

Universidad de San Carlos de Guatemala
Faculta de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Gestión Industrial

**EVALUACIÓN DE MAZAS PERFORADAS, EN EL AGOTAMIENTO DEL
BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE
JUGO, EN INGENIO PALO GORDO, S.A.**

Ing. Mynor Augusto Salvatierra Villatoro

Asesorado por el Mtro. Ing. Víctor Manuel Mena Moreira

**PRIMERA COHORTE DE LA MAESTRÍA EN ARTES EN
GESTIÓN INDUSTRIAL**

Retalhuleu, junio de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE MAZAS PERFORADAS, EN EL AGOTAMIENTO DEL
BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE
JUGO, EN INGENIO PALO GORDO, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN GESTIÓN INDUSTRIAL

POR

ING. MYNOR AUGUSTO SALVATIERRA VILLATORO

ASESORADO POR EL MTRO. ING. VICTOR MANUEL MENA MOREIRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN GESTIÓN INDUSTRIAL

RETALHULEU, JUNIO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN DE DEFENSA DEL TRABAJO DE
GRADUACIÓN**

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtra. Licda. Aura Marina Rodríguez de Peña
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Astrid Desirée Argueta del Valle
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DE MAZAS PERFORADAS, EN EL AGOTAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO, EN INGENIO PALO GORDO, S.A.

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 29 de septiembre de 2018.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above a horizontal line.

Ing. Mynor Augusto Salvatierra Villatoro

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS	“Por darme la bendición de lograr un éxito más en mi vida.”.
MIS PADRES	Edgar Enrique Salvatierra Acevedo Sara Elizabeth Villatoro Porras
MI ESPOSA	Bárbara Renata Obregón Jerez
MIS HIJOS	Liza María Salvatierra Campos Guillermo Enrique Salvatierra Campos María Renata Salvatierra Obregón Sara María Salvatierra Obregón
LA MEMORIA DE MIS ABUELOS	María Hortencia Porras Lemus † Augusto Salvatierra Benítez† Otilia Acevedo Santos †
MI HERMANO	Edgar Roel Salvatierra Villatoro
MIS TÍOS Y PRIMOS	Por su cariño y su apoyo
MIS AMIGO	Gracias por su disposición y amistad.
MAZATENANGO LINDO Y A MI QUERIDA GUATEMALA	

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES A:

INGENIO PALO GORDO, S.A.

Por el apoyo que me brindaron para alcanzar esta nueva meta.

MI ASESOR

Por su apoyo, disposición y confianza.

MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO

Por su colaboración y consejos para realizar este trabajo.

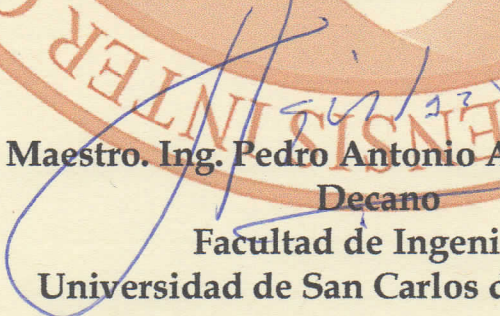
**LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO, FACULTAD DE INGENIERÍA,
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Ref.APT-2019-015

En mi calidad como 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 Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Gestión Industrial de la primera promoción en Retalhuleu titulado: "EVALUACIÓN DE MAZAS PERFORADAS, EN EL AGOTAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO, EN INGENIO PALO GORDO, S.A." presentado por el Ingeniero Mecánico Mynor Augusto Salvatierra Villatoro quien se identifica con Carné 9616697, procedo a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, junio de 2019.

Cc archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2019-015

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN DE MAZAS PERFORADAS, EN EL AGOTAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO, EN INGENIO PALO GORDO, S.A." presentado por el Ingeniero Mecánico **Mynor Augusto Salvatierra Villatoro** quien se identifica con Carné 9616697, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Gestión Industrial de la primera promoción en Retalhuleu; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, junio de 2019.

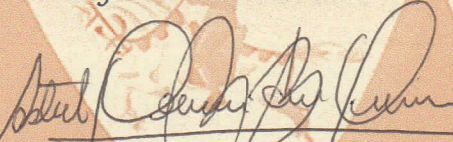
Cc: archivo/LZLA.

Ref.APT-2019-015

Como Coordinadora de la Maestría en Artes en Gestión Industrial de la primera promoción en Retalhuleu doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN DE MAZAS PERFORADAS, EN EL AGOTAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO, EN INGENIO PALO GORDO, S.A." presentado por el Ingeniero Mecánico Mynor Augusto Salvatierra Villatoro quien se identifica con Carné 9616697.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Maestra. Inga. Astrid Desirée Argueta del Valle
Coordinador(a) de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, junio de 2019.


Cc: archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2019-015

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Mecánico **Mynor Augusto Salvatierra Villatoro** quien se identifica con carné No. 9616697 procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN DE MAZAS PERFORADAS, EN EL AGOTAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO, EN INGENIO PALO GORDO, S.A." quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Gestión Industrial de la primera promoción en Retalhuleu en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. **Victor Manuel Mena Moreira**
Asesor(a)

Victor M. Mena M.
Ing. Mecánico
Colegiado No. 5586

Guatemala, junio de 2019.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XXI
OBJETIVOS	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXXI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Ingenio Palo Gordo, S.A. industria azucarera guatemalteca.....	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia	1
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Valores	3
1.1.6. Organigrama del proceso de extracción de jugo	4
1.2. Descripción de equipos del proceso de preparación de caña	5
1.2.1. Virador.....	5
1.2.2. Mesas de alimentación de caña	6
1.2.3. Conductores de caña.....	7
1.2.4. Troceadoras	8
1.2.5. Precuchilla.....	9

1.2.6.	Picadora de cuchillas oscilantes.....	10
1.2.7.	Desfibradora	13
1.2.8.	Conductor de banda.....	14
1.2.9.	Electroimán	15
1.2.10.	Distribución de equipos en la preparación de caña en ingenio Palo Gordo	16
1.3.	Equipos utilizados en el proceso de extracción de jugo.....	18
1.3.1.	¿Qué es un molino de caña de azúcar?	18
1.3.2.	Trasmisión de movimientos para los molinos	18
1.3.3.	Conductores intermedios	18
1.3.4.	Bomba de agua de imbibición	19
1.3.5.	Bombas de maceración.....	20
1.3.6.	Bombas de jugo filtrado.....	20
1.3.7.	Filtro rotativo de guarapo	21
1.3.8.	Bombas de jugo diluido	21
1.3.9.	Distribución de equipos en la extracción de jugo en Ingenio Palo Gordo.....	22
1.4.	Elaboración de azúcar de caña.....	23
1.4.1.	Caña de azúcar	23
1.4.2.	Componentes que contiene la caña de azúcar	23
1.4.3.	Objetivo de preparar la caña	24
1.4.4.	Medición de la preparación de caña.....	24
1.4.5.	Preparar la caña para ser molida	25
1.4.6.	Efecto de la preparación de caña en la extracción.....	25
1.4.7.	Resumen elaboración de azúcar de caña	26

1.5.	Extracción de jugo.....	28
1.5.1.	Objetivo de la extracción de jugo o molienda.....	28
1.5.2.	Capacidad de la molienda	28
1.5.3.	Parámetros para mejorar el desempeño de los molinos	29
1.5.4.	Optimización de los ajustes del molino	30
1.5.5.	Operación de los molinos	31
1.5.6.	Guía de rendimiento para el tándem de molinos, curva de Brix	31
1.5.7.	Componentes de los molinos.....	32
1.6.	Pérdidas de sacarosa en la fabricación de azúcar	33
1.6.1.	Pérdidas de sacarosa existentes en todo el proceso de la fabricación de azúcar	33
1.6.2.	Pérdidas de sacarosa existentes en todo el tándem de molinos	33
1.7.	Mazas perforadas.....	35
1.7.1.	Drenajes de los molinos	35
1.7.2.	Mazas perforadas o con drenajes internos	36
1.7.3.	Equipos que incrementan la capacidad y eficiencia de la molienda	37
1.7.4.	Componentes de una maza perforada.....	38
1.7.5.	Ventajas mazas perforadas	40
1.7.6.	Desventajas mazas perforadas	40
1.7.7.	Ranurado de las mazas	41
1.7.8.	Blindaje o preparación de las mazas	41
1.7.9.	Desgaste de mazas	42
1.7.10.	Renovación de mazas	44
1.8.	Desempeño de las mazas perforadas	45
1.8.1.	Conservación del perfil del diente.....	45
1.8.2.	Drenaje de jugo	45

1.8.3.	Aguajeros radiales y axiales.....	46
1.8.4.	Comparación de costos de adquisición entre maza perforada y convencional.....	46
1.8.5.	Comparación de costo de reparación entre maza perforada y convencional.....	48
1.8.6.	Problemas presentados durante la operación	49
1.8.7.	Ventajas y desventajas operativas	50
1.8.8.	Resultados obtenidos con mazas perforadas.....	51
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	53
2.1.	Metodología	53
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	59
3.1.	Comparativo pol % bagazo	59
3.2.	Comparativo % humedad y pérdida sacarosa en el bagazo.....	64
3.3.	Encuesta de evaluación.....	75
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	89
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	101
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	ANEXOS	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Virador	5
2.	Vista lateral de mesa alimentadora de caña	6
3.	Vista de planta de mesa alimentadora de caña	7
4.	Cadena y tablilla de acero	7
5.	Conductor de caña o de tablillas de acero	8
6.	Troceadora	9
7.	Precuchilla	9
8.	Vista lateral de precuchilla	10
9.	Picadora de cuchillas de oscilantes.....	11
10.	Separación de precuchilla y picadora del conductor de caña	12
11.	Cuchilla con desgaste	12
12.	Cuchilla de reemplazo.....	13
13.	Desfibradora	14
14.	Conducto de banda.....	15
15.	Electroimán.....	16
16.	Configuración de equipos en la preparación de caña Ingenio Palo Gordo.....	17
17.	Conductor intermedio.....	19
18.	Bomba agua de imbibición.....	19
19.	Bomba de maceración	20
20.	Filtro rotativo de guarapo	21
21.	Tándem de molinos.....	26
22.	Molino convencional de cuatro mazas	32
23.	Maza perforada.....	36
24.	Zona semilíquida.....	37

25.	Partes de una maza perforada	38
26.	Sección frontal de maza perforada	39
27.	Sección parcial lateral de maza perforada	39
28.	Ranurado circular de una maza	41
29.	Comportamiento pol % bagazo, según número de mazas perforadas trabajando.....	64
30.	Comportamiento % humedad bagazo e imbibición % caña, según número de mazas perforadas trabajando.....	68
31.	Comportamiento de la pérdida de sacarosa en el bagazo (lbs/TCM), según el número de mazas perforadas utilizadas.....	73
32.	Influencia del bagazo % caña en la pérdida de sacarosa en el bagazo	75
33.	Taponamiento agujeros axiales y radiales de las mazas perforadas	77
34.	Frecuencia taponamiento agujeros axiales.....	78
35.	Frecuencia taponamiento agujeros radiales	80
36.	Causa taponamiento agujeros axiales y radiales.....	81
37.	Actividades extras de mantenimiento	83
38.	Necesidad de compra de equipos e insumos	84
39.	Equipos necesarios para limpieza de agujeros de mazas perforadas	86
40.	Insumos necesarios para la limpieza de agujeros de mazas perforadas	87

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Valor de adquisición mazas nuevas perforadas vrs convencionales	46
II.	Valor de adquisición del encamisado de las mazas perforadas vrs convencionales.....	47
III.	Costo de reparación de maza perforada	48
IV.	Costo de reparación de maza convencional.....	49
V.	Criterio para la selección de días para la recolección de datos	56
VI.	Cantidad y posición de mazas perforadas utilizadas en el tándem de molinos	60
VII.	Comparativo pol % bagazo entre zafras.....	61
VIII.	Análisis de varianza pol % bagazo	62
IX.	Prueba de Tukey pol % bagazo	63
TX.	Comparativo % humedad de bagazo e imbibición % caña entre zafras	65
XI.	Análisis de varianza % humedad de bagazo	66
XII.	Prueba de Tukey % humedad de bagazo	67
XIII.	Comparativo pérdida de sacarosa en el bagazo y bagazo % caña entre zafras en lbs/TCM.....	70
XIV.	Análisis de varianza pérdida de sacarosa en el bagazo	71
XV.	Prueba de Tukey pérdida de sacarosa en el bagazo.....	72
XVI.	Impacto económico por las pérdidas de sacarosa en el bagazo	74
XVII.	Resultados pregunta No.1.....	76
XVIII.	Resultados pregunta No. 2.....	78
XIX.	Resultados pregunta No. 3.....	79
XX.	Resultados pregunta No. 4.....	81
XXI.	Resultados pregunta No. 5.....	82
XXII.	Resultados pregunta No. 6.....	84

XXIII. Resultados pregunta No. 7 85
XXIV. Resultados pregunta No. 8 87

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
BHN	Dureza Brinell
G.L.	Grados de libertad
HSD	Diferencia honestamente significativa
IP	Índice de preparación
PSI	Libras por pulgada cuadrada
RPM	Revoluciones por minuto
TCM	Toneladas de caña molidas
Lb/TC	Libras por tonelada de caña

GLOSARIO

Agotamiento	Acción de minimizar la cantidad de sacarosa.
Agujeros radiales	Agujeros que tiene la maza en todo su perímetro a determinada separación entre sí, que sirve para conducir el jugo a los agujeros o canales axiales.
Agujeros axiales	Agujeros que están ubicados transversalmente a todo el ancho de la maza, sirven para conducir el jugo de la caña que se extrajo del molino.
Ajuste del molino	Medida de ajuste para alcanzar la máxima extracción de sacarosa en molinos.
Bagazo	Producto de la caña después de haber sido comprimida por cada molino y es utilizado como combustible en las calderas.
Bagazo % caña	Cantidad de fibra que contiene la caña
Bagacillo	Fibra muy fina de la caña de azúcar, producida después de la compresión por cada molino.
Brix	Sirve para determinar el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido. Una solución de 25 grados Brix contiene 25 gramos de azúcar por 100 gramos de líquido.

Cabezal	Pistón hidráulico que sirve para ejercer presión a la maza superior.
Cachaza	Sedimento o lodo extraído del fondo de las bandejas de los clarificadores.
Caña	Planta cuyo tallo se extrae azúcar.
Conductor	Transportador de caña a los molinos por medio de tablillas y cadenas.
Cuchilla central o virador	Es una pieza de hierro gris o acero que va colocada entre la maza cañera y bagacera, también tiene como función limpiar la maza cañera y sirve como puente para pasar el colchón de caña a la maza bagacera.
Chumacera	Pieza de bronce donde van alojados los muñones de los ejes de las mazas, la cual hace la función de un rodamiento.
Extracción	Etapa en la cual se separa el jugo que contiene la caña de la fibra, utilizando un tándem de molinos.
Extracción diluida	Jugo mezclado extraído por porcentaje de caña.
Fibra	Contenido de bagazo que tiene la caña de azúcar después de molida.

Guarapo	Mezcla de los jugos extraídos del primer y segundo molino.
Hidrolavadora	Equipo que cuenta como una bomba de alta presión accionado por un motor eléctrico o gasolina utilizada para lavar algo específico.
Homogéneo	Sustancia uniforme que no presenta diferencia composición.
Insoluble	Sustancia que no puede disolverse ni diluirse.
Imbibición	Aplicación de agua caliente al bagazo que sale del penúltimo molino del tándem.
Leouconostoc	Bacteria que se introduce a la caña en los campos cuando tiene una herida.
Lixiviación	Es el proceso en el que una sustancia está extraída de un material de soporte y luego disuelta en un líquido.
Maza convencional	Cilindro ranurado de diferente peso y tamaño, conformado por un eje de acero y un casco de fundición gris.
Maza perforada	Cilindro de gran tamaño y peso, compuesto por un eje de acero con una camisa de hierro fundido con agujeros radiales y axiales.

Melaza:	Producto también llamado en nuestro medio de miel tercera o simplemente miel final.
Messchaert	Son raspadores que sirven para limpiar las mazas cañeras.
Molienda	Cantidad de caña de azúcar molida diaria o durante toda la zafra.
Molinos	Equipo utilizado para extraer el jugo de la caña de azúcar, cada molino está compuesto por lo general por cuatro mazas.
No sacarosa	Sólidos disueltos contenidos en cualquier flujo del proceso que sean diferentes a la sacarosa.
Peine o raspador	Pieza de hierro fundido o acero, que sirve para limpiar el bagazo comprimido de las mazas.
Pol % bagazo	Expresa la sacarosa que se pierde en el bagazo. Esta pérdida representa una pérdida directa, porque ya no es un producto de descomposición química, sino de sacarosa que no ha sido extraída por los molinos del total de sacarosa que trae la caña.
Presión hidráulica	Es la presión producida introduciendo aceite a presión en los pistones de los cabezotes sobre la maza superior de los molinos.

Renovación	Cambio, reemplazo o restauración de algo específico.
Sacarosa	Este compuesto también es llamado azúcar blanco.
Sistema hidráulico	Es un método de aplicación de fuerzas, a través de la presión que ejercen los fluidos.
Solvente	Es un compuesto químico que puede disolver a otro componente químico llamado soluto sin que exista reacción química, entre ellos.
Tándem de molinos	Molinos colocados en serie, generalmente un tándem está previsto de 5 molinos.
Virgen o cureña	Armazón robusta donde van instaladas las mazas, son de acero fundido
Zafra	Es el tiempo de producción de azúcar de los ingenios, que por lo general, es de noviembre a mayo de cada año.

RESUMEN

La industria azucarera guatemalteca ha hecho grandes inversiones en mejorar sus procesos y también han ido innovando sus tecnologías, para tener menos pérdidas de sacarosa en sus procesos.

Existen cuatro pérdidas de sacarosa a lo largo de todo el proceso de fabricación de azúcar, las cuales están presentes en la miel final o melaza, en el bagazo, cachaza, y por último, las pérdidas indeterminadas, todas las pérdidas mencionadas no se pueden evitar, pero se pueden controlar mejorando los procesos y los procedimientos para la operación, todas estas se pueden medir y cuantificar.

El propósito de esta investigación se basó en la evaluación del comportamiento y la influencia que se tiene con la utilización de las mazas perforadas en el tándem de molinos, ya que la pérdida de sacarosa en el agotamiento del bagazo es la segunda más relevante en el proceso de la elaboración de azúcar.

Como primer objetivo de esta investigación fue evaluar el pol % bagazo; el segundo objetivo fue evaluar el % de humedad que tiene el bagazo y el incremento de la producción de azúcar, y el tercer objetivo fue evaluar si utilizando las mazas perforadas hay que realizar actividades extras de mantenimiento, por si hay necesidad que comprar algunos equipos auxiliares e insumos, para que su funcionamiento sea el esperado.

Para dar respuesta a cada objetivo de la investigación, se realizó una recopilación de datos de las 5 zafras anteriores y también se realizó una encuesta operativa al personal involucrado; luego se analizó la información utilizando diferentes operaciones estadísticas y se realizaron tablas y gráficas para que los resultados se pudieran comprender de una forma más clara y fácil.

Con la utilización de las mazas perforadas en el tándem de molinos, se obtuvieron resultados satisfactorios, pero donde mejor se puede apreciar el buen funcionamiento de dichas mazas fue en la reducción del pol % bagazo y en el % de humedad en el bagazo.

Además de lo mencionado anteriormente, se evidenció que al utilizar las mazas perforadas la única actividad extra de mantenimiento que se genera es la limpieza de los agujeros radiales y axiales de la maza, así también se tiene que contar con una hidrolavadora, barrenos eléctricos y brocas para remover los taponamientos que pueden presentar los agujeros radiales y axiales, y así asegurar que el funcionamiento de las mazas sea el esperado.

Se puede concluir con la evaluación desde el inicio de la utilización de las mazas perforadas en los 5 molinos que hay una reducción en el pol % bagazo en un 0.53 % en la última extracción del tándem de molinos y también se pudo determinar que utilizando dichas mazas se mejora el agotamiento del bagazo, ya que el % de humedad en el bagazo en la última extracción se reduce de un 0.47 a 0.36 %, y también se demuestra que existe una reducción en la pérdida de sacarosa en el bagazo en un rango de 2.43 a 2.48 libras por tonelada de caña molida, dicha pérdida de azúcar es equivalente a 24,340.13 a 24,829 quintales de azúcar por cada 1,000,000 de toneladas de caña molidas, esto influye directamente en el aumento de la producción de azúcar.

Se hace la observación que todas las fábricas de azúcar son muy similares, pero no todas las tecnologías generan los mismos resultados en cada fábrica, ya que la configuración de los equipos tienen algunas diferencias; todos los resultados han sido positivos en esta investigación y servirán para tomar decisiones futuras para ir suprimiendo las mazas convencionales por mazas perforadas.

No está de más mencionar que las mazas perforadas han tenido bastante aceptación en la industria azucarera guatemalteca, debido a sus buenos resultados en el agotamiento del bagazo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La pérdida de sacarosa en el agotamiento del bagazo de caña de azúcar es una pérdida relevante y directa en la elaboración de azúcar, de todos los ingenios en Guatemala, el Ingenio Palo Gordo se encuentra entre los últimos lugares en recuperación de sacarosa en el agotamiento del bagazo.

Descripción del problema

Ingenio Palo Gordo está ubicado en el Km. 142.5 ruta al pacífico, en el municipio de San Antonio, Suchitepéquez, es una empresa que se dedica desde hace muchos años a la elaboración de azúcar crudo, blanca estándar, morena y tipo refino. También cuenta con una planta de alcohol etílico para aprovechar la melaza que es un subproducto de la elaboración de azúcar, de igual forma se aprovecha el bagazo de la caña de azúcar que es considerado un subproducto de la molienda, para la generación y venta de energía eléctrica a la red nacional.

La pérdida de sacarosa en el agotamiento del bagazo de caña de azúcar en el proceso de extracción de jugo.

El agotamiento en el bagazo es la segunda más relevante en la elaboración de azúcar. El bagazo que sale de la última extracción en el tándem de molinos lleva cierto porcentaje de sacarosa, esto es normal, ya que por su naturaleza no se puede extraer el 100 %; en la actualidad, el ingenio Palo Gordo está teniendo más pérdidas de sacarosa en el agotamiento del bagazo con respecto a los otros ingenios que operan en Guatemala.

Lo mencionado es de preocupación para la gerencia industrial, ya que representa grandes pérdidas económicas, debido a esto se consideró el cambio de mazas convencionales por mazas perforadas en los cinco molinos, este cambio que se hizo no está garantizando la obtención de sacarosa, se tendrá que analizar el efecto que presente el agotamiento del bagazo con la utilización de las mismas.

Delimitación del problema

Este trabajo está enfocado únicamente para el proceso de extracción de jugo, en Ingenio Palo Gordo, S.A. ubicado en km. 142.5 ruta al pacifico San Antonio, Suchitepéquez.

Formulación del problema

- Pregunta central de la investigación

¿Con el uso de las mazas perforadas se tendrá una mayor recuperación de sacarosa en el agotamiento del bagazo de la caña de azúcar en el proceso de extracción de jugo?

- Preguntas auxiliares de la investigación

¿Utilizando las mazas perforadas en diferentes posiciones del tándem de molinos mejorara el agotamiento del bagazo de caña de azúcar en la última extracción?

¿Mejora algún otro factor en el agotamiento del bagazo, en la última extracción al utilizar las mazas perforadas?

¿Utilizando mazas perforadas hay que realizar actividades extras de mantenimiento, compra de equipos auxiliares e insumos para que su funcionamiento obtenga un mejor agotamiento en el bagazo?

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar las mazas perforadas en el agotamiento del bagazo de caña de azúcar en el proceso de extracción de jugo, en ingenio Palo Gordo, S.A.

- **Específicos**

1. Analizar los resultados de la pol de bagazo en la última extracción del tándem de molinos desde el inicio de la utilización de las mazas perforadas.
2. Analizar los resultados de humedad del bagazo e incremento de la producción de azúcar desde el inicio de la utilización de las mazas perforadas.
3. Evaluar si utilizando mazas perforadas hay que realizar actividades extras de mantenimiento, compra de equipos auxiliares e insumos para que su funcionamiento obtenga un mejor agotamiento en el bagazo.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

A continuación se describen las técnicas, métodos y procedimientos que se emplearon para alcanzar los objetivos que se propusieron en este trabajo de investigación.

- **Tipo de estudio**

La investigación se realizó con un enfoque mixto, porque se utilizaron métodos cuantitativos y cualitativos. Desde el punto de vista cuantitativo, se recolectaron datos con los cuales se hicieron comparaciones de años anteriores de operación y se evaluaron y analizaron para la obtención de resultados.

Desde el punto de vista cualitativo, se realizó un estudio en donde se describen las vivencias tenidas por el personal operativo y dueño, sobre el proceso, principalmente en la utilización de las mazas perforadas, para determinar qué tipos de trabajo extras de mantenimiento generan y si se necesitan algunos equipos e insumos, para que su funcionamiento sea el esperado.

Además fue una investigación con un alcance de tipo descriptivo, debido a que se pretende dar solución al problema de la pérdida de sacarosa en el agotamiento de bagazo en el tándem de molinos, no existe método o proceso exacto para mejorar la extracción de sacarosa en un tándem de molinos, es por eso que se describieron situaciones, eventos o hechos que se pudieron observar en el proceso, verificando el funcionamiento de las mazas perforadas, se utilizó la experiencia del personal involucrado, se recolectaron datos de las mediciones

necesarias para determinar si las mazas perforadas están cumpliendo con su objetivo, además de ello se midieron otros factores que pueden ayudar a que dichas mazas trabajen eficientemente.

- **Diseño de investigación**

El diseño de esta investigación es experimental, ya que se está utilizó una nueva innovación tecnológica, debido a que no se está cumpliendo con el indicador establecido en las pérdidas de sacarosa en el agotamiento del bagazo, la búsqueda de nuevas tecnologías puede dar solución a este incumplimiento.

Las técnicas utilizadas en el análisis de información para dicha investigación fueron:

- Cuantitativas (análisis de datos), se recolectaron datos directamente del laboratorio industrial, con ello se desarrollaron tablas y gráficas para facilitar la comprensión de los resultados.
- Cualitativas (descripción y comprensión de los hechos), se realizó una encuesta directa, para saber de una forma certera la opinión de los involucrados.

Como se menciona anteriormente en este trabajo, se aplicó la investigación de campo y la entrevista directa con el personal involucrado en el área de extracción de jugo.

La metodología que se siguió está sustentada en la revisión de la literatura de los siguientes temas:

- Proceso de fabricación de azúcar.

- Extracción de jugo.
- Pérdidas de sacarosa en la fabricación de azúcar.

Con toda la información que se obtuvo, se analizaron los siguientes parámetros operativos y actividades necesarias que generan la utilización de las mazas perforadas:

- Pol % bagazo en la última extracción.
- % de humedad en el bagazo.
- La cantidad de sacarosa que se deja de obtener.
- Actividades extra de mantenimiento y si hay que comprar algunos equipos e insumos para el buen funcionamiento de las mazas perforadas.

INTRODUCCIÓN

Como perspectiva general de esta investigación se dice que durante el proceso de extracción de jugo la pérdida de sacarosa en el agotamiento del bagazo de caña de azúcar es una pérdida directa e inevitable y es la segunda más relevante en la fabricación de azúcar. El bagazo que sale de la última extracción en el tándem de molinos lleva cierto porcentaje de sacarosa, esto es normal en el proceso de extracción de jugo, ya que por su naturaleza no se puede extraer el 100 %; pero el objetivo de la extracción de jugo es recuperar la mayor cantidad de sacarosa que contiene la caña de azúcar.

Por lo mencionado anteriormente, se buscó tener una nueva tecnología e innovar el proceso para tener un mejor agotamiento de sacarosa en el bagazo, ya que las pérdidas de sacarosa en el bagazo que se tienen en ingenio Palo Gordo son un problema grande y representan grandes desventajas económicas, debido a esto se consideró de suma importancia hacer el cambio de las mazas convencionales por mazas perforadas en los cinco molinos, con estos cambios que se realizaron se obtuvieron resultados positivos en el agotamiento de sacarosa en el bagazo; también se determinó que se reduce el pol % bagazo, el % de humedad en el bagazo, las pérdidas de sacarosa en el bagazo por tonelada de caña molida y se determinó que equipos e insumos son necesarios para que las mazas perforadas funcionen como se espera.

Los resultados que se obtuvieron generan un aumento en la producción de azúcar y también generan beneficios a otros departamentos del proceso de fabricación de azúcar y a otros ingenios azucareros que estén interesados en el

tema, motivo por el cual esta investigación fue autorizada por la gerencial industrial.

En el primer capítulo, el marco teórico de esta investigación, se definen términos involucrados en la elaboración de azúcar, a partir de la caña de la caña de azúcar, se hace una breve descripción de la empresa, también se hace una descripción de los equipos que sirven para preparar la caña previo a la molienda, de igual forma se describen los equipos que se utilizan para realizar el proceso de la extracción de jugo en el tándem de molinos; además se describe cómo es el proceso para la elaboración de azúcar; también se definen las pérdidas de sacarosa que existen a lo largo del proceso de fabricación de azúcar, y por último, se define qué es una maza perforada, sus partes, así mismo se mencionan las ventajas y desventajas que tienen dichas mazas perforadas contra las convencionales, lo mencionado anteriormente es la base para cumplir con los objetivos de la investigación.

En el capítulo dos, el desarrollo de la investigación se describen las técnicas, métodos y procedimientos que se emplearon para alcanzar las metas planteadas y también se declara el criterio que se utilizó para la recolección de datos.

En el capítulo tres, se hace la presentación de los resultados que se obtuvieron para dar respuesta a los objetivos formulados en este trabajo de investigación, este capítulo se divide en tres partes: en la primera parte, se encuentran los datos recopilados del pol % bagazo de las 5 zafas evaluadas desde el inicio de la utilización de las mazas perforadas. En la segunda parte, se encuentran los datos del % de humedad en el bagazo y de las pérdidas de sacarosa en el bagazo con los cuales se hizo un comparativo entre las 5 zafas evaluadas con lo que se determinó como la cantidad de mazas utilizadas en el

tándem de molinos influyen en el agotamiento de sacarosa en el bagazo. Y en la tercera parte de este capítulo, se muestran los resultados obtenidos a partir de la encuesta operativa que se realizó al personal involucrado en el proceso de extracción de jugo para evaluar qué actividades de mantenimiento generan las mazas perforadas y qué equipos e insumos hay que tener disponibles para que su funcionamiento sea el esperado. Es importante citar que las tres secciones en las que se divide el capítulo tres cuentan con tablas y gráficas para hacer un análisis visual fácilmente.

En el capítulo cuatro, se tiene la discusión de resultados, donde se discute sobre las situaciones y motivos por los cuales se llegó a esos resultados, las variables y factores que están influyendo. Y por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Ingenio Palo Gordo, S.A. industria azucarera guatemalteca

1.1.1. Ubicación

La planta de Ingenio Palo Gordo, S.A. se encuentra actualmente ubicada en el kilómetro 142.5 carretera al pacifico, San Antonio Suchitepéquez.

1.1.2. Historia

Todo comenzó hace 87 años cuando Palo Gordo era una hacienda de 17 caballerías ubicadas en Guatemala, C.A. cerca de los municipios de San Antonio, Suchitepéquez, comprada en el año 1929, por Central American Plantations Corporation y comenzó sus operaciones en 1930 moliendo mil toneladas diarias.

El Estado de Guatemala lo administró durante los años 1961-62 moliendo un total de 182,957 toneladas de caña y produjo 342,820 quintales de azúcar.

En el año 1962, un grupo de agricultores lo compró, los cuales ampliaron sus instalaciones para moler 4,000 toneladas diarias.

En el 1975, se instaló un nuevo tándem de cinco molinos de 38 x 72 pulgadas y para ampliar la molienda a 7,000 toneladas diarias.

En año 1984, se hizo el montaje una planta destiladora de alcohol carburante, la cual fue la primera instalada en un ingenio azucarero en Guatemala.

En el año 1988, comenzó a cosechar caña a granel, con equipos de transporte dobles para 40 toneladas.

En el año 2000, se colocó un sistema para aclarar la meladura y elevar la calidad de azúcar.

En el año 2002, se instalaron dos molinos de seis mazas de 42 x 84 pulgadas uno colocado como primer molino y el otro como último molino aumentando la molida a 5,000 toneladas diarias. En la zafra 2003-2004, se produjeron 1,867,000 quintales de azúcar.

En la zafra 2008-2009, se produjeron 2,000,000 quintales moliendo 6,200 toneladas de caña diarias.

En la zafra 2011-2012, se produjeron 2,773,000 quintales de azúcar y 12,000,000 de litros de alcohol, resultado de la innovación en sus procesos.

En el mismo año comienza el proyecto de cogeneración de energía eléctrica.

En la zafra 2012-2013, se comienza a generar 33 MW/hr, se utilizan en el consumo interno 8.1 MW/hr para la venta 24.9 MW/hr.

En los años 2011 al 2014, se adquirieron 3 molinos de 4 mazas de 44 pulgadas de diámetro por 84 pulgadas ancho para la segunda, tercera y cuarta posición del tándem, accionados por motor eléctricos de 1200 HP, con la

adquisición mencionada se deja el tándem con 5 molinos, con una capacidad instalada hasta de 14,000 toneladas cortas de caña diaria.

En este momento se está moliendo 10,000 toneladas cortas de caña diaria.

1.1.3. Misión

Hacer una transformación de nuestros recursos naturales para crear energía para el beneficio de nuestros clientes, accionistas, colaboradores, proveedores y las comunidades de nuestro entorno, cuidando el medio ambiente.

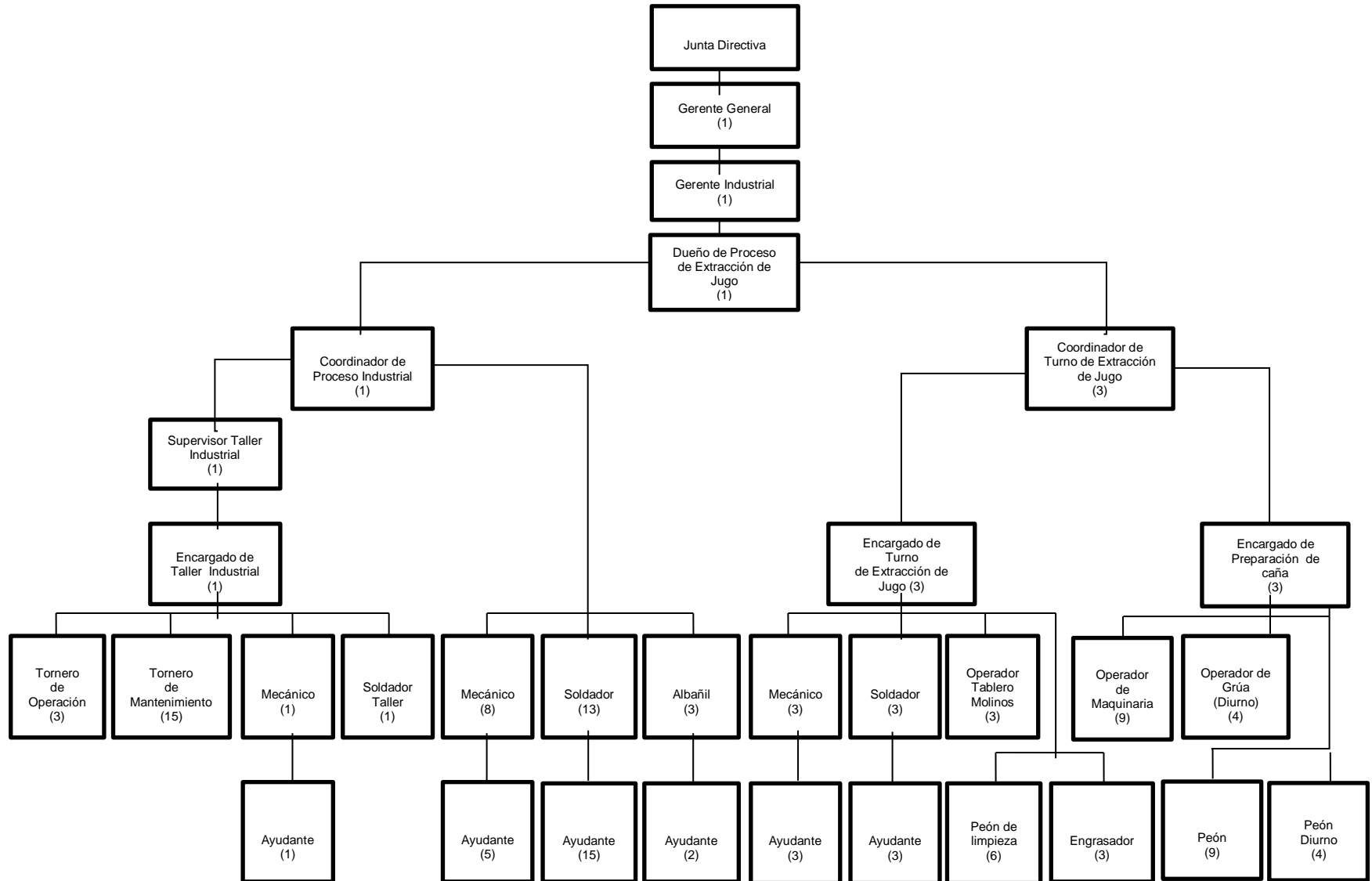
1.1.4. Visión

Ser el mejor Ingenio Azucarero en toda la región de Centro América, para crear valor a nuestros colaboradores, accionistas y proveedores.

1.1.5. Valores

- Responsables de cuidar en medio ambiente.
- Tenemos buenos principios.
- Somos optimistas y proactivos.
- Creamos cambios y mejoras.
- Trabajamos en un ambiente agradable y seguro.
- Comprometidos con la mejora de nuestros productos para que sea de calidad.
- Creamos rentabilidad para los propietarios.

1.1.6. Organigrama del proceso de extracción de jugo

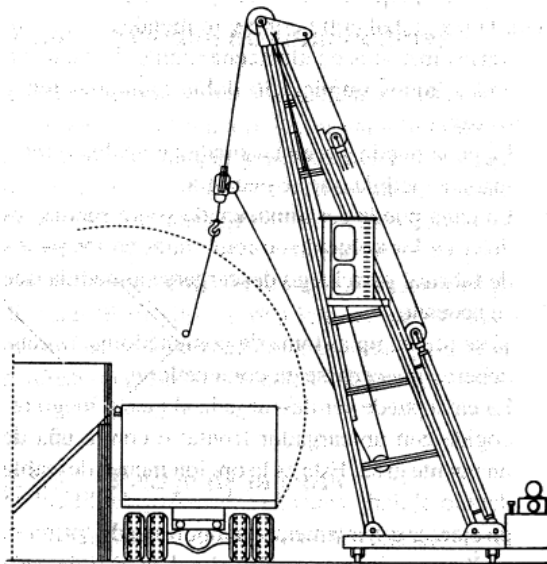


1.2. Descripción de equipos del proceso de preparación de caña

1.2.1. Virador

También es conocido como volteadores de camiones, para su funcionamiento utiliza un sistema hidráulico accionado por un motor eléctrico, su función principal es volcar los camiones descargando la caña hacia las mesas alimentadoras, generalmente su capacidad depende del peso que los camiones que transportan la caña contengan. Ver figura 1.

Figura 1. **Virador**

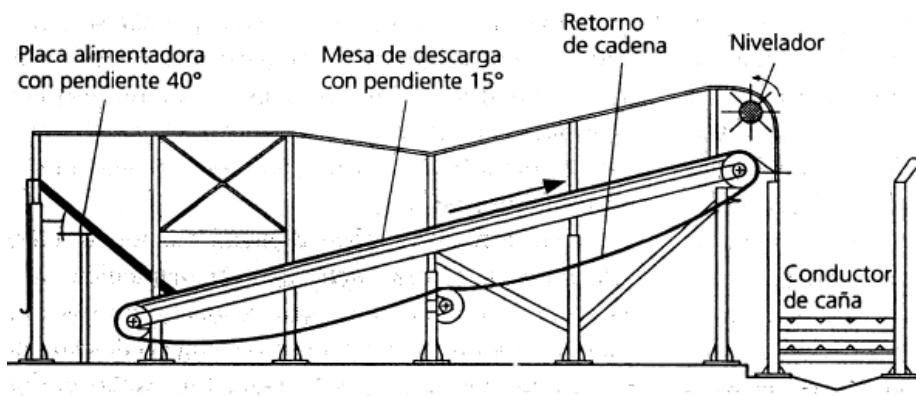


Fuente: Ingeniería de la caña de azúcar, 2012.

1.2.2. Mesas de alimentación de caña

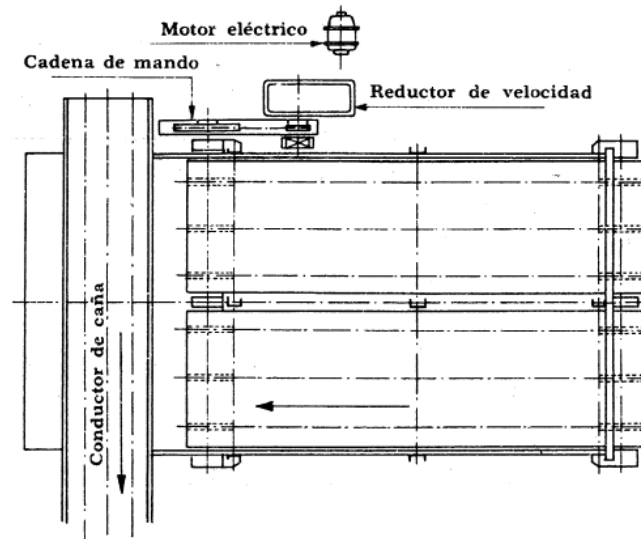
Es un equipo que normalmente tiene una forma cuadrada o rectangular, con una inclinación que va desde 15 a 45°, ver figura 2, por medio de cadenas conduce o transporta la caña, regularmente son accionados por motores eléctricos, están provistos de un nivelador de caña que ayuda a que el nivel de carga sea lo más homogénea posible, su función principal es abastecer o alimentar el conductor de caña, su dimensión depende de las extensiones de los equipos que trasladan la caña de azúcar del campo hacia el ingenio. Ver figura 3.

Figura 2. Vista lateral de mesa alimentadora de caña



Fuente: Ingeniería de la caña de azúcar, 2012.

Figura 3. **Vista de planta de mesa alimentadora de caña**

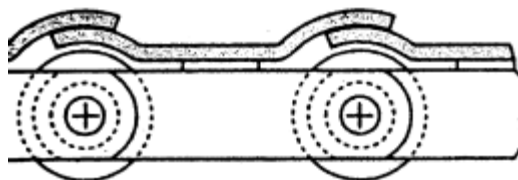


Fuente: Manual para Ingenieros azucareros, 1976.

1.2.3. **Conductores de caña**

Los conductores de caña o también llamados conductores de tablillas son equipos que transportan la caña de un punto hacia otro, está provisto de cadenas y tablillas de acero, ver figura 4.

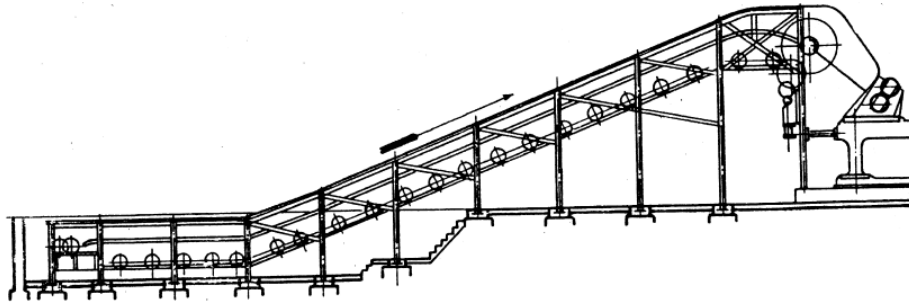
Figura 4. **Cadena y tablilla de acero**



Fuente: Ingeniería de la caña de azúcar, 2012.

El conductor de caña tiene el mismo ancho de las mazas instaladas en los molinos, tienen una parte de su longitud horizontal y otra parte que puede tener hasta 23° de inclinación con respecto a la horizontal, en toda su longitud van instalados diferentes equipos que sirven para preparar la caña, los cuales son: precuchilla, picadora, desfibradora y niveladores, ver figura 5.

Figura 5. **Conductor de caña o de tablillas de acero**

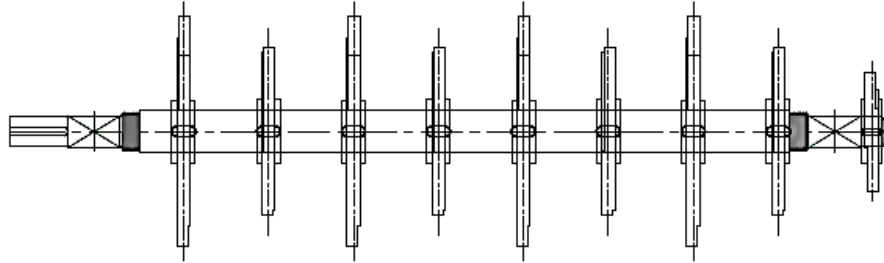


Fuente: Manual para Ingenieros azucareros, 1976.

1.2.4. Troceadoras

Son equipos giratorios que sirven para trocear la caña, estos giran a una velocidad de 450 r.p.m. en el mismo sentido del movimiento de las mesas de caña, están compuestos por un eje que lleva colocados soportes donde van colocadas cuchillas metálicas, dicho eje va colocado transversalmente al conductor de caña, por lo regular son accionados por motores eléctricos; la distancia del radio de giro y la tablilla es proporcional a la cantidad de caña que se quiera moler por hora y la potencia instalada, las troceadoras se pueden montar en las mesas alimentadores o en los conductores de caña, según la configuración que se desee tener, se puede decir que las troceadoras hacen la primera etapa para preparar la caña, ver figura 6.

Figura 6. Troceadora

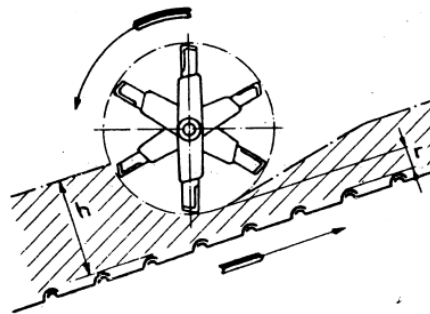


Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

1.2.5. Precuchilla

Esta también puede ser llamada nivelador que va instalada sobre el conductor de caña, giran a una velocidad de 750 r.p.m. en el mismo sentido del movimiento del conductor de caña, ver figura 7. El objetivo es obtener un nivel o altura estable en el colchón de caña para alimentar de una forma adecuada los equipos posteriores. Es importante mencionar que la precuchilla no se puede confundir con la picadora.

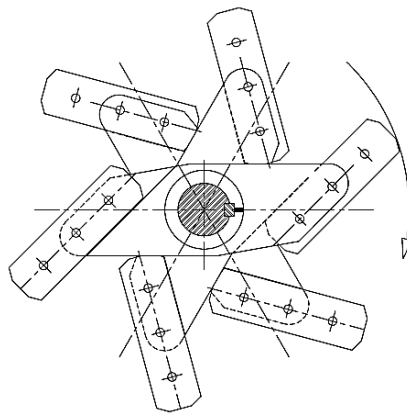
Figura 7. Precuchilla



Fuente: Manual para Ingenieros azucareros, 1976.

Está compuesta por un eje que lleva colocados soportes donde van instaladas las cuchillas metálicas a cierta medida o distancia entre ellas, dicho eje va montado transversalmente al ancho del conductor de caña, aproximadamente llevan 18 cuchillas; la distancia de la cuchilla y la tablilla del conductor es aproximadamente 36 pulgadas, medida que puede ser variable, según los machetes que se le coloquen, la potencia instalada y la cantidad de caña a procesar por hora, ver figura 8, generalmente es accionada por un motor eléctrico.

Figura 8. **Vista lateral de precuchilla**



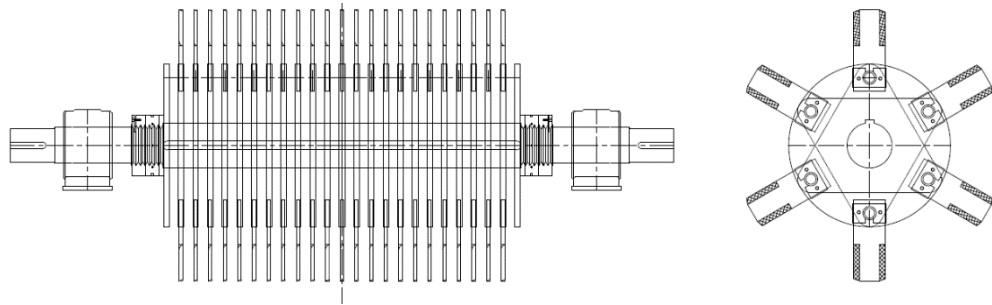
Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

1.2.6. Picadora de cuchillas oscilantes

Está instalada sobre el conductor de caña, gira a una velocidad de 700 r.p.m. en el mismo sentido del movimiento del conductor de caña, está compuesta por un eje que lleva colocados soportes donde van instaladas las cuchillas metálicas a cierta distancia entre ellas, dicho eje va montado transversalmente

en todo el ancho del conductor de caña, aproximadamente llevan 154 cuchillas, la distancia del radio de giro de la cuchilla y la tablilla del conductor es aproximadamente 2 pulgadas, medida que puede ser variable, según la cantidad de cuchillas instaladas, la potencia instalada y la cantidad de caña a procesar por hora, ver figura 9, lo más común es que sean accionadas por un motor eléctrico.

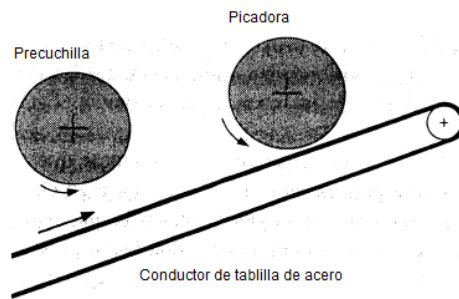
Figura 9. Picadora de cuchillas de oscilantes



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

El objetivo es cortar la caña en pedazos pequeños, pero no extraer el jugo, esta se diferencia de la precuchilla por la medida que tiene entre la cuchilla y la tablilla de conductor de caña como se indica en la figura 10.

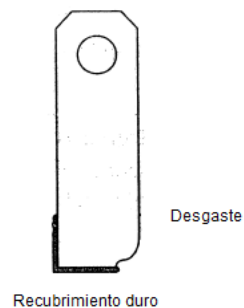
Figura 10. **Separación de precuchilla y picadora del conductor de caña**



Fuente: Ingeniería de la caña de azúcar, 2012.

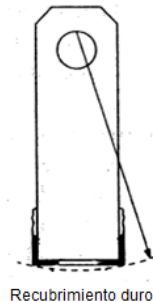
Para que la picadora trabaje normalmente las cuchillas tiene que estar en buenas condiciones, las cuchillas sufren desgaste y hay que cambiarlas frecuentemente, ver figura 11 y 12.

Figura 11. **Cuchilla con desgaste**



Fuente: Ingeniería de la caña de azúcar, 2012.

Figura 12. **Cuchilla de reemplazo**



Fuente: Ingeniería de la caña de azúcar, 2012.

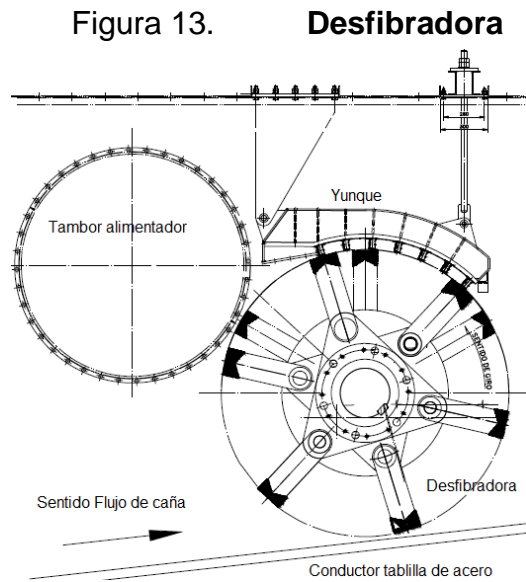
Como se muestra en las figuras anteriores con el transcurso de las horas de operación las cuchillas van sufriendo desgaste y esto provoca que la picadora no prepare bien la caña, esto también pasa con las cuchillas de las troceadoras y precuchilla y se debe programar un tiempo para su cambio.

1.2.7. Desfibradora

La desfibradora trabaja de una manera distinta a la picadora, ésta usa martillos basculantes, los cuales rotan montados sobre un eje entre 630 a 1200 r.p.m. accionada por un motor eléctrico, dicho eje va colocado transversalmente al conductor de caña, los martillos se posicionan dejando una holgura entre la punta de los martillos y el yunque, es necesario que la holgura sea la apropiada para que se prepare bien la caña.

En la entrada para nivelar la altura del colchón, tiene instalado un rodillo alimentador, ver figura 13 . El trabajo de la desfibradora es reventar la caña con los martillos sin extraer el jugo, los martillos también sufren desgaste por el

cual a ciertas horas de trabajo hay que cambiarlos, para seguir preparando bien la caña.

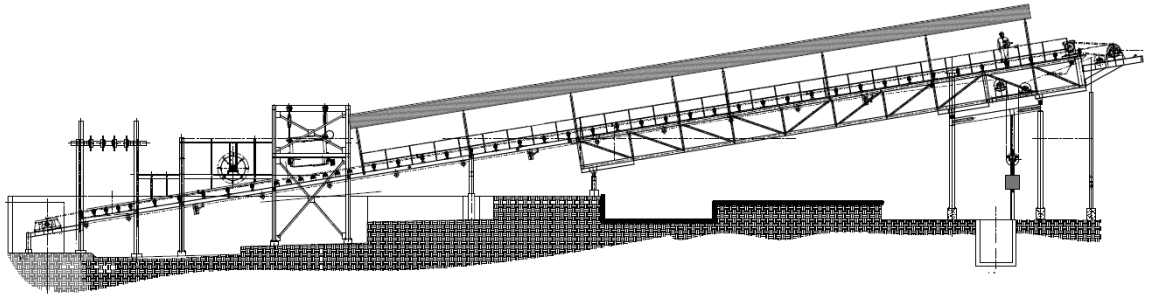


Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

1.2.8. Conductor de banda

Es un equipo muy común de encontrar en toda industria, se instalan de preferencia, ya que tiene un alto desempeño, su adquisición se hace siempre y cuando las instalaciones y la configuración de los equipos lo permitan, como su nombre lo indica conduce o lleva la caña de un lugar a otro, este es el que alimenta el primer molino, ver figura 14.

Figura 14. **Conducto de banda**

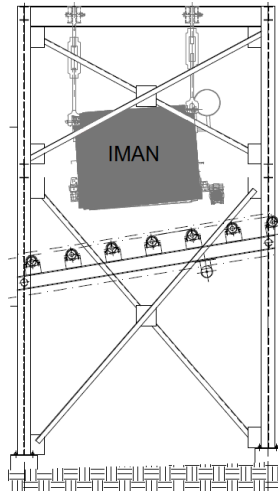


Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

1.2.9. Electroimán

Es un equipo que se instala transversalmente en el conductor de banda antes de la entrada del primer molino, el cual va suspendido o colgado de una estructura metálica, dejando un separación entre el electroimán y el conductor de caña, dicha separación la determina el diseño del fabricante, su función es atrapar cualquier pieza metálica que lleve la caña para evitar daños a los equipos que están instalados posteriormente, a este se le tiene que estar haciendo limpieza de todos los metales adheridos por lo menos cada 24 horas para asegurar su funcionamiento, ver figura 15.

Figura 15. **Electroimán**



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

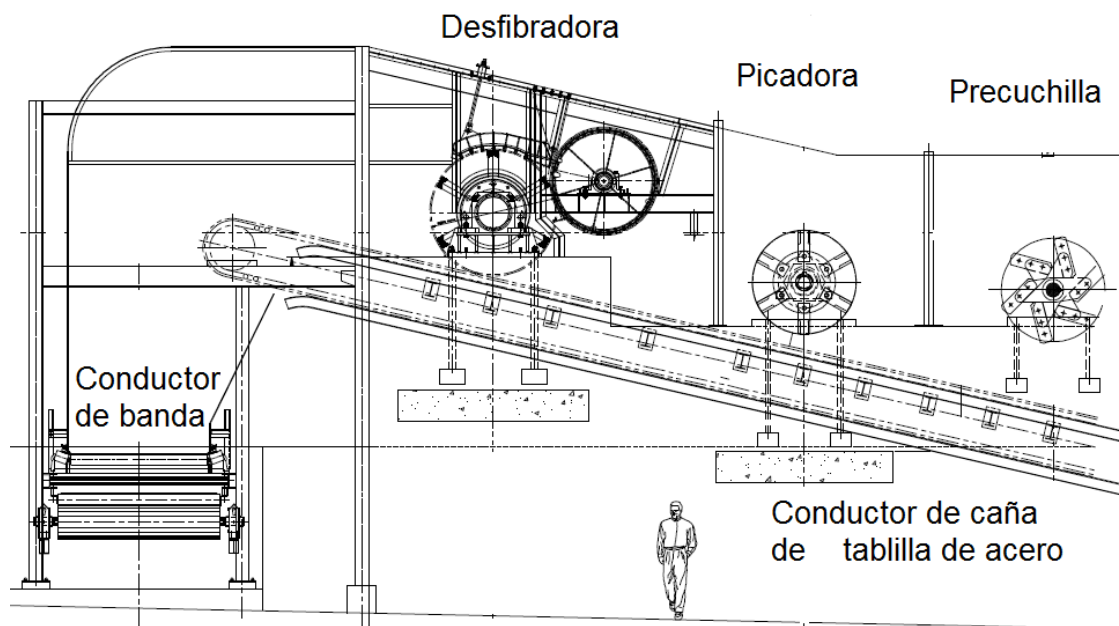
1.2.10. Distribución de equipos en la preparación de caña en ingenio Palo Gordo

La configuración depende de las necesidades que tenga cada de fábrica de fabricación de azúcar y de la cantidad de dinero que se quiera invertir, ver figura 16, es importante mencionar que mientras mejor se prepare la caña se tendrán mejores resultados en la extracción del tándem de molinos, los equipos que se tienen instalados en la preparación de caña en ingenio Palo Gordo son:

- 02 Viradores o volteadores de camiones.
- 03 mesas alimentadoras de caña.
- 01 Conductor de caña de tabillas de acero.
- 01 troceadora.
- 01 precuchilla.
- 01 Picadora de cuchillas oscilantes.
- 01 Desfibradora de martillo oscilantes.

- 01 Conductor de banda.
- 01 Electroimán.

Figura 16. **Configuración de equipos en la preparación de caña
Ingenio Palo Gordo**



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

1.3. Equipos utilizados en el proceso de extracción de jugo

1.3.1. ¿Qué es un molino de caña de azúcar?

Es un equipo compuesto por rodillos cilíndricos ranurados llamados mazas, peines, cuchilla central, sistema hidráulico y otros accesorios, las bases que soportan estos elementos son llamadas vírgenes, la función de un molino es extraer el jugo que contiene sacarosa de la caña, ver figura 22.

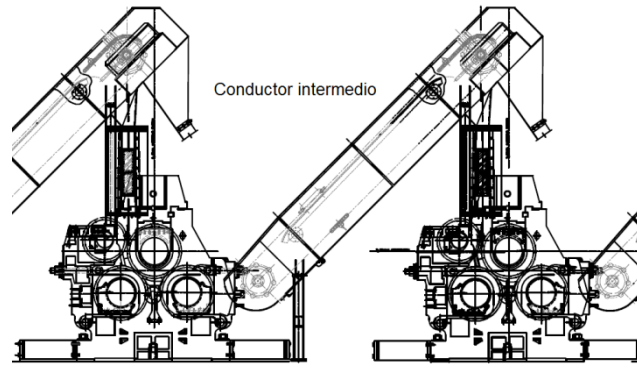
1.3.2. Trasmisión de movimientos para los molinos

Existen varias formas de transmitir movimiento al molino, todo depende de las necesidades que se tengan y de la disposición de recursos que haya, tanto de equipos como de los recursos económicos, dentro de algunos se pueden mencionar: máquinas de vapor, motores eléctricos y motores hidráulicos, la mayoría de ingenios de Guatemala ya tienen instalando los dos últimos mencionados. La potencia de los accionamientos o movimientos dependen de tasa de molienda, velocidad del molino, configuración del molino, pérdidas de potencia por fricción, ajuste del molino y carga hidráulica aplicada sobre la maza superior.

1.3.3. Conductores intermedios

Los conductores intermedios son conductores de tablillas que su función es transportan la caña para alimentar un molino, están compuestos por cadenas y tablillas metálicas, ver figura 17.

Figura 17. **Conductor intermedio**

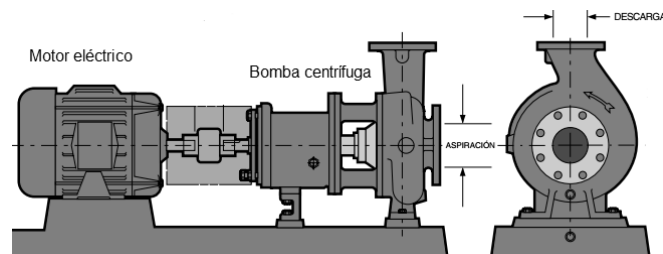


Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2011.

1.3.4. **Bomba de agua de imbibición**

Es una bomba centrífuga que bombea el agua caliente, la función de esta bomba es mojar en su totalidad el bagazo que sale del molino 4 para facilitar la extracción, ver figura 18, la bomba no es importante, ya que el agua se puede aplicar por gravedad si las instalaciones la permiten.

Figura 18. **Bomba agua de imbibición**

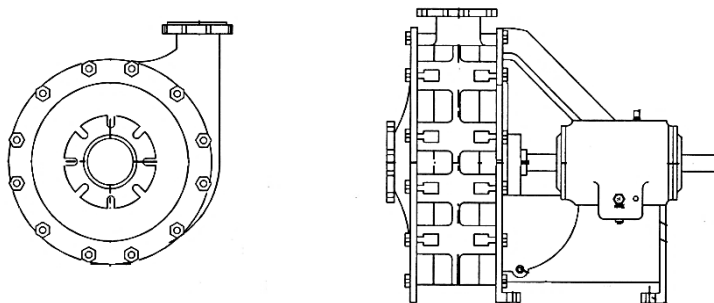


Fuente: Manual bombas ITT, 2013.

1.3.5. Bombas de maceración

Para mejorar la extracción se utilizan bombas para trasladar el jugo recolectado de cada molino, para mojar el bagazo que sale de cada molino, en un proceso normal, el jugo se extrae del molino 5, se bombea para mojar el bagazo que sale del molino 4, y el jugo que se extrae del molino 4 se bombea para mojar el bagazo que sale del molino 3, y de la misma manera, se bombea hasta el molino 2. Las bombas de maceración también llamadas inatascables, estas son de impulsor abierto tipo vortex, ver figura 19.

Figura 19. **Bomba de maceración**



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2010.

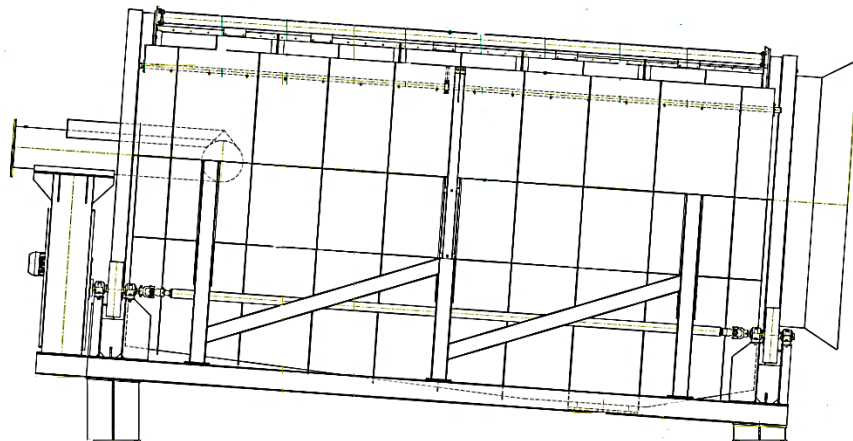
1.3.6. Bombas de jugo filtrado

Estas bombas son iguales a las bombas de maceración, pero su función en el proceso es diferente, la bomba de jugo filtrado bombea el jugo que se extrae de los molinos 1 y 2 hacia el filtro rotativo de guarapo, ver figura 19.

1.3.7. Filtro rotativo de guarapo

Este equipo también es llamado colador de guarapo, su función es separar el bagacillo proveniente en el jugo extraído de los molinos 1 y 2, este equipo es importante para evitar que el jugo lleve bagacillo a las siguientes etapas del proceso de elaboración de azúcar, porque puede causar taponamientos en los equipos. Ver figura 20.

Figura 20. Filtro rotativo de guarapo



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2015.

1.3.8. Bombas de jugo diluido

Estas bombas a diferencia de las bombas de maceración y de jugo filtrado, son bombas centrífugas (igual a la bomba de imbibición) que bombean el jugo libre de bagacillo proveniente del filtro rotativo de guarapo, estas bombas trasladan el jugo extraído de todo el tándem de molinos hacia el tanque de alcalizar, ver figura 18.

1.3.9. Distribución de equipos en la extracción de jugo en Ingenio Palo Gordo

La configuración depende de las necesidades que tenga cada de ingenio azucarero y del recurso económico que se quiera invertir, los equipos que tiene instalados Ingenio Palo Gordo, en el departamento de extracción de jugo son:

- 01 Molino de 6 mazas de 42 x 84 pulgadas.
- 03 Molinos de 4 mazas de 44 x 84 pulgadas.
- 01 molino de 4 mazas de 42 x 84 pulgadas.
- 04 Conductores intermedios.
- 03 Bombas de maceración.
- 02 Bombas de jugo filtrado.
- 01 Filtro rotativo de guarapo.
- 02 Bombas de jugo diluido.

1.4. Elaboración de azúcar de caña

1.4.1. Caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales, se cultiva en Guatemala, en el área del sur occidente, por lo que la caña tiene diferentes características de un área a otra, dependiendo de la variedad, factores climatológicos, disponibilidad del agua y la duración de su crecimiento (12 meses). Generalmente no se requiere de volver a sembrar, luego de cada cosecha, sino se deja crecer otra vez para una nueva cosecha, la producción de caña cada año se va reduciendo hasta tomar la decisión de volver hacer la siembra.

1.4.2. Componentes que contiene la caña de azúcar

Para toda industria que se dedica a la elaboración de azúcar, la materia prima es fundamental para hacer azúcar de calidad. La caña y la composición de su jugo varía. Es importante aclarar que el azúcar se hace en el campo y su calidad se tiene con los cuidados desde la siembra hasta el momento que se corta y se transporta, y en la fábrica sólo se extrae y se cristaliza de la mejor manera, para obtener la mayor cantidad de quintales de azúcar por tonelada de caña molida, ésta se compone de la siguiente manera:

- Sacarosa 13 %.
- Impurezas (no sacarosa) 2 %.
- Agua 71 %.
- Fibra 14 %.

1.4.3. Objetivo de preparar la caña

Convertir la caña en partículas pequeñas, para mejorar la extracción, rompiendo las células que portan el azúcar hasta producir un material que tenga las características apropiadas para ser molida.

Para preparar la caña se requieren equipos tales como: troceadoras, pre-cuchillas, picadora, desfibradora, conductores, el 25 % de la energía eléctrica que se produce para operar un ingenio, se consume para preparar la caña, debido a que los equipos instalados mencionados, ya que son equipos de trabajo pesado, utilizando motores eléctricos hasta de 5000 hp, preparar la caña es de suma importancia para tener una mejor extracción en los molinos.

1.4.4. Medición de la preparación de caña

Dentro de la medición más común y rápida que hay para saber si se está haciendo una buena preparación de caña es el análisis de índice de preparación IP (80 a 85 %), este dato se obtiene tomando una muestra de la caña antes de la entrada del primer molino y luego el laboratorio industrial determina el grado de preparación.

Se considera que para preparar bien la caña se tiene que estar supervisando el nivel de caña que se trae en el conductor y que las cuchillas de las troceadoras, pre-cuchilla y picadora estén en buenas condiciones de trabajo al igual que los martillos de la desfibradora, ya que las cuchillas y los martillos sufren desgaste por su trabajo.

1.4.5. Preparar la caña para ser molida

La molienda se hace en dos partes: preparando la caña y con la verdadera molienda de la caña. La caña se prepara de varias maneras:

- Por medio cuchillas giratorias que cortan la caña en pedazos sin extraer el jugo.
- Desfibrando la caña con la desfibradora siempre sin extraer el jugo.
- Mediante combinaciones de algunos o todos los medios enumerados.

El índice de preparación de caña IP es el porcentaje del lavado de por extraído por desintegración, el índice de preparación se correlaciona bien con la extracción del molino, los resultados muestran una mejor extracción con una mejor preparación en la caña.

1.4.6. Efecto de la preparación de caña en la extracción

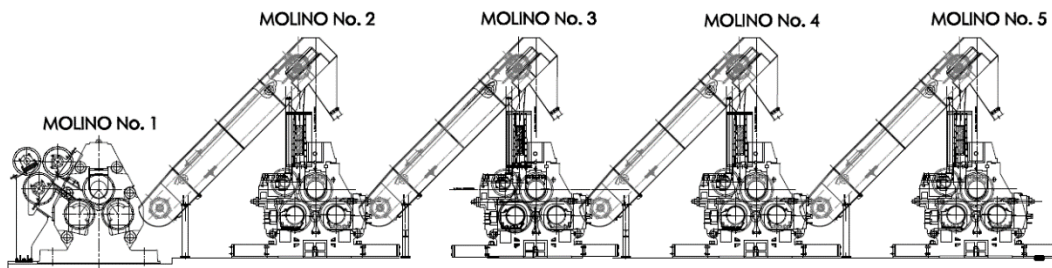
Para el proceso de molienda, un mayor rompimiento de las células que contienen azúcar resulta en una mejor obtención y el bagazo con menor cantidad de humedad, mientras menos % de humedad contenga el bagazo será mejor combustible para las calderas.

En la práctica se observa que si prepara bien la caña las condiciones del tándem de molinos cambia y los resultados a obtener son mejores, es por eso que hay que supervisar bien para preparar la caña.

1.4.7. Resumen elaboración de azúcar de caña

Como primer paso es la recepción de la caña en el ingenio, la primera etapa del proceso se prepara bien la caña, la que se hace pasar a través de troceadoras, precuchilla, picadora y desfibradora, que cortan y desfibran la caña en pedazos pequeños sin extraer jugo, después de estar preparada la caña pasa a extraerse el jugo, pasando la caña entre las mazas de los molinos, un tándem de molinos utiliza de cuatro a seis mazas por molino, la caña pasa sucesivamente por cada molino, ver figura 21.

Figura 21. Tándem de molinos



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2011.

Para extraer la sacarosa del jugo se aplica agua y jugo sobre el bagazo que sale de cada molino; esto contribuye a sacar por lixiviación el azúcar. El proceso de imbibición (o con menor frecuencia, saturación o maceración), puede presentar muchos cambios. La extracción que se obtiene en los molinos aproximadamente es del 95 % esto quiere decir que el 95 % del azúcar que trae la caña pasa al guarapo; a esto se le llama extracción de sacarosa.

El bagazo que sale del último lleva algo de sacarosa que no se pudo extraer, fibra y de un 45 a un 55 % de agua, este subproducto es funciona en las calderas como combustible.

Después el jugo que se extrajo en los molinos se envía hacia los clarificadores para ser purificado, luego se evapora el agua que lleva en la sección de evaporadores pasando de ser meladura; seguidamente se envía la meladura a la etapa de cristalización donde se termina de evaporar el agua que lleva hasta quedar saturado el azúcar en mezcla con meladura, después se forma una masa, esta es enviada hacia las centrífugas donde se hace separan los cristales de la miel, estos cristales son el azúcar.

1.5. Extracción de jugo

1.5.1. Objetivo de la extracción de jugo o molienda

La molienda tiene como objetivo extraer todo el jugo que trae la caña y en el momento que se extrae el jugo también se obtiene jugo y fibra, el jugo es enviado hacia la fábrica y la fibra hacia las calderas. Para extraer el jugo se le aplica presión hidráulica a los muñones de la maza superior para comprimir de manera adecuada la caña que pasa por cada molino, no está de más mencionar que los molinos están diseñados para extraer el jugo como otros componentes que tiene la caña, se puede mencionar, entre ellos, el agua, sacarosa y otros azúcares.

1.5.2. Capacidad de la molienda

La capacidad de molienda de un tándem depende de configuración del molino, estado del molino, control operacional, meta de extracción de extracción y humedad en bagazo y la fibra de la materia prima. Otro factor que va afectando la capacidad de la molienda es la duración de la zafra, ya que mientras más toneladas de caña se van procesando el desgaste en los componentes de los molinos es mayor.

Es preciso mencionar que al aumentar la molienda en cualquier tándem de molinos se puede estar sacrificando la extracción de sacarosa, ya que las aberturas o ajustes de los molinos al ser más grandes, dejan pasar mayor cantidad de caña, es decir, la abertura de entrada de caña y la de salida van a ser mayores. Cuando las fábricas toman la decisión de aumentar la

capacidad de molienda se tienen que verificar todos los factores que pueden ser obstáculos para la extracción de sacarosa.

1.5.3. Parámetros para mejorar el desempeño de los molinos

Existen varios parámetros de operación para un tándem de molinos los esenciales son:

- Extracción (90 – 97%).
- Pol % bagazo (1.5 a 2%).
- % humedad de bagazo (45 – 51%).
- Brix jugo residual (menor a 2.5).
- Imbibición % caña (25- 30%).
- Presión aplicada al molino (depende del ajuste del molino aproximadamente 150 a 220 toneladas).
- Temperatura agua de imbibición (60 a 80 ° C).
- Flotación de maza superior (3/8 a 3/4 pulgada).
- Diferencia de pureza entre el jugo diluido y el jugo residual (menor a 1).
- Lavado del tándem (agua caliente 80 A 90° C a cada 2 horas).

NOTA:

Pol % bagazo: Es una medición que sirve para controlar que porcentaje de sacarosa lleva el bagazo en la salida del último molino, este también lleva cierto porcentaje de humedad.

Extracción reducida: la sacarosa que no es extraída es aquella que permanece en el bagazo final. Puede esperarse que esta sea proporcional a

la cantidad de bagazo, que a su vez es proporcional al contenido de fibra en caña, factor que usualmente esta fuera de control de la fábrica.

1.5.4. Optimización de los ajustes del molino

Por la variedad de diseños de molinos, calidades de caña, tasas de imbibición y condiciones de operación, no existen ajustes teóricos para los molinos. Para optimizar los ajustes del tándem, se recomienda hacer lo siguiente:

- Configurar el molino y registrar los ajustes.
- Medir y registrar el desempeño del molino (hacer corridas de extracción en cada molino, por lo menos una vez a la semana).
- Observar cómo trabaja cada molino y decidir posibles mejoramientos.
- Si fuera necesario hacer cambios en las medidas de ajuste de cada molino y registrar los nuevos ajustes.
- Medir y registrar el nuevo desempeño.
- Efectuar posteriores ajustes con base en el desempeño y observaciones registrados.
- Repetir.

Tomar en cuenta que mientras más toneladas de caña procesa el tándem, mayor es el desgaste en sus componentes, provocando aberturas mayores en el ajuste del molino, motivo por el cual hay que estar observando el trabajo de cada molino para hacer las reconfiguraciones necesarias a determinados intervalos de tiempo. Estas recomendaciones son basadas en la experiencia del personal de supervisión y operativo, ya que no hay una fórmula descrita para optimizar el

tándem de molinos, porque existen muchas variables, tanto en el proceso como la materia prima. Se puede decir que el proceso de fabricación de azúcar es muy complejo por lo anteriormente mencionado.

1.5.5. Operación de los molinos

Existen varios factores que afectan el desempeño de los molinos incluyen aspectos físicos tales como la calidad y preparación de la caña, el número tamaño, potencia instalada y ajuste de los molinos, el agua de imbibición aplicada, la alimentación y el control de los molinos. A parte de los mencionados existe el factor más importante la calidad del personal operativo de molinos, este aspecto es importante para el desempeño del tándem.

Es importante y necesario tener en capacitación constante al personal involucrado en la operación del tándem de molinos, ya que son dichas personas las que pueden hacer la diferencia para que todo funcione en los parámetros establecidos.

1.5.6. Guía de rendimiento para el tándem de molinos, curva de Brix

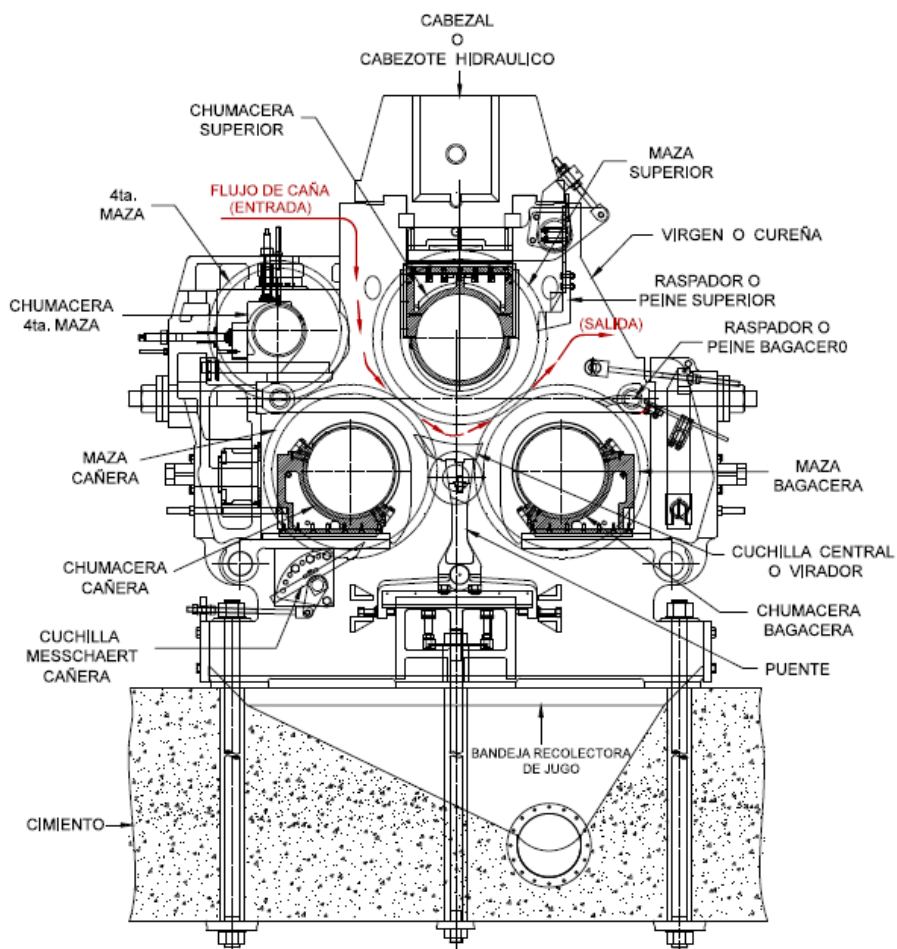
El método más común para medir el desempeño en los molinos haciendo una gráfica con el brix del jugo que se está extrae por cada unidad de molinos.

La forma más usual para hacer una curva de brix, es determinando el brix del jugo que se extrae por molino, la muestra que se toma por molino se saca del lado de las mazas cañeras y bagaceras y con los resultados obtenidos de la muestras se procede a hacer una gráfica. El gráfico consiste en dos curvas, una para las mazas cañeras y otra para las bagaceras y comparar con las curvas

teóricas. Las curvas de brix son muy importantes para determinar la eficiencia de cada molino, se espera que su trabajo sea de mucha similitud a lo teórico, estas mediciones las hace el laboratorio industrial y se recomienda hacerse a cada semana, ya que de esto depende si hay que hacerles algunos ajustes a los molinos, para tener una mejor extracción de sacarosa.

1.5.7. Componentes de los molinos

Figura 22. Molino convencional de cuatro mazas



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2011.

1.6. Pérdidas de sacarosa en la fabricación de azúcar

1.6.1. Pérdidas de sacarosa existentes en todo el proceso de la fabricación de azúcar

Las pérdidas de sacarosa en la elaboración de azúcar se encuentran en cuatro puntos, se enumeran según su relevancia:

- Melaza o miel final
- Bagazo
- Indeterminadas
- Cachaza

Todas las pérdidas mencionadas no se pueden evitar, pero se pueden controlar mejorando los procesos y los procedimientos para la operación, todas estas se pueden cuantificar, en los ingenios el laboratorio industrial hace un reporte diario y mediciones a cada dos horas, por lo regular para mantener controlados los procesos y minimizar las pérdidas.

1.6.2. Pérdidas de sacarosa existentes en todo el tándem de molinos

Hay dos formas de perder sacarosa: pérdidas físicas y por infección microbiana.

- Pérdidas físicas: son provocadas por descuidos y mala supervisión, también puede ser por fugas de jugo en tuberías, canales, bandejas recolectoras de jugo, bombas, derramamientos, las cuales se pueden evitar mejorando las instalaciones y creando conciencia al personal involucrado. Dentro de las pérdidas físicas también está la pérdida de sacarosa en el

bagazo, está por naturaleza del proceso es imposible evitarla, pero si se puede controlar, mejorando operativamente como cerciorándose que los equipos mecánicamente estén trabajando bien. Esta pérdida es la segunda más grande en la elaboración de azúcar, es por esto que la industria guatemalteca invierte en nuevas tecnologías.

- Infección microbiana: es causada por microorganismos que destruyen la sacarosa, particularmente debido al leuconostoc esta bacteria se introduce a la caña en los campos cuando se corta, ya que se le hace una herida al tallo, para controlar estas pérdidas hay que lavar con agua caliente (80 a 90 °C) a presión (100 psi) todos los componentes de los molinos, tanques, canales, conductores intermedios, filtros rotativos y cualquier equipo auxiliar utilizado, con el fin de remover toda la caña acumulada en puntos muertos y jugos que están estancados, los cuales son focos de contaminación lugares de preferencia para la bacteria.

Cabe mencionar que en algunos tándem de Guatemala, ya no se aplican bactericidas para el control microbiano, el control de esta se hace con el lavado del tándem con agua caliente a cada 2 horas y estar en constante comunicación con el laboratorio industrial para no salir de rango establecido del crecimiento de bacterias.

1.7. Mazas perforadas

1.7.1. Drenajes de los molinos

En el proceso de molienda o extracción es necesario drenar todo el jugo que se extrae de la caña, el cual es un volumen elevado de jugo teniendo como inconveniente que el colchón de bagazo que pasa por los molinos es compacto y casi impermeable. Por lo mencionado es necesario realizar algunas mejoras que ayudan a extraer el jugo:

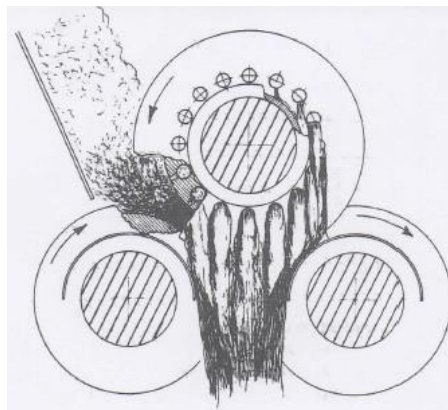
- Mejoramiento de la rugosidad superficial de las mazas.
- Ángulo de ranurado del diente más fino.
- Ranuras messchaert a la maza cañera y 4ta maza.
- Implementación de mazas perforadas.

Cuando los molinos no pueden drenar todo el jugo que extraen se conduce a la reabsorción de jugo hacia el bagazo a la salida del molino y esto ocasiona mermas de sacarosa y de reabsorción en el bagazo. Debido a esto, hoy en día las mazas perforadas se están utilizando para dar solución a este problema que es muy común cuando se utilizan mazas convencionales. No está de más mencionar que también la tasa de imbibición que se está aplicando afecta el drenaje de los molinos por es muy importante tener bajo control este parámetro.

1.7.2. Mazas perforadas o con drenajes internos

Una maza perforada tiene un casco de hierro fundido con numerosos agujeros radiales que sirven como drenaje ubicados en el fondo del diente, estos agujeros drenan sobre los agujeros axiales que sirven como canales para que el jugo no tenga contacto con el colchón de caña y a la vez sirven para desalojar por los extremos de la maza el jugo que se extrae, ver figura 23.

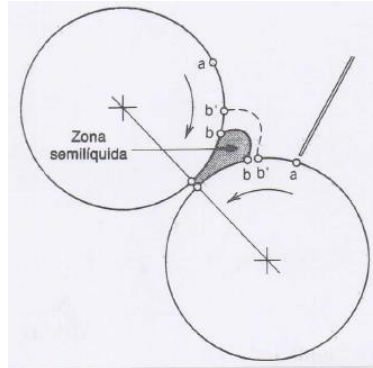
Figura 23. **Maza perforada**



Fuente: Manual del azúcar de caña, 1991.

La maza perforada tiene como función principal eliminar la llamada zona de semilíquido, que es un sector donde existe una presión elevada y donde hay una mezcla de fibra y jugo, en otras palabras, es el área donde se da la compresión de la caña por las mazas, ver figura 24.

Figura 24. **Zona semilíquida**



Fuente: Manual del azúcar de caña, 1991.

El drenaje del jugo es el principal problema que se tiene en un molino, dado que el jugo debe fluir hacia atrás, por el fondo de las ranuras hasta antes de la primera compresión. Para atacar este problema, se generó el concepto de la “maza perforada,” ésta proporciona una alternativa de drenaje desde la maza superior.

1.7.3. Equipos que incrementan la capacidad y eficiencia de la molienda

Entre los equipos que incrementan la capacidad y eficiencia del tándem de molinos, se puede mencionar:

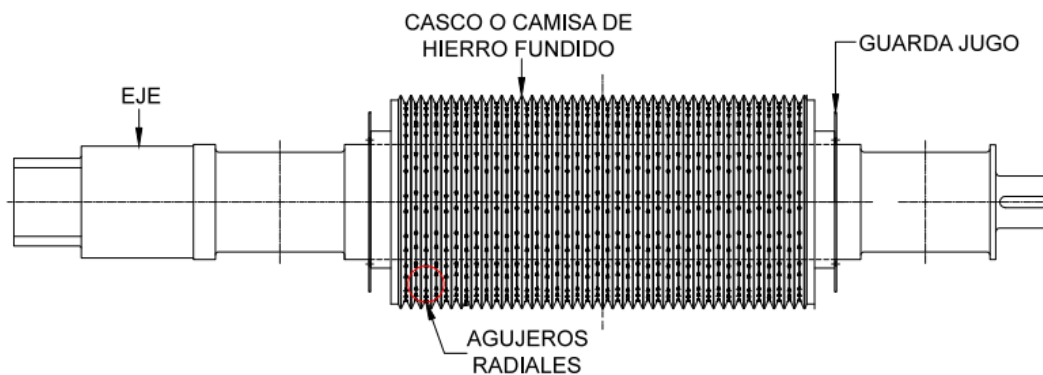
- La maza perforada, hoy en día se está instalando y evaluando en muchos países, no hay duda de que esta maza puede incrementar la capacidad de extracción y la eficiencia de la molienda, como fundamento esta tecnología fue inventada e instalada originalmente en Taiwán por Bouvet en 1980.

La tecnología de las mazas perforadas para otros países fueron ya tecnologías experimentadas, para el área de Centro América es una tecnología que está dando buenos resultados, por tal motivo es que la tendencia se está inclinando en su implementación. La mayoría de los ingenios azucareros en Guatemala está calculando su desempeño.

1.7.4. Componentes de una maza perforada

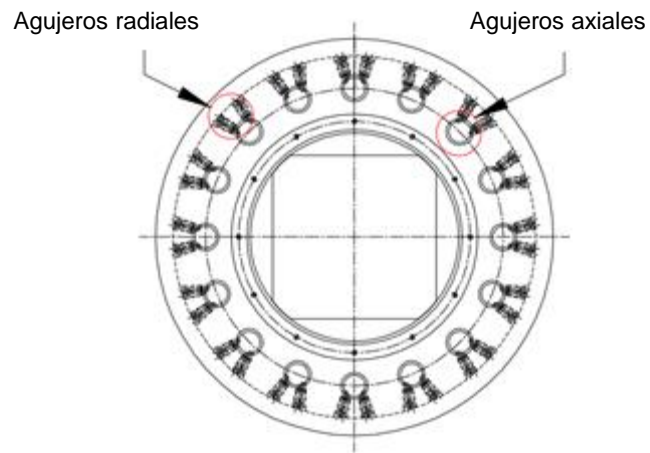
Una maza perforada está compuesta de eje, casco o camisa de hierro fundido, guarda jugo ver figura 25, agujeros radiales y axiales por donde drena el jugo, ver figura 26 y 27.

Figura 25. Partes de una maza perforada



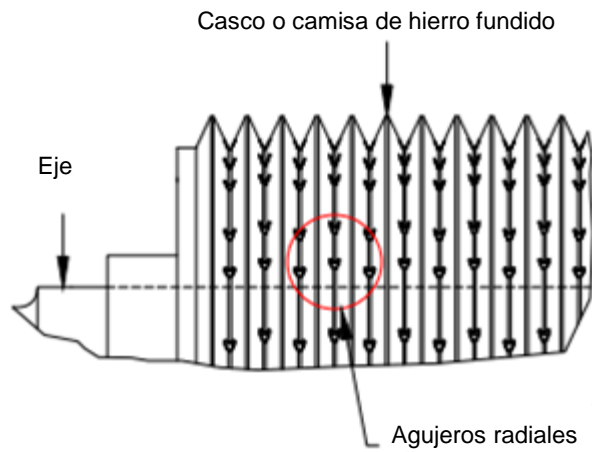
Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

Figura 26. **Sección frontal de maza perforada**



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

Figura 27. **Sección parcial lateral de maza perforada**



Fuente: Ingenio Palo Gordo, S.A., 2014.

1.7.5. Ventajas mazas perforadas

Estudios hechos muestran que al utilizar mazas perforadas se tienen varios beneficios de forma directa o indirecta en los molinos, dentro de los beneficios operacionales se tienen los siguientes:

- Aumento en la capacidad de la molienda.
- Aumento de la extracción.
- Aumento en la aplicación de agua de imbibición.
- Menor humedad en el bagazo.
- Mejora las condiciones del bagazo y se estabiliza la operación en las calderas.
- Mejorar el sobrante de bagazo.
- Baja contaminación por bajo consumo de carburantes fósiles.
- Se logra cumplir con los parámetros establecidos en los molinos.
- Existen fabricantes de este tipo de mazas localmente.

1.7.6. Desventajas mazas perforadas

El uso de las mazas perforadas tiene algunas desventajas:

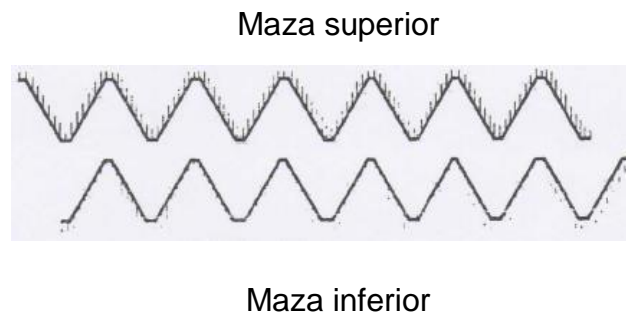
- Taponamiento de los agujeros radiales y axiales.
- Deficiente limpieza de los orificios radiales y de los canales de drenaje.
- Embagazamiento en el molino al estar tapados los agujeros axiales.
- Elevado tiempo de fabricación.
- Alto costo de adquisición.
- Alto costo de mantenimiento.

- Tiempo de mantenimiento y mecanización extenso y complejo.

1.7.7. Ranurado de las mazas

Un tándem de molinos con mazas cilíndricas sin surcos es inferior a una de las mismas dimensiones y de la misma velocidad, cuyos cilindros están ranurados. En Guatemala, todos los tándem de molinos que existen usan mazas con ranurado, con algún ángulo determinado, según lo indique el dueño de proceso, ya que con estas ranuras aumenta la molienda y la extracción de sacarosa, ver figura 28.

Figura 28. **Ranurado circular de una maza**



Fuente: Manual para Ingenieros Azucareros, 1976.

1.7.8. Blindaje o preparación de las mazas

La rugosidad superficial de las mazas es un factor crítico para lograr una buena extracción, minimizar el deslizamiento y la reabsorción en el bagazo.

Para que una maza perforada cumpla con su objetivo es necesario tenerla en buenas condiciones, esto se logra aplicando un recubrimiento de acero inoxidable al fondo y en los flancos del diente aproximadamente $\frac{3}{4}$ " del fondo hacia arriba, también alrededor de los agujeros radiales y el resto del diente se cubre aplicando una base y un revestimiento duro alto en cromo resistente a la corrosión y abrasión, encima de este se aplica chapisco o chisporroteado, el chapisco no se aplica al fondo de inoxidable, y por último, en la cresta del diente se aplica un picote para mejorar la tracción de la maza. En Guatemala pocos ingenios lo hacen, porque tiene un costo elevado, esto ayuda para conservar el perfil del diente, así como mantener los parámetros de operación del tándem de molinos dentro lo establecido. Sin esta técnica, las mazas no conservarán su perfil, debido al desgaste que se tiene por la cantidad de toneladas de caña que se procesan en el tiempo de producción (zafra) ahora son mayores a los años anteriores.

1.7.9. Desgaste de mazas

En general, el desgaste de las mazas puede ocurrir por las siguientes causas:

- Desgaste del metal originado por la acidez del jugo.
- Rozamiento de los raspadores (peines) y de la cuchilla central (virador).
- Pedazos de hierro que rompen el metal y quiebran los dientes.
- Tonelaje de caña que ha procesado.
- Presencia de materia mineral en la caña.

El desgaste usualmente es mayor al centro de la maza que en las extremidades. En los molinos de construcción moderna puede tolerarse un

desgaste de 4 hasta el 5 % de su diámetro original. También hay que tomar en cuenta que los molinos que trabajan a grandes revoluciones y presiones hidráulicas sufren mayor desgaste las mazas.

Es inevitable que las mazas se desgasten, ya que el trabajo que hacen es riguroso, en todos los ingenios de Guatemala se trabaja las 24 horas de lunes a domingo, durante aproximadamente 6 meses; aparte de eso, todos los ingenios han aumentado su molienda, debido al crecimiento y diversificación de sus productos.

Los desgastes que van presentando las mazas durante toda la zafra afectan el agotamiento del bagazo. Durante los períodos de mantenimiento programado, se puede aplicar soldadura a las mazas para recuperar un poco la rugosidad, ya que esta es la que les da tracción a los molinos, es decir, mientras más rugosas están las mazas mejor puede atrapar la caña las mazas.

Los cascos o camisas de las mazas del tándem de molinos representan uno de los costos de mantenimiento más altos en las fábricas azucareras, es por lo mencionado la preocupación por innovar procedimientos para el recubrimiento de los cascos, ya que a parte del deterioro que sufren también el proceso es afectado de la siguiente manera:

- Mayor consumo de energía eléctrica.
- Merma en el agotamiento del bagazo.
- Mayor tiempo perdido en la molienda.
- Reducción de molienda.

1.7.10. Renovación de mazas

Cuando la camisa o casco de hierro fundido de la maza se desgasta puede reemplazarse por uno nuevo o como comúnmente se le llama se puede reencamisar, existen constructores que realizan este trabajo.

Cuando una maza pierde su diámetro original por la configuración que tiene el molino ya no se usará, esto lo determina el diseño y capacidad para la cual fue diseñado el molino, no solo cuando pierden diámetro las mazas se cambian los cascos sino también cuando ya están muy dañados por objetos que pasan entre las mazas tales como piedras, objetos metálicos que se sueltan de los equipos que están emplazados en todo el camino de la caña. Si las mazas están muy dañadas y el ranurado pierde su perfil, va a existir una merma en el agotamiento del bagazo.

1.8. Desempeño de las mazas perforadas

1.8.1. Conservación del perfil del diente

Los dientes de las mazas juegan un papel importante en la reducción de las pérdidas en el agotamiento del bagazo, es por ello que hay que preservarlas en las mejores condiciones, esto es muy complicado, ya que son de trabajo pesado, existen algunos equipos que pueden ayudar a preservarlas entre uno de ellos, los electroimanes instalados en diferentes puntos de la operación y otro relevante es el cuidado que tienen que tener los colaboradores, para evitar que se introduzcan materiales metálicos entre las mazas. Hoy en día se pueden reconstruir los daños que presenten las mazas con diferentes técnicas de soldadura, es necesario o casi obligatorio que en los mantenimientos programados se hagan las reparaciones de las mazas.

1.8.2. Drenaje de jugo

Las mazas perforadas presentan un excelente drenaje de jugo que ayuda a que el molino haga pasar el colchón de caña fácilmente, ya que reduce la presión hidráulica formada, evitando la reabsorción de jugo en la salida de bagazo de cada molino, dando como resultado una mejor recuperación de sacarosa en el agotamiento y mejorando la humedad en el bagazo.

1.8.3. Agujeros radiales y axiales

Las mazas perforadas llevan aproximadamente de 1,200 a 1,900 o más agujeros radiales y llevan 16 canales axiales aproximadamente, todo lo mencionado depende del diseño que el dueño de proceso desee y de la calidad de hierro fundido que el fabricante provea, cabe mencionar que mientras más agujeros tenga el casco de la maza tiene más riesgo de quebrarse y su costo es más alto, pero mientras más agujeros tenga mejor va a ser su funcionamiento, ya que tiene más área por donde drenar el jugo

1.8.4. Comparación de costos de adquisición entre maza perforada y convencional

El valor de las mazas perforadas vrs las mazas convencionales completas (incluye eje, camisa o casco hierro fundido o nodular, maquinado de dientes y boquillas de drenajes) es significativo motivo por el cual en algunas fábricas de azúcar no las instalan, los costos de adquisición se pueden ver en la tabla I.

Tabla I. **Valor de adquisición mazas nuevas perforadas vrs convencionales**

Cantidad	Descripción	Precio
01	Maza perforada completa de diámetro 42" x 84" de largo, incluye eje, casco de hierro gris clase A-30, 180-220 BHN, maquinado de dientes y con 1280 boquillas.	\$ 65,000
01	Maza convencional completa de diámetro 42" x 84" de largo, incluye eje, casco de hierro gris clase A-30, 180-220 BHN y maquinado de dientes.	\$ 38,000

Fuente: elaboración propia.

El valor de un nuevo encamisado o casco de las mazas perforadas vrs las convencionales se puede ver en la tabla II. Se puede notar que los cascos de hierro fundido para mazas perforadas son más elevados que los de las mazas convencionales. Cuando se hace un cambio de casco a una maza se tiene que enviar la maza completa al taller que va a fabricar el casco para que quiten el casco dañado del eje y pueden volver a utilizar el eje, así colocar el casco nuevo, previo a esto se hacen análisis de ensayos no destructivos al eje para tener la certeza que no tiene ninguna fisura, ya que si la tuviera se tendría que desechar.

Tabla II. **Valor de adquisición del encamisado de las mazas perforadas vrs convencionales**

Cantidad	Descripción	Precio
01	Encamisado o casco nuevo para maza de diámetro 42” x 84” de largo, incluye solo el casco de hierro gris clase A-30 180 – 220 BHN, maquinado de dientes y con 1280 boquillas	\$32,000
01	Encamisado o casco nuevo para maza de diámetro 42” x 84” de largo, incluye solo el casco de hierro gris clase A-30 180 – 220 BHN y maquinado de dientes.	\$ 20,000

Fuente: elaboración propia.

1.8.5. Comparación de costo de reparación entre maza perforada y convencional

Como se puede observar en las tablas III y IV, la diferencia del costo de reparación entre las dos clases de mazas es significativa, los valores que se muestran en las tablas son valores reales que se tomaron de los históricos de la reparación del año 2015 y no incluyen el valor del recurso humano.

Tabla III. Costo de reparación de maza perforada

Cantidad	Descripción	Precio	Total
500 lbs	Alambre base	Q. 39.00	Q. 19,500.00
400 lbs	Alambre acero inoxidable	Q. 51.00	Q. 20,400.00
200 lbs	Alambre revestimiento duro	Q. 70.00	Q. 14,000.00
51 lbs	Electrodo revestimiento duro	Q. 32.00	Q. 1,632.00
20	Boquillas para antorcha	Q. 15.00	Q. 300.00
06	Cilindro mezcla Argón – CO2	Q. 1,000.00	Q. 6,000.00
25	Discos para pulir	Q. 33.00	Q. 825.00
	Otros consumibles	Q. 2,000.00	Q. 2,000.00
		TOTAL	Q. 64,657.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Costo de reparación de maza convencional**

Cantidad	Descripción	Precio	Total
500 lbs	Alambre base	Q. 39.00	Q. 19,500.00
250 lbs	Alambre acero inoxidable	Q. 51.00	Q. 12,750.00
200 lbs	Alambre revestimiento duro	Q. 70.00	Q. 14,000.00
51 lbs	Electrodo revestimiento duro	Q. 32.00	Q. 1,632.00
10	Boquillas para antorcha	Q. 15.00	Q. 150.00
02	Cilindro mezcla Argón – CO2	Q. 1,000.00	Q. 2,000.00
25	Discos para pulir	Q. 33.00	Q. 825.00
	Otros consumibles	Q. 1,000.00	Q. 1,000.00
		TOTAL	Q. 51,857.00

Fuente: elaboración propia.

1.8.6. Problemas presentados durante la operación

Durante las últimas zafras se han venido instalando mazas perforadas en el tándem de molinos, estas han provocado algunos problemas operativos, los cuales afectan el agotamiento del bagazo, éstos son:

- Ruptura total en área transversal del casco.
- Taponamientos en los agujeros radiales de drenaje.
- Taponamiento en los canales axiales de drenaje.

- Desvío de actividades operativas por actividades de limpieza a los drenajes de las mazas.
- Punteo de molinos por limpieza de drenajes de las mazas.
- Tiempo perdido por cambio de maza cuando se quiebran.

Todos los problemas operativos mencionados son los que provocan que el agotamiento en el bagazo no sea el esperado, perdiendo la eficiencia el tándem de molinos, es por ello que se tienen que buscar alternativas para hacer que las mazas perforadas cumplan con su objetivo y trabajen como se espera.

1.8.7. Ventajas y desventajas operativas

Dentro de las ventajas que se tienen con la utilización de las mazas perforadas están:

- Aumento de la molienda.
- Mejor agotamiento de sacarosa en el bagazo.
- % humedad en el bagazo entre los rangos establecidos.

También se tienen algunas desventajas operativas que se pueden observar:

- Tiempo invertido en personal para limpiar agujeros de drenajes radiales y canales axiales.
- Compra de insumos para limpieza de drenajes.
- Compra de equipo para realizar las actividades de limpieza.
- Compra de equipo de soldadura para mantenimiento de las mazas.

1.8.8. Resultados obtenidos con mazas perforadas

- En el libro ingeniería de la caña de azúcar de Peter Rein (2012), menciona que la maza perforada ha sido utilizada con éxito en varios lugares, incluyendo una aplicación para un difusor de bagazo en Maidstone, donde la humedad final de bagazo fue de 2 a 2.5 puntos porcentuales menos cuando está trabajando adecuadamente, también hace mención que el problema es mantener los conductos radiales y axiales libres de partes de bagazo. Una vez que se tapan los drenajes la maza no ofrecen ninguna ventaja. Como resultado, a pesar que se han ensayado en muchas fábricas, pocas de ellas se encuentran en servicio.
- En el artículo: Reduciendo la absorción de jugo en los molinos de caña mediante el uso de mazas con drenajes internos, de Sánchez J y Chavarro, S (2013), indican que con la implementación de las mazas perforadas mejoro la humedad en el bagazo y aumento la extracción de cada molino, también hacen mención que con la mejora vista hacen pruebas colocando mazas perforadas en la cuarta maza, cañera y bagacera logrando mejoras en los parámetros operacionales.
- También presentan resultados obtenidos en Colombia instalando una maza superior perforada en el molino uno aumentando un 5 % la extracción de sacarosa y también instalan una maza superior perforada en el último molino, reduciendo la humedad del bagazo en un 2 %.
- También presenta un caso de un difusor en Ecuador, donde el bagazo sale con 80 % de humedad y al pasar por el molino secador que tiene una maza superior y cañera perforada el bagazo sale con una humedad menor al 50 %.
- Fundiciones Universo (Universo & Manufactura) publicó un artículo por José Jair Sánchez (2011), son fabricantes de mazas perforadas y hacen referencia que dichas mazas las tiene trabajando en varios países y están

dando muy buenos resultados, según estudio que realizaron han reducido la humedad, mejora el agotamiento del bagazo y más beneficios que están implícitos en la elaboración de azúcar, entre los países que proveen las mazas perforadas están: USA, México, Colombia, Argentina, Venezuela, Ecuador, Perú, Panamá, República Dominicana, Martinica, etc.

- También en el estudio análisis beneficio – costo para la adquisición y montaje de un nuevo molino en el tándem A, del ingenio Santa Ana, afirman que con el uso de las mazas perforadas se disminuye la humedad en el bagazo de 2 a 2.5 % siempre y cuando los agujeros radiales y axiales estén limpios, dicen que mantener limpios dichos agujeros es un problema y es muy difícil, esto puede provocar embagazamiento en el molino.

Los resultados que se observan son muy relevantes, ya que son muy positivos para tener una mejora en el agotamiento del subproducto bagazo.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Metodología

A continuación se describen las técnicas, métodos y procedimientos que se emplearon para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo de investigación, la metodología a seguir para la evaluación de las mazas perforadas estará sustentada en la revisión de la literatura de los siguientes temas:

- Proceso de fabricación de azúcar.
- Extracción de jugo.
- Pérdidas de sacarosa en la fabricación de azúcar.

Con dicha revisión se analizaron los parámetros teóricos y aspectos operativos que debe tener un tándem de molinos en cualquier industria azucarera.

Para analizar y dar respuesta al primer objetivo:

- Analizar los resultados de la pol de bagazo en la última extracción del tándem de molinos, desde el inicio de la utilización de las mazas perforadas.

Se hizo una recopilación de datos de 5 zafras operativas, en el laboratorio industrial de ingenio Palo Gordo, los datos que se extrajeron fueron pol % bagazo, también se recopiló información en los archivos de la maquinaria para verificar

las fechas y la cantidad de mazas perforadas que se utilizaron en cada una de las zafras que se analizó.

Para analizar y dar respuesta al segundo objetivo:

- Analizar los resultados de humedad del bagazo e incremento de la producción de azúcar desde el inicio de la utilización de las mazas perforadas.

Se hizo una recopilación de datos de 5 zafras operativas en el laboratorio industrial de ingenio Palo Gordo, los datos que se extrajeron fueron % humedad de bagazo, pérdida de sacarosa en el bagazo, imbibición % caña y bagazo % caña, también se recopiló información en los archivos de la maquinaria para verificar las fechas y la cantidad de mazas perforadas que se utilizaron en cada una de las zafras que se analizó.

Y por último, para analizar y dar respuesta al tercer objetivo:

- Evaluar si utilizando mazas perforadas hay que realizar actividades extras de mantenimiento, compra de equipos auxiliares e insumos para que su funcionamiento obtenga un mejor agotamiento en el bagazo.

Se realizó trabajo de campo en el proceso de extracción de jugo para tener un soporte de las vivencias obtenidas, se realizó una encuesta con 08 preguntas cerradas a los involucrados en el proceso de extracción de jugo, para determinar qué situaciones dan ventajas y desventajas a las mazas perforadas, se aprovechó esta situación viendo la experiencia operativa que tiene cada uno de los involucrados.

Luego de haber obtenido los datos para analizar cada uno de los objetivos descritos, se procedió a evaluar el funcionamiento de las mazas perforadas realizando lo siguiente:

- Análisis estadísticos tales como análisis de varianza, prueba de Tukey, promedios, desviaciones estándar, coeficientes de variación.
- Tablas y gráficas para interpretar los resultados de una manera más fácil y clara.

Con lo mencionado, se realizó la evaluación de las mazas perforadas en el tándem de molinos.

Para determinar la cantidad de datos a recolectar para el primer y segundo objetivo, se tomó como referencia que cada zafra tiene 180 días operativos y se agruparon en 21 semanas y los días que se tomaron en cuenta fueron los que se muestran en la tabla V.

Tabla V. Criterio para la selección de días para la recolección de datos

Mes	Cantidad de datos	Observaciones
Noviembre	0	Este mes se desechó para la recolección de datos por ser días irregulares, por lluvias y ajustes en la maquinaria.
Diciembre	31	Mes normal de operación.
Enero	31	Mes normal de operación.
Febrero	28	Mes normal de operación.
Marzo	31	Mes normal de operación.
Abril	19	Este mes se desechó para la recolección de datos parcialmente, por tener días irregulares, por lluvias y desajustes en la maquinaria, por desgaste.
Mayo	0	Este mes se desechó para la recolección de datos, por ser días irregulares, por lluvias y desajustes en la maquinaria, por desgaste.
TOTAL	140	

Fuente: elaboración propia.

Después de tener la cantidad de datos a recolectar, se verificó que el tamaño de la muestra está dentro de lo teórico utilizando la ecuación 1

Ecuación 1

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

En donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población = 180 días de zafra

Z = Nivel de confianza, 95%

e = Margen de error máximo, 0.05

p = Probabilidad de éxito, 0.5

Sustituyendo los valores en la ecuación 1, da un tamaño de muestra de 123 datos por recopilar siendo esto un 68.21 % del total de la población, para que sea más confiable el estudio se recopilaron 140 datos para tener un 77.77 % del total de la población, aumentando un 9.56 % la extracción de datos.

Para terminar los criterios de la recolección de datos, se agruparon en 7 días que hacen una semana y toda la agrupación de datos sumó 21 semanas operativas, luego se promediaron los 7 datos de cada semana, para obtener el valor semanal.

Ver en el anexo cuál es la frecuencia y los procedimientos que emplea el laboratorio industrial para la recolección de muestras para analizar.

La recolección de datos para el tercer objetivo, se realizó pasando una encuesta a los involucrados del proceso de extracción de jugo, los cuales son:

- 01 dueño de proceso de extracción de jugo.
- 04 coordinadores de turno de extracción de jugo.
- 03 auxiliares de turno.

- 03 mecánicos de turno.
- 03 soldadores de turno.

El total de los involucrados en el proceso son 14 personas, sustituyendo los valores en la ecuación 1, el tamaño de la muestra es de 13.5, por lo que se encuestaron las 14 personas, siendo el 100% de la muestra.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se da a conocer los resultados que se obtuvieron para dar respuesta a los objetivos formulados en este trabajo de investigación, el capítulo mencionado, se divide en tres partes: cada una de las partes contiene la información necesaria como datos, tablas y gráficas. Lo mencionado anteriormente fue necesario para cumplir con el objetivo general:

Evaluar las mazas perforadas en el agotamiento del bagazo de caña de azúcar en el proceso de extracción de jugo, en ingenio Palo Gordo, S.A.

3.1. Comparativo pol % bagazo

Para comparar el pol % bagazo, se realizó la tabla VI donde se muestra el historial y la cantidad utilizadas de mazas perforadas en el tándem de molinos durante las 5 zafra; además, se muestra la posición donde trabajó cada una de ellas, con esto se evaluó el efecto que tienen las mazas en el agotamiento del bagazo en el proceso de obtención de jugo, el pol % bagazo no es más que el contenido de azúcar presente en el bagazo en la última extracción.

Tabla VI. **Cantidad y posición de mazas perforadas utilizadas en el tándem de molinos**

IMPLEMENTACIÓN DE MAZAS PERFORADAS																					
	Mazas perforadas																Total				
	Molino 1				Molino 2				Molino 3				Molino 4					Molino 5			
Zafra	Posición																				
	C	B	S	4ta	C	B	S	4ta	C	B	S	4ta	C	B	S	4ta		C	B	S	4ta
Zafra 11-12							X														1
Zafra 12-13			X				X				X									X	4
Zafra 13-14			X				X				X				X					X	5
Zafra 14-15			X				X				X				X					X	5
Zafra 15-16			X				X				X				X				X	X	6
Maza cañera			C																		
Maza bagacera			B																		
Maza superior			S																		
4ta maza			4ta																		

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar el agotamiento del bagazo, se realizó la tabla VII, donde se presentan los resultados de pol % bagazo de 21 semanas operativas de las 5 zafras a analizar.

Tabla VII. Comparativo pol % bagazo entre zafras

POL % BAGAZO					
No. Semana	Zafra 11-12	Zafra 12-13	Zafra 13-14	Zafra 14-15	Zafra 15-16
1	2.19	2.40	2.40	1.85	1.92
2	2.24	1.92	2.19	1.77	1.82
3	2.29	1.96	2.00	1.87	1.83
4	2.32	1.93	2.03	1.83	1.79
5	2.37	1.88	2.01	1.88	1.56
6	2.42	2.94	2.00	1.89	1.84
7	2.45	2.57	1.99	1.90	1.84
8	2.48	2.67	1.98	1.88	1.81
9	2.51	2.00	2.12	2.33	1.92
10	2.52	2.11	2.05	1.86	1.92
11	2.55	2.05	2.12	1.91	1.91
12	2.59	1.98	2.04	2.45	2.04
13	2.62	2.47	2.42	2.04	1.90
14	2.65	2.03	2.01	2.47	1.92
15	2.69	2.11	2.10	2.23	2.10
16	2.73	2.08	1.93	2.23	2.40
17	2.78	2.36	2.22	2.27	2.48
18	2.85	2.36	2.03	1.99	2.44
19	2.90	2.34	1.99	2.09	2.50
20	2.93	3.01	2.09	2.15	2.54
21	3.01	2.51	1.90	1.97	2.40
PROMEDIO	2.57	2.27	2.08	2.04	2.04
Desviación estándar	0.23	0.33	0.14	0.21	0.29
Coeficiente de variación (%)	9.05	14.67	6.52	10.41	14.22

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII, se tiene en la primera columna el número de semana que se evaluó y el resto de las columnas se tiene los datos de los promedios del pol % bagazo de cada zafra, al final de cada columna, se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, con esto se puede analizar de una mejor manera la estabilidad que le da al proceso la utilización de las mazas perforadas.

Para verificar si existe diferencia estadísticamente significativa, se realizó un análisis de varianza utilizando los datos de los promedios del pol % bagazo de la tabla VII los resultados que se obtuvieron se muestran en la tabla VIII.

Tabla VIII. Análisis de varianza pol % bagazo

Origen variaciones	Suma de cuadrados	G.L.	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4.43	4	1.11	17.68	5.2485E-11	2.46
Dentro de los grupos	6.27	100	0.06			
Total	10.70	104				

Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos en la tabla VIII se calcularon con un nivel de confianza del 95 % con un error del 5 %. En la tabla VIII, también se puede ver que la distribución F calculada es mayor al valor crítico F (17.68 >2.46).

Sí existe diferencia estadísticamente significativa entre los datos de pol % bagazo, se realiza una prueba de Tukey utilizando los promedios de pol % bagazo de la tabla VII y los datos que se obtuvieron se muestra en la tabla IX.

Tabla IX. **Prueba de Tukey pol % bagazo**

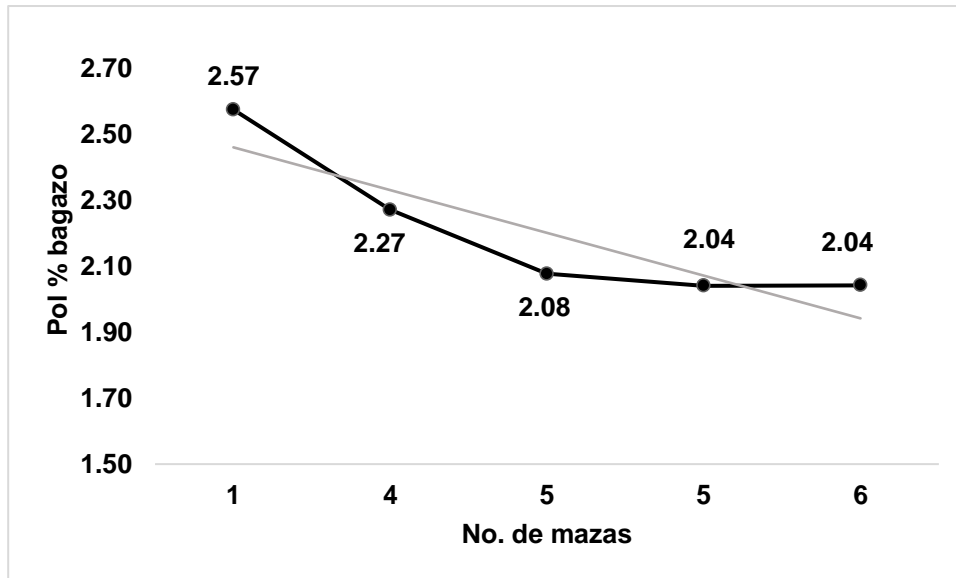
HSD	0.21				
Zafras	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
11-12		0.30	0.50	0.53	0.53
12-13			0.19	0.23	0.23
13-14				0.04	0.03
14-15					0.00
15-16					

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IX se muestra el resultado de la HSD, con la cual se hacen comparaciones entre zafras del pol % bagazo. La tabla IX también da una mejor visión, para evaluar el agotamiento del bagazo en el proceso de extracción de jugo entre cada una de las zafras que se están analizado, con ello se puede comparar como han trabajado las mazas perforadas con respecto al pol % bagazo obtenido.

Para comprender mejor como las maza perforadas está influyendo en el agotamiento del bagazo, se elaboró la figura 29, utilizando los promedios de pol % bagazo de la tabla VII y la cantidad de mazas que se utilizaron en cada zafra, según la tabla VI.

Figura 29. **Comportamiento pol % bagazo, según número de mazas perforadas trabajando**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 29 se hace un análisis del pol % bagazo, según el número de mazas que se utilizaron en cada zafra, para entender de una forma más clara el comportamiento del pol% bagazo se proyectó una línea de tendencia.

3.2. Comparativo % humedad y pérdida sacarosa en el bagazo

De la misma manera con la que se recolectaron los datos del pol % bagazo, se hizo con el % de humedad de bagazo y la pérdida de sacarosa en el bagazo.

Para determinar si las mazas perforadas influyen en el % de humedad en el bagazo, se tabularon los promedios de 21 semanas de las 5 zafras que se están analizando, pero la humedad de bagazo depende mucho de la cantidad de agua de imbibición que se le está aplicando al último molino, por tal motivo se consideró la recolección de datos de la imbibición % caña, los cuales se adjuntaron como se muestra en la tabla X.

Tabla X. **Comparativo % humedad de bagazo e imbibición % caña entre zafras**

No. Semana	% HUMEDAD DE BAGAZO					IMBIBICION % CAÑA				
	Zafra 11-12	Zafra 12-13	Zafra 13-14	Zafra 14-15	Zafra 15-16	Zafra 11-12	Zafra 12-13	Zafra 13-14	Zafra 14-15	Zafra 15-16
1	50.27	49.71	50.55	50.06	50.13	24.63	25.40	25.44	21.70	27.45
2	50.92	49.64	50.13	49.71	49.91	24.90	26.65	26.93	22.19	26.28
3	51.03	49.86	50.12	49.89	49.97	25.20	27.10	26.62	21.82	25.63
4	50.44	49.86	50.03	50.00	50.38	24.81	27.48	27.21	22.50	25.81
5	50.85	49.84	50.19	50.17	50.38	25.01	26.58	26.78	23.31	26.57
6	50.30	50.25	50.33	50.09	50.38	25.49	23.76	26.92	23.10	25.61
7	50.81	50.12	50.23	50.04	50.29	25.46	23.63	26.00	22.86	26.57
8	50.83	50.15	50.30	50.11	50.33	25.36	23.48	26.34	22.61	26.23
9	50.71	50.13	50.37	50.40	50.29	25.56	26.91	25.20	21.67	26.66
10	50.39	50.15	50.29	50.49	50.49	25.56	26.95	26.62	25.12	27.51
11	50.62	50.08	50.17	50.23	50.51	25.53	26.07	27.35	25.19	28.13
12	50.40	50.18	50.00	50.48	50.52	25.71	26.82	26.58	23.77	28.15
13	50.60	50.68	50.12	50.33	50.40	25.72	23.33	26.49	25.78	28.07
14	50.66	50.48	50.30	50.48	50.59	25.82	25.44	25.82	26.53	26.77
15	50.75	50.59	50.28	50.56	50.62	26.11	25.23	25.71	26.54	28.21
16	50.84	50.37	50.26	50.65	50.67	25.75	26.30	25.82	27.13	29.32
17	51.03	50.37	50.35	50.60	50.77	25.68	27.17	25.66	26.58	29.53
18	50.87	50.17	50.15	50.68	50.50	25.61	27.58	25.30	26.85	30.38
19	51.12	49.92	49.91	50.71	50.45	25.36	27.43	25.72	26.51	27.82
20	51.55	50.83	50.09	50.40	50.69	25.44	26.42	26.07	25.12	28.81
21	51.59	50.25	50.02	50.60	50.68	25.52	26.63	25.85	26.60	28.27
PROMEDIO	50.79	50.17	50.20	50.32	50.43	25.44	26.02	26.21	24.45	27.51
Desviación estándar	0.35	0.31	0.15	0.29	0.23	0.36	1.39	0.63	1.99	1.34
Coefficiente de variación (%)	0.70	0.62	0.30	0.57	0.45	1.41	5.34	2.40	8.12	4.86

Fuente: elaboración propia.

No está de más mencionar que el % de agua en el bagazo es la cantidad de humedad que se encuentra en el bagazo al salir de la última extracción en el tándem de molinos.

La tabla X muestra en su primera columna, las 21 semanas operativas que se analizaron, y el resto de las columnas indica el pol % bagazo y la imbibición % caña, al final de las columnas se calculó el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de cada una de las zafras, para mostrar que tan estable están operativamente estos indicadores.

Para verificar si existe diferencia estadísticamente significativa, se realizó un análisis de varianza utilizando los datos de % de humedad de bagazo de la tabla X los resultados que se obtuvieron se muestran en la tabla XI.

Tabla XI. Análisis de varianza % humedad de bagazo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G.L.	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5.23	4	1.31	17.40	7.26E-11	2.46
Dentro de los grupos	7.52	100	0.08			
Total	12.75	104				

Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos en la tabla XI se calcularon con un nivel de confianza del 95% con un error del 5%. En la tabla XI, también se puede ver que la distribución F calculada es mayor al valor crítico F ($17.40 > 2.46$).

Debido a que, sí existe diferencia estadísticamente significativa entre los datos de % humedad de bagazo, se realizó una prueba de Tukey, se utilizaron los promedios de % humedad de bagazo de la tabla X y los datos que se obtuvieron se muestra en la tabla XII.

Tabla XII. **Prueba de Tukey % humedad de bagazo**

HSD	0.23				
Zafras	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
11-12		0.62	0.59	0.47	0.36
12-13			-0.03	-0.14	-0.25
13-14				-0.12	-0.23
14-15					-0.11
15-16					

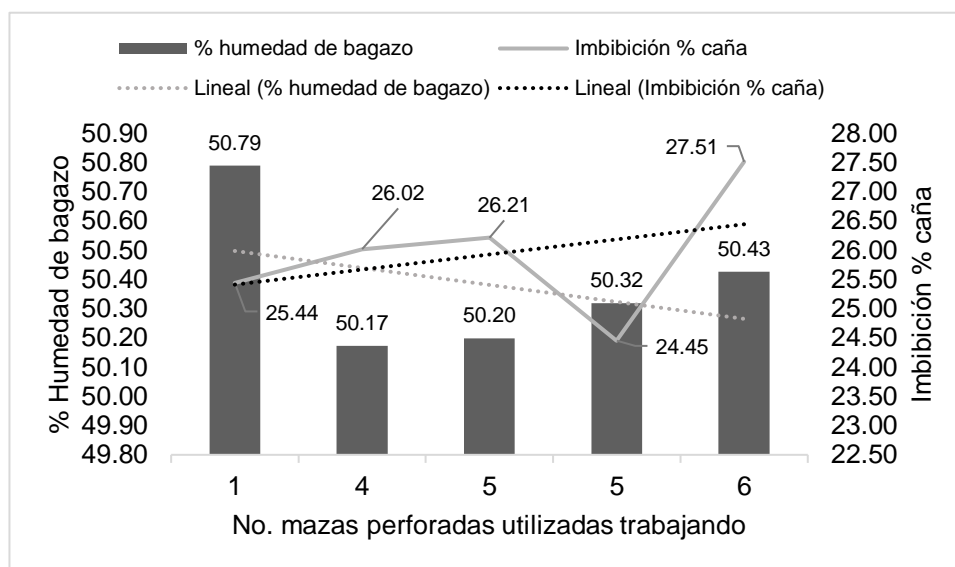
Fuente: elaboración propia.

En la tabla XII se muestra el resultado de la HSD, con la cual se hacen comparaciones entre zafras del % de humedad de bagazo. La tabla XII también da una mejor visión para evaluar si las mazas perforadas influyen en la humedad del bagazo, con ello evaluar lo trabajado de las mazas en cada una de las zafras.

Para comprender mejor cómo las maza perforadas está influyendo en el % de humedad en el bagazo, se elaboró la figura 30, utilizando los promedios de

% humedad de bagazo y de la imbibición % caña de la tabla X y la cantidad de mazas que se utilizaron en cada zafra, según la tabla VI.

Figura 30. **Comportamiento % humedad bagazo e imbibición % caña, según número de mazas perforadas trabajando**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 30 se hace un análisis del % de humedad de bagazo e imbibición % caña, según el número de mazas que se utilizaron en cada zafra, para entender de una forma más clara el comportamiento de ambos parámetros, se proyectó una línea de tendencia.

Para determinar si las mazas perforadas utilizadas en el tándem de molinos influyen en el aumento de la producción de azúcar, se tabularon los

promedios de 21 semanas de la pérdida de sacarosa en el bagazo, los cuales se adjuntaron como se muestra en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Comparativo pérdida de sacarosa en el bagazo y bagazo % caña entre zafras en lbs/TCM**

No. Semana	% PÉRDIDA DE SACAROSA LIBRAS X TONELADA DE CAÑA					Bagazo % caña				
	Zafra 11-12	Zafra 12-13	Zafra 13-14	Zafra 14-15	Zafra 15-16	Zafra 11-12	Zafra 12-13	Zafra 13-14	Zafra 14-15	Zafra 15-16
Semana 1	15.86	13.26	11.91	9.60	10.63	26.26	27.65	24.71	25.93	27.68
Semana 2	16.26	10.40	11.43	9.23	9.69	27.16	27.05	26.07	26.06	26.69
Semana 3	14.63	10.77	10.26	9.66	9.63	27.27	27.47	25.64	25.85	26.28
Semana 4	13.46	10.74	10.71	9.34	9.34	26.96	27.85	26.41	25.45	26.20
Semana 5	12.43	10.40	10.14	9.66	8.29	26.25	27.62	25.19	25.66	26.44
Semana 6	10.86	16.20	10.20	9.86	9.69	26.35	27.72	25.57	26.22	26.32
Semana 7	14.03	14.26	10.57	9.94	9.69	26.27	27.41	26.60	26.00	26.40
Semana 8	12.37	15.20	10.26	10.00	9.51	26.35	27.51	25.94	26.55	26.39
Semana 9	13.51	11.06	10.97	12.46	10.17	26.58	27.54	25.85	26.76	26.53
Semana 10	12.00	11.63	10.63	10.51	10.34	26.42	27.56	25.95	28.32	26.98
Semana 11	12.29	11.09	11.06	10.66	10.43	26.31	27.05	26.01	27.92	27.22
Semana 12	11.63	10.86	10.54	13.74	11.00	26.41	27.32	25.77	28.19	27.00
Semana 13	13.46	12.54	12.63	11.49	10.60	26.68	25.97	26.06	28.14	27.95
Semana 14	14.09	10.89	10.37	14.23	10.43	26.56	26.80	25.86	28.77	28.00
Semana 15	13.43	10.94	10.80	12.71	11.57	26.55	25.99	25.63	28.47	27.72
Semana 16	13.00	11.31	9.94	12.86	13.37	26.57	27.07	25.75	28.85	27.88
Semana 17	13.49	13.06	11.37	13.06	14.54	27.01	27.75	25.77	28.74	29.33
Semana 18	13.83	13.17	10.46	11.69	13.77	27.23	27.82	25.78	29.22	28.21
Semana 19	16.20	13.17	10.29	11.91	14.46	27.55	28.12	25.91	28.55	28.96
Semana 20	15.54	16.71	10.80	11.91	15.31	27.70	27.88	25.81	27.70	30.11
Semana 21	15.43	13.91	9.69	11.11	14.20	27.50	27.78	25.64	28.27	29.61
PROMEDIO	13.70	12.46	10.72	11.22	11.27	26.76	27.38	25.80	27.41	27.52
Desviación estándar	1.52	1.93	0.68	1.54	2.08	0.47	0.57	0.38	1.27	1.19
Coefficiente de variación (%)	11.11	15.49	6.37	13.70	18.50	1.77	2.07	1.49	4.64	4.32

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIII, se tiene en la primera columna el número de semana que se evaluó y en el resto de columnas, se tienen los datos de pérdida de sacarosa en el bagazo y el bagazo % caña de cada zafra a evaluar, al final de cada columna

se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, con esto se puede analizar cuál de las zafras tiene mayor estabilidad en el proceso utilizando mazas perforadas.

Para verificar si existe diferencia estadísticamente significativa, se realizó un análisis de varianza utilizando los datos de pérdida de sacarosa en el bagazo de la tabla XIII, los resultados que se obtuvieron se muestran en la tabla.

Tabla XIV. **Análisis de varianza pérdida de sacarosa en el bagazo**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G.L.	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	122.21	4	30.55	11.56	9.41E-08	2.46
Dentro de los grupos	264.35	100	2.64			
Total	386.56	104				

Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos en la tabla XIV se calcularon con un nivel de confianza del 95% con un error del 5%. En la tabla XIV también se puede ver que la distribución F calculada es mayor al valor crítico F ($11.56 > 2.46$).

Debido a que, sí existe diferencia estadísticamente significativa entre los datos de pérdida de sacarosa, se realizó una prueba de Tukey utilizando los promedios que se perdieron de sacarosa en el bagazo de la tabla XIII y los datos que se obtuvieron se muestra en la tabla XV.

Tabla XV. Prueba de Tukey pérdida de sacarosa en el bagazo

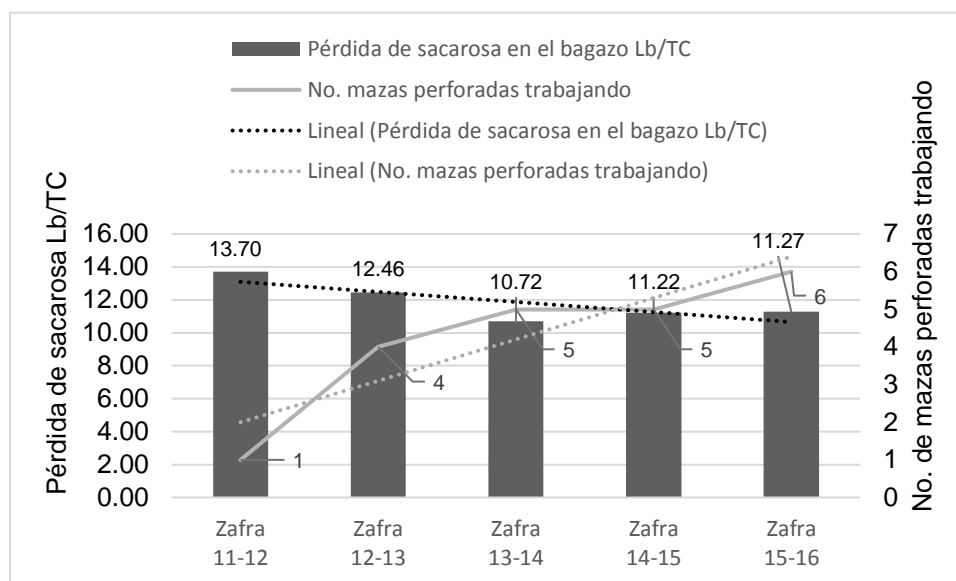
HSD	1.39				
Zafras	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
11-12		1.25	2.99	2.48	2.43
12-13			1.74	1.24	1.19
13-14				-0.50	-0.55
14-15					-0.05
15-16					

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XV, se muestra el resultado de la HSD con la cual se hacen comparaciones entre zafras de la pérdida de sacarosa en el bagazo. La tabla XV da una mejor visión para evaluar si la producción de azúcar aumenta, con ello se puede evaluar cómo han trabajado las mazas perforadas en cada una de las zafras con respecto a las pérdidas de sacarosa en el bagazo.

Para evaluar como las maza perforadas está influyendo en el aumento de la producción de azúcar, se elaboró la figura 31, utilizando los promedios de las pérdidas de sacarosa de la tabla XIII y la cantidad de mazas que se utilizaron en cada zafra, según la tabla VI.

Figura 31. **Comportamiento de la pérdida de sacarosa en el bagazo (lbs/TCM), según el número de mazas perforadas utilizadas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 31 se hace un análisis visualmente de la pérdida de sacarosa en el bagazo, según el número de mazas que se utilizaron en cada zafra evaluada, para entender de una forma más clara el comportamiento de ambos parámetros, se proyectó una línea de tendencia.

Para ejemplificar el impacto económico y la influencia que tiene el bagazo % caña en la recolección de sacarosa en la extenuación de bagazo en el proceso de extracción de jugo, se elaboró la tabla XVI.

Tabla XVI. **Impacto económico por las pérdidas de sacarosa en el bagazo**

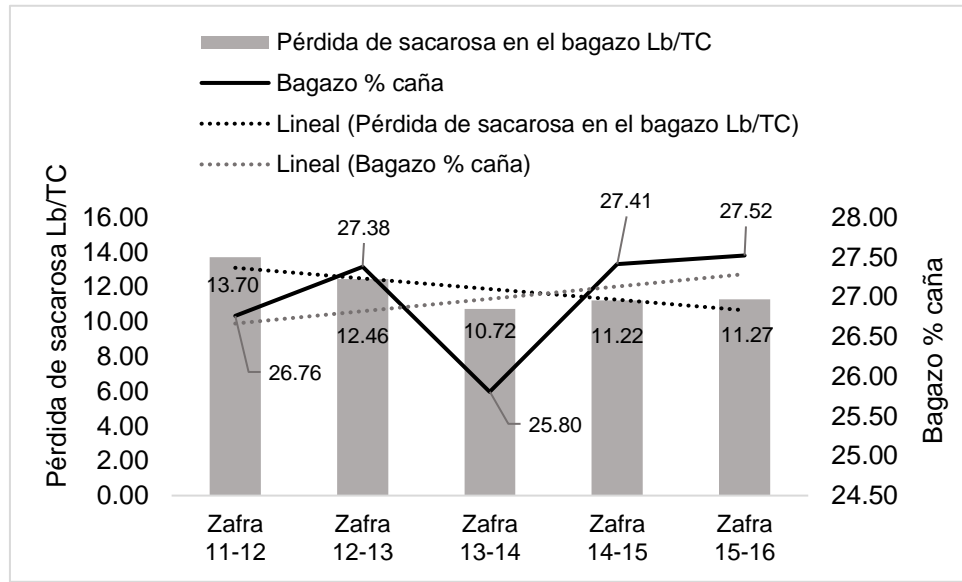
Descripción	Zafra 11-12	Zafra 12-13	Zafra 13-14	Zafra 14-15	Zafra 15-16
Pérdida de sacarosa en el bagazo (Lbs/TC)	13.70	12.46	10.72	11.22	11.27
Bagazo % caña	26.76	27.38	25.80	27.41	27.52
TC	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
Libras de azúcar	13,703,401.36	12,455,782.31	10,715,646.26	11,220,408.16	11,269,387.76
Quintales de azúcar	137,034.01	124,557.82	107,156.46	112,204.08	112,693.88
Pérdida económica (\$)	\$ 2,055,510.20	\$ 1,868,367.35	\$ 1,607,346.94	\$ 1,683,061.22	\$ 1,690,408.16

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVI, se puede ver que mientras más alta es la pérdida de sacarosa en el bagazo mayor es la pérdida económica que se tiene, lo que quiere decir que si bajan las pérdidas de sacarosa aumenta la producción de azúcar.

Para comprender mejor cómo el bagazo % caña está influyendo en la pérdida de sacarosa en el bagazo, se elaboró la figura 32, utilizando los promedios caña de la tabla XIII.

Figura 32. **Influencia del bagazo % caña en la pérdida de sacarosa en el bagazo**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 32, se ilustra la influencia que tiene el bagazo % caña sobre la pérdida de sacarosa en el bagazo, para entender de una forma más clara el comportamiento de ambos parámetros, se proyectó una línea de tendencia.

3.3. Encuesta de evaluación

A continuación se presenta los resultados obtenidos, a partir de una encuesta operativa con 08 preguntas directas ver anexo I, siendo el personal operativo e involucrados en el proceso de extracción de jugo los encuestados, con esto se pretende evaluar que actividades de mantenimiento hay que realizar y si hay algún equipo o insumos que sean necesarios adquirir para que las mazas

perforadas funcionen en óptimas condiciones, que los resultados sean los esperados.

Pregunta No. 1

¿En la operación del tándem de molinos se tapan los agujeros axiales y radiales de las mazas perforadas?

Los resultados de la pregunta No. 1, se muestra en la tabla XVII.

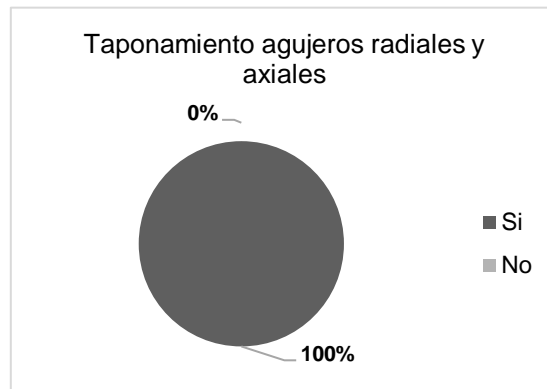
Tabla XVII. **Resultados pregunta No.1**

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	Si	14	100 %
b)	No	0	0 %
	Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 33, se ilustran los resultados de la tabla XVII.

Figura 33. **Taponamiento agujeros axiales y radiales de las mazas perforadas**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No. 1, el 100 % de los encuestados opinan que los agujeros axiales y radiales de las mazas perforadas se tapan cuando están en funcionamiento.

Pregunta No. 2

¿Con qué frecuencias se tapan los agujeros axiales de las mazas perforadas?

- a) 7 días
- b) 15 días
- c) 30 días o más

Los resultados de la pregunta No. 2, se muestra en la tabla XVIII.

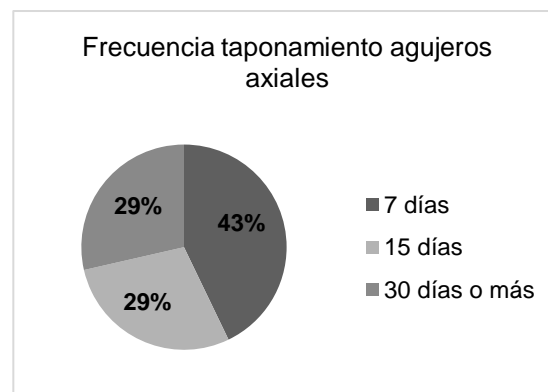
Tabla XVIII. **Resultados pregunta No. 2**

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	7 días	6	43 %
b)	15 días	4	29 %
c)	30 días o más	4	29 %
	Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 34, se ilustran los resultados de la tabla XVIII.

Figura 34. **Frecuencia taponamiento agujeros axiales**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No.2, el 43 % de los encuestados afirma que los agujeros axiales de las mazas perforadas se tapan en un intervalo de tiempo de 7 días, el 29 %, de los encuestados afirman que los agujeros axiales

se tapan en un intervalo de tiempo de 15 días y el otro 29% afirma que los taponamientos de los agujeros axiales se dan de 30 días o más.

Pregunta No. 3

¿Con qué frecuencias se tapan los agujeros radiales de las mazas perforadas?

- a) 7 días
- b) 15 días
- c) 30 días o más

Los resultados de la pregunta No. 3, se muestra en la tabla XIX.

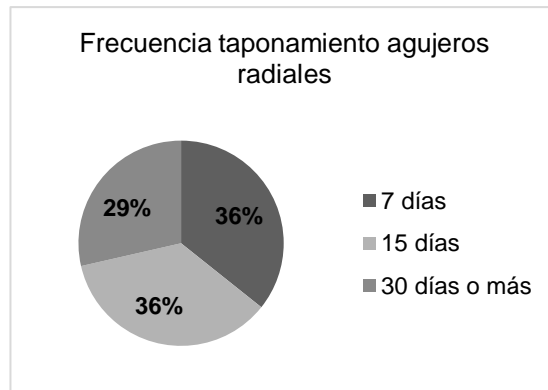
Tabla XIX. **Resultados pregunta No. 3**

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	7 días	5	36 %
b)	15 días	5	36 %
c)	30 días o más	4	29 %
	Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 35, se ilustran los resultados de la tabla XIX.

Figura 35. **Frecuencia taponamiento agujeros radiales**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No. 3, el 36 % de los encuestados afirma que los agujeros radiales de las mazas perforadas se tapan en un intervalo de tiempo de 7 días; el otro 36 %, afirman que los agujeros radiales se tapan en un intervalo de tiempo de 15 días y el resto 29% afirma que los taponamientos de los agujeros radiales se dan de 30 días o más.

Pregunta No. 4

¿Cuál es la causa más común que causa taponamiento en los agujeros radiales y axiles de la maza?

- a) Falta de agua de imbibición o maceración
- b) Suciedad o partículas no deseadas en la caña
- c) Tipo de caña
- d) Ninguna de las anteriores

Los resultados de la pregunta No. 4, se muestra en la tabla XX.

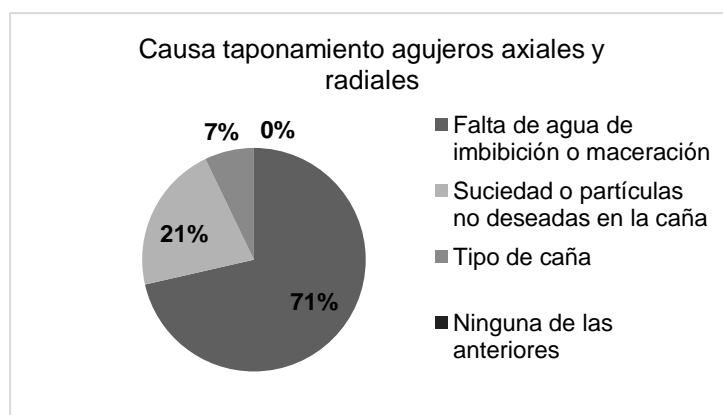
Tabla XX. **Resultados pregunta No. 4**

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	Falta de agua de imbibición o maceración	10	71 %
b)	Suciedad o partículas no deseadas en la caña	3	21 %
c)	Tipo de caña	1	7 %
c)	Ninguna de las anteriores	0	0 %
	Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 36, se ilustran los resultados de la tabla XX.

Figura 36. **Causa taponamiento agujeros axiales y radiales**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No. 4; el 71 % de los encuestados afirma que la causa más frecuente para que los agujeros axiales y radiales de las mazas

perforadas se tapan es la falta de agua de imbibición o maceración en los molinos; el 21 %, se lo atribuyen a la suciedad o partículas no deseadas en la caña; el 7 % afirma que los agujeros axiales y radiales se tapan por el tipo de caña que se está procesando, y el 0 % de los encuestados utilizó la opción (ninguna) de las anteriores.

Pregunta No. 5

¿Qué actividad extra de mantenimiento genera las mazas perforadas?

- a) Trabajos de soldadura
- b) Limpieza de agujeros radiales y axiales
- c) Ninguna

Los resultados de la pregunta No. 5, se muestra en la tabla XXI.

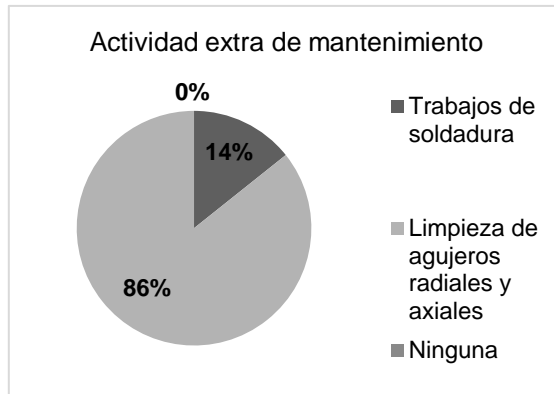
Tabla XXI. Resultados pregunta No. 5

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	Trabajos de soldadura	2	14 %
b)	Limpieza de agujeros radiales y axiales	12	86 %
c)	Ninguna	0	0 %
	Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 37, se ilustran los resultados de la tabla XXI.

Figura 37. **Actividades extras de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No. 5; el 86 % de los encuestados afirma que el uso de mazas perforadas genera actividades de mantenimiento, la cual la más frecuente es la limpieza de los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas; el 14 % afirma que genera actividades de mantenimiento de soldadura y el 0 % de los encuestados piensa que no genera ninguna clase de mantenimiento el uso de dichas mazas.

Pregunta No.6

¿Al utilizar mazas perforadas es necesario comprar algunos equipos e insumos para que su desempeño sea el esperado?

- a) Sí
- b) No

Los resultados de la pregunta No. 6, se muestra en la tabla XXII.

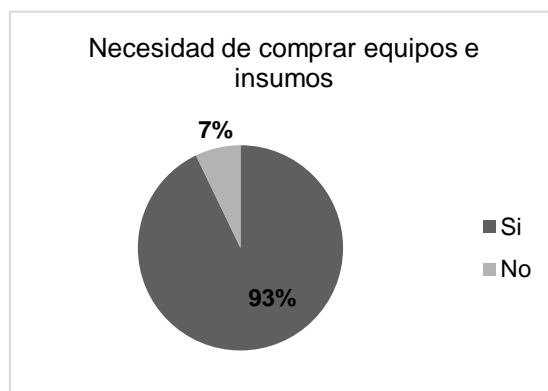
Tabla XXII. **Resultados pregunta No. 6**

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	Si	13	93 %
b)	No	1	7 %
	Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 38, se ilustran los resultados de la tabla XXI.

Figura 38. **Necesidad de compra de equipos e insumos**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No. 6; el 93 % de los encuestados afirma que para que el desempeño de las mazas perforadas sea el mejor, hay que comprar algunos equipos e insumos y el 7 %, afirma que no es necesario adquirir equipos e insumos, para dichas mazas tengan un buen desempeño en la operación del tándem de molinos.

Pregunta No. 7

¿Qué equipo será necesario adquirir para destapar los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas?

- a) Hidrolavadora
- b) Barreno eléctrico
- c) No es necesario

Los resultados de la pregunta No. 7, se muestra en la tabla XXIII.

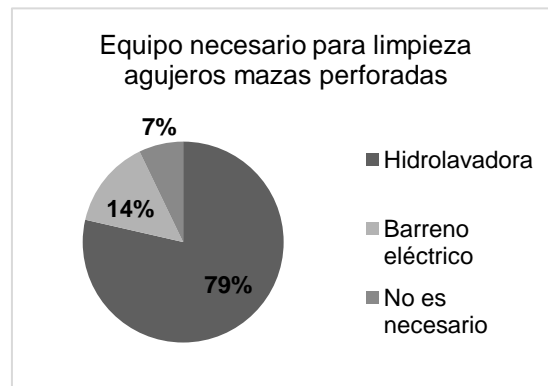
Tabla XXIII. **Resultados pregunta No. 7**

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	Hidrolavadora	11	79%
b)	Barreno eléctrico	2	14%
c)	No es necesario	1	7%
	Total	14	100%

Fuente: elaboración propia.

En la figura 39, se ilustran los resultados de la tabla XXIII.

Figura 39. **Equipos necesarios para limpieza de agujeros de mazas perforadas**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No. 7; el 79% de los encuestados afirma que hay que adquirir una hidrolavadora para la limpieza de los agujeros radiales y axiles de las mazas perforadas; el 14 %, afirma que hay que adquirir barrenos eléctricos para su limpieza y el 7% cree que no es necesario comprar ningún equipo para que los agujeros de las mazas perforadas se mantengan limpios.

Pregunta No. 8

¿Qué insumos serán necesarios para destapar los agujeros radiales de las mazas perforadas?

- a) Brocas
- b) Puntas de acero
- c) No es necesario

Los resultados de la pregunta No. 8, se muestra en la tabla XXIV.

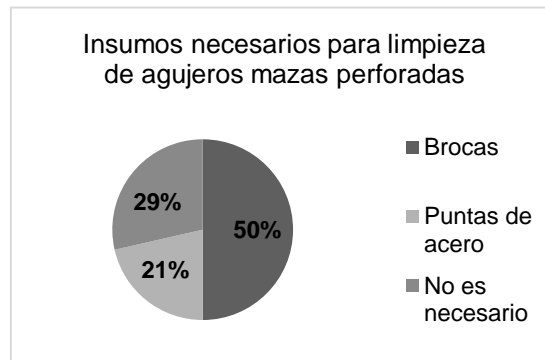
Tabla XXIV. **Resultados pregunta No. 8**

	Opción de respuesta	Frecuencia	%
a)	Brocas	7	50 %
b)	Puntas de acero	3	21 %
c)	No es necesario	4	29 %
	Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 40, se ilustran los resultados de la tabla XXIII.

Figura 40. **Insumos necesarios para la limpieza de agujeros de mazas perforadas**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los involucrados en el proceso de extracción de jugo en la pregunta No. 8; la mitad de los encuestados el 50 % afirma que hay que adquirir brocas para la limpieza de los agujeros radiales y

axiales de las mazas perforadas; el 29 % cree que no es necesario comprar ningún insumo para que los agujeros de las mazas perforadas se mantengan limpios, y el 14 %, afirma que hay que adquirir puntas de acero para su limpieza.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de esta investigación es la evaluación de las mazas perforadas en el agotamiento del bagazo de caña de azúcar en el proceso de extracción de jugo de ingenio Palo Gordo, S.A.

Para lograr el objetivo fue necesario recolectar información en laboratorio industrial de los siguiente parámetros operativos: pol % bagazo, % humedad de bagazo, Imbibición % en caña, bagazo % caña y la pérdida de sacarosa en el bagazo, también se hizo trabajo de campo en los archivos existentes ubicados en el departamento de extracción de jugo, demostró información de los históricos de la maquinaria que se utiliza en el proceso de extracción de jugo, además de lo mencionado anteriormente, se realizó una encuesta directa operativa para verificar si dichas mazas generan algún tipo de mantenimiento y si es necesario adquirir algunos equipos e insumos para que las mazas perforadas tengan un buen desempeño en su funcionamiento.

- **Análisis interno de la investigación**

Con esta investigación se demostró que el pol % en bagazo se pudo reducir considerablemente hasta un 0.53 %, además, se demostró que se reduce el % de humedad en el bagazo en un rango de 0.36 a 0.47 %; también las pérdidas de sacarosa en el bagazo bajan en un rango de 2.48 a 2.47 libras por tonelada de caña molida, lo cual representa una recuperación de azúcar de 24,829 a 24,340.13 quintales por cada 1,000,000 de toneladas de caña molidas.

Por otro lado, se pudo determinar que la única actividad de mantenimiento que generan las mazas perforadas es la limpieza de los agujeros radiales y axiales de dichas mazas. Con todo lo que se mencionó anteriormente, se ha logrado un mejor agotamiento en el bagazo, y esto contribuye a tener mejores resultados en todo el proceso de fabricación de azúcar, sobre todo en el aumento de la producción de azúcar.

Una de las limitaciones que tiene este estudio es que la materia prima, es decir, la caña de azúcar varía mucho con los factores climáticos todos los años, porque la caña tiene variaciones considerables en su estructura, por eso se puede ver en el estudio que el bagazo % en caña es variante zafra con zafra y este es un factor que contribuye a aumentar las pérdidas de sacarosa en el agotamiento del bagazo, y otro factor que afecta directamente el funcionamiento de las mazas perforadas es la aplicación de agua de imbibición en el último molino, ya que es un parámetro operativo que varía, según las condiciones del área industrial y del área agrícola.

- **Análisis externo de la investigación**

Para la evaluación de las mazas perforadas en el proceso de extracción de jugo, se tomó como base los parámetros operativos bibliográficos, los cuales son los deseados, según varios autores para obtener un buen agotamiento del bagazo de la caña de azúcar en el tándem de molinos. A continuación se hace una comparación, entre ellos:

Los parámetros operativos teóricos son pol. % bagazo teórico de 1.5 a 2 %, % humedad en el bagazo de 45 a 51 %, pérdida de sacarosa en el bagazo menor a 10 libras por tonelada de caña molida, Imbibición % caña de 25 a 30 % y bagazo % caña 25 a 27 %.

Los resultados obtenidos de parámetros operativos de la investigación son: pol. % bagazo 2.04 %, % humedad en el bagazo de 50.32 a 50.43 %, pérdida de sacarosa en el bagazo 10.22 a 11.27 libras por tonelada de caña molida, imbibición % caña de 24.45 a 27.51 % y bagazo % caña 27.41 a 27.52 %.

Analizando el parámetro de pol % bagazo, se puede ver que el resultado obtenido en la investigación está en el rango superior aceptable al igual que el % de humedad en el bagazo. También se puede ver que el parámetro de la pérdida de sacarosa en el bagazo si esta fuera de rango. El resultado del parámetro de Imbibición % caña está dentro del rango deseado, y por el último, se puede ver que el resultado del parámetro operativo del bagazo % en caña. esta ligeramente fuera del rango superior deseado, pero se puede decir que está dentro de las condiciones aceptables para tener un buen agotamiento en el bagazo.

Como se puede ver en los resultados obtenidos de la investigación, las mazas perforadas están teniendo un papel importante en el agotamiento del bagazo, algunos parámetros están ligeramente fuera del rango de los parámetros teóricos; pero hay otros factores que están influyendo en los resultados de la investigación, los cuales son: el bagazo % de caña, que tiene la materia prima y la aplicación del agua de imbibición.

A continuación, se hace el detalle de todo el análisis que se mencionó anteriormente para la evaluación de las mazas perforadas.

Para evaluar el desempeño de las mazas perforadas, se realizó una investigación del historial de cómo se ha ido incrementado el uso de las mazas perforadas en el tándem de molinos, esta información es relevante para analizar el comportamiento que ha tenido el agotamiento del bagazo de caña de azúcar

entre cada una de las zafras analizadas; en la tabla VI se muestra que en la zafra 11-12 se tenía en funcionamiento solo una maza perforada en la posición superior del molinos 2 y con en el paso del tiempo se fueron utilizando más hasta llegar a la zafra 15-16 con un total de 06 mazas, incluyendo una maza perforada en el posición bagacera en el molino 5, lo mencionado anteriormente fue solo el inicio de la primera parte dela investigación; luego se recolectaron los datos de los resultados de los análisis del pol % bagazo de 5, zafras las cuales fueron de la zafra 11-12 a la zafra 15-16, con los datos recolectados se elaboró la tabla VII, la cual muestra los promedios 21 semana operativas de cada zafra, donde se puede ver fácilmente que el promedio de pol % bagazo viene bajando conforme se va incrementando el uso de mazas perforadas, en las zafras 11-12, 12-13 y 13-14, se puede ver que los promedios de pol % bagazo tienen una diferencia, siendo 2.57, 2.24 y 2.08 respectivamente, también se puede ver que en las últimas dos zafras 14-15 y 15-16 los promedios de pol % bagazo son iguales 2.04, para evaluar si el uso de las mazas perforadas están influyendo en el agotamiento del bagazo, se realizó un análisis de varianza calculado con un nivel de confianza del 95 % y un error del 5 %, el cual se muestra en la tabla VIII, también se puede ver que la distribución F calculada es mayor al valor crítico $F_{17.68} > 2.46$ respetivamente, por lo cual se puede decir que hay diferencia significativa, por lo menos entre dos promedios de pol % bagazo de las zafras evaluadas.

Para determinar entre cuál de las zafras el promedio de pol % bagazo tiene diferencia estadísticamente significativa, se realizó una prueba de Tukey como se muestra en la tabla IX, dando como resultado que entre las zafras 11-12, 12-13, 13-14 si existe diferencia estadísticamente significativa y también se puede ver que entre las zafras 14-15 y 15-16 no hay diferencia. Con el objetivo de analizar de una forma gráfica, los datos de pol % bagazo de la tabla VII y el número de mazas perforadas utilizadas por zafra de la tabla VI, se realizó la figura 29 y se puede ver fácilmente como el pol % bagazo tiende a bajar conforme se

aumenta el número de mazas perforadas por zafra, también se puede ver que en las zafras 14-15 y 15-16 no hay variación del pol % bagazo, por lo que se puede decir que la maza perforada en la posición bagacera no influye en el agotamiento de sacarosa en el bagazo.

Para evaluar cómo influyen las mazas perforadas en el % de humedad en el bagazo se recolectaron los datos de los resultados de los análisis del % de humedad en el bagazo de 5 zafras, las cuales fueron de la zafra 11-12 a la zafra 15-16, con los datos recolectados se elaboró la tabla X, la cual muestra los promedios 21 semana operativas de cada zafra donde se puede ver fácilmente que solo el promedio del % de humedad en el bagazo de la zafra 11-12 tiene diferencia con los promedios de las otras zafras; en la zafra 11-12 el promedio del % de humedad en el bagazo es de 50.79, mientras en las zafras 12-13, 13-14, 14-15 y 15-16 son 50.17, 50.20, 50.32 y 50.43 respectivamente, para evaluar de una forma teórica la influencia de las mazas perforadas en el % de humedad en el bagazo, se realizó un análisis de varianza calculado con un nivel de confianza del 95 % y un error del 5 %, el cual se muestra en la tabla XI, también se puede ver que la distribución F calculada es mayor al valor crítico $F_{17.40} > 2.46$ respectivamente, por lo cual se puede decir que sí existe diferencia estadísticamente significativa al menos entre dos promedios de % de humedad en el bagazo de las zafras evaluadas. Para determinar cuál de las zafras el promedio de % humedad en el bagazo tiene diferencia estadísticamente significativa, se realizó una prueba de Tukey como se muestra en la tabla XII, dando como resultado que la zafra 11-12 tiene diferencia estadísticamente significativa con el resto de zafras analizadas, entre las zafras 12-13, 13-14, 14-15 y 15-16 no existe ninguna diferencia estadísticamente significativa, con lo que se confirma que las mazas perforadas no están teniendo ninguna influencia en el % de humedad en el bagazo. Con el objetivo de analizar de una forma gráfica, los datos del % de humedad en el bagazo de la tabla X y el número de

mazas perforadas utilizadas por zafra de la tabla VI, se realizó la figura 30 y se puede ver fácilmente como el % de humedad en el bagazo tiende a bajar solo entre la zafra 11-12 y 12-13, en el resto de las zafras 12-13, 13-14, 14-15 y 15-16 el % de humedad en el bagazo se mantiene muy similar conforme se aumenta el número de mazas perforadas por zafra; además se agregó en la figura 30 la imbibición % caña, esta no es más que la cantidad de agua que se le aplica al tándem de molinos en la última extracción, por lo que este es un factor muy importante y determinante en % de humedad en el bagazo, porque si se está incrementando dicho valor el % de humedad en el bagazo tiende a subir, pero en la figura 30 se puede ver claramente que el % de humedad en el bagazo se mantiene muy similar en la últimas 4 zafras analizadas, con esto se demuestra que al haber incrementado la imbibición % caña del 25.44% en la zafra 11-12 al 27.51% en la zafra 15-16 siendo un aumento del 2.07% la humedad en el bagazo se mantuvo muy estable, se puede decir que las mazas perforadas sí tiene influencia en el % de humedad en el bagazo.

Para evaluar si la producción de azúcar se incrementa con la utilización de las mazas perforadas se recolectaron los datos de los resultados de los análisis de la pérdida de sacarosa en el bagazo de 5 zafras, las cuales fueron de la zafra 11-12 a la zafra 15-16, con los datos recolectados se elaboró la tabla XIII, la cual muestra los promedios de 21 semanas operativas de cada zafra, en las zafras 11-12, 12-13 y 13-14 se puede ver que los promedios de la pérdida de sacarosa en el bagazo tienen una diferencia, siendo 13.70, 12.46 y 10.72 lb/TC respectivamente, también se puede ver que en las últimas dos zafras 14-15 y 15-16 los promedios de la pérdida de sacarosa en el bagazo son muy similares entre ellos siendo 11.22 y 11.27 lb/TC, para evaluar si el uso de las mazas perforadas están influyendo en el incremento de la producción de azúcar, se realizó un análisis de varianza calculado con un nivel de confianza del 95 % y un error del 5 %, el cual se muestra en la tabla XIV; también se puede ver que la distribución

F calculada es mayor al valor crítico $F_{11.56} > 2.46$ respectivamente, por lo cual se puede decir que sí existe diferencia estadísticamente significativa al menos entre dos promedios de la pérdida de sacarosa en el bagazo de las zafras evaluadas. Para determinar cuál de las zafras el promedio de la pérdida de sacarosa en el bagazo tiene diferencia estadísticamente significativa, se realizó una prueba de Tukey como se muestra en la tabla XV, dando como resultado que entre las zafras 11-12, 12-13, 13-14 sí existe diferencia estadísticamente significativa y también se puede ver que entre las zafras 13-14, 14-15 y 15-16 no hay diferencia. Con el objetivo de analizar de una forma gráfica, los datos de la pérdida de sacarosa en el bagazo de la tabla XIII y el número de mazas perforadas utilizadas por zafra de la tabla VI, se realizó la figura 31 y se puede ver como la pérdida de sacarosa en el bagazo tiende a bajar conforme se aumenta el número de mazas perforadas por zafra, también se puede ver que en las zafras 14-15 y 15-16 no hay variación en la pérdida de sacarosa en el bagazo, cabe mencionar que en la zafra 13-14 existe la menor pérdida de sacarosa en el bagazo 10.72 Lb/TC, a pesar que se tienen 5 mazas perforadas en operación una menos que en las zafras 14-15 y 15-16, para determinar porqué se dio este resultado, se analizó de forma gráfica y se realizó la figura 32 con los datos de la tabla XIII, donde se involucró el bagazo % caña que no es más que la cantidad de bagazo que trae la caña por tonelada de caña, donde se puede ver que en la zafra 13-14 el bagazo % caña disminuyó a 25.80%; mientras que en las zafras 14-15 y 15-16 aumentó 27.41 y 27.52% con esto se puede decir que si la cantidad de bagazo % caña aumenta la extracción de la sacarosa en el tándem de molinos, se reduce, pero a pesar que aumentó la cantidad de bagazo % caña las mazas perforadas influyen para reducir las pérdidas de sacarosa en el bagazo, por lo que esto conlleva a un aumento en la producción de azúcar. En la tabla XVI, se hace un análisis del impacto económico que producen la pérdidas de sacarosa en el bagazo en las zafras 11-12, 12-13, 13-14, 14-15 y 15-16 los promedios son 13.70, 12.46, 10.72, 11.22 y 11.27 Lb/TC respectivamente, tomando como

referencia que se molieron 1,000,000 de toneladas de caña, da una pérdida de sacarosa en el bagazo de 137,034.01, 124,557.82, 107,156.46, 112,024.08 y 112,693.88 quintales por cada 1,000,000 de toneladas de caña molidas, respectivamente, donde se puede ver fácilmente que mientras más baja sea la pérdida de sacarosa en el bagazo menos azúcar se pierde en el proceso, por lo tanto, la producción en quintales producidos aumenta.

Para evaluar si utilizando mazas perforadas hay que realizar actividades extras de mantenimiento, compra de equipos auxiliares e insumos para que su funcionamiento obtenga un mejor agotamiento en el bagazo, se realizó una encuesta operativa con 08 preguntas directas, siendo el personal operativo e involucrados en el proceso de extracción de jugo los encuestados. La pregunta No. 1 de la encuesta fue ¿En la operación del tándem de molinos se tapan los agujeros axiales y radiales de las mazas perforadas? el número de encuestados fue de 14 y los 14 respondieron que, si se tapan los agujeros axiales y radiales de las mazas perforadas como se muestra en la tabla XVII y figura 33, con los resultados obtenidos, se evidencia que, tanto los agujeros radiales como los axiales de las mazas perforadas se tapan.

Para evaluar con qué frecuencia se tapan los agujeros axiales, se realizó la pregunta No.2, el número de encuestados fue de 14 y 6 respondieron que, a cada 7 días, 4 respondieron que a cada 15 días y 4 respondieron que a cada 30 días o más, como se muestra en la tabla XVIII y figura 34, con estos resultados se puede decir que los agujeros axiales de las mazas perforadas se tapan frecuentemente y que para que dichas mazas tengan un buen funcionamiento hay que limpiarlos.

Para evaluar con qué frecuencia se tapan los agujeros radiales, se realizó la pregunta No.3, el número de encuestados fue de 14 y 5 respondieron que a cada 7 días, 5 respondieron que a cada 15 días y 4 respondieron que a cada 30 días o más, como se muestra en la tabla XIX y figura 35, con estos resultados se puede decir que los agujeros radiales de las mazas perforadas se tapan frecuentemente y como se mencionó anteriormente, para que dichas mazas tengan un buen funcionamiento hay que limpiarlos.

Para evaluar cuál es la causa que tapa los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas, se realizó la pregunta No.4, el número de encuestados fue de 14 y 10 respondieron que es por falta de agua de imbibición o maceración, 3 respondieron que por suciedad o partículas no deseadas en la caña, 1 respondió que por el tipo de caña y 0 respondieron que ninguna de las anteriores, como se muestra en la tabla XX y figura 36, con los resultados obtenidos se puede decir que la causa principal del taponamiento de los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas es la falta de agua de imbibición o maceración que se aplica a cada molino en la operación del tándem.

Para evaluar si con la utilización de las mazas perforadas generan actividades extras de mantenimiento, se realizó la pregunta No.5, el número de encuestados fue de 14 y 2 respondieron que generan actividades de soldadura, 12 respondieron que generan actividades de limpieza en los agujeros radiales y axiales y 0 respondieron que no generan actividades de limpieza, como se muestra en la tabla XXI y figura 37, con los resultados obtenidos muestran que las mazas perforadas necesitan limpieza de agujeros radiales y axiales.

Para evaluar si con la utilización de las mazas perforadas hay que comprar algunos equipos e insumos para que su desempeño sea el esperado, se realizó la pregunta No.6, el número de encuestados fue de 14 y 13 respondieron que si hay que comprar algún equipo e insumos y 01 respondió que no hay que comprar nada para que las mazas tengan un buen desempeño, como se muestra en la tabla XXII y figura 38, con los resultados obtenidos muestran que si es necesario comprar algunos equipos e insumos para que las mazas perforadas tengan un buen desempeño.

Para evaluar qué equipos son necesarios para limpiar los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas, se realizó la pregunta No.6, el número de encuestados fue de 14 y 11 respondieron que es necesario tener una hidrolavadora, 02 respondieron que hay tener un barreno eléctrico y 01 respondió que no es necesario tener ningún equipo, como se muestra en la tabla XXIII y figura 39, los resultados obtenidos muestran que si es necesario comprar algunos equipos como una hidrolavadora.

Y por último, para evaluar que insumos son necesarios para la limpieza de los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas se realizó la pregunta No.8, el número de encuestados fue de 14 y 07 respondieron que hay que tener brocas, 03 respondieron que hay que tener puntas de acero y 04 respondieron que no hay que tener ninguna herramienta de insumo, como se muestra en la tabla XXIV y figura 40, los resultados obtenidos muestran que sí es necesario comprar algunos insumos para la limpieza de los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas.

CONCLUSIONES

1. Se determinó con la evaluación que al utilizar mazas perforadas en los 5 molinos hay una reducción en el porcentaje de pol en el bagazo en un 0.53% en la última extracción del tándem de molinos.
2. Al utilizar las mazas perforadas en los 5 molinos del tándem, se determinó que el porcentaje de humedad en el bagazo en la última extracción se reduce de un 0.47 a 0.36 %; también se demuestra que existe una reducción en la pérdida de sacarosa en el bagazo de 2.43 a 2.48 libras por tonelada de caña molida, dicha pérdida de azúcar es equivalente a 24,340.13 a 24,829 quintales de azúcar por cada 1,000,000 de toneladas de caña molidas.
3. Al utilizar mazas perforadas en el tándem de molinos, se determinó que la única actividad extra de mantenimiento que se genera es la limpieza de los agujeros radiales y axiales de dichas mazas, para ello se necesita comprar una hidrolavadora, barrenos eléctricos y brocas.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio en otros ingenios de Guatemala, para analizar los resultados obtenidos del porcentaje de pol en el bagazo, así determinar con más exactitud cómo las mazas perforadas influyen en el agotamiento del bagazo de cada fábrica de azúcar.
2. Hacer un estudio más detallado para determinar cómo la cantidad de bagazo que trae la materia prima y la cantidad de agua de imbibición aplicada al tándem de molinos, afecta en el porcentaje de humedad del bagazo y en las pérdidas de sacarosa en el bagazo, ya que estas influyen directamente en la producción de azúcar.
3. Buscar nuevas tecnologías para evitar los taponamientos en los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas, con el fin de tener mejor desempeño en el agotamiento de sacarosa, en el bagazo en la última extracción del tándem de molinos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arca, M. (1988) *El consultor una guía práctica para solucionar problemas en fábricas de azúcar de caña*. 1era edición. AcraCorporation. Miami, Florida. USA.
2. Aroca, R. (2011) Análisis de recubrimientos duros para molinos de caña de azúcar. URL: [www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16369/1/Análisis de recubrimientos duros para molinos de caña de azúcar.pdf](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16369/1/Análisis%20de%20recubrimientos%20duros%20para%20molinos%20de%20caña%20de%20azúcar.pdf)
3. Buenaventura, C. (1989) *Manual de laboratorio para la industria azucarera*. 1era edición. Graficali de Occidente Ltda. Cali, Colombia.
4. Bouvet, J. (1980). *Los rodillos lotus*. URL: <http://www.issct.org/pdf/proceedings/1980/1980%20Bouvet%20The%200Lotus%20Roll.pdf>
5. Chavarro, S. (2013) *Reduciendo la reabsorción de jugo en molinos de caña mediante el uso de mazas con drenajes internos: mayor extracción de sacarosa y menor humedad en el bagazo*. URL: www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=2521&d=12604
6. Chen, J. (1991) *Manual del Azúcar de Caña*. 1era edición. Noriega Limusa. México.

7. Hugot, E. (1976) *Manual para Ingenieros Azucareros*. 4ta edición. Continental, S.A. México.
8. Jagat, M. (2017) *Rodillos para molinos de azúcar*. URL: <http://jagatmachinery.com/sugar-mill-rollers.html>
9. Kazmier, L. y Díaz, A. (1993) *Estadística aplicada a la administración y a la economía*. 2da edición. McGraw-Hill. México.
10. Mason, R. y Lind, D. (1992) *Estadística para administración y economía*. 7a edición, Alfaomega. México.
11. Medeiros, F. (2011) *Proceso de fabricación de azúcar*. 3era edición. Universitaria UFPE. Brasil.
12. Ramos, A. (2009) *Procesos de elaboración de Azúcar y Etanol*. 2da edición. Universidad del Valle. Colombia.
13. Sahadeo, R. (2004) Beneficio de introducir mazas perforadas en molinos. URL: <http://jamaicasugar.org/WIST2004/PDF%20files/Abstracts/Abstract44.PDF>
14. Rein, P. (2012) *Ingeniería de la Caña de Azúcar*. 1era edición. Elbe Druckerei Wittenberg. Alemania.
15. Reshellers, PVT. (2018) *Rodillos de purgainterna*. URL: <http://sbreshellers.com/article/products>

16. Salazar Ríos, E. E. (2017) *Análisis beneficio-costo para la adquisición y montaje de un nuevo molino en el tándem A del ingenio Santa Ana*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería. Guatemala.
17. Sánchez, J. (2009) *Aumento en extracción de sacarosa y reducción de la humedad en bagazo mediante el uso de nuevas mazas con drenajes internos*. VIII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE TÉCNICOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR, Tecnicaña. Colombia.
18. Sánchez, J. (2011) *Mazas perforadas con drenajes internos para reducir la absorción*. URL:
<http://conadesuca.gob.mx/pdfsATAM/5%201%20AUMENTO%20EXTRAC%20%20SACAROSA%20-%20FUNCIONES%20UNIVERSO.pdf>

ANEXOS

Anexo I. Encuesta

Instrucciones:

Llene la siguiente encuesta subrayando con lapicero la respuesta que considere apropiada, los datos proporcionados serán utilizados para evaluar el funcionamiento de las mazas perforadas en el agotamiento del bagazo en el proceso de extracción de jugo.

1. ¿En la operación del tándem de molinos se tapan los agujeros axiales y radiales de las mazas perforadas?
 - a) Sí
 - b) No

2. ¿Con qué frecuencias se tapan los agujeros axiales de las mazas perforadas?
 - d) 7 días
 - e) 15 días
 - f) 30 días o más

3. ¿Con qué frecuencias se tapan los agujeros radiales de las mazas perforadas?
 - d) 7 días
 - e) 15 días
 - f) 30 días o más

4. ¿Cuál es la causa más común que causa taponamiento en los agujeros radiales y axiles de la maza?
 - e) Falta de agua de imbibición o maceración
 - f) Suciedad o partículas no deseadas en la caña
 - g) Tipo de caña
 - h) Ninguna de las anteriores

5. ¿Qué actividad extra de mantenimiento genera las mazas perforadas?
 - d) Trabajos de soldadura
 - e) Limpieza de agujeros radiales y axiales
 - f) Ninguna

6. ¿Al utilizar mazas perforadas es necesario comprar algunos equipos e insumos para que su desempeño sea el esperado?
 - c) Sí
 - d) No

7. ¿Qué equipo será necesario adquirir para destapar los agujeros radiales y axiales de las mazas perforadas?
 - d) Hidrolavadora
 - e) Barreno eléctrico
 - f) No es necesario

8. ¿Qué insumos serán necesarios para destapar los agujeros radiales de las mazas perforadas?
 - d) Brocas
 - e) Puntas de acero
 - f) No es necesario

Anexo II. **Frecuencia y procedimientos para la elaboración de análisis de muestras**

Análisis	Frecuencia análisis	Técnica	Procedimiento	Responsable
Medición Pol % Bagazo	A cada 2 horas	Análisis por medio de espectrofotómetro	La muestra de bagazo se toma de la salida del último molino.	Personal laboratorio Industrial IPG
Medición % humedad de bagazo	A cada 2 horas	Análisis por medio de horno secador y microondas	La muestra de bagazo se toma de la salida del último molino	Personal laboratorio Industrial IPG
Perdida de sacarosa en bagazo	A cada 24 horas	Análisis por medio de fórmulas teóricas directas	Cálculo realizado por el personal de laboratorio industrial IPG	Personal laboratorio Industrial IPG

Fuente: elaboración propia.