externo e interno de la preparación de caña de azúcar que inciden sobre su que hacer interno, ya que potencialmente pueden favorecer o poner en riesgo el cumplimiento de la misión y visión de la empresa.

Las fortalezas y debilidades corresponden al ámbito interno del proyecto y dentro del proceso de planeación estratégica.

### **2.1.2. Medio ambiente externo**

- Oportunidades: las oportunidades crean ambiente externo, pero pueden afectar de manera positiva el desempeño de la labor productiva y administrativa, se tiene lo siguiente: controlar el porcentaje de extracción de jugo, caña desfibrada, mayor extracción, la preparación óptima brinda beneficio en términos de capacidad de molino, mayor rompimiento de células que contienen azúcar.
- Amenazas: al igual que las oportunidades, las amenazas se encuentran en el entorno del proyecto y de manera directa o indirecta afectan negativamente la labor productiva y administrativa, dentro de las amenazas potenciales para el proyecto están: materia extraña, inadecuada preparación que afecta la alimentación del tándem de molinos, mayor contenido de humedad en bagazo, pedazos grandes de caña, por lo tanto difícil extracción de jugo en molinos.

El que una amenaza sea la más importante para un área del proyecto, no quiere decir que lo sea para el resto del mismo.

### **2.1.3. Medio ambiente interno**

- Fortalezas: las fortalezas se definen como la parte positiva de la empresa de carácter interno, es decir, aquellos productos o servicios que de manera directa; se tiene el control de realizar y reflejan una ventaja ante las demás empresas, por consiguiente: reduce el tamaño de la caña, rompen células portadoras de azúcar, juego de picadoras y desfibradora, facilita la extracción de jugo, equipo humano profesional, mejora la combustión de calderas.

- **Debilidades:** el caso contrario de las fortalezas, porque la principal característica de las debilidades es el afectar en forma negativa y directa el desempeño de la institución, derivándose en malos productos o servicios. Una debilidad puede ser disminuida mediante acciones correctivas, mientras que una amenaza, para ser reducida, solo se puede realizar acciones preventivas; se encuentran las siguientes: escasas de análisis, poco mantenimiento, muy alto el costo de mantenimiento, no hay un desfibrado intensivo, difícil grado de medición de la preparación.

Tabla I. **Lista plana de factores Foda clasificados por función sustantiva**

<p><b>Fortalezas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduce el tamaño de la caña</li> <li>2. Romper células portadoras de azúcar</li> <li>3. Juego de picadoras y desfibradoras</li> <li>4. Facilita la extracción de jugo</li> <li>5. Equipo humano profesional</li> <li>6. Mejora la combustión de calderas</li> </ol>	<p><b>Debilidades:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Escasas de análisis</li> <li>2. Poco mantenimiento al equipo industrial</li> <li>3. Muy alto el costo de mantenimiento</li> <li>4. No hay un desfibrado intensivo</li> <li>5. Difícil grado de medición de la preparación</li> </ol>
<p><b>Oportunidades:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Controlar el % de extracción de jugo</li> <li>2. Caña desfibrada, mayor extracción</li> <li>3. Preparación óptima brinda beneficio en términos de capacidad de molino</li> <li>4. Mayor rompimiento de células que contienen azúcar</li> <li>5. Mejorar en la tecnología de extracción de jugo</li> </ol>	<p><b>Amenazas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materia extraña</li> <li>2. Inadecuada preparación afecta la alimentación al tándem de molinos</li> <li>3. Mayor contenido de humedad en bagazo</li> <li>4. Pedazos grandes de caña, por lo tanto</li> <li>5. Difícil extracción de jugo</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.4. Matriz Foda

Determinadas cuales son las fortalezas, oportunidad, debilidades y amenazas, en un primer plano, hacer un ejercicio de mayor concentración en dónde se determine, teniendo como punto de partida los objetivos del proyecto, cómo afecta cada uno de los elementos de Foda.

Después de obtener una relación lo más exhaustiva posible, se ponderan y ordenan por importancia cada uno de los factores Foda, a efecto de obtener los que revisten mayor importancia.

La Matriz Foda (ver figura 13), indica cuatro estrategias alternativas conceptualmente distintas. En la práctica, algunas de las estrategias se traslapan y no pueden ser llevadas a cabo de manera concurrente y de manera concertada. Pero para propósitos de discusión, el enfoque estará sobre las interacciones de los cuatro conjuntos de variables

- La Estrategia DA (Mini-Mini). El objetivo de la estrategia DA (Debilidades–*versus*-Amenazas), es minimizar debilidades y las amenazas.
- La Estrategia DO (Mini-Maxi). La segunda estrategia, DO (Debilidades–*versus*- Oportunidades), intenta minimizar las debilidades y maximizar las oportunidades.
- La Estrategia FA (Maxi-Mini). Esta estrategia (Fortalezas –*versus*- Amenazas), se basa en las fortalezas del proyecto que pueden copar con las amenazas del medio ambiente externo. Su objetivo es maximizar las primeras mientras se minimizan las segundas.



- La Estrategia FO (Maxi-Maxi). Es una de las mas importantes, desde el punto de vista del proyecto el poder maximizar tanto sus fortalezas como sus oportunidades, es decir aplicar siempre la estrategia (Fortalezas–*versus*- Oportunidades).

Tabla II. **Diagrama Matriz Foda**

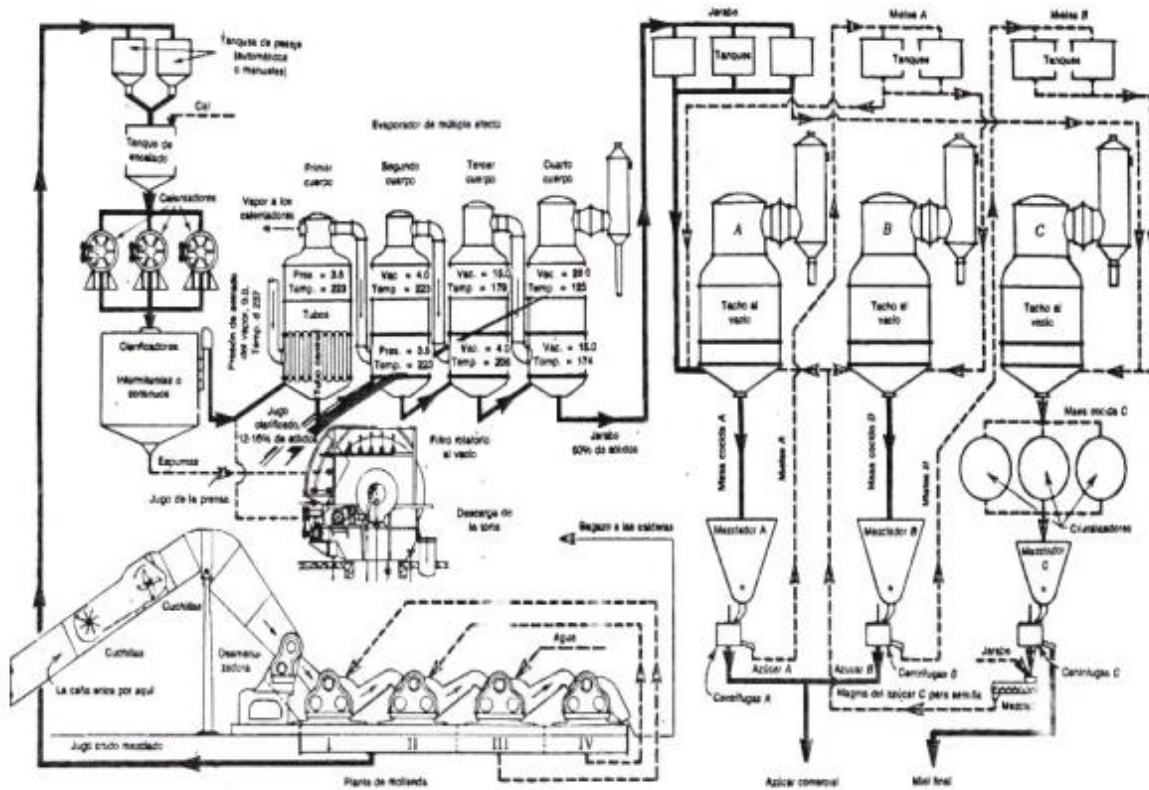
<p style="text-align: center;">FACTORES INTERNOS</p> <p style="text-align: center;">FACTORES EXTERNOS</p>	<p>Fortalezas</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduce el tamaño de la caña.</li> <li>2. Romper células portadoras de azúcar.</li> <li>3. Juego de picadoras y desfibradoras.</li> <li>4. Facilita la extracción de jugo.</li> <li>5. Equipo humano profesional.</li> <li>6. Mejora la combustión de calderas.</li> </ol>	<p>Debilidades</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Escases de análisis.</li> <li>2. Poco mantenimiento.</li> <li>3. Muy alto el costo de mantenimiento.</li> <li>4. No hay un desfibrado intensivo.</li> <li>5. Dificil grado de medición de preparación.</li> </ol>
<p>Oportunidades</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Controlar el % de extracción de jugo.</li> <li>2. Caña desfibrada, mayor extracción.</li> <li>3. Preparación óptima brinda beneficio en términos de capacidad de molino.</li> <li>4. Mayor rompimiento de células que contienen azúcar.</li> </ol>	<p>FO (Maxi-Maxi) Estrategia para maximizar tanto las fortalezas como las oportunidades.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fortalecer programas de mantenimiento en operación.</li> <li>2. Fortalecer análisis de laboratorio para la preparación de caña.</li> <li>3. Medición de la preparación de caña.</li> </ol>	<p>DO(Mini-Maxi)</p> <p>Estrategia para minimizar debilidades Y maximizar las oportunidades.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis de Índice de preparación.</li> <li>2. Análisis de laboratorio.</li> <li>3. Mayor uso de desfibradora.</li> </ol>
<p>Amenazas</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materia extraña</li> <li>2. Inadecuada preparación afecta la alimentación del tándem de molinos.</li> <li>3. Mayor contenido de humedad en bagazo.</li> <li>4. Pedazos grandes de caña, por lo tanto difícil extracción de jugo en molinos.</li> </ol>	<p>FA(Maxi-Mini)</p> <p>Estrategia para maximizar las fortalezas y minimizarlas amenazas.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reactivar un programa de índice de preparación.</li> <li>2. Minimizar los efectos de la preparación de caña.</li> <li>3. Minimizar los factores que afectan la preparación de caña.</li> </ol>	<p>DA (Mini-Mini) Estrategia para minimizar tanto las amenazas como las debilidades.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Optimizar los trabajos de mantenimiento.</li> <li>2. Períodos cortos de mantenimiento al equipo.</li> <li>3. Revisión y monitoreo en el área de picadoras.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Análisis de proceso

Para la obtención final de azúcar conlleva un proceso industrial, el cual se puede observar en la figura 13, posteriormente se describe cada una de las actividades productivas.

Figura 13. Diagrama de proceso



Fuente: CHEN, James C.P. *Manual del azúcar de caña*. p. 32.

### **2.2.1. Fabricación de azúcar**

El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica la aplicación de varios procesos para convertir el jugo de caña en cristales y depurarlos de manera natural de impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo, el proceso de fabricación consta de los siguientes subprocesos:

- Preparación
- Molienda
- Clarificación
- Evaporación
- Cristalización
- Centrifugación
- Secado
- Envasado

#### **2.2.1.1. Preparación**

Inicia con el peso en básculas de las unidades que transportan la caña de azúcar en el ingenio y que se encuentran al ingreso del área industrial. Además, en esta parte se determina la calidad de la materia prima, tomando muestras que se analizan continuamente en el laboratorio de control de calidad, los más importantes parámetros de calidad para determinar la madurez de la caña són: brix del jugo, porcentaje de sacarosa o polarización de azúcar y la pureza aparente.

La caña que llega a la fábrica se descarga sobre las mesas de alimentación por medio de viradores de caña con capacidad de 50 toneladas. Para tener un proceso más limpio, en las mesas de caña se aplica agua entre

110 y 120 °F para lavado, eliminando así sólidos o materia extraña como tierra, minerales, piedras y otros que se adhieren a ella en el campo durante el proceso de carga en las jaulas que la transportan hacia la fábrica, luego la caña se somete a un proceso de preparación que consiste en romper y desfibrar las celdas de los tallos por medio de troceadoras, picadoras oscilantes y desfibradoras, para poder pasar al proceso de extracción del jugo.

#### **2.2.1.2. Molienda**

Este es un proceso continuo que actualmente se realiza en el tándem de molinos con capacidad de molienda de 7 000,00 toneladas por 24 horas, se alimenta con caña preparada, la cual es sometida a una serie de extracciones utilizando molinos de rodillo o mazas y todos los molinos son de cuatro masas rayados en forma de “V”. Para hacer más eficiente el proceso de molienda, los jugos pobres de los molinos posteriores se aplican nuevamente en el proceso (proceso de maceración) y en el último molino se aplica agua caliente con temperatura entre 155-179 °F para aumentar la extracción.

El bagazo es un subproducto industrial que se transporta hacia el sistema de calderas para usarlo en calidad de biomasa como combustible. El sobrante tiene como destino la hidrólisis y reserva para cubrir paros de emergencia.

#### **2.2.1.3. Clarificación**

El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores, que llegan a temperaturas entre 140 y 155 °F. Luego pasa por la torre de sulfatación, bajando el pH a un promedio de 5,2 – 5,8 para producir azúcar blanco únicamente. En esta etapa se utiliza azufre como agente decolorante; luego mediante la edición de la bachada de cal entre 6 y 10 baume se neutraliza el

jugo. El calentamiento del jugo se realiza en tres etapas; la primera por vapor vegetal de 5,0 psi alcanzando temperaturas entre 175 y 185 °F; la segunda por vapor de 5,0 psi alcanzando temperaturas entre 205 y 215 °F y la última con vapor de 10 psi para rectificación del jugo en forma automática, con el proceso anterior se logra que el jugo, al ser liberado a presión atmosférica, sufra una pequeña evaporación en el tanque flash evitando que los flóculos floten o decanten con lentitud por la presencia de burbujas atrapadas en el interior.

El siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores a baja velocidad para permitir la concentración de lodos y que pueden ser extraídos por gravedad en un clarificador SRI y con bombas en los RapiDoor 444. En la etapa final de este proceso se utilizan coladores vibratorios con malla 110 mesh para la eliminación de bagacillo y evitar que llegue al producto final.

Los filtros de cabeza son parte indispensable del proceso, ya que sin ellos, la pérdida de sacarosa en la cachaza sería significativa.

#### **2.2.1.4. Evaporación**

La operación del sistema de evaporación en la planta es de quíntuple efecto (5 evaporadores en línea), tanto para la línea de blanco como para la línea de crudo. La operación es relativamente sencilla debido a que se fijan las condiciones de entrada, salida, nivel de cada evaporador y extracción de vapores vegetales hacia el exterior. La evaporación se realiza en evaporadores tipo Roberts en los cuales el vapor y el jugo se encuentran en cámaras separadas que fluyen en el mismo sentido. El jugo pasa de un evaporador a otro con bombas denominadas “de transferencia”. El control global de un evaporador se ejecuta a través de la estabilización de cinco factores muy importantes:

- La concentración del producto final
- La presión absoluta en el último cuerpo
- La alimentación de vapor y jugo al primer evaporador
- Remoción de condensados y gases incondensables
- El control de incrustación en cada evaporador

#### **2.2.1.5. Cristalización**

La cristalización o crecimiento de la sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío, estos cocimientos, según su pureza producirán azúcar crudo y azúcar blanco, este es un proceso demorado que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos microscópicos de azúcar, denominados semillas (mezcla de granos refinados de azúcar con 100 mililitros de etanol), la experiencia del operario debe juzgar el punto exacto del cocimiento, para la obtención de un buen producto.

#### **2.2.1.6. Centrifugación**

Los cristales del azúcar se separan de la miel restante en la centrifugas, equipos cilíndricos que giran a gran velocidad, la miel pasa a través de las telas, los cristales quedan atrapados dentro de las centrifugas y luego se lavan con agua. Las mieles vuelven a los tachos o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol en las destilerías. El azúcar pasa al proceso de secado y enfriado.

### **2.2.1.7. Secado**

En el proceso de secado se aplica un deshidratado para alcanzar niveles entre 0,2 por ciento para azúcar crudo y 0,03 por ciento para azúcares refinadas.

### **2.2.1.8. Envasado**

El azúcar crudo de exportación sale directamente de la secadora a las bodegas de almacenamiento. En las bodegas se carga a granel en camiones que la transportan al puerto de embarque.

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

El proceso de reducir la caña alimentada al molino hasta partículas de menor tamaño, adecuadas para el proceso de extracción, se denomina preparación de la caña. La reducción de tamaño es conseguida generalmente con el uso de picadoras con cuchillas rotativas localizadas sobre el sistema de conductores de caña y el paso de la caña por una desfibradora con martillos basculantes. La eficiencia y la capacidad de la planta de extracción dependen considerablemente de la preparación de la caña.

El equipo de preparación de caña representa más del 25 por ciento de la demanda total de potencia en una fábrica. El tipo de accionamiento empleado y la eficiencia con la cual la potencia es utilizada son por lo tanto muy importantes.

Generalmente los requerimientos para la molienda y difusión son similares. El objetivo es reducir los tallos de caña hasta pequeñas partículas,

que permitan que el jugo sea fácil de extraer, pero que preserven las propiedades requeridas para alimentar a los molinos, o las propiedades que permitan obtener un colchón no compactado en caso de utilizar difusión, pulverizar la caña hasta obtener aserrín no satisface estos objetivos. La preparación óptima conduce a una condición donde la mayoría de las células que contienen azúcar están rotas o abiertas, mientras que aun se encuentran presentes fibras largas, este tipo de preparación facilita la extracción de jugo.

La caña bien desfibrada tiene mayor densidad que la caña preparada con picadoras, contribuyendo a una mejor alimentación de los molinos. Adicionalmente, las fibras largas obtenidas con desfibradora llevan a que la caña preparada exhiba una tendencia a que sus partículas se enreden y agrupen mostrando cierta resistencia al esfuerzo de tensión. Esto es muy conveniente para la alimentación de los molinos, a medida que la caña preparada entra a un molino, la interacción entre las fibras jala el colchón de caña hacia adentro del molino, es ampliamente aceptado que la preparación de la caña afecta la alimentación de los molinos y por lo tanto su capacidad de molienda. Por consiguiente, obtener una preparación óptima brinda también beneficios en términos de capacidad de los molinos.

Se ha observado en la práctica que una preparación de la caña de estas características se puede lograr más fácilmente con desfibrado intensivo empleando desfibradoras pesadas y con un mínimo uso de picadoras, dado que el uso intenso de picadoras reduce la longitud media de las fibras.

#### **2.4. Medición de la preparación de la caña**

Para los dos procesos de molienda y difusión, un mayor rompimiento de las células que contienen azúcar resulta en una mayor extracción y en menor



humedad del bagazo final, esta última mejora la extracción y produce un material combustible que se quema mejor en las calderas.

Hugot (1984), discute que el picado de tallos enteros de caña puede conducir a ganancias en capacidad, más no a ganancias en extracción, con frecuencia se cree que la preparación de caña es menos importante en un tándem de molinos que en la difusión debido a la reducción adicional del tamaño de partículas obtenida en los molinos. Sin embargo, esto no es cierto, dado que los molinos pueden reducir el tamaño de las partículas de caña pero sin eliminar los pedazos más grandes. Debido a la importancia que la preparación tiene para el proceso de extracción, es importante tener la capacidad de medirla de manera rutinaria, aunque la medición del grado de preparación es difícil y los métodos existentes no son siempre confiables, se tienen los siguientes métodos de preparación:

#### **2.4.1. Densidad aparente**

Esta se mide comprimiendo la muestra de caña preparada a una presión determinada durante cierto tiempo, existe un método donde se comprime una muestra de 6,8 kg durante 5 minutos a una presión relativa de 103 kPa, mostrando que la densidad aparente esta correlacionada con la fineza de la caña preparada, así con partículas mas finas se logra una mayor densidad aparente. Se ha observado además que la densidad aparente esta correlacionada con los coeficientes de molienda; sin embargo, la densidad aparente también se ve afectada por el contenido de fibra.

### **2.4.2. Tamaño medio de partículas**

El análisis del tamaño de partículas de caña mediante tamizado o zarandeado es altamente dependiente de la técnica utilizada, debido particularmente a que el material es bastante pegajoso, no obstante, una vez que se ha logrado instaurar una técnica confiable, el análisis del tamaño de partículas de caña utilizando tamices puede brindar resultados mas confiables y reproducibles, ha sido demostrado que la superficie especifica o fineza de la caña preparada tiene la mejor correlación con la máxima tasa de percolación a través de un colchón de caña, así con preparaciones mas finas se obtienen menores tasas de percolación.

### **2.4.3. Medición del rompimiento de celdas**

El método de medición más común cuantifica el grado de rompimiento de las celdas, resolviendo la muestra de caña junto con agua en un recipiente homogenizador o Tumbler bajo condiciones estándar y efectuando una comparación posterior de la polarización o Brix de la extracción alcanzado en un desintegrador, donde todas las celdas han sido rotas o abiertas. Todas las mediciones pretenden evaluar el grado de preparación midiendo la cantidad de azúcar que puede ser lavada o removida fácilmente de una muestra de caña preparada, este es un enfoque útil dado que la preparación es evaluada en términos de que cuan lista esta el azúcar para ser extraída, desafortunadamente a veces no es una medición reproducible por la variedad de la caña y el contenido de materia extraña.

## **2.5. Factores que afectan la preparación de la caña**

Para obtener una medición apropiada de la preparación, es esencial tomar una muestra representativa de caña preparada, esta no es una tarea fácil por varias razones:

- El muestreo en la capa superficial sobre el conductor puede dar lugar a muestras sesgadas, pues frecuentemente ocurre cierta clasificación a la salida de la desfibradora, por ejemplo mas partículas finas caen a la salida de la desfibradora.
- La no-homogeneidad de caña dentro de un mismo envío o consigna requiere que varias muestras sean tomadas, necesitándose efectuar un mezclado de las submuestras antes de obtener la muestra para medición.
- No es fácil tomar submuestras confiables y luego mezclarlas.
- Si la caña no ha sido finamente preparada, el muestreo es frecuentemente sesgado al omitir pedazos grandes, debido a que la muestra requerida es generalmente pequeña, la inclusión o exclusión de un solo pedazo de caña puede afectar considerablemente al resultado.

Se han hecho varios estudios para identificar los factores que afectan al grado alcanzado en la preparación de caña, la velocidad de operación de los martillos ha mostrado ser el efecto más significativo, también la velocidad de la desfibradora tiene el mayor efecto sobre la preparación, mientras que el flujo de caña y el grado de picado alcanzado previamente a la desfibradora no tiene efecto significativo.

## 2.6. Relación entre lapolarización de celdas abiertas y caña

Para obtener el cálculo de índice de preparación es necesario detallar la realción existente entre la polarización de celdas abierta y de caña.

### 2.6.1. Polarización de celdas abiertas

De acuerdo con la tecnología de preparación de cada ingenio y el sistema de cosecha se determina el POC (*pol open cell*) llamado polarización de celdas abiertas, por la molienda se establecen los grados de extracción y el consumo en potencia de los molinos, según la calidad de caña, fibra, sistema de cosecha y el uso de imbibición en el primer molino. Para obtener una eficiencia en el proceso se cuantifican el efecto mecánico de la operación sobre la caña y el consumo específico de potencia, el POC representa el porcentaje de polarización contenido en la celdas que fueron rotas por acción de las cuchillas en las picadoras con referencia a la polarización de la caña, mientras tanto el consumo específico hace referencia a las toneladas de caña procesadas por hora (kW/tch) y las toneladas de fibra por hora (HP/tfh), estos índices al igual que el POC, dependen de diversos factores en los que destacan tasa de molienda, la tecnología de preparación y el tipo de cosecha (ver tabla I).

Tabla III. **Índices energéticos de consumo en la estación de preparación de caña, compuesta de tres picadoras en línea, zafra 2012-2013**

Equipos	Consumo de Potencia	
	kW/tch	HP/tfh
Picadora 1	1,5	12,4
Picadora 2	1,55	12,9
Picadora 3	2,4	20,2

Fuente: Departamento de Cogeneración.

### 2.6.2. Polarización de caña

La razón porcentual entre la sacarosa en el jugo y el Brix se conoce como pureza del jugo, el contenido aparente de sacarosa, expresado como un porcentaje en peso y determinado mediante un método de polarímetro, se denomina polarización. Los sólidos solubles en sacarosa, que incluyen los azúcares reductores como la glucosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, se denominan “no polarización” o no-sacarosas, los cuales porcentualmente resultan de la diferencia entre el Brix y la polarización.

### 2.6.3. Análisis de polarización celdas abiertas y caña

La tabla II, presenta indicadores operacionales de la estación de caña con dos diferentes tasas de molienda, la primera de 270 toneladas de caña molidas en una hora, por consiguiente 300 toneladas de caña molidas en una hora con la finalidad de verificar opciones de mejora en la extracción de jugo, mejor que se reflejada en el volumen del colchón de caña (ver tabla II, III, IV, V).

Tabla IV. **Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con dos tasas de molienda, zafra 2012-2013**

Tasa de molienda (Tm/h)	Índice de preparación (%)	Fibra en caña (%)	Consumo de potencia	
			kW/tch	HP/tfh
270	56,7	16,9	4,9	33,5
300	60	17,7	5,4	42,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con cosecha mecánica y manual, zafra 2012-2012**

Sistema de cosecha	Índice de preparación (%)	Fibra en caña (%)	Consumo de potencia	
			kW/tch	HP/tfh
Mecanizado	60	17,3	2,3	16
Manual	67,2	16,7	2,4	20,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con condiciones de carga, zafra 2011-2013**

Tasa de molienda (Ton/h)	Índice de preparación (%)	Fibra en caña (%)	Extracción del molino 1 (%)	Extracción global del tándem (%)	Polarización de bagazo (%)
270	56,7	16,9	61,3	96,3	2,4
300	60	17,7	67,4	96,5	2p3

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Índices de operación de estaciones de preparación de caña, con dos sistemas de cosecha, zafra 2011-2013**

Sistema de cosecha	Índice de preparación (%)	Fibra en caña (%)	Extracción del molino 1 (%)	Extracción global del tándem (%)	Polarización de bagazo (%)
Mecanizada	60	17,3	67,2	96,5	2,22
Manual	67,2	16,7	70	96,2	2,18

Fuente: elaboración propia.

## 2.7. Análisis de índice de preparación

Para realizar el análisis de índice de preparación como primer paso, se tiene que analizar la polarización del bagazo de caña.

### 2.7.1. Análisis de polarización de bagazo

Cuando se realiza el análisis de bagazo de caña, primero se analiza la polarización de bagazo antes de aplica el índice de preparación y posteriormente se analiza cuando ya se esta aplicando.

Tabla VIII. **Polarización de bagazo antes de realizar análisis de índice de preparación**

FECHA	DÍA ZAFRA	POLARIZACIÓN
09/11/2012	1	1,93
10/11/2012	2	1,99
11/11/2012	3	2,09
12/11/2012	4	1,94
13/11/2012	5	2,08
14/11/2012	6	2,03
15/11/2012	7	1,88
16/11/2012	8	1,98
17/11/2012	9	2,01
18/11/2012	10	1,85
19/11/2012	11	1,96
20/11/2012	12	1,65
21/11/2012	13	1,88
22/11/2012	14	1,8
23/11/2012	15	2,01
24/11/2012	16	1,76
25/11/2012	17	1,85
26/11/2012	18	1,84
27/11/2012	19	1,75
28/11/2012	20	1,81
29/11/2012	21	1,88

Continuación de la tabla VIII.

30/11/2012	22	1,86
01/12/2012	23	1,71
02/12/2012	24	1,78
03/12/2012	25	1,98
04/12/2012	26	1,56
05/12/2012	27	1,87
06/12/2012	28	1,76
07/12/2012	29	1,56
08/12/2012	30	1,67
09/12/2012	31	1,6
10/12/2012	32	1,77
11/12/2012	33	1,53
12/12/2012	34	1,84
13/12/2012	35	1,60
14/12/2012	36	1,67
15/12/2012	37	1,80
16/12/2012	38	1,69
17/12/2012	39	1,68
18/12/2012	40	1,85
19/12/2012	41	1,94
20/12/2012	42	1,91
21/12/2012	43	2,01
22/12/2012	44	1,92
23/12/2012	45	2,01
24/12/2012	46	1,90
25/12/2012	47	2,13
26/12/2012	48	1,40
27/12/2012	49	2,17
28/12/2012	50	1,93
29/12/2012	51	1,87
30/12/2012	52	2,06
31/12/2012	53	1,86
01/01/2013	54	1,85
02/01/2013	55	1,67
03/01/2013	56	1,71
04/01/2013	57	1,74
05/01/2013	58	1,97
06/01/2013	59	1,71
07/01/2013	60	1,91
08/01/2013	61	1,65
09/01/2013	62	1,85
10/01/2013	63	1,78
	<b>X</b>	<b>2,10</b>

Fuente: elaboración propia.



Los datos de polarización de bagazo obtenido, en promedio es de 2,10 por ciento un índice alto, en teoría se está quemando en las calderas de alta presión 2,10 libras de azúcar por tonelada de caña molida. Los datos que se presentaron son hechos sin el análisis de índice de preparación, a continuación se presentan los resultados del polarización de bagazo aplicando el análisis de índice de preparación.

Tabla IX. **Polarización de bagazo después de realizar el análisis de índice de preparación**

FECHA	DÍA ZAFRA	POLARIZACIÓN
11/01/2013	64	2,40
12/01/2013	65	1,71
13/01/2013	66	1,72
14/01/2013	67	1,62
15/01/2013	68	1,73
16/01/2013	69	1,58
17/01/2013	70	1,67
18/01/2013	71	1,72
19/01/2013	72	1,83
20/01/2013	73	1,81
21/01/2013	74	1,85
22/01/2013	75	1,93
23/01/2013	76	1,82
24/01/2013	77	1,55
25/01/2013	78	1,67
26/01/2013	79	1,67
27/01/2013	80	1,73
28/01/2013	81	1,83
29/01/2013	82	1,72
30/01/2013	83	1,75
31/01/2013	84	1,71
01/02/2013	85	1,81
02/02/2013	86	1,72
03/02/2013	87	1,68
04/02/2013	88	1,75
05/02/2013	89	1,56
06/02/2013	90	1,90

Continuación de la tabla IX.

07/02/2013	91	2,00
08/02/2013	92	1,94
09/02/2013	93	1,65
10/02/2013	94	1,64
11/02/2013	95	1,72
12/02/2013	96	1,88
13/02/2013	97	1,88
14/02/2013	98	1,76
15/02/2013	99	1,58
16/02/2013	100	1,53
17/02/2013	101	1,73
18/02/2013	102	1,66
19/02/2013	103	1,59
20/02/2013	104	1,77
21/02/2013	105	1,88
22/02/2013	106	1,68
23/02/2013	107	1,87
24/02/2013	108	1,80
25/02/2013	109	1,80
26/02/2013	110	1,65
27/02/2013	111	1,73
28/02/2013	112	1,87
01/03/2013	113	1,74
02/03/2013	114	1,82
03/03/2013	115	1,83
04/03/2013	116	1,84
05/03/2013	117	1,90
06/03/2013	118	1,83
07/03/2013	119	1,78
08/03/2013	120	1,90
09/03/2013	121	1,98
10/03/2013	122	2,01
11/03/2013	123	1,95
12/03/2013	124	1,78
13/03/2013	125	2,02
14/03/2013	126	1,89
15/03/2013	127	2,00
16/03/2013	128	1,89
17/03/2013	129	1,76
18/03/2013	130	1,89
19/03/2013	131	1,99
20/03/2013	132	1,79
21/03/2013	133	1,96
22/03/2013	134	1,99
23/03/2013	135	2,02
24/03/2013	136	1,95

Continuación de la tabla IX.

25/03/2013	137	1,91
26/03/2013	138	1,78
27/03/2013	139	1,87
28/03/2013	140	1,80
29/03/2013	141	1,69
30/03/2013	142	1,68
31/03/2013	143	1,84
01/04/2013	144	1,78
02/04/2013	145	1,80
03/04/2013	146	1,86
04/04/2013	147	1,87
05/04/2013	148	1,89
06/04/2013	149	1,75
07/04/2013	150	1,61
08/04/2013	151	1,96
09/04/2013	152	1,90
10/04/2013	153	1,86
11/04/2013	154	1,89
12/04/2013	155	2,03
13/04/2013	156	2,07
14/04/2013	157	2,07
15/04/2013	158	1,78
16/04/2013	159	3,02
17/04/2013	160	1,78
18/04/2013	161	1,81
19/04/2013	162	1,67
20/04/2013	163	1,69
21/04/2013	164	1,53
22/04/2013	165	1,90
23/04/2013	166	1,89
24/04/2013	167	1,72
25/04/2013	168	2,03
26/04/2013	169	2,10
27/04/2013	170	2,10
28/04/2013	171	1,86
29/04/2013	172	1,77
30/04/2013	173	1,50
01/05/2013	174	1,45
02/05/2013	175	1,57
	<b>X</b>	<b>1,81</b>

Fuente: elaboración propia.

Los datos de polarización de bagazo obtenido, el promedio es de 1,81 por ciento un índice bajo, en teoría se está quemando en las calderas de alta presión 1,81 libras de azúcar por tonelada de caña molida, cabe mencionar que se aplicó la herramienta del análisis de índice de preparación.

### **2.7.2. Análisis de porcentaje de extracción**

Con un promedio de 2 por ciento es un límite permisible, y se encontraba arriba del límite se estaba incinerando 2,10 lbs de azúcar por tonelada de caña preparada en las calderas de alta presión, actualmente el promedio antes de realizar el índice de preparación era de 2,10 por ciento por lo que se tenía una considerable pérdida, aplicando la metodología de índice de preparación se logró obtener un promedio menor el cual es de 1,81 por ciento esto indica que se tuvo un 0,29 por ciento de libras de azúcar recuperadas por tonelada de caña molida, si se hace la multiplicación del total de caña molida que es 1 144 537,00 matemáticamente  $0,29 \times 1\ 144\ 537,00 = 331\ 915,73$  toneladas, lo que hace una igualdad de 165,95 qq, en el mercado se cotiza a un promedio de \$20,00 dólares por quintal de azúcar crudo se hace una ganancia de \$3 319,15.

### **2.7.3. Cálculo de índice de preparación**

- Cálculo del porcentaje de caña bien preparada

$$\text{por ciento caña bien preparada} = \left\{ \frac{\text{Peso (kg) de caña bien preparada}}{\text{Peso de (kg) de muestra total de caña}} \right\} * 100$$

Ejemplo:

Peso caña bien preparada: 12 kg.

Peso de muestra total de caña: 20 kg.

$$\text{por ciento Caña bien preparada} = \left\{ \frac{12 * 100}{20} \right\} = 60$$

Se interpreta que por 100 libras caña procesadas un 60 por ciento esta bien preparada, el 40 por ciento restante no cumple con las exigencias del molino para extraer el máximo de jugo de caña.

- Cálculo de celdas abiertas

$$\text{Celdas abiertas} = \left\{ \frac{\text{Polarización de jugo del lixiviador}}{\text{Polarización de Jugo del digestor}} \right\} * 100$$

Ejemplo:

Polarización de jugo del lixiviador: 18,50

Polarización de jugo del digestor: 19,15

$$\text{Celdas abiertas} = \left\{ \frac{18,50}{19,15} \right\} * 100 = 96,61\%$$

Se interpreta que por 100 libras de caña procesadas el 96,61 por ciento contiene celdas abiertas lo que mejora el porcentaje de extracción de jugo, el promedio actual de POC, es de 95 – 100 por ciento.

- Índice de preparación

$$\text{por ciento índice de preparación} = \left\{ \frac{(\% \text{ caña bien preparada}) * (\text{OpenCell})}{100} \right\}$$

Ejemplo:

por ciento caña bien preparada: 60

Open Cell: 96,61

$$\text{por ciento índice de preparación} = \left\{ \frac{60 * 96,61}{100} \right\} = 57,97$$

El índice de preparación en promedio oscila entre 75 – 80 por ciento, 57,97 por ciento indica que las picadoras han perdido fuerza, la preparación de la caña no es la adecuada y el tándem de molinos no hará una extracción de jugo eficiente.

Tabla X. **Formato para cálculo de índice de preparación**

<b>Muestreo</b>		
Muestra	Después de la 3ra. Picadora	Dimensionales
Frecuencia	1	Día
Masa caña conductor	20	Kilos
Anotar tipo de caña a evaluar	Mecanizada / granel	
<b>% Caña preparada</b>		
Tamizar la caña, tamiz 1" (facilidad)	Separar trozos gruesos de porciones finas de caña 10 cm	
Masa caña fina	17,10	Kilos
Masa caña gruesa	2,35	Kilos
% Caña preparada	87,92	%
<b>Celdas abierta - open cell</b>		
<b>Colocar desintegrador</b>		
Masa caña fina	300,00	g
Masa agua	1000,00	mL

Continuación de la tabla X.

Desintegrar	15,00	Minutos
Determinar Lectura pol Horne	11,11	Lectura pol desintegrador
<b>Colocar tambos lixiviación</b>		
Masa caña fina	300,00	
Masa agua	1000,00	
Girar durante	15,00	Minutos
Determinar lectura polarización tambo 1, Horne	10,75	Lectura polarización tambo # 1
Determinar Lectura polarización tambo 2, Horne	10,65	Lectura polarización tambo # 2
Promedio Lectura polarización tambos	10,70	
Open cell o celdas abiertas	0,96	
<b>Índice de preparación</b>		
Índice de preparación	84,67	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resumen índice de preparación**

Día de Zafra	Fecha	I.P. (%)	Fibra (%)
64	11/01/2013	65,32	11,40
65	12/01/2013	67,12	12,50
66	13/01/2013	64,39	14,20
67	14/01/2013	87,24	13,60
68	15/01/2013	86,35	10,80
69	16/01/2013	82,18	11,20
70	17/01/2013	84,78	11,50
71	18/01/2013	83,67	10,60
72	19/01/2013	88,12	15,60
73	20/01/2013	87,45	10,20
74	21/01/2013	80,29	11,50
75	22/01/2013	82,19	14,80
76	23/01/2013	84,65	12,80
77	24/01/2013	81,18	11,80
78	25/01/2013	80,34	11,67
79	26/01/2013	82,12	12,46
80	27/01/2013	81,00	12,48
81	28/01/2013	82,14	12,70
82	29/01/2013	82,00	12,90

Continuación de la tabla XI.

83	30/01/2013	80,23	14,60
84	31/01/2013	79,56	14,70
85	01/02/2013	79,00	10,70
86	02/02/2013	78,89	12,30
87	03/02/2013	77,34	12,00
88	04/02/2013	77,23	10,70
89	05/02/2013	78,54	11,00
90	06/02/2013	77,56	12,00
91	07/02/2013	76,86	13,90
92	08/02/2013	76,70	14,80
93	09/02/2013	77,00	14,60
94	10/02/2013	75,00	13,40
95	11/02/2013	74,00	13,20
96	12/02/2013	73,89	13,20
97	13/02/2013	75,78	12,10
98	14/02/2013	74,21	14,20
99	15/02/2013	73,11	14,20
100	16/02/2013	87,19	12,40
101	17/02/2013	87,23	11,00
102	18/02/2013	86,43	13,24
103	19/02/2013	86,11	13,24
104	20/02/2013	85,01	13,42
105	21/02/2013	85,00	13,24
106	22/02/2013	85,33	13,24
107	23/02/2013	84,36	11,40
108	24/02/2013	83,85	12,50
109	25/02/2013	83,34	14,20
110	26/02/2013	82,83	13,60
111	27/02/2013	82,31	10,80
112	28/02/2013	81,80	11,20
113	01/03/2013	81,23	11,50
114	02/03/2013	81,00	10,60
115	03/03/2013	80,78	15,60
116	04/03/2013	80,50	12,50
117	05/03/2013	80,23	14,20
118	06/03/2013	80,09	13,60
119	07/03/2013	79,98	10,80
120	08/03/2013	79,72	12,00
121	09/03/2013	79,46	13,32
122	10/03/2013	79,20	13,50
123	11/03/2013	79,01	13,69



Continuación de la tabla XI.

124	12/03/2013	78,94	13,87
125	13/03/2013	78,60	14,05
126	14/03/2013	78,42	14,24
127	15/03/2013	78,16	14,42
128	16/03/2013	78,04	14,60
129	17/03/2013	77,90	13,87
130	18/03/2013	77,64	14,78
31	19/03/2013	77,39	14,96
132	20/03/2013	77,13	15,15
133	21/03/2013	77,00	15,33
134	22/03/2013	76,87	15,50
135	23/03/2013	76,61	13,24
136	24/03/2013	76,35	13,42
137	25/03/2013	76,09	13,24
138	26/03/2013	75,99	13,24
139	27/03/2013	75,83	11,40
140	28/03/2013	75,57	12,50
141	29/03/2013	75,31	14,20
142	30/03/2013	75,05	13,60
143	31/03/2013	75,01	10,80
144	01/04/2013	74,80	11,20
145	02/04/2013	74,54	11,50
146	03/04/2013	74,28	10,60
147	04/04/2013	74,02	15,60
148	05/04/2013	73,89	14,45
149	06/04/2013	73,76	13,18
150	07/04/2013	73,50	13,46
151	08/04/2013	73,24	13,74
152	09/04/2013	72,98	14,01
153	10/04/2013	71,34	14,29
154	11/04/2013	88,90	14,57
155	12/04/2013	88,00	13,00
156	13/04/2013	87,56	13,88
157	14/04/2013	87,23	13,81
158	15/04/2013	85,56	13,70
159	16/04/2013	85,67	13,69
160	17/04/2013	86,00	13,63
161	18/04/2013	85,23	14,67
162	19/04/2013	84,90	13,50
163	20/04/2013	84,12	13,50
164	21/04/2013	83,00	13,44

Continuación de la tabla XI.

165	22/04/2013	84,45	13,38
166	23/04/2013	83,65	14,45
167	24/04/2013	83,65	13,32
168	25/04/2013	82,12	13,25
169	26/04/2013	82,43	13,19
170	27/04/2013	81,89	13,13
171	28/04/2013	81,70	13,69
172	29/04/2013	81,20	13,87
173	30/04/2013	81,00	14,05
174	01/05/2013	80,90	14,24
175	02/05/2013	80,56	14,42
	$\bar{X}$	<b>79,85</b>	

Fuente: elaboración propia

Se tiene un promedio de índice de preparación de 79,85 por ciento una aproximación a 80 por ciento lo cual es algo positivo, en teoría el rango de índice de preparación oscila entre 75 a 85 por ciento, mientras que el porcentaje de fibra está en 13,14, un dato excelente que indica una considerable combustión y en el tándem de molinos se realiza una excelente extracción de jugo. En las celdas que se encuentran marcadas es donde se hace la pauta para hacer el cambio de picadoras, este cambio fue propuesto debido que el índice de preparación bajo en la escala permitida.

## **2.8. Mantenimiento de las picadoras**

Toda maquinaria industrial utilizada en los procesos de transformación de caña en azúcar o sus derivados necesita mantenimiento, en el período de reparación que comprende de mayo a octubre se realiza es el momento en que los operarios realizan el servicio de mantenimiento a la picadoras, a continuación se describe el mantenimiento actual y la propuesta de mantenimiento.

### **2.8.1. Mantenimiento actual**

La zafra y la fábrica inician operaciones en noviembre específicamente, en las primeras dos semanas, anteriormente no se contaba con plan de mantenimiento específico a las picadoras. El tiempo de zafra se hacen aproximadamente tres cambios de chuchillas de picadoras, como mínimo dos cambios, en zafras pasadas se habían realizado dos cambios, estos cambios se lograban gracias a los asuetos brindados por la administración. El primer cambio de picadoras se realizaba antes de el asueto del 25 de diciembre y el segundo cambio para la fecha de Semana Santa, debido a estos cambios el pol de bagazo estaba en promedio arriba de dos (2), hoy en día con el análisis del índice de preparación se tiene un dato exacto, cuando las cuchillas de las picadoras se han deteriorado y el promedio del índice de preparación es menor del 80 por ciento esto indica un cambio de picadoras, por los datos que se obtuvieron y la experiencia en esta investigación es un promedio de dos (2) meses. Los cambios se recomienda hacerlos con base en el análisis de índice de preparación.

### **2.8.2. Propuesta de mantenimiento**

La propuesta de mantenimiento, teniendo como base los datos de índice de preparación y el porcentaje de caña preparada, el cambio debe programarse cuando el índice de preparación esté en un intervalo de 75 a 80 y la preparación de la caña esté por debajo del 80 por ciento.

## **2.9. Eficiencia de picadoras versus propuesta de implementar una desfibradora**

La eficiencia de las picadoras se encuentre en un 90 a 95 por ciento si se le da el mantenimiento adecuado, no aumentar el volumen del colchón de caña, sabiendo que las revoluciones por minutos tienen que oscilar entre 700 a 800 para la primera y segunda picadora, la tercera oscila entre 900 revoluciones por minuto, estas tres picadoras cumplen el objetivo, una desfibradora hace el trabajo similar prepara la caña en más de un 98 por ciento.

### **2.9.1. Efectividad de picadoras en la preparación de la caña**

La efectividad es la capacidad de lograr un efecto deseado, esperado o anhelado. En cambio, eficiencia es la capacidad de lograr el efecto en cuestión con el mínimo de recursos posibles viable. Se define la efectividad como el equilibrio entre la eficacia y la eficiencia, entre la producción y la capacidad de producción.  $E = P/CP$ .

La efectividad de las picadoras se tomó con base en la producción con fecha 02 de mayo de 2013, siendo de 6 066,82 toneladas de caña y la capacidad de producción es de 7 500,00 toneladas.

$$E = P/CP \quad (6\ 066,82) / (7\ 500,00) = 0,8089 * 100 = 80,89 \%$$

### **2.9.2. Propuesta de implementar una desfibradora**

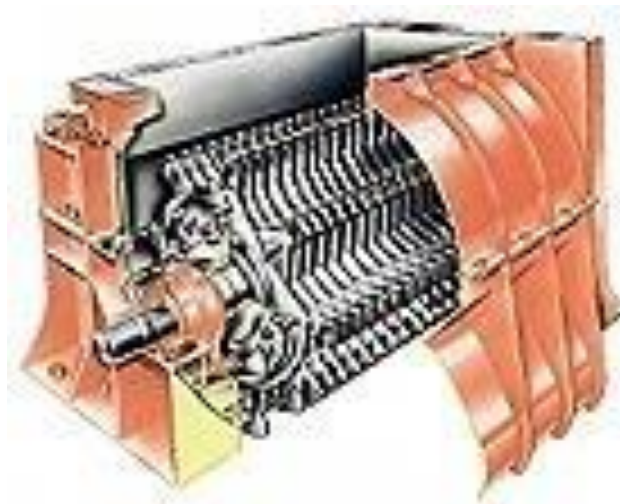
Una desfibradora cumple con una preparación de caña mayor al 95 por ciento aproximadamente, las tres picadoras con que se cuentan actualmente cumplen su objetivo de preparar la caña de la que posteriormente se le extraerá

el jugo en el tándem de molinos. Actualmente el promedio de celdas abiertas es de 79,85 por ciento, si se tuviera una desfibradora el promedio de celdas abiertas sería de 92 por ciento. Para lograr implementar una desfibradora, se tiene que saber si realmente conviene tanto económicamente como físicamente, se analiza que tipo de desfibradora es recomendada, los beneficios y lo mas importante para la empresa los costos que puede representar.

### **2.9.3. Tipo de desfibradora**

A continuación se detalla el tipo de desfibradora a cotizar para instalarla en la línea de producción.

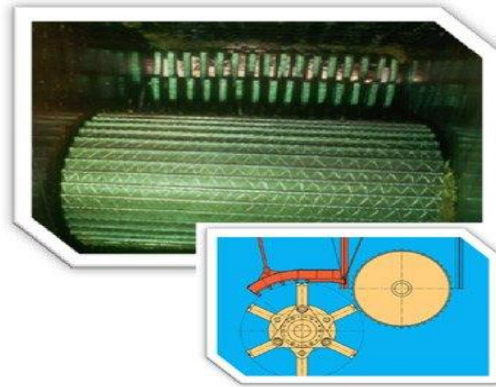
Figura 14. **Desfibradora HS COP-5**



Fuente: SEAGRO.

En la figura (15) se observa una desfibradora horizontal, tipo DCE COP-5 con martillos oscilantes, con un porcentaje de celdas abiertas de hasta 92-95 por ciento.

Figura 15. **Desfibradora HS COP-5**



Fuente: SEAGRO.

#### **2.9.4. Beneficios**

El mayor beneficio es que se obtiene un índice de preparación de 92 por ciento que brinda un mayor porcentaje de extracción de jugo, por lo tanto mayores ganancias. A grandes rasgos se detalla como se ve reflejado si se tuviese una desfibradora: si se tiene un promedio de índice de preparación de 92 por ciento se tendrá aproximadamente una polarización de bagazo de 1,47 esto indica una recuperación de azúcar de 0,63 libras por cada tonelada de caña molida, matemáticamente  $0,63 * 1\ 144\ 537,00 = 721\ 058,31 = 360,52\ qq * \$20,00 = \$7\ 210,58$

Comparando la ganancia de las picadoras y la desfibradora se obtuvo lo siguiente: picadoras = \$3 319,15 y desfibradora = \$7 210,58 por lo cual se obtiene una diferencia de \$3 891,43.

## 2.10. Costos

Se realizó una cotización de una desfibadora que trabaja un índice de preparación de 95 por ciento y capacidad de 12 000,00 toneladas por día.

Tabla XII. **Cotización de una desfibadora**

Fecha	Capacidad	Especificaciones	Precio USD	País
27/Abr/2013	12000,00 Tm/día	Horizontal, tipo: DCE COP-5, con martillos oscilantes, con un Open Cell de hasta 92-95 por ciento.	\$50 000,00	D.F. México

Fuente: SEAGRO.





### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN, PLAN DE AHORRO ENERGÉTICO**

#### **3.1. Diagnóstico**

Se llevo a cabo analizando la situación actual de las diferentes áreas donde se utiliza energía eléctrica, tanto por trabajadores administrativos como operarios, dicho plan va enfocado para el área Industrial de la fábrica.

#### **3.2. Consumidores de energía eléctrica en el área industrial**

A continuación se detalla la cantidad de personal que se encuentra laborando en el área Industrial, los principales consumidores de energía eléctrica dentro de la fábrica, se dividieron para verificar cuales tienen un mayor consumo energético y así capacitarlos en el uso adecuado de este recurso (ver tabla XI).

Tabla XIII. **Cantidad de personal por área de trabajo**

<b>Área de trabajo</b>	<b>Consumidores (Personal)</b>
Fábrica	154
Laboratorio	12
Oficina	14

Fuente: Departamento de Recursos Humanos.

### **3.3. Análisis de consumo energético**

Para verificar la cantidad de consumo energético que actualmente se genera en un período de zafra en el área Industrial se llevó a cabo la siguiente metodología:

- Conteo de la cantidad de lámparas y de computadoras que actualmente forman parte del equipo de trabajo, tanto de la parte operaria como administrativa.
- Toma del tiempo en el cual se mantienen encendidas las lámparas y las computadoras durante el día, así como otros accesorios como carga de linternas, celulares, equipo de laboratorio.
- Luego se realizaron los cálculos necesarios para conocer el consumo eléctrico que conlleva la utilización de las lámparas y las computadoras para la fábrica.

A continuación se detalla el consumo energético del equipo electrónico presente en la fábrica, se determinó el ahorro energético que se puede obtener implementando un plan de menor consumo de energía eléctrica

- Lámparas y equipo de computo en el área Industrial:  
La fábrica es la que ocupa el mayor número de lámparas, se tienen 15 lámparas con 2 tubos fluorescente T8 de 70 W cada uno, el promedio en que la luz está encendida siendo de 12 hrs; este consumo en el turno de la noche teniéndose un consumo de 40,32 kW-h al día. De día se tiene excelente iluminación natural.

En el área de oficinas administrativas se cuenta con 8 computadoras con CPU y su monitor CRT que consumen 200 W. Se mantienen en uso diario de 24 horas 6 equipos, el resto 12 horas. Teniéndose un consumo de 14,4 kW-h al día, se cuenta con 6 bombillos fluorescentes de 75 W que mantienen encendidas 12 horas diarias, con un promedio en consumo de 900 W.

- Lámparas fluorescentes y computadoras del área de Control de Calidad  
El área de Control de Calidad está continuo al área de oficinas, teniendo una muy buena iluminación natural, pero en el turno de noche se hace necesario el uso de energía artificial, y como se observó se tienen 4 lámparas con 2 tubos fluorescente T8 de 46 W cada uno, por lo que se tiene un total de 16 lámparas de 46 W. En promedio se mantiene la luz encendida durante 12 horas diarias, por lo que se tiene un consumo de 17,66 kW-h al día.

En el área de Control de Calidad se cuenta con 3 computadoras con CPU y su monitor CRT que consumen 200 W. Se mantienen en uso dos computadoras de 8 horas y una de 24 horas, con un promedio de consumo de 3,2 kW-h al día.

#### **3.4. Plan de ahorro energético**

El principal objetivo de esta investigación es buscar una alternativa por lograr una disminución en el consumo energético, se presentan las propuestas como medio de implementación en el área Industrial, para lograr un ahorro en energía eléctrica.

- Lámparas tubulares led

Con las bombillas de bajo consumo led se puede reducir el costo de la luz, entre un 40 y un 90 por ciento, según el tipo de bombillas que se esté sustituyendo. Si se sustituyen las bombillas de bajo consumo "normales" (que no dejan de ser fluorescentes en pequeño, con un contenido de gases tóxicos) por las de tipo leds se puede reducir de un 35 a un 40 por ciento del recibo de la luz. Si lo que se sustituye son incandescentes o halógenas, el ahorro puede estar entre el 75 y el 90 por ciento en el costo de la factura.

Un led o diodo emisor de luz, es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incoherente de espectro reducido, cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia. El color, depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo (ver figura 18).

Figura 16. **Bombillas led**



Fuente: *proleds.es*. Consulta: 12 de noviembre de 2013.

La utilización de tubos led conlleva un gran ahorro, ya que el consumo de energía es un 60 por ciento menor que utilizando tubos fluorescentes, ya que un tubo fluorescente de 75 W puede ser sustituido por un tubo led de 28,4 W y uno de 46 W fluorescente por un tubo led de 20,5 W, proveyendo un 25 por ciento más de luminosidad que los fluorescentes.

Calculando la cantidad de kW-h por día que se consumiría utilizando tubos led de 28,4 W y de 20,5 W sustituyendo a los tubos fluorescentes de 75 W y 46 W respectivamente, se obtuvieron los siguientes resultados: para el área de fábrica utilizando 15 tubos led de 28,4 W por 12 horas diarias de funcionamiento, se obtiene un consumo de 25,76 kW-h por día.

Para el laboratorio de control de calidad utilizando 16 tubos led de 20,5 W por 12 horas diarias de funcionamiento se obtiene un consumo de 11,29 kW-h por día.

La utilización de tubos led implican un ahorro por la disminución en los Watts necesarios para funcionar. En la siguiente tabla se presentan los resultados de ahorro de consumo de energía eléctrica y el ahorro económico que se puede llegar a tener con este sistema (ver tabla XII).

Tabla XIV. **Resumen comparativo de consumo de energía**

Área	Consumo mensual Lámparas Incandescentes (kW-h/mes)	Consumo mensual Lámparas led (kW-h/mes)	Ahorro generado mensual (kW-h/mes)	Ahorro económico (Q1,83 kW-h)
Fábrica	1 209,6	819	390,6	714,798
Laboratorio	529,8	235,6	294,2	538,38
Oficina	27	14,8	12,4	22,70
<b>TOTAL</b>	<b>1 766,4</b>	<b>1 069,4</b>	<b>696,6</b>	<b>1 274,77</b>

Fuente: elaboración propia.

- Monitores LCD

Los monitores LCD son de los monitores más modernos y más eficientes en el uso de energía eléctrica, ya que estos ahorran aproximadamente un 50 por ciento de energía, en comparación con un monitor CRT, teniendo un consumo de 35 W en comparación con los 70 W del CRT. El monitor LCD es una pantalla delgada y plana, formada por un número de píxeles en color o monocromos, colocados delante de una fuente de luz o reflectora. Se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

Tabla XV. **Resumen comparativo de consumo energético**

Area	Consumo mensual Monitor CRT (kW-h/mes)	Consumo mensual LCD (kW-h/mes)	Ahorro generado mensual (kW-h/mes)	Ahorro económico (Q 1,83 kW-h)
Fábrica	0	0	0	0
Laboratorio	96	40	56	102,48
Oficina	432	210	222	406,26
<b>TOTAL</b>			<b>278</b>	<b>508,74</b>

Fuente: elaboración propia.

Se tiene un poco de ahorro en lo que respecta al consumo de energía con equipo electrónico, se tomaron medidas con respecto a la carga de lámparas para supervisión, carga de batería de teléfono móvil y otros.

### 3.5. Indicadores de control de consumo de energía eléctrica

En este punto se presentan los indicadores que ayudarán a la empresa a mantener un control constante, si el consumo de energía ha sido eficiente o se ha gastado energía sin justificación.

El indicador planteado para llevar el control de energía con relación a los empleados, se llama consumo mensual de energía eléctrica por empleado. Para el cual se utilizarán las unidades de medición kilovatio hora (kW-h) y el dato del número total de empleados. Los datos necesarios para el cálculo de este indicador estarán dados por los gastos presentes en las facturas eléctricas y la lista de empleados, se recomienda mantener una periodicidad mensual. La fórmula del indicador es la siguiente:

Consumo mensual energético por empleado = kWh mensual/ Número de empleados.

A continuación se presentan los precios de energía eléctrica de la tarifa no social desde febrero 2010 hasta abril del 2012, donde se observa la variación que se ha dado a través del tiempo (ver tabla XIV).

Tabla XVI. **Variación histórica de tarifa no social**

<b>FECHA</b>	<b>Q/kW-h</b>
Feb-Abr 2010	1,77
Mayo-Jul 2010	1,94
Ago-Oct 2010	1,75
Nov-Ene 2011	1,60
Feb-Abr 2011	1,57
Mayo-Jul 2011	1,72
Ago-Oct 2011	1,93
Nov-Ene 2012	1,85
Feb-Abr 2012	1,83

Fuente: CNEE.





## **4. FASE DE DOCENCIA, PLAN DE CAPACITACIÓN PARA EL PERSONAL DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

### **4.1. Diagnóstico**

Se realizaron entrevistas estructuradas tanto al personal profesional como operario del Laboratorio de Control de Calidad, teniendo en cuenta que el ingenio deja de operar de mayo a noviembre; estos meses son adecuados para charlas, talleres, conferencias y capacitaciones.


- Patio de caña: en esta área se entrevistó al supervisor de maquinaria, obteniendo como resultados las siguientes necesidades de capacitación:
  - BPM
  - HACCP
  - Seguridad industrial
  - Producción más limpia
  - Trabajo en equipo
  - Comunicación efectiva
  - Supervisión industrial
  - Sellado de fluidos
  - Mantenimiento de reductores y bombas centrífugas
  - Mecánica industrial
  - Administración de presupuestos

- Tándem de molinos: en esta área se entrevistó al jefe de molinos, se diagnosticaron las siguientes necesidades de capacitación:
  - BPM
  - HACCP
  - Seguridad industrial
  - Control de calidad
  - Comunicación efectiva
  - Sellado de fluidos
  - Producción más limpia
  - Trabajo en equipo
  - Mantenimiento de reductores y bombas centrífugas
  - Mecánica industrial
  - Administración de presupuestos
  
- Laboratorio de Control de Calidad: en esta área se entrevistó al jefe del laboratorio, se identificaron las siguientes necesidades de capacitación:
  - BPM
  - Desinfección
  - Sanitización
  - Organización y planeación del tiempo
  - Índice de preparación
  - Manejo de materiales desechables
  - Uso de implementos de laboratorio
  - Trabajo en equipo
  - Comunicación efectiva

## 4.2. Plan de Capacitación

El Plan de Capacitación se realizará en el período de reparación, debido a que los operarios tienen mayor tiempo, dicho plan muestra una programación para realizar las capacitaciones, se cuenta con la ayuda técnica profesional de recurso humano de instituciones como Intecap, Tecun-Isemsa y Cengicaña (ver tabla XV).

Tabla XVII. Plan de Capacitación 2014

		<b>PLAN DE CAPACITACIÓN PARA EL PERSONAL DE ÁREA INDUSTRIAL INGENIO TULULA S. A.</b>				
Capacitación a impartir	Objetivo de la capacitación	Proveedor Externo	Fecha a Ejecutar	Puestos a participar	Cantidad de participantes	Horas
Comunicación efectiva	Fortalecer los conocimientos sobre la comunicación efectiva en sus actividades laborales y en su vida diaria.	INTECAP	junio	Jefes de departamento y supervisores	10	2
Trabajo en equipo	Fomentar el hábito de trabajo en equipo y reforzar los conocimientos sobre sus beneficios	INTECAP	julio	Jefes de departamento y supervisores	10	1,5
Supervisión industrial	Reforzar los conocimientos y beneficios de una supervisión industrial efectiva	INTECAP	agosto	Jefes de departamento y supervisores	10	4

Continuación de la tabla XVII.

Administración de presupuestos	Reforzar y apoyar al personal involucrado para un mejor seguimiento del presupuesto.	INTECAP	septiembre	Jefes de departamento y supervisores	10	4
Sellado de fluidos	Reforzar los conocimientos sobre la selección y uso de estopas y sellos mecánicos.	Proindesa	agosto	Mecánicos A y B	12	3
Detección de vibraciones en máquinas industriales	Fortalecer los conocimientos sobre la detección de vibraciones en los equipos de generación y transmisión de potencia.	INTECAP	julio	Mecánicos y supervisores de área	10	2
AutoCad intermedio	Reforzar e incrementar el conocimiento en el uso del programa autoCAD.	INTECAP	junio	Jefes de departamento y supervisores	6	4
Mantenimiento de reductores de velocidad y bombas centrífugas	Reforzar los conocimientos sobre el mantenimiento de reductores de velocidad y bombas centrífugas.	Tecun - Isemsa	junio	Mecánicos y ayudantes de mecánico	10	5
Uso de cemento refractario y aislamientos térmicos	Conocer la mejor aplicación de los productos refractarios y su análisis térmico.	Refractarios Nacionales	julio	Supervisores maquinaria y personal relacionado	8	2
Mecánica industrial	Fortalecer e instruir a los colaboradores en el manejo de la mecánica y sus aplicaciones a nivel industrial.	CENGICAÑA	Cuando Cengicaña lo imparta	Mecánicos "C" y ayudantes de mecánico	10	3

Continuación de la tabla XVII.

Buenas Prácticas de Manufactura	Que el personal conozca las buenas prácticas y las ponga en práctica.	EPS	julio	Área Industrial	10	2
Producción más limpia	Reforzar los conocimientos y beneficios de la producción más limpia.	EPS	agosto	Jefes de departamento y supervisores	10	3
Sanitización y desinfección	Reforzar y apoyar al personal involucrado con el contacto de muestras de laboratorio.	EPS	septiembre	Personal de laboratorio	10	2
Índice de preparación	Capacitar al personal sobre el índice de preparación.	EPS	agosto	Personal de laboratorio	12	5
Uso del equipo de laboratorio	Fortalecer los conocimientos sobre adecuado uso del equipo y cristalería de laboratorio.	EPS	julio	Personal de laboratorio	10	1
Manejo de materiales	Reforzar e incrementar el conocimiento en el manejo de materiales.	INTECAP	junio	Jefes de departamento y supervisores	10	2

Fuente: elaboración propia.

Se evaluó al personal con base en su desempeño, para verificar si las capacitaciones dieron un efecto positivo, las cuales se midieron de acuerdo al desempeño del trabajo, a través de pruebas escritas.

### **4.3. Resultados obtenidos de la capacitación**

Se realizaron 16 capacitaciones utilizando la modalidad de curso-taller, dirigido a operarios del sector de la fábrica, que laboran directamente en producción.

La mayor parte de los operarios que fueron capacitados son del área Industrial, vinculados a la actividad de producción con un total de 154 (85 %), con algunos conocimientos previos de la metodología que se aplica, se logró la incorporación de los dirigentes responsabilizados con la conducción y control de la actividad administrativa, con un total de 14 (8 %), y de los operarios del Laboratorio de Control de Calidad 12 (7 %).

Un personal eficiente, comprometido y analítico, es lo que se espera después de aplicar el plan de capacitaciones. Al final de cada capacitación se les evaluó para verificar el conocimiento adquirido, si el personal no aplica lo aprendido en las capacitaciones en sus labores de trabajo; como medidas correctivas se implementarán capacitaciones de retroalimentación.

### **4.4. Costos**

En la tabla XVI se presentan los costos de la capacitación realizada sobre el tema de índice de preparación, se tomaron en cuenta los principales elementos a utilizar, con 15 operarios del área de Laboratorio de Análisis de Calidad.

Tabla XVIII. **Costos de capacitación**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Papel	25	Q5,00
Impresión	25	Q10,00
Material didáctico	25	Q15,00
<b>Total</b>	<b>75</b>	<b>Q30,00</b>

Fuente: elaboración propia.

En las demás capacitaciones se cobró Q50,00 por operario capacitado, dicha cifra fue cancelada por el área Industrial con ayuda del Departamento de Recursos Humanos a Intecap, siendo la entidad que prestó el servicio.





## CONCLUSIONES

1. Se logró optimizar el porcentaje de extracción, el promedio de polarización de bagazo se encontraba en 2,10 por ciento. Con las herramientas de ingeniería aplicadas se logró 1,81 por ciento, logro considerable ya que se está ahorrando un 0,29 por ciento en la extracción de azúcar.
2. Al analizar la polarización de celdas abiertas y polarización de caña, se determinó que se cuenta con un promedio de índice de preparación de 79,85 por ciento, un indicador que cumple con los objetivos de extracción, verificando este dato se tiene la certeza que se cuenta con una preparación de caña de 89 por ciento.
3. Con el 79,85 por ciento de índice de preparación se tiene la certeza que se está obteniendo una preparación de caña de 89 por ciento, esto indica que las tres picadoras están efectuando un trabajo óptimo en la estación de preparación de caña de azúcar.
4. El mantenimiento para picadoras es rutinario, en el momento que el índice de preparación oscila entre 75 a 80 por ciento, es momento de planificar un cambio, esto para prevenir cuando se llegue a un dato menor de 75 ya se tenga planificado el cambio, en total en la zafra se planificarán 3 cambios de picadoras en un período de un mes, mes y dos semanas o dos meses dependerá grandemente del índice de preparación.

5. La efectividad de la línea de tres picadoras cumplen su objetivo primordial al preparar la caña de 80,89 por ciento, a su vez preparan la caña con una eficiencia de 89 por ciento, implementar una desfibradora llevaría un gasto exorbitante de \$50 000,00 claro está que sería una preparación de caña de 98 por ciento y un índice de preparación de 92 por ciento, pero si se mejoran las técnicas mecánicas de las picadoras y se hacen investigaciones más profundas al análisis de índice de preparación se puede obtener mejores resultados.
6. Se elaboró un Plan de Capacitación, para obtener un personal capaz, consciente, competitivo, responsable, proactivo y visionario; se realizaron varias capacitaciones, aunque la de mayor importancia fue la de Índice de Preparación, todo esto como parte de la mejora continua al personal de laboratorio y fábrica.
7. Se realizaron las investigaciones pertinentes en lo que respecta a una producción más limpia dentro de la fábrica de producción, el tema energético es de mucha importancia. Se elaboró un plan en el cual se detalla los principales consumidores de energía, indicadores energéticos y como contrarestrar el exceso mediante un análisis energético. Se planteó la medida correctiva a este problema por lo que se le hizo entrega a la Gerencia el plan de ahorro energético.

## RECOMENDACIONES

1. Mantener una polarización de bagazo menor a 2 por ciento, para aplicar el Índice de Preparación, un mantenimiento predictivo de picadoras y aumentar las revoluciones por minuto, no forzar la preparación con un volumen de colchón de caña muy excesivo.
2. Rotar al personal de laboratorio que toma las muestras, de modo que cada persona lo realice una vez por semana y a diferente turno, así se obtendrán datos más confiables.
3. Realizar mantenimiento preventivo de turbinas de vapor, motores eléctricos, reductores, supervisar el revestimiento que realizan los soldadores a la cuchillas, monitoreo constante de vibraciones, de temperaturas y revoluciones por minuto.
4. Realizar un programa de monitoreo cuando el índice de preparaciones menor de 75 por ciento para realizar el cambio de picadoras.
5. No es factible la instalación de una desfibradora desde el punto de vista económico, aunque se detalla como una propuesta técnica, se recomienda aplicar mejores técnicas de mantenimiento a las picadoras para lograr resultados que se asemejen al trabajo que realiza una desfibradora.




## BIBLIOGRAFÍA

1. CACIF. *Historia del azúcar en Guatemala*. Boletín Informativo 2012.
2. CHEN, James C. *Manual del azúcar de caña*. 11a ed. México: Limusa, 1999. 1166 p.
3. HUGOT, E. *Manual para ingenieros azucareros*. Carlos Ruiz Coutino (trad.). 4a ed. México: Continental, 1984. 120 p.
4. MENDOZA BARQUÍN, José Manuel. *Construcción e implementación a nivel institucional de una metodología para la medición de indicadores del programa justicia y seguridad: reducción de la impunidad*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 156 p.
5. MURRY, C. R.; HOLT, J. E. *The mechanics of crushing sugar cane*. Amsterdam: Elsevier, 1967. 87 p.
6. PARAMONGA. *Composición de la caña de azúcar*, [en línea]. Boletín informativo, <[www.agroparamonga.com](http://www.agroparamonga.com)> [Consulta: 10 de noviembre de 2012].
7. REIN, Peter; BARTENS, K.G. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlin: CECSA, 2012. 487 p.

8. SPENCER, Guilfor L.; MEADE, George. *Manual del azúcar de caña*. 9a ed. España: Montaner & Simon, 1967. 940 p.

## APÉNDICES

 <p>INDUSTRIAS LICORERAS DE GUATEMALA <small>Los más finos rumes añejos... Para el mundo que celebra</small></p>	<b>EVALUACIÓN DE CAPACITACIÓN SOBRE ÍNDICE DE PREPARACIÓN</b>	FECHA: 15/01/13
---	---	--------------------

Nombre:

Instrucciones: después de recibida su capacitación, responda a las siguientes preguntas de opción múltiple colocando una X sobre la línea de la respuesta que usted considera correcta.

### ÍNDICE DE PREPARACIÓN

1. ¿Es importante recolección de muestras sesgadas al momento de la preparación?

Si\_\_\_\_\_

No\_\_\_\_\_

2. ¿De cuanto debe ser una excelente preparación de caña?

50 %\_\_\_\_\_

75 %\_\_\_\_\_

90 %\_\_\_\_\_

3. ¿Se deben obviar trozos grandes de caña?

Si\_\_\_\_\_

No\_\_\_\_\_

4. ¿Existe una diferencia entre caña mecanizada y manual?

Si\_\_\_\_\_

No\_\_\_\_\_

5. ¿Se debe procurar un tiempo de 15 minutos en el tumbler y agitador rotativo?

Si\_\_\_\_\_

No\_\_\_\_\_

6. ¿Para que se hace el análisis de índice de preparación?

Para obtener mayor porcentaje de extracción

Para verificar si funcionan las picadoras

Para verificar que la caña es de buena calidad

7. ¿Cada cuantas horas es recomendable hacer el índice de preparación?.

12 horas\_\_\_\_ 24 horas\_\_\_\_ 36 horas\_\_\_\_

8. ¿Se debe de tratar que tanto el peso de caña fina como mal preparada coinsidan con el peso de la muestra?

SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_ NO IMPORTA\_\_\_\_

9. ¿El análisis se debe hacer en un lugar donde no existan viento?

Si\_\_\_\_ No\_\_\_\_

10. ¿Un excelente índice de preparación oscila entre un 80 a 85 %?

Si\_\_\_\_ No\_\_\_\_



## APÉNDICE 2

### Diplomas de capacitaciones



Fuente: Departamento de Recursos Humanos.

## APÉNDICE 3

### Caña mal preparada



Fuente: Laboratorio de Control de Calidad.

## APÉNDICE 4

**Izquierda: caña mal preparada**

**Derecha: caña bien preparada**




Fuente: Laboratorio de Control de Calidad.

APÉNDICE 5  
Tamizado en la preparación de caña



Fuente: Laboratorio de Control de Calidad.

**APÉNDICE 6**  
**Datos de Zafra 2012-2013**



## INGENIO TULULA S.A.

### AREA INDUSTRIAL

**DATOS DE MOLIENDA Y PRODUCCION**

DATOS DE MOLIENDA Y PRODUCCION DIARIA			
DIA DE ZAFRA	174	FECHA:	02/05/2013
	HOY		ACUMULADO
CAÑA MOLIDA	6,066.82 TONS.		1,144,537.00 TONS.
PRODUCCIONES			
- AZUCAR CRUDO	8,406.88 QQ.		2,200,907.72 QQ.
- JUGO CLARO		GAL.	GAL.
- HTM		GAL.	GAL.
- MIEL VIRGEN		GAL.	4,633,896.14 GAL.
KW GENERADOS	377,316.00 KW		52,605,685.00 KW
RENDIMIENTO COMERCIAL	138.57 LB/T.C.		219.79 LB/T.C.
TIEMPO PERDIDO INGENIO	0.23 HRS.		42.75 HRS.

DATOS DE MOLIENDA Y PRODUCCION SEMANAL			
SEMANA DEL	164	AL	170
		SEMANA No.	25
CAÑA MOLIDA	39,847.38 TONS.		
PRODUCCIONES			
- AZUCAR CRUDO	78,976.27 QQ.		
- JUGO CLARO		GAL.	
- HTM		GAL.	
- MIEL VIRGEN		GAL.	
KW GENERADOS	2,625,852.00 KW		

Fuente: Departamento Industrial.

