



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

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN CONDUCTORES DE BAGAZO
DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO**

Josué David Noriega Chavez

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN CONDUCTORES DE BAGAZO
DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSUÉ DAVID NORIEGA CHAVEZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

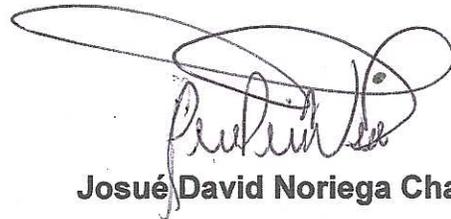
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN CONDUCTORES DE BAGAZO DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha julio de 2016.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Josué David Noriega Chavez', is written over a large, horizontal, oval-shaped scribble.

Josué David Noriega Chavez



Guatemala 7 de marzo de 2018
REF.EPS.DOC.248.03.18.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor – Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), del estudiante universitario **Josué David Noriega Chavez** de la carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201114155, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO, EN CONDUCTORES DE BAGAZO DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y enseñad a Todos"

Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



cc. Archivo
CACCC/ra



Guatemala 7 de marzo de 2018
REF.EPS.D.89.03.18

Ing. Carlos Roberto Pérez Rodríguez
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

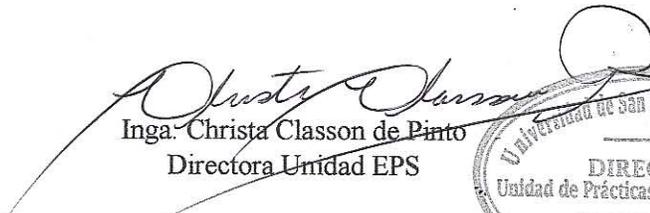
Estimado Ingeniero Pérez Rodríguez:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) titulado: **DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO, EN CONDUCTORES DE BAGAZO DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Josué David Noriega Chavez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad EPS



CCdP/ra



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.147.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO, EN CONDUCTORES DE BAGAZO DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO** del estudiante **Josué David Noriega Chavez**, CUI No. **2156890460101**, Reg. Académico No. **201114155** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, mayo 2018

/aej



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

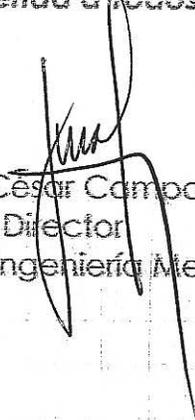
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.263.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO, EN CONDUCTORES DE BAGAZO DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO** del estudiante **Josué David Noriega Chavez, CUI No. 2156890460101, Reg. Académico No. 201114155** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre de 2018

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

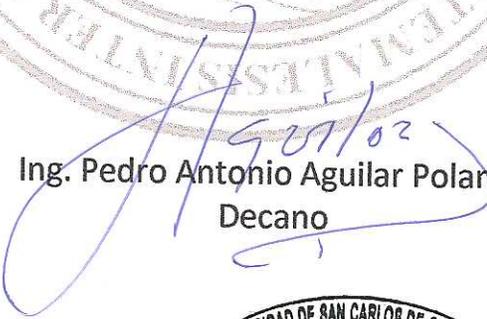


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 349.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO EN CONDUCTORES DE BAGAZO DE CAÑA EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por el estudiante universitario: **Josué David Noriega Chavez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Agradecido por la vida, su amor, salud y por acompañarme siempre.
Mis padres	Víctor Noriega y Sonia Chávez, por el apoyo incondicional, amor y cariño.
Mi hermano	Mario Noriega por animarme siempre.
Mi novia	Por acompañarme durante toda esta de mi vida.
Mi familia	Por su apoyo y cariño.
Mis amigos	Por ser una importante influencia en mi carrera y acompañarme.
Mis catedráticos	Por estar ahí y por compartir su conocimiento en el transcurso de mi carrera.
Mi país	A las personas que tributan con el deseo de construir una mejor nación.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme acceder a la educación superior
y formarme como profesional.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme herramientas para aportar y
servir a mi país.

**Grupo Evangélico
Universitario**

Por permitirme ser parte de este y formarme
con valores del reino de Dios.

Grupo Pantaleón S.A.

Por permitirme desarrollar mis conocimientos,
realizar el ejercicio profesional supervisado y
acceder a capacitarme, y por brindarme
herramientas para mi formación.

**Ing. Aldo Bryan
Buechsel Batún**

Por apoyarme en la culminación de mi carrera
por su ejemplo profesional y su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Industria azucarera.....	1
1.1.1 Descripción general.....	1
1.1.2. Historia.....	3
1.1.3. Ingenios activos.....	5
1.1.4. Organizaciones de apoyo.....	6
1.1.5. Estadísticas.....	10
1.2. Ingenio azucarero.....	14
1.2.1. Descripción general.....	15
1.2.2. Historia.....	15
1.2.3. Organización.....	17
1.2.4. Valores.....	19
1.2.5. Sistema de gestión.....	19
1.2.6. Productos.....	21

1.3.	Descripción de la operación de un ingenio azucarero	21
1.3.1.	Descripción general del proceso	22
1.3.2.	Obtención de azúcar blanco	26
1.3.3.	Generación de vapor	33
1.3.4.	Generación eléctrica	33
1.4.	Descripción general de los conductores de bagazo de caña con cadena utilizados en un ingenio azucarero	33
1.4.1.	Cadena tipo Jeffrey 2184	34
1.4.2.	Tipo de <i>sprocket</i>	36
1.4.3.	Tipo de chumaceras	38
1.4.4.	Reductores de velocidad	39
1.4.5.	Tipo de acero para la pista	41
1.4.6.	Tablillas	43
1.4.7.	Tornillos y roldanas de presión	44
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	49
2.1.	Plan de mantenimiento	49
2.1.1.	¿Qué es un plan de mantenimiento?	49
2.1.2.	¿Qué necesito para tener un conductor eficiente?	51
2.1.3.	Disponibilidad de personal para los mantenimientos	52
2.2.	Mantenimiento preventivo	53
2.2.1.	Nivel de aceite en reductores	55
2.2.2.	Lubricación de cadena	58
2.2.3.	Chumaceras	59
2.2.4.	Programa de tensión de cadena	61
2.2.5.	Programa de limpieza de bagazo acumulado en cadena	62
2.3.	Mantenimiento correctivo	63
2.3.1.	Rotura de tablillas	64

2.3.2.	Rotura de eslabones	65
2.3.3.	Falla de cojinetes	66
2.3.4.	Repuestos necesarios para minimizar el tiempo de paro	66
2.4.	Costos perdidos por paro.....	67
2.5.	Mantenimiento en reparación	68
2.5.1.	Procedimiento actual.....	68
2.5.2.	Procedimiento propuesto	77
2.5.3.	Ensayos no destructivos	82
3.	FASE DE DOCENCIA	83
3.1.	Capacitación al personal operativo	83
3.1.1.	Criterios de selección de piezas.....	84
3.1.2.	Importancia del armado de cadena con prensa	85
3.1.3.	Consecuencias de armar a golpe de martillo	86
3.1.4.	Alineación de ejes y <i>sprockets</i>	87
3.1.5.	Explicación de los resultados obtenidos en mediciones de piezas	89
3.2.	Presentación de resultados	94
	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES.....	99
	BIBLIOGRAFÍA.....	101
	APÉNDICE.....	103
	ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Porcentaje de producción para el consumo interno y la exportación	11
2. Porcentaje de exportación por región de zafra	12
3. Esquema de fabricación de azúcar.....	25
4. Eslabón de cadena 2184	35
5. Conductor # 2 de bagazo de caña	35
6. Plano de sprocket	37
7. Chumacera bipartida.....	38
8. Reductor Sumitomo Paramax 9000	41
9. Especificaciones técnicas de acero 1045	42
10. Diseño de fabricación de tornillo	44
11. Partes de un tornillo	45
12. Tipos de cabeza de tornillos	46
13. Fijación de un tornillo	47
14. Fotografía de cambio de motor eléctrico.....	53
15. Señalización para lubricación de reductor	57
16. Lubricación por goteo	59
17. Montaje de eje sobre chumacera.....	60
18. Puntos de torque en chumaceras bipartidas.....	61
19. Tablilla quebrada	64
20. Roldana de presión.....	65
21. Tramos de cadena sobre tarima	69
22. Colaborador desarmando cadena.....	69
23. Desmontaje de partes con martillo.....	70

24. Colaborador alineando eslabones a golpes con martillo	70
25. Cadena en partes	71
26. Limpieza en piezas	71
27. Secado de eslabones de cadena	72
28. Limpieza de excedente de desoxidante	72
29. Organización de piezas limpias	73
30. Colaborador sacando pines con martillo.....	73
31. Rodillos discontinuados.....	74
32. Bujes con desgaste excesivo	74
33. Ensamble de cadena con martillo.....	75
34. Medición de tramos de cadena (pares)	75
35. Presa portátil para desmontaje de cadena	77
36. Prensa estacionaria desmontaje de pin.....	78
37. Plano de máquina hidráulica	81
38. Ensayo de líquidos penetrantes	82
39. Beneficios de montaje con prensa hidráulica	85
40. Ejemplo de nivelación de ejes y sprocket.....	87
41. Demostración con nivel en conductor de bagazo #2.....	88
42. Representación gráfica de niveles en conductores de bagazo.....	94
43. Representación gráfica de nivel superior en conductor de bagazo	94
44. Representación gráfica de paredes inferiores en conductores de bagazo ..	95
45. Representación gráfica de paredes superiores en conductores de bagazo	96

TABLAS

I. Cuadro comparativo de producción	10
II. Exportaciones a otros países.....	11
III. Ingreso de divisas por exportación	13
IV. Composición química de acero 1045	42
V. Propiedades típicas a temperatura.....	43
VI. Intervalo de cambio de aceite.....	55
VII. Método de lubricación de reductores.....	55
VIII. Especificación técnica de reductor de velocidad	56
IX. Lubricantes recomendados para reductores	56
X. Programa de lubricación de cadena	58
XI. Torques y cantidades de grasa	60
XII. Programa de tensión de cadena.....	62
XIII. Programa de limpieza de bagazo	62
XIV. Medidas de partes de cadena	78
XV. Medidas de pasadores	89
XVI. Muestra de mediciones en bujes.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
K	Constante elástica
Ø	Diámetro
C	Distancia entre ejes
S _f	Factor de velocidad
HP	Horse power
Kg	Kilogramo
L	Longitud de cadena
MW	Mega vatios
M	Metros
T	Periodo
W	Peso en lb/pie
%	Porcentaje
R	Radio
Ω	Velocidad angular
V	Velocidad lineal

GLOSARIO

Cadena	Objeto formado por una serie de piezas metálicas iguales, enlazadas entre sí y articuladas de manera que constituyen un circuito cerrado. Sirve para comunicar un movimiento en una máquina, herramienta, etc.
Conductor	Es el medio que se utiliza para transportar el bagazo de caña, de molinos o de la bagacera a las calderas.
Cuña	Es una pieza que termina en un ángulo diedro muy agudo, puede estar hecha de metal, madera u otro material y se utiliza para ajustar o apretar un cuerpo sólido con otro, para calzarlos o para dividirlos.
Chumacera	Es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación. Este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol.
Eje	Barra cilíndrica que atraviesa un cuerpo giratorio y le sirve como centro para girar.

Ensayos no destructivos	Son exámenes o pruebas utilizadas para detectar discontinuidades internas y/o superficiales, o para determinar propiedades selectas en materiales, soldaduras, partes y componentes, usando técnicas que no alteran el estado físico o constitución química, y no dañan o destruyen los mismos.
Eslabón	Elemento que sirve de enlace y relación con otros eslabones formando una cadena.
Granallado	Es un método que se utiliza para limpiar, fortalecer o pulir el metal y disminuir tensiones residuales.
Motor	Es una máquina que produce energía mecánica, es decir movimiento con fuerza, de energía eléctrica, química u otra.
Piñón Conducido	Es el que se encuentra en el eje de cola del conductor y es guiado por el eje motriz.
Piñón Conductor	Es el que se encuentra en el eje motriz, acoplado al reductor y motor trifásico.
Reductor de Velocidad	Son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos, de explosión u otro tipo, funcionen a diferentes velocidades para las que fueron diseñados.

Revenido

Tratamiento térmico que generalmente se efectúa después del temple; tiene como finalidad eliminar las tensiones internas y la fragilidad derivadas de un brusco enfriamiento. El revenido consiste en un calentamiento a unos 600 C, seguido de un enfriamiento lento.

Sprocket

Es un piñón o rueda de un mecanismo de cremallera o a la rueda más pequeña de un par de ruedas dentadas, ya sea en una transmisión directa por engranaje o indirecta a través de una cadena de transmisión o en una correa de transmisión dentada.

RESUMEN

Para la realización de este trabajo de tesis fue necesario conocer las instalaciones, cuál es el funcionamiento y revisar planos, si existen, de un ingenio azucarero. También fue útil hacer un levantamiento de datos para conocer cómo puede hacerse un plan de mantenimiento funcional para esta clase de equipos, debido a su estructura, cantidad de horas en las que funcionan y velocidades a las que trabajan. Fue necesario realizar una investigación detallada de estos equipos, debido a que la clase de mantenimiento dada es primitiva.

Para la fase técnico profesional se ejecutará el plan de mantenimiento, como parte de esta se habilitará la prensa hidráulica que fue adquirida para evitar golpear las piezas de la cadena cuando se procede a desarmar; después de esto las piezas se colocan en desoxidante. Esto es el inicio, más adelante en el trabajo se detallarán los siguientes pasos. Además de eso se revisará la estructura de los conductores, debido a que esta debe favorecer a la conducción de las cadenas y no perjudicar el tránsito de la misma, por lo que se analizará qué modificaciones pueden hacerse para minimizar golpes y evitar fallas por fatiga en cualquier momento durante la zafra, así como pérdidas para el ingenio. Para que esto sea efectivo se diseñará un plan de mantenimiento que cumpla con todas las condiciones necesarias para aprovechar al máximo los equipos.

Se realizarán algunas sesiones para capacitar y presentar el diseño del plan de mantenimiento al personal involucrado y que este actualice sus criterios de armado y desarmado de cadenas, alineación y todo lo que compete a estos equipos.

OBJETIVOS

General

Elaborar el diseño de un plan de mantenimiento para los conductores de bagazo de caña con cadenas tipo Jeffrey 2184.

Específicos

1. Verificar el diseño de las cadenas según fabricantes.
2. Revisar la transmisión, en donde se incluye acoples, chumaceras, reductores y longitud de cadena.
3. Examinar las partes críticas de los ejes.
4. Revisar la alineación de las paredes y el suelo de las cajas por donde se conduce la cadena.
5. Diseñar un plan de mantenimiento que permita obtener excelentes resultados en los equipos involucrados, minimizando costos en repuestos a corto y largo plazo.
6. Analizar la posibilidad de un ahorro energético en los conductores de bagazo.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es necesario para tener una confiabilidad y disponibilidad de un alto porcentaje de los activos (equipos). Las distintas clases de mantenimiento pueden ser manejadas estratégicamente, realizando un análisis costo-beneficio según las necesidades, por lo que es importante contar con un plan que se adecue a los requerimientos, en vista de la mejora continua, por lo que la planta eléctrica de Ingenio Concepción S. A. tiene la necesidad de un plan de mantenimiento para los conductores de bagazo que alimentan las calderas con biomasa (combustible).

Los conductores de bagazo en la industria azucarera son de dos tipos: los que funcionan por medio de cadenas y los que se utilizan con bandas transportadoras. Los que son propios de este proyecto son los conductores movidos por cadenas. Y de estos se encuentran 3 estructuras diferentes por donde se moviliza la cadena:

- Estructura horizontal
- Estructura inclinada
- Estructura compuesta (horizontal e inclinada)

Para esta clase de conductores es para los cuales se quiere diseñar un plan de mantenimiento, dejando el mantenimiento primitivo que se ha dado durante los años anteriores. El fabricante da garantía de dos zafras para las cadenas, junto con los *sprockets* que lleva el conductor para generar la tracción a la cadena, pero algunas veces, dependiendo del mantenimiento, podrían utilizarse una o dos zafras más. En los años anteriores se ha realizado un

mantenimiento empírico, sin ningún tipo de cálculos ni herramientas para los que la función sea minimizar los daños y desgastes de los componentes de las cadenas. No hay ningún mantenimiento escrito acerca de este equipo, ni siquiera en su propio manual.

El diseño de este plan de mantenimiento consistirá en un manual, aunque no se certifique, sino que se hará para uso interno y ver los pasos y procedimientos que se deben realizar para tecnificar este mantenimiento. Se proyecta utilizar una herramienta hidráulica que extraiga los pernos para desarmar cada eslabón, debido a que los pernos se colocan y se extraen con golpes de martillo, dañando los pernos y las piezas involucradas, por lo que se requiere un ensayo de materiales no destructivo, en este caso con líquidos penetrantes para evaluar si los pernos están en condiciones de ser o no reutilizados.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Industria azucarera

La industria azucarera es una de las fuentes de comercio mas grandes en Guatemala, junto con el café y cardamomo, la mayoría de ingenios se encuentran ubicados en el departamento de Escuintla.

1.1.1 Descripción general

La agroindustria azucarera de Guatemala se ha ubicado como el tercer exportador más importante de Latinoamérica después de Brasil y Cuba. La producción de caña de azúcar es un proceso agrícola industrial intensivo en insumos. El país cuenta con por lo menos 13 tipos distintos de suelos, de los cuales 26 % son para producción agrícola intensiva. Los mejores suelos son usados para la producción de monocultivos de agroexportación.

La producción de caña de azúcar es intensiva en uso de agua, ya sea a través del riego por aspersión, por canales o por inundación. El cultivo de caña ha venido desplazando otros cultivos y concentrando la producción en manos de los grandes ingenios. El modelo de alta productividad para un mercado mundial de excedentes con precios distorsionados tiene sus críticos. La industria está muy bien organizada con programas de formación, investigación, ayuda social y una fuerte organización gremial.

La agroindustria azucarera se ha convertido en una de las principales fuentes de divisas para el país y generadora de abundantes empleos en la economía

guatemalteca. Sus 12 ingenios y las cinco organizaciones que la integran contribuyen decisivamente al desarrollo de medio centenar de municipios del país y de más de un millón de personas, con lo que se constituye en un factor determinante para el progreso de Guatemala.

La normativa que dio vida a la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) fue aprobada el 17 de septiembre de 1957 en la ciudad de Guatemala. Esta la define como una entidad autónoma, apolítica y no lucrativa, integrada por los productores de azúcar de la república que deseen pertenecer a la misma.

El desarrollo de la agroindustria azucarera guatemalteca, desde aquella época, ha tenido como base fundamental la voluntad de mantener la unidad de sus integrantes, para desarrollar políticas, programas y proyectos en forma conjunta.

En Guatemala, la producción azucarera siempre ha tenido carácter privado y no ha contado con apoyos externos, ni del Estado, contrario a lo que ha sucedido en la mayoría de los países productores de azúcar.

1.1.1.1. Misión

La misión de Ingenio Concepción S. A. es proveer el desarrollo transformando recursos responsablemente, con integridad, honestidad y respeto por las personas relacionadas y compromiso por su éxito.

1.1.1.2. Visión

Ser, en el año 2030, una de las diez organizaciones más importantes del mundo en la industria azucarera y productos relacionados.

1.1.1.3 Objetivos

- Incrementar la producción a través del desarrollo y mejoramiento de la productividad, tanto en el campo como en la fábrica.
- Tecnificar y capacitar los recursos humanos.
- Desarrollar proyectos y programas que incrementen la capacidad de los sistemas de producción del campo y la fábrica, la distribución y la comercialización del producto y de los sistemas de embarque.
- Desarrollar programas dentro del área de influencia para mejorar las condiciones de vida de los trabajadores de la industria azucarera, de la población en general y el medio ambiente.
- Apoyar activamente el fortalecimiento de los gobiernos locales en los distintos municipios.

1.1.2. Historia

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

En el siglo XVIII proliferaron los trapiches en muchas regiones del Reino de Guatemala, al punto que en una misma población se encontraba más de una decena, como fue el caso de San Andrés Cuilco y Colotenango en Huehuetenango, San Agustín Acasaguastlán, Guastatoya, el Valle de Sansaria, Cojutepeque y Santa Eulalia en El Salvador o Tuxtla en Chiapas. Hasta mediados del siglo XIX por ingenio se entendía el “complejo de tierras,

construcciones fabriles, construcciones de servicios y vivienda, maquinarias, implementos, esclavos y animales destinados a la fabricación de azúcar de caña”¹. Hoy en día, ingenio es el área industrial donde se procesa la caña, el guarapo y la meladura para obtener azúcar.

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

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

La diversificación de la producción agrícola y los problemas habidos durante los gobiernos de 1944 a 1954 obligaron a la iniciativa privada a organizarse mejor para defender sus intereses, así que por iniciativa de este grupo de productores de azúcar se constituyó y fundó el 10 de junio de 1957 la Asociación de Azucareros de Guatemala.

AZAZGUA, Cengicaña. *Nuestra historia*. Noviembre 2016.

Estos objetivos constituyeron los embriones del futuro desarrollo de la agroindustria azucarera, pues con el tiempo se formaron departamentos y entidades especializadas en los ramos de la investigación del cultivo de la caña, como CENGICAÑA, con la finalidad de obtener mayores y mejores rendimientos.

También se dio formación a los futuros técnicos azucareros de los ingenios y se creó la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala (ATAGUA). En el 2010, con el objetivo de desarrollar investigación sobre el cambio climático, fue creado el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). No cabe duda que ASAZGUA tenía una visión futurista de lo que deseaba, buscaba y vislumbraba para el crecimiento de la agroindustria azucarera del país.

1.1.3. Ingenios activos

En Guatemala operan actualmente 12 ingenios, ubicados en 4 departamentos de la costa del Pacífico. En la zafra 2010-11, estas fábricas cultivaron un área de 235 mil hectáreas, en las que producen 20,8 millones de toneladas de caña molida. Los 12 ingenios generan alrededor de 350 000 empleos directos e indirectos en época de zafra. De esa suma, 35 000 empleos corresponden a cortadores de caña:

- Ingenio Pantaleón y Concepción
- Ingenio Palo Gordo
- Ingenio Madre Tierra
- Ingenio Trinidad Corp. San Diego
- Ingenio Santa Teresa
- Ingenio La Sonrisa
- Ingenio La Unión

- Ingenio Santa Ana
- Ingenio Magdalena
- Ingenio el Pilar
- Ingenio Tululá

1.1.4. Organizaciones de apoyo

- Fundazúcar
- **Cengicaña**
- **Expogranel**
- **ICC**

1.1.4.1. Fundazúcar

En 1990, mediante Acuerdo Gubernativo No. 565-90, Fundazúcar se creó como un vínculo entre las empresas azucareras y las comunidades en donde existen plantaciones de caña de azúcar. Su meta es desarrollar la Costa Sur y las comunidades del trabajador migrante. Dicha fundación se sostiene con fondos propios de la agroindustria. Representa a los ingenios azucareros del país estableciendo el vínculo empresa-comunidad; es decir, de la puerta del ingenio para afuera.

A lo largo de sus 20 años Fundazúcar ha formulado, ejecutado y promovido programas de desarrollo humano en el marco del respeto, la autogestión y el impacto en la política pública. Su proyección ha estado enfocada en promover programas de desarrollo sostenible en las comunidades de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu y Santa Rosa. De esta manera, las relaciones con la comunidad dejan de ser filantrópicas y de caridad,

convirtiéndose en prácticas de responsabilidad social de largo plazo y construcción de relaciones institucionales y comunitarias en el corto plazo, enmarcadas en los principios de descentralización, desconcentración, solidaridad, subsidiariedad y participación, dejando este último como factor de cambio al no considerar a los comunitarios beneficiarios sino participantes en un modelo de corresponsabilidad que permita a cada individuo alcanzar su propio bienestar.

El ser humano es el centro de la estrategia de Fundazúcar, reconociendo que el desarrollo integral del capital humano es factor fundamental para el desarrollo de una nación. De allí que trabaje en las áreas de educación, salud y fortalecimiento municipal.

1.1.4.2. Cengicaña

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Cengicaña, fue creado por la Asociación de Azucareros de Guatemala, Asazgua, en 1992, con el objetivo de mejorar la producción y la productividad del cultivo de la caña de azúcar y sus derivados.

La misión definida en el plan estratégico fue: "generar, adaptar y transferir tecnología de calidad para el desarrollo rentable y sostenible de sus asociados"². El centro tiene como objetivos estratégicos aumentar la productividad del azúcar por unidad de área, mediante programas de investigación; transferir tecnología de calidad a través de asistencia técnica, capacitación y divulgación; y asegurar la satisfacción de los asociados con tecnologías que impacten en su rentabilidad y sostenibilidad.

².AZAZGUA Cengicaña. *Quiénes somos*. Noviembre 2016.

- Uso de agua para riegos
- Manejo de nutrientes y fertilizantes
- Desarrollo de variedades de caña
- Auditorio para uso de la industria
- Capacitación profesional a personal
- Manejo integrado de plagas
- Cengicaña se certifica según ISO 9001:2008
- Programa de investigación industrial

1.1.4.3. Expogranel

Es la empresa responsable de la recepción, inspección, almacenamiento y embarque de todo el azúcar para la exportación producido por los ingenios guatemaltecos. Actualmente Guatemala ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en cuanto a volumen de exportación.

Expogranel representa una ventaja competitiva para las exportaciones debido a su gran capacidad de almacenamiento y la rapidez en ritmos de carga a granel. Esta eficiencia alcanzada constituye significativos beneficios económicos para la exportación del azúcar y en concreto para Guatemala, convirtiéndose en un origen atractivo para los compradores de azúcar. Cuenta además con la certificación bajo la norma ISO 9001:2000, lo cual permitió la implementación de un Sistema de Seguridad Alimentaria para el manejo seguro y confiable del azúcar que se almacena en la bodega para sacos y que posteriormente es exportada en contenedores, minimizando los riesgos de contaminación del producto al momento de su manipulación.

1.1.4.4. ICC

Es el Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático, creado por la Asociación de Azucareros de Guatemala en el año 2010, con el objetivo de desarrollar investigación y promover acciones que contribuyan con la reducción de la vulnerabilidad, la mitigación y la adaptación al cambio climático en las comunidades, los sistemas, productos y la infraestructura de la región de influencia de sus miembros.

En su primer año de existencia el ICC se enfocó en:

- Adquirir la personería jurídica.
- Formar el equipo de trabajo.
- Elaborar el Plan Estratégico 2011-2012.
- Iniciar relaciones de colaboración con entidades a nivel local, nacional e internacional.
- Realizar los primeros estudios y acciones.

Todos los ingenios que conforman Asazgua son los miembros fundadores del instituto. Sin embargo, los estatutos establecen que otras empresas, gremios e instituciones podrán unirse si comparten la visión del mismo.

Programas:

- Investigación en clima e hidrología
- Investigación en ecosistemas
- Manejo integrado de cuentas hidrográficas
- Gestión de riesgos de desastres

Desarrollo de capacidades de divulgación

1.1.5. Estadísticas

1.1.5.1. Producción

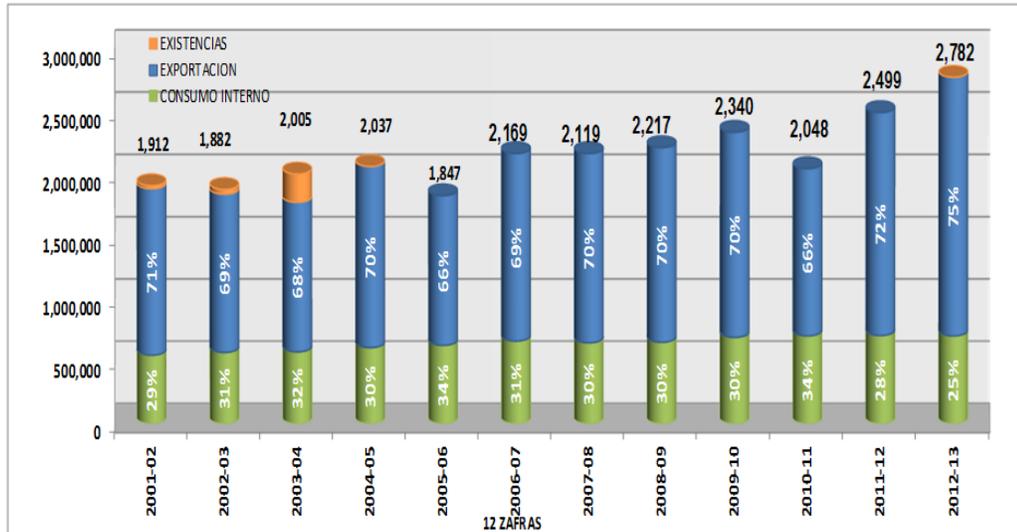
Tabla I. Cuadro comparativo de producción

ZAFRA	QUINTALES	TONELADAS MÉTRICAS	%
2009/10	50 888 103	2 340 853	
2010/11	44 525 046	2 048 152	-12.50%
2011/12	54 330 445	2 499 200	22%
2012/13	60 488 610	2 782 476	11%
2013/14	61 012 574	2 806 578	1%

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados han permitido a la agroindustria azucarera guatemalteca ubicarse en el tercer lugar a nivel mundial en productividad de azúcar (toneladas métricas / hectárea).

Figura 1. Porcentaje de producción para el consumo interno y la exportación



Fuente: Porcentaje de producción. www.azucar.com.gt/img/barras.png. Consulta: 2017.

1.1.5.2. Exportación

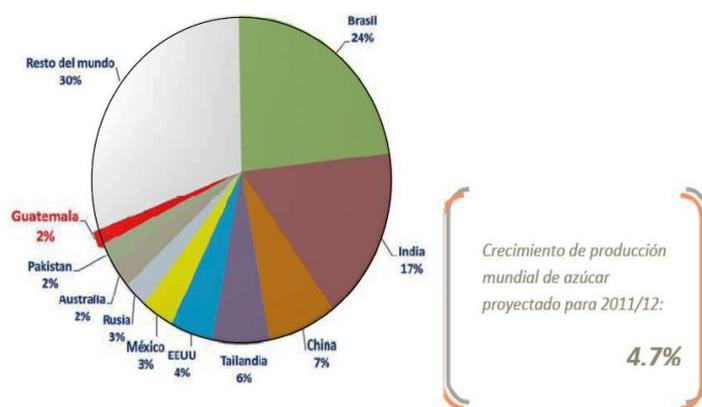
Tabla II. Exportaciones a otros países

ZAFRA	2011/12	2012/13	2013/14*
Chile	119 509	166 137	114 708
Corea	160 200	243 723	334 100
Estados Unidos	298 604	98 043	160 432
Canadá	141 075	64 090	66 628
Indonesia	0	11 137	0
Perú	71 084	3 064	250
Venezuela	20 764	27 500	93 000
China	90 908	341 218	45 140
Taiwán	63 059	88 902	62 775
Jamaica	26 404	23 717	8 109
Trinidad & Tobago	22 256	31 898	10 306

Ghana	143 550	68 440	50 700
Otros	491 381	744 557	491 648
Total	1 648 794	1 912 426	1 437 796

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Porcentaje de exportación por región de zafra



Fuente: SIB de Guatemala. *Estudio del sector azucarero*. Junio de 2011. P. 2.

Estos logros mencionados en la figura anterior se han alcanzado gracias a que el mercado del azúcar de Guatemala cuenta con:

- Cumplimiento de los contratos adquiridos.
- La calidad del azúcar (polarización, color, humedad, etc.) ha cumplido y superado los estándares mundiales.
- La eficiencia de la terminal de embarque Expogranel.

Posicionamiento de Guatemala en América y el Caribe:

- 2º. exportador
- 4º. productor

A nivel mundial

- 4º. exportador
- 3º. productor por hectárea

1.1.5.3. Economía

La agroindustria azucarera guatemalteca representa el 31 % del valor total de la exportación agrícola guatemalteca y el 15,36 % de las exportaciones totales del país. Es el sector económico que más divisas genera en Guatemala. Durante el año 2013, el azúcar y la melaza produjeron un ingreso de US\$ 978.1 millones.

Tabla III. Ingreso de divisas por exportación

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013
Ingreso Total de Divisas por Exportación	4 795 305	5 490 744	6 578 115	6 561 021	6 456 476
Principales Productos	1 855 565	2 087 566	2 493 456	2 519 914	2 502 130
Azúcar y Melaza	492 987	763 831	702 901	843 717	978 125
Banano	494 291	351 565	384 297	469 910	593 051
Café	589 245	705 477	1 164 000	955 915	713 560
Cardamomo	300 212	307 500	296 340	250 372	217 394
Centroamérica	1 212 780	1 991 856	2 440 258	2 447 121	2 146 790
Otros Productos	1 726 960	1 411 321	1 644 400	1 593 986	1 807 555

Fuente: elaboración propia.

La agroindustria azucarera guatemalteca, que representa alrededor del 3 % del PIB nacional, genera 425 000 empleos directos e indirectos, de los cuales 32 000 corresponden a cortadores de caña.

- Cogeneración de energía eléctrica

Del proceso de la caña se aprovecha el bagazo para la cogeneración del 25,0 % de energía eléctrica en época de zafra dentro del Sistema Nacional Interconectado (SNI), que representa 408 MW de potencia instalada.

- Alcohol

En solo tres años la agroindustria azucarera guatemalteca se convirtió en el principal productor de alcohol originario en la región centroamericana, sin disminuir su producción de azúcar, ya que este se fabrica a partir de mieles (subproducto en la elaboración de azúcar), lo que significa que en ningún momento se dejará de hacer azúcar por producir alcohol. En la actualidad cinco empresas en donde participan algunos ingenios realizan este proceso, alcanzando una producción de 269 millones de litros al año. Este producto es exportado a Europa y Estados Unidos.

1.2. Ingenio azucarero

Es un lugar que anteriormente fue llamado “finca”, pero en la actualidad es denominado ingenio azucarero, debido a que es una planta de producción dedicado a procesar caña de azúcar.

1.2.1. Descripción general

Organización agroindustrial dedicada a producir y comercializar caña de azúcar, sus derivados y energía eléctrica al más bajo costo a nivel mundial, satisfaciendo los requerimientos de calidad de sus clientes a través de procesos eficientes y la práctica de valores, con un equipo humano dispuesto al cambio, con compromiso y responsabilidad hacia la mejora, para propiciar la permanencia de la empresa en el largo plazo.

Está orientado a ser de clase mundial, proyectándose a la satisfacción del cliente a través del aseguramiento de la calidad, manteniendo un liderazgo que fortalezca una estructura organizacional que responda a las necesidades de la globalización, la preservación del ecosistema y estimule un ambiente agradable de trabajo que permita tener colaboradores con sentido de pertenencia, responsabilidad, compromiso y que mejora continuamente sus capacidades, habilidades y desarrollo integral, para lograr los resultados esperados.

En los últimos años se ha colocado entre los ingenios de mayor importancia, aportando más de dos millones y medio de quintales de azúcar a la producción nacional. Además, es pionero en proyectos de cogeneración eléctrica, mediante el aprovechamiento del bagazo de la caña de azúcar. Se encuentra entre los cuatro únicos ingenios del país que producen el azúcar refino, que se caracteriza por su calidad, pureza y su color blanco cristalino.

1.2.2. Historia

“El 20 de agosto de 1849, don Manuel María Herrera, adquirió la finca Pantaleón. A base de grandes esfuerzos y una gran visión, Pantaleón se

diversificó, transformándose de una hacienda ganadera, a una finca de caña y productora de panela y finalmente convirtiéndose en un ingenio azucarero.

En 1883 muere don Manuel María Herrera y sus herederos fundan Herrera y compañía, en el año 1973 cambian el nombre de la empresa a Pantaleón, Sociedad Anónima.

El Ingenio Pantaleón alcanzó el liderazgo de la industria azucarera de Guatemala en 1976, convirtiéndose en el ingenio de mayor volumen de producción del área centroamericana. En 1984 asumió la administración y el control de las operaciones del Ingenio Concepción, ocupando un importante lugar en cuanto al volumen de producción en el país. En el mes de junio de 1998, continuando con la estrategia de crecimiento y diversificación geográfica, la organización adquirió el Ingenio Monte Rosa, localizado en la zona occidental de la República de Nicaragua.

A finales del año 2000 se integran los tres ingenios y deciden participar como subsidiarias de la organización conocida como Pantaleón. En el 2006 se asume otro gran reto en la estrategia de crecimiento al incursionar en Brasil, en una alianza estratégica con el grupo brasileño UNIALCO y el grupo MANUELITA de Colombia, para la construcción y operación del ingenio sucroalcoholero Vale do Paraná, localizado en Suzanápolis oeste del estado de São Paulo, Brasil.

En el mes de agosto de 2008, Pantaleón obtiene la administración del Ingenio La Grecia, ubicado en Choluteca, Honduras. Esta nueva alianza contribuirá a afianzar el liderazgo en la industria azucarera en América Latina, cumplir con la visión a largo plazo de la organización y combinar fortalezas y cooperar con el desarrollo sustentable de la industria en Honduras.

En los últimos 36 años, Pantaleón ha mantenido un desarrollo acelerado, construyendo modernas plantas y realizando inversiones productivas en el agro y la industria, con tecnología de punta y procesos innovadores que le han permitido ser reconocido como uno de los principales productores eficientes de bajo costo en el mundo”³.

1.2.3. Organización

Las operaciones se desarrollan a través de tres procesos operativos principales: agrícola, industrial y comercialización. Estos son apoyados por otros procesos que incluyen: recursos humanos, finanzas, tecnología e información, gestión de la calidad, administración de la seguridad industrial, a la que en los últimos años se les ha dado más importancia debido a los accidentes

1.2.3.1. Proceso agrícola

Tiene a su cargo la producción y provisión de caña de azúcar de la mejor calidad para su industrialización, mediante el manejo de los recursos, generación y aplicación de tecnología para el manejo eficiente del campo, ejecutar las labores agrícolas mecanizadas y habilitación de tierras en el cultivo de caña de azúcar. También tiene bajo su responsabilidad brindar un servicio eficiente en las actividades de transporte de personal, transporte de caña, azúcar, miel y productos varios. Todo esto con el apoyo de programas de mantenimiento preventivo y correctivo llevados a cabo por administración de maquinaria. Para el corte de caña se contrata personal en forma directa sin intermediarios, trabajo para el cual no se admiten niños ni mujeres.

³ JULIO Herrera. *Historia de Pantalón*. Noviembre 2016.

1.2.3.2. Proceso industrial

Tiene como misión principal procesar la caña de azúcar con el fin de producir azúcar de distintas especificaciones y energía eléctrica. Esta operación está dividida en varios procesos productivos: pesado y determinación de la calidad de la materia prima, limpieza y preparación de la caña, extracción del jugo, purificación del jugo, evaporación, cristalización, refinación de azúcar, manejo de azúcar, generación de energía y mantenimiento.

La división industrial consta de cuatro procesos operativos:

- Extracción de jugo
- Tratamiento de jugo
- Recuperación de azúcar
- Generación de energía

1.2.3.3. Comercialización

El proceso de comercialización es responsable de la venta local de más de 20 000 toneladas métricas en Guatemala y Nicaragua y de la exportación de más de 500 000 toneladas métricas. Dentro de los clientes locales se encuentran principalmente las industrias de los diferentes sectores como lácteos, jugos, embotelladores, panificadores, empacadores, dulceros y otros. Los clientes industriales se caracterizan por sus estrictos requerimientos en sus especificaciones, para lo cual realizan auditorías periódicas a los ingenios de la corporación PSHC, en las cuales el ingenio se ha destacado por la calidad de los productos, así como por el cumplimiento de los compromisos. El azúcar se vende en diferentes tipos de envase, como sacos de polipropileno de 50 kilogramos, *jumbo* de 1 250 kilogramos y 1 100 kilogramos.

1.2.4. Valores

La empresa se fundamenta en promover el desarrollo transformando recursos. Existen fuertes valores morales encaminados a un mutuo desarrollo y crecimiento como comunidad, como familia y como seres humanos. Otros valores son:

- Integridad y honestidad
- Mejora y cambio permanente con visión a largo plazo
- Respeto por las personas relacionadas y compromiso por su éxito

1.2.5. Sistema de gestión

En los ingenios azucareros se ha implantado una serie de sistemas, los cuales permiten optimizar la gestión del negocio agroindustrial. Actualmente estos sistemas cubren las siguientes áreas:

- Gestión de la calidad
- Gestión ambiental
- Manejo de productos alimenticios
- Administración de riesgos
- Planeación estratégica
- Seguridad industrial y ocupacional

Estos sistemas se han implementado siguiendo las normas internacionales más modernas y reconocidas a nivel mundial como ISO, HACCP y OSHA.

Concepción S. A. siempre busca seguir mejorando su eficiencia y productividad mediante las mejores prácticas y herramientas administrativas posibles.

1.2.5.1. Gestión de la calidad

A la mayoría de ingenios, por sus altos niveles de productividad, calidad y servicio, les ha sido permitido certificar con la norma ISO 9001:2000 el Sistema de Gestión de Calidad, y en el 2008 fue auditado para una nueva recertificación con la Norma ISO 9001:2008, habiendo obtenido resultados satisfactorios y demostrado que mantienen altos niveles de productividad, calidad y servicio en sus operaciones. Además, tienen la certificación FSSC 22000, la cual es una norma para la seguridad alimentaria para la salud pública y genera un impacto en el comercio internacional.

1.2.5.2. Gestión ambiental

La responsabilidad del cuidado y preservación del medio ambiente forma parte de la filosofía de esta organización. Se han implementado programas para evitar la contaminación por partículas de hollín y ceniza en la atmósfera, a través de la instalación de trampas ciclónicas húmedas en las calderas y el manejo responsable de la cachaza o lodos de sedimentación para ser utilizados como abono orgánico natural en los campos, evitando de esta manera la contaminación de afluentes o ríos.

Desde el año 2000 al 2008 varios de los ingenios han venido trabajando en la implementación del sistema OSHA 18000. Existe un programa de cultivos forestales utilizando diferentes especies de árboles en una extensión de 3000

Ha, de los cuales 1560 corresponden a bosques energéticos que fueron plantados durante los últimos siete años.

1.2.5.3. Planeación estratégica

Dentro de la parte de planeación estratégica se han establecido metas:

- Crecimiento
- Disposición geográfica
- Rentabilidad

1.2.6. Productos

Entre los productos que los ingenios producen se puede mencionar:

- Azúcar blanco estándar
- Azúcar blanco especial para exportación
- Azúcar crudo
- Azúcar refino
- Melaza
- Alcohol
- Energía eléctrica para el sistema nacional

1.3. Descripción de la operación de un ingenio azucarero

En esta sección se hará una descripción general del proceso de fabricación del azúcar blanco en un ingenio.

1.3.1. Descripción general del proceso

El proceso de fábrica empieza en el área de extracción de jugo. En esta, primeramente, la caña es preparada para separar la parte fibrosa del jugo. Esto inicia con la descarga de góndolas a un conductor que hace pasar la caña a través de agua que se dispara a presión, con el objetivo de lavar la materia prima. Luego de esto, la caña cae sobre otro conductor que la hace pasar a través de una serie de picadoras para desmenuzar o abrir la fibra, para facilitar la extracción de jugo.

A su vez, la caña se hace pasar por niveladores que permiten que se forme un lecho uniforme a través del recorrido, esto permite una alimentación equitativa a los molinos. El clímax de este proceso se da en los molinos. En esta etapa, regularmente, la caña ya preparada se hace pasar por una serie de molinos.

Los molinos están conformados, por lo general, por cuatro masas o rodillos que, por efecto de fuerzas de presión, maceración e imbibición, extraen el jugo, quedando únicamente una parte fibrosa (bagazo) con muy bajo porcentaje de sacarosa, pero alto de humedad. De acá en adelante el proceso se divide en dos: generación de energía y tratamiento de jugo. Para efectos de continuar con una misma línea de producción de azúcar, se explicará más adelante el proceso de generación de energía.

Dado que el jugo de caña extraído en el proceso previo viene con muchas impurezas (agua, sólidos solubles, insolubles y coloidales), es necesario eliminar estas. En la primera etapa de este proceso el jugo se bombea hacia la torre de sulfitación, donde se realiza una reacción química entre dióxido de azufre y el jugo de caña, con el objeto de decoloración.

Posteriormente, debido a que, por una parte, el jugo que sale del proceso de sulfitación tiene alto grado de acidez (bajo potencial de hidrógeno), es necesario neutralizar y esto se realiza mediante una mezcla de carbonato de calcio (cal), meladura, agua y jugo. A esta mezcla se le denomina sacarato. El sacarato tiene otra función específica, que es aglomerar los sólidos presentes en el jugo para facilitar el proceso de clarificación. Para hacer más efectivo el proceso de clarificación, la mezcla de jugo y sacarato se hace pasar a través de una serie de intercambiadores de calor de concha y tubo, y de placas donde alcanza una temperatura de 220 grados Fahrenheit.

Luego, debido a que fue necesario aumentar la velocidad del flujo de la mezcla obtenida, y para el proceso de sedimentación (clarificación), es necesario que por gravedad ocurra una separación meramente física, y la mezcla se hace pasar por un tanque denominado *flash*. Este tanque cuenta con una mampara en la cual se da el impacto de jugo para reducir su velocidad y cambia de régimen turbulento a laminar.

Posteriormente, la mezcla entra a los clarificadores donde, por efecto de la gravedad y ayuda de un coagulante de alta densidad (reactivo químico), los sólidos se separan del jugo por decantación. Finalmente, el jugo clarificado es entregado a los evaporadores donde, por medio de intercambio de calor entre el vapor, procedente de una extracción de una turbina, a bajas presiones (hasta alcanzar el vacío), el jugo se purifica eliminando gran parte del agua que contiene. El objetivo de esta etapa se ha cumplido, el jugo entregado al proceso de recuperación de azúcar (meladura) contiene un alto porcentaje de pureza (alto porcentaje de sacarosa).

El proceso de recuperación de azúcar inicia con la alimentación de meladura a clarificadores que contribuyen con obtener una mayor pureza. Al

igual que en el proceso de clarificación de jugo, el proceso de clarificación de meladura lleva a cabo un proceso químico mediante la reacción de un coagulante (de baja densidad). Esto permite que los sólidos presentes en la meladura se separen por un efecto de burbujeo, producto de la aireación.

Burbujas, que llevan dentro de sí impurezas (sólidos), flotan por diferencia de densidad, separándose así de la meladura, para obtener una alta pureza. Esta meladura de mayor pureza es entregada a tachos, en los cuales se mezcla el grano base con la meladura y, bajo el efecto de vacío, se realiza un intercambio de calor mediante vapor de agua por contacto indirecto (mediante una calandria). Esto permite, primeramente, una mayor pureza por la evaporación del agua presente en el jugo y finalmente la formación de grano mediante la cristalización por agotación de miel (extracción de sacarosa). Acá el grano no sale completamente limpio, es una mezcla entre grano y miel, es decir, es necesario realizar un proceso físico para efectuar dicha separación.

Este proceso se realiza en maquinaria que utiliza la fuerza centrífuga y coladores, para separar la miel del grano. La miel residual es agotada inversamente al crecimiento del grano, esto quiere decir que, a medida que el grano va creciendo, la miel se va agotando. Parte del azúcar obtenido en este proceso se va para el proceso final (embasado) y el otro a refinación de azúcar, para obtener una mejor calidad final.

Por otra parte, regresando al proceso de generación de energía eléctrica, en este se genera tanto la energía que sirve para efectuar los procesos internos de fábrica, como la venta de energía eléctrica. Inicia donde finaliza el proceso de extracción de jugo, con la recepción del bagazo. Esta biomasa es transportada mediante una serie de conductores hasta llegar a su destino final, la alimentación y posterior combustión en calderas.

Estas calderas de alta presión utilizan el calor generado por la combustión del bagazo de caña, para generar energía cinética y de presión, debido al cambio de fase del agua a vapor a altas presiones.

El vapor obtenido es un sobrecalentado, esto, aparte de ser un resultado requerido para la alta eficiencia energética, también es necesario para asegurar que el vapor entregado a turbinas no se condensará, ya que esto provocaría fuertes golpes de ariete en los álabes. Las turbinas, posteriormente, aprovechan la energía cinética y presión del vapor sobrecalentado para generar un movimiento mecánico que, a través de un eje es transmitido hacia un generador de energía eléctrica, aprovecha el movimiento mecánico para generar corriente mediante la creación de un campo eléctrico. Como ya se ha comentado previamente, parte de la energía producida se utiliza para los procesos internos de fábrica y el excedente se vende a las compañías que se encargan de transportar la energía eléctrica mediante el tendido alrededor del país.

Figura 3. Esquema de fabricación de azúcar



Fuente: Esquema de fabricación de azúcar. <http://copal.org.ar/wp-content/uploads/2015/07/dpazucar.gif>. Consulta: 2017.

1.3.2. Obtención de azúcar blanco

En esta sección se describe el proceso para obtener azúcar blanco. Usualmente en los ingenios azucareros, después de la producción de la meladura, se aplican aproximadamente tres cristalizaciones, de estos se va retirando el azúcar de forma centrifugada, separando los granos de sacarosa del licor madre o miel.

1.3.2.1. Transporte de la caña

La movilización de caña de los campos a los ingenios ocurre mediante grandes vehículos, generalmente de 9 ejes, la caña viene en las góndolas o jaulas como comúnmente se les llama, tienen una capacidad de 40 toneladas aproximadamente, así movilizan la caña hasta el lugar donde se encuentra la mesa principal de recepción.

1.3.2.2. Pesado y determinación de la calidad

Al recibir la caña, es pesada en una báscula, luego se toma una muestra de cada jaula en el *core sampler*, que es el que extrae la muestra. Luego se procede a llevar al laboratorio para ser analizada y conocer las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas.

1.3.2.3. Preparación de la caña

Antes de ingresar la caña al proceso de extracción de jugo, tiene una preparación en la que esta es abierta o cortada por medio de unos machetes para facilitar la extracción de la sacarosa. Este proceso está diseñado de forma

que no se pierde demasiado jugo al cortar la caña. Las formas para lograr la preparación de la caña son:

- Mediante cuchillas giratorias, que cortan la caña en trozos sin extraer el jugo.
- Desfibradora de caña que corta la caña en tiras, de igual forma sin extraer jugo.
- Desmenuzadora de caña que aplasta y quiebra la caña, pero se extrae jugo.

1.3.2.4. Extracción de jugo

El proceso de fabricación del azúcar continúa cuando la caña entra al proceso de extracción de jugo, mediante la compresión de dos grandes cilindros dentados llamados mazas, que consiste en separar la sacarosa y las impurezas. Con la utilización de 5 molinos se realiza la extracción de jugo a la caña; esta se realiza haciendo pasar el colchón de caña y preparado, extrayéndole la mayor cantidad de sacarosa posible. Para ayudar a extraer el jugo se agrega agua caliente en el último molino, y con la instalación del planetario ayuda a extraer más del 95 % de sacarosa de la caña, dejando el bagazo con menor cantidad de humedad. A este proceso se le denomina maceración. En los molinos anteriores se le agrega jugo diluido del molino que precede; a esto se le llama imbibición. La maceración e imbibición pueden compararse con enjuagar y lavar la caña repetidas veces.

Cuando ya se extrajo toda la sacarosa posible, solo queda el bagazo de la caña, que es utilizado como combustible para calderas en generación de energía. Este combustible tiene un porcentaje de humedad de 50 %

aproximadamente, y 2 % ó 3 % de azúcar que ya no es posible extraer de la caña, y contiene un 47 % de fibra.

1.3.2.5. Sulfitación

Es un proceso que se utiliza en la fabricación del azúcar que no todos los ingenios tienen, consiste en la preparación de ácido sulfuroso (SO_2) a partir de azufre. Tiene como fin la decoloración del guarapo para poder efectuar la producción de azúcar blanca. Para esto se requiere de hornos en donde se realiza la combustión entre azufre y oxígeno.

Aproximadamente se requieren 1 500 galones por hora de jugo producido en el proceso de extracción mencionado anteriormente y este se debe poner en contacto con 120 lb/h de dióxido de azufre.

Un factor crítico en esta etapa es el enfriamiento gradual del dióxido de azufre, debido a que, si su enfriamiento fuese instantáneo, al momento de ponerse en contacto con el agua presente en el jugo, podría reaccionar para formar ácido sulfúrico (compuesto altamente corrosivo).

1.3.2.6. Alcalización

El proceso consiste en agregar lechada de cal o sacarato de calcio al jugo sulfitado con el fin de neutralizar el pH (concentración de iones de hidrógeno) y disminuir pérdidas de sacarosa. Esto se logra debido a que la cal reacciona con las impurezas y con la ayuda de fosfatos propios del jugo. Al jugo neutralizado se le denomina jugo alcalizado.

Sacarato de calcio es un modo de dosificación de la cal que consiste en mezclar lechada de cal, jugo diluido y meladura en diferentes proporciones. Produce un jugo de claridad superior y mejora la caída de pureza. Según el método que se utilice, la alcalización debe garantizar una rigurosa estabilización del pH del jugo. La variable independiente que se mide en este proceso es el nivel de fosfatos. La sustancia inherente al jugo al reaccionar con la cal y las impurezas permiten la formación de coágulos.

1.3.2.7. Calentamiento

El calentamiento sirve para ayudar a la mezcla de sacarato y jugo a reaccionar para hacer eficiente el proceso de clarificación. La transferencia de calor se da en intercambiadores tipo concha, tubo y placas. Generalmente el fluido caliente es condensado generado en los evaporadores. En esta etapa se alcanzan temperaturas de 125 grados Celsius, la temperatura no debe ser mayor a esta debido a que la molécula de sacarosa se destruye, provocando el oscurecimiento del jugo que originaría unos cristales de azúcar de alta coloración.

1.3.2.8. Clarificación

La clarificación tiene como fin separar la máxima cantidad de sólidos (en suspensión, coloidales e insolubles) contenidos en el jugo, mediante la gravedad, es decir, por la propia diferencia de pesos entre el jugo y los sólidos. Para esto se emplea un floculante que ayuda aglomerar los sólidos para que estos pesen más y vayan al fondo del tanque, y el jugo clarificado se extrae en la parte superior, mientras que el sedimento lodo o cachaza se extrae por la parte inferior a través de bombas y el jugo pasa a los evaporadores para continuar con el proceso.

1.3.2.9. Sedimentación

Una vez que se ha desinfectado el jugo se procede a separar la tierra, arena y demás impurezas sólidas presentes en el jugo. Esto se realiza mediante sedimentación.

1.3.2.10. Filtrado de cachaza

Para este proceso se utilizan los filtros de cachaza, que funcionan mediante el principio de presión de vacío. Esta presión es ejercida en succión del interior del filtro y el objetivo es exprimir y extraer la máxima cantidad de jugo presente en la cachaza o sedimentos (provenientes de la clarificación).

El jugo recuperado en este proceso es bombeado nuevamente al proceso de fabricación de azúcar y los sedimentos son utilizados como abono para fertilizar los campos de caña.

1.3.2.11. Evaporación en múltiple efecto

Este proceso consiste en evaporar toda el agua presente en el jugo a fin de obtener un producto final cristalino llamado meladura. El jugo clarificado contiene aproximadamente 90 % de agua, y debido a esto se busca evaporarla completamente. Se utiliza en esta configuración para obtener una mejor economía térmica.

La evaporación de múltiple efecto consiste en una serie de vasos o cuerpos ordenados de tal manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un vacío más alto, lo que hace que el líquido hierva a una temperatura más baja. Los vapores de agua del primer cuerpo hacen hervir el jugo del siguiente y así

sucesivamente hasta llegar al último. El vapor de este último pasa a un condensador barométrico. De esta manera el jugo que ingresó al primer cuerpo de la evaporación aproximadamente 15 Brix, sale del último en forma de meladura con 65 a 70 Brix.

1.3.2.12. Cristalización

La cristalización o cocimiento de la sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío. Estos cocimientos, según su pureza, producirán azúcar crudo (para exportación o producción de concentrados para animales), azúcar blanco (para consumo directo) o azúcar para refinación.

La cristalización del azúcar es un proceso demorado que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos de polvillo de azúcar finamente molido. La habilidad y la experiencia de los operarios que deben juzgar el punto exacto de los cocimientos es indispensable para la obtención de un buen producto. Esto deja una curva de solubilidad de la sacarosa. La función de los tachos al vacío es producir cristales de azúcar satisfactorios a partir de jarabe o mieles. La concentración de la alimentación suministrada a los tachos es por lo general de 60 a 65 Brix, y puede llegar hasta 74 Brix en una refinería. Las altas densidades reducen el consumo de vapor y acortan la duración del ciclo, pero una densidad demasiado alta puede implicar el riesgo de producir conglomerados y falso grano.

1.3.2.13. Centrifugación

Los cristales de azúcar se separan de la miel restante en las centrífugas. Estas son cilindros de malla muy fina que giran a gran velocidad. El líquido sale por la malla y los cristales quedan en el cilindro, luego se lavan con agua. Las

mieles vuelven a los tachos, o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol etílico en la destilería.

El azúcar de primera calidad retenido en las mallas de las centrífugas se disuelve con agua caliente y se envía a la refinería para continuar el proceso. Cabe resaltar que en este punto se obtiene lo que se llama azúcar rubio, debido al color de los cristales.

1.3.2.14. Secado

El contenido de humedad del azúcar al finalizar la separación en las centrífugas no mantiene un nivel apropiado para su manipulación y almacenamiento. La función de secado busca entonces reducir el contenido de humedad del azúcar hasta un valor lo bastante bajo para impedir el desarrollo de microorganismos que puedan ocasionar el deterioro del producto o, en el peor de los casos, su pérdida.

Las secadoras se emplean en varios tipos. El diseño más común consiste en un cilindro giratorio por el que se hace pasar el azúcar a la vez que fluye una corriente de aire caliente en sentido contrario. El movimiento permite la adecuada exposición de los cristales al calor y, por ende, la disminución de la humedad.

1.3.2.15. Envasado

El proceso de envasado de azúcar inicia con la operación de extender y posicionar el envase en la romana o báscula llenadora. Esta operación es realizada por dos operarios. En seguida se realiza el llenado de azúcar por medio de una báscula semiautomática, que se programa para que finalice de

acuerdo al peso deseado. El llenado se realiza en sacos de 50 y 1 250 kg, respectivamente. El primer caso lo controla y realiza un operario, y el segundo caso lo realizan dos operarios. Posteriormente al llenado se realiza el cocido o sellado del envase, operación realizada por dos operarios. Para el caso de los envases de 50 kg la operación se realiza por medio de la cosedora y para el caso de envases de 1 250 kg la operación se realiza completamente manual.

1.3.3. Generación de vapor

La generación de vapor en los ingenios azucareros ocurre por la utilización de la combustión del bagazo u otro combustible, que produce energía a través del calor para evaporar agua en calderas. Este vapor se utiliza para alimentar a los turbogeneradores.

1.3.4. Generación eléctrica

La generación de energía eléctrica se da por medio de los turbogeneradores, estos aprovechan la energía mecánica que les proveen las turbinas llevando la energía por medio de los generadores a la sub estación eléctrica para aportar a la red nacional.

1.4. Descripción general de los conductores de bagazo de caña con cadena utilizados en un ingenio azucarero

- Cadena tipo Jeffrey 2184
- Tipo Sprocket
- Tipo de chumacera
- Reductor de velocidad

1.4.1. Cadena tipo Jeffrey 2184

Este tipo de cadena es famosa en la industria azucarera, llamadas también cadenas de ingeniería por su tamaño y aplicaciones, son utilizadas para transportar cientos de toneladas por hora de bagazo de caña (combustible) a las calderas, para llevar a cabo la generación de vapor. Este transita por medio de los conductores en un circuito abierto para alimentar 4 calderas.

Para esta aplicación distintos proveedores ofrecen cadenas de construcción de barras laterales rectas acodadas en varios tamaños con rangos de capacidad diferente, para cumplir con todos los requisitos necesarios para suplir las condiciones de un conductor de bagazo. Este tipo de cadenas están fabricadas de acero de alta calidad y tratamientos térmicos que garantizan las óptimas características de resistencia a la corrosión y al desgaste.

Las cadenas son intercambiables en todos los aspectos en la industria de la caña de azúcar. Las principales características son: barras laterales y pernos de acero aleado termo tratados, para hacerlos resistentes al desgaste y evitar la fatiga por corrosión, bujes y rodillos carburizados y ajuste con prensa para máxima resistencia a la fatiga. Cuando se encuentran condiciones con exceso de humedad, existe el riesgo de corrosión, por lo que pueden ser suministrados pernos termo tratados y bujes de acero inoxidable.

Todas las cadenas tienen aditamento de A-42 que están instalados en la barra lateral y totalmente soldados dentro y alrededor para fuerza adicional (como puede observarse en la figura 4) y en conjunto forman las cadenas de los conductores (vea figura 5).

Figura 4. Eslabón de cadena 2184



Fuente: catálogo Connexus Chain.

Figura 5. Conductor # 2 de bagazo de caña



Fuente: Ingenio Concepción S. A. 2016.

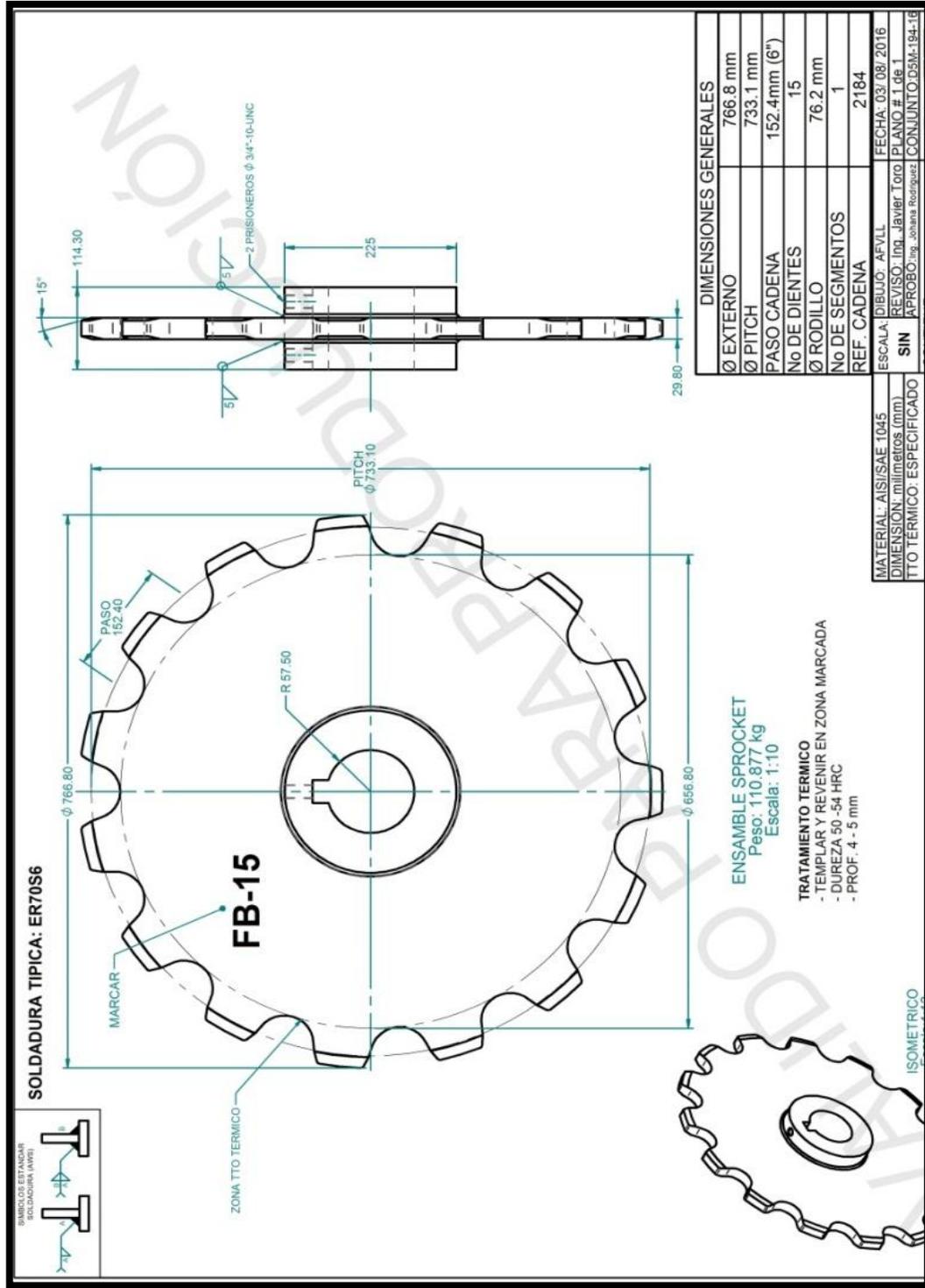
1.4.2. Tipo de *sprocket*

El *sprocket* es una rueda dentada en la cual engrana o calza la cadena para transmitir la fuerza al eje. Lo característico de la forma del diente es su fondo en medio círculo para que en este se asienten los rodillos de la cadena.

Comúnmente todo piñón de cadena lleva estampado primero el número de la cadena con la que debe encajar, luego el tipo de manzana con la que está construido y, por último, su número de dientes, como por ejemplo 60B18, que la cadena No. 60. El tipo de la manzana B y el número de dientes 18. La especificación 40^a24 significa: la cadena No. 40. El piñón sin manzana y el número de dientes es 24. La especificación 100C60 significa. No. 100 o sea P 1 $\frac{1}{4}$. Las manzanas son dos, una por cada cara, eso significa la letra "C" y el número de dientes 60.

El número 2 como sufijo significa que el piñón es de doble hilera de dientes para cadena doble. Así, por ejemplo, la numeración 40B20-2 quiere decir que el piñón es de paso $\frac{1}{2}$ " (para cadena No. 40), que la manzana la lleva a un solo lado, que el número de dientes es 20 y que es de dos hileras de dientes para que calce una cadena doble; el tipo de *sprocket* para estos conductores es tipo "C", como puede observarse en el siguiente plano.

Figura 6. Plano de sprocket

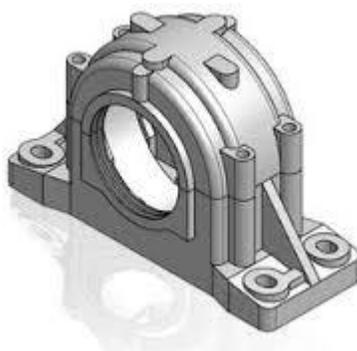


Fuente: Manual de transportador 2184.

1.4.3. Tipo de chumaceras

Dentro de la industria se encuentran chumaceras de distinta aplicación según el diámetro de eje, carga axial, radial y condiciones de operación; para el caso de los conductores de bagazo se utilizan las chumaceras bipartidas. Estas están concebidas principalmente para rodamientos de bolas a rótula, rodamientos de rodillos a rótula y rodamientos CARB. Los soportes o chumaceras están diseñados con base en el principio de bloque de construcción. Esto permite una elección más amplia de rodamiento, montaje en el eje, obturaciones y tipo de lubricación. La principal ventaja de los soportes de pie partidos es su fácil instalación; en estos se pueden instalar ejes premontados. Cuando las bases del soporte están fijadas a la placa base, solo es necesario colocar las tapas del soporte en su posición y apretar los pernos de fijación para finalizar la instalación.

Figura 7. Chumacera bipartida



Fuente: catálogo transportador de cadena.

1.4.4. Reductores de velocidad

Especificaciones:

Gama de pares:	De 2,600 a 552,000 Nm dividido en 26 tamaños
Ratios:	Estándar de 6.3:1 a 500:1 Una amplia selección de ratios es posible a través de los etapas modulares de engranajes en combinación con un reductor ciclo.
Carcasa:	Estándar = fundición gris, fundición nodular o acero (opcionales).
Posicionamiento:	Horizontal, vertical o a pared.
Reductor con motor incorporado:	Estándar (para reductor con eje de salida perpendicular), sin necesidad de acoplamiento para su alineación; diseño compacto.
Eje de salida:	Sólido o eje hueco (con casquillo de fijación o chavetero).
Rendimiento térmico:	En línea con las condiciones ambientales, el rendimiento térmico puede ser adaptado para las diferentes necesidades gracias al ventilador y a los sistemas refrigerantes exteriores.

- Descripción:

En los reductores de engranajes helicoidales y cónicos, además de su gama estándar, se dispone de versiones especiales diseñadas a lo largo de más de seis décadas de experiencia en la ingeniería de la transmisión. Por lo tanto, la gama de productos consiste en la serie 9000 y además en diseño especial SFC para torres de enfriamiento y compresores, así como la serie SEC para extrusoras.

Gracias a los 26 tamaños de la serie 9000, cada aplicación puede seleccionarse en concordancia al par y a la velocidad requerida, asegurando el menor coste y la mayor duración de vida.

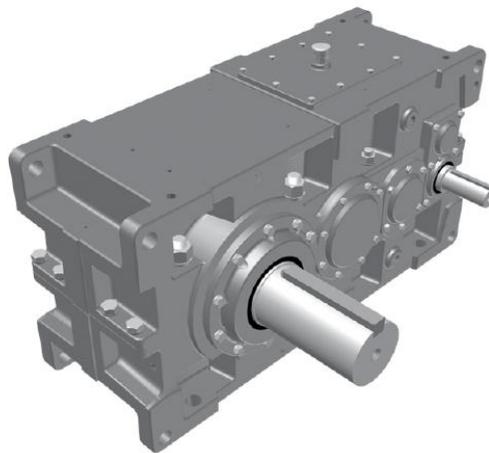
- 26 tamaños muy escalonados para la más ajustada selección y optimización de la aplicación.
- Pares de salida elevados hasta 552 000 Nm
- Transmisión de descargas elevadas a los engranajes gracias a los 25° de ángulo de precisión.
- Diseño de carcasa para montaje horizontal, vertical y a pared.
- Mejora de las potencias térmicas mediante ventiladores y sistemas de enfriamiento.
- Estandarización global, disponibilidad mundial y en servicio.

Aplicaciones:

- Sistemas de transportadoras
- Torres de enfriamiento y compresores
- Extrusoras
- Agitadores (mezcladoras)
- Industria del cemento

- Grúas
- Plantas depuradoras
- Minería
- Industria forestal e industria del papel
- Industria del azúcar Industria del acero

Figura 8. Reductor Sumitomo Paramax 9000



Fuente: catálogo paramax 9000 sumitomo.

1.4.5. Tipo de acero para la pista

Este acero se puede soldar fácilmente, se recomienda soldadura A.W.S. clase E-6010, E-6011, E-6013 de American Welding Society.

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utilizará para elementos endurecidos a la llama o por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o tratamiento térmico (templado en aceite y revenido o templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener en endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido; al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

Tabla IV. Composición química de acero 1045

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Estado de suministro: Recocido
Dureza de suministro: 160 - 200 Brinell

Fuente: catálogo de aceros para la industria.

Las propiedades físicas de estos son obtenidas a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usadas como referencia.

Figura 9. Especificaciones técnicas de acero 1045

• Densidad → 7.85 gr/cm ³ .	• Resistividad eléctrica (microhm-cm): a 32°F = 16.2 a 212°F = 22.3
• Módulo de elasticidad → 2 x 10 ¹¹ Pa (24 x 10 ⁶ PSI).	• Coeficiente de dilatación térmica / °C (20 - 100°C) 12.3 x 10 ⁻⁶ (20 - 200°C) 12.7 x 10 ⁻⁶ (20 - 400°C) 13.7 x 10 ⁻⁶
• Conductividad térmica → 52 W/(m·°C).	
• Calor específico J/(Kg·K) → 460	
• Coeficiente de Poisson → 0,3	

Fuente: catálogo de aceros para la industria.

Tabla V. Propiedades típicas a temperatura

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO			
Diámetro de la barra: 12 a 38 mm			
Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

Fuente: catálogo de aceros para la industria.

1.4.6. Tablillas

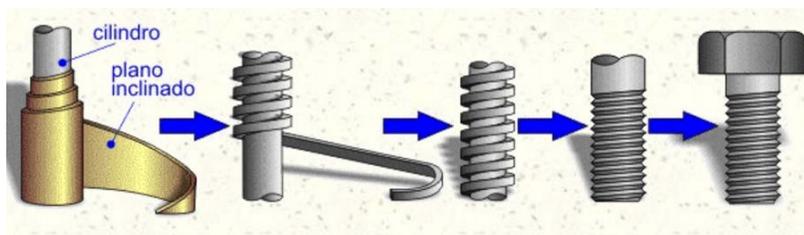
La madera utilizada para las tablillas es de alta dureza, su nombre es Chichipate y es utilizada debido a que las tablillas a lo largo de su área llevan el bagazo por todo el conductor alimentando las calderas, que tienen 4 tornillos, dos en cada extremo, puestos en el aditamento A-42 de la cadena 2184. Esta madera soporta las vibraciones que se dan en la estructura del conductor, cualquier otra clase se quebraría con la función que realiza y la aplicación que tiene.

La madera Chichipate también es utilizada para construcciones rurales, puentes y postes, carpintería en general, duelas, *parquet*, pisos, implementos agrícolas y carretes. También se recomienda para artículos torneados y decorativos, artesanías y decoración de interiores. En México se usa en la industria de chapas para centros y vistas de madera terciada. En El Salvador se usó tradicionalmente para ejes de carretas y cabos de herramientas por su dureza y resistencia. También para leña y medicina. La corteza tiene un alcaloide, la *sweetina*, con propiedades tónicas.

1.4.7. Tornillos y roldanas de presión

El tornillo es un operador que deriva directamente del plano inclinado y siempre trabaja asociado a un orificio roscado.

Figura 10. Diseño de fabricación de tornillo



Fuente: *Fabricación de tornillo.*

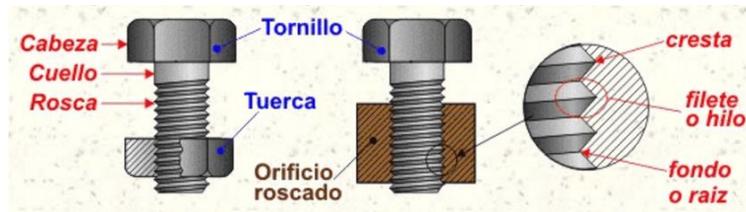
http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_tornillo.htm

Consulta: 2017.

Básicamente puede definirse como un plano inclinado enrollado sobre un cilindro o, lo que es más realista, un surco helicoidal tallado en la superficie de un cilindro (si está tallado sobre un cilindro afilado o un cono se tiene un tirafondo).

Las partes básicas de un tornillo son 3: cabeza, cuello y rosca.

Figura 11. Partes de un tornillo



Fuente: *Partes de un tornillo.*

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_tornillo.htm.

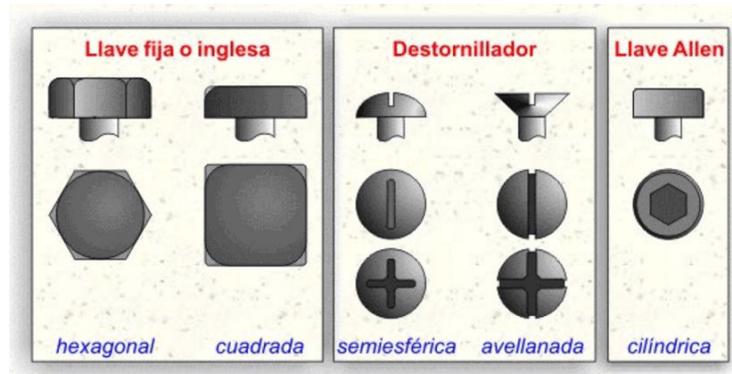
Consulta: 2017.

La cabeza permite sujetar el tornillo o imprimirle un movimiento giratorio con la ayuda de útiles adecuados. El cuello es la parte del cilindro que ha quedado sin roscar (en algunos tornillos la parte del cuello que está más cercana a la cabeza puede tomar otras formas, siendo las más comunes la cuadrada y la nervada) y la rosca es la parte que tiene tallado el surco. Además cada elemento de la rosca tiene su propio nombre; se denomina filete o hilo a la parte saliente del surco, fondo o raíz a la parte baja y cresta a la más saliente.

Todo tornillo se identifica mediante 5 características básicas: cabeza, diámetro, longitud, perfil de rosca y paso de rosca.

La cabeza permite sujetar el tornillo o imprimirle el movimiento giratorio con la ayuda de útiles adecuados (los más usuales son llaves fijas o inglesas, destornilladores o llaves Allen). Las más usuales son la forma hexagonal o cuadrada, pero también existen otras (semiesférica, gota de sebo, cónica o avellanada, cilíndrica, etc.).

Figura 12. Tipos de cabeza de tornillos



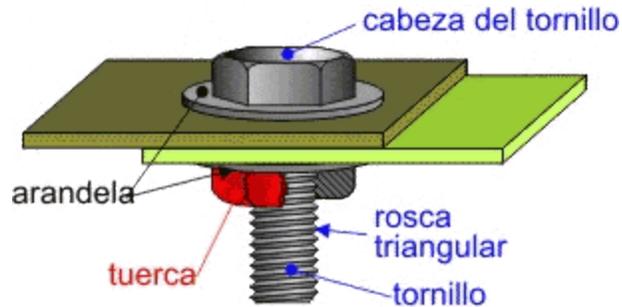
Fuente: *Cabezas de tornillos*.

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_tornillo.htm.

Consulta: 2017.

El tornillo es en realidad un mecanismo de desplazamiento (el sistema tornillo-tuerca transforma un movimiento giratorio en uno longitudinal), pero su utilidad básica es la unión desmontable de objetos, dando lugar a dos formas prácticas de uso: combinado con una tuerca permite comprimir entre esta y la cabeza del tornillo las piezas que se quieren unir. En este caso el tornillo suele tener rosca métrica y es usual colocar arandelas con una doble función: proteger las piezas y evitar que la unión se afloje debido a vibraciones. Se pueden encontrar en la sujeción de farolas o motores eléctricos, abrazaderas, estanterías metálicas desmontables.

Figura 13. Fijación de un tornillo



Fuente: *Fijación de un tornillo.*

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_tornillo.htm.

Consulta: 2017.

Empleando como tuerca las propias piezas a sujetar, en este caso es usual que el agujero de la pieza que toca la cabeza del tornillo se taladre con un diámetro ligeramente superior al del tornillo, mientras que la otra pieza (la que hace de tuerca) esté roscada. Se emplea para sujetar chapas (lavadoras, neveras, automóviles y demás) o piezas diversas (juguetes, ordenadores u otros) sobre estructuras.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Plan de mantenimiento

Este consiste en programar controles de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para cada uno de los activos que compone un conductor de bagazo según fabricante y experiencia adquirida en campo, con mediciones y análisis de cada dato obtenido para el fin deseado.

2.1.1. ¿Qué es un plan de mantenimiento?

El concepto de mantenimiento, partiendo de la definición de mantener según el diccionario enciclopédico Océano I, es: “conservar una cosa” relacionado con la mecánica de todos los equipos.

El objetivo de utilizar el mantenimiento estratégicamente es para evitar los fallos funcionales de los equipos y que sea aplicado prioritariamente en los activos críticos, esto con el fin de aportar a la economía de la empresa y que sea observado un incremento de los ingresos por medio de la producción, al evitar tener fuera de funcionamiento los activos y disminuir las pérdidas.

La planificación y ejecución de un mantenimiento correcto beneficia a la empresa directamente en capacidad de producción con calidad, seguridad y rentabilidad.

La labor del departamento de mantenimiento está relacionada muy estrechamente con la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador, ya

que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones los conductores de bagazo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento del equipo y fomenta la seguridad, evitando riesgos en el área laboral.

2.1.1.1. Objetivos del mantenimiento

El diseño de implementación de cualquier sistema organizativo y su posterior difusión o instrucción debe siempre tener presente que está al servicio de ciertos objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia para evitar, precisamente, que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución. En el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento correctivo.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida útil de los equipos que conforman los conductores.

2.1.1.2. Fallas

Las fallas son desperfectos ocurridos durante la vida útil del motor, reductor o cadena de los conductores. Se presentan en tres etapas:

- Fallas tempranas

Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales de diseño o de montaje.

- Fallas adultas

Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (suciedad de cadena, motores, chumaceras, cojinetes, etc.).

- Fallas tardías

Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida útil de los componentes del conductor.

2.1.2. ¿Qué necesito para tener un conductor eficiente?

Para la eficiencia del conductor, se necesita:

- Inspección visual de los conductores en cada turno.
- Lubricación de las cadenas.
- Un ambiente con bajo porcentaje de humedad.
- Tensión de cadena necesaria.
- Limpiadores de cadena en una posición ideal.
- Dientes de *sprocket* sin desgaste excesivo.
- *Sprockets* con dimensiones de paso igual al de cadena.

- Holgura de cadena en la parte inferior y no superior.
- Medición de vibraciones en motores y reductores.
- Medición de temperaturas de motor y cojinetes.
- Inspecciones con cámara termográfica.
- Montaje correcto de acoples y alineación ideal de los mismos.
- Montaje de *sprockets* alineados entre sí y colocados paralelamente en el mismo eje, coincidiendo sus dientes.
- Ejes motriz y eje de cola a distancias equidistantes entre sí.
- *Sprockets* motriz y de cola en la misma línea.

2.1.3. Disponibilidad de personal para los mantenimientos

La importancia de la asignación de personal para la realización de inspecciones y mantenimientos es necesaria debido a que ellos trasladan los datos necesarios para el conocimiento de las condiciones físicas y de operación de los equipos, por lo que se pueden tomar acciones, de ser necesario. Cuando la falta de personal existe es difícil que el poco personal pueda cubrir todas las responsabilidades y esto contribuye a que fallen los equipos, por falta de seguimiento. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Personal capacitado con conocimientos técnicos sobre las cadenas.
- Mecánicos con conocimientos de sobre reductores de velocidad.
- Eléctricos realizando inspecciones de motores trifásicos de los conductores.
- Persona asignada para la lubricación de cadena, chumaceras, revisión de niveles de aceite en reductores.
- Se necesita una persona que se encargue de la limpieza de los conductores, para ajustar los limpiadores si fuera necesario.

Figura 14. Fotografía de cambio de motor eléctrico



Fuente: tomada en Ingenio Concepción
S. A.

2.2. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de minimizar los mantenimientos correctivos y todo lo que representan. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados; si la segunda y tercera no se realizan, la primera es inevitable.

- Características

Básicamente consiste en programar revisiones de las cadenas, inspeccionar el nivel de aceite, inspeccionar alineación de equipos en los paros programados, apoyándose en el conocimiento de los datos técnicos, especificaciones de piezas, con base en la experiencia y los datos históricos de mantenimiento obtenidos en las mismas. Se realiza un plan de mantenimiento

para cada conductor, en que se realizan las acciones necesarias, como engrasado, cambio de eslabones o tramos de cadena, desmontaje, limpieza, etc.

- Ventajas

Se hace correctamente, ya que previamente se tiene un conocimiento y especificación de los equipos y una recolección de los datos históricos que ayudarán en gran medida a controlar la elongación de cadenas y desgastes. El cuidado periódico conlleva un funcionamiento óptimo y conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir a la permanencia de la calidad del sistema y a la mejora continua. La reducción del mantenimiento correctivo representará una reducción de costos por cambio de repuestos y un aumento de la disponibilidad inmediata de los equipos.

- Desventajas

Representa una inversión inicial en herramientas que faciliten el trabajo y la mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados. Los trabajos rutinarios, cuando se prolongan en el tiempo, producen falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso. La implicación de los operarios del mantenimiento preventivo es indispensable para el éxito del plan.

2.2.1. Nivel de aceite en reductores

La vida útil del reductor depende totalmente de la correcta aplicación del mantenimiento y sus períodos de lubricación.

- Mantenimiento por lubricación

Tabla VI. Intervalo de cambio de aceite

		Intervalo		Condiciones de uso
Alimentación aceite		Luego de compra		
Cambio de aceite	Primera vez	Después de 500 horas		
	Segunda vez	Después de 2500 horas		
	Tercera vez y siguientes	Cada 5000 horas	T. de aceite <70 C	
		Cada 2500 horas	T. de aceite >70 C	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Método de lubricación de reductores

Tabla 15. Método de lubricación (para velocidades estándar de entrada. Si la velocidad de entrada no es estándar, consulte con Sumitomo).

		Tamaño	9015	9025	9030	9035	9040	9045	9050	9055	9060	9065	9070	9075	9080	9085		
Ejes en ángulo recto	2 etapas	Horizontal	Baño de aceite								Salpicado de aceite				*	*		
		Vertical	Bomba de aceite impulsada por el eje															
		Perpendicular	Baño de aceite + grasa								Salpicado de aceite				*	*		
	3 etapas	Horizontal	-	-		Baño de aceite								Salpicado de aceite				
		Vertical	-	-		Bomba de aceite impulsada por el eje												
		Perpendicular	-	-		Baño de aceite + grasa								Salpicado de aceite				
	4 etapas	Horizontal	-	-	-	-	Baño de aceite								Salpicado de aceite			
		Vertical	-	-	-	-	Bomba de aceite impulsada por el eje											
		Perpendicular	-	-	-	-	Baño de aceite + grasa								Salpicado de aceite			
	Ejes paralelos	2 etapas	Horizontal	Baño de aceite								Salpicado de aceite						
			Vertical	Bomba de aceite impulsada por el eje														
		3 etapas	Horizontal	Baño de aceite								Salpicado de aceite						
Vertical			Bomba de aceite impulsada por el eje															
4 etapas		Horizontal	Baño de aceite								Salpicado de aceite							
		Perpendicular	Baño de aceite								Salpicado de aceite							
4 etapas	Horizontal	-	-		Baño de aceite								Salpicado de aceite					
	Vertical	-	-		Bomba de aceite impulsada por el eje													
4 etapas	Horizontal	-	-		Baño de aceite								Salpicado de aceite					
	Perpendicular	-	-		Baño de aceite								Salpicado de aceite					

Fuente: Manual de reductores Paramax 9000.

- Tamaño de carcaza: 9080
- Cantidad de etapas por engranajes: 3
- Método de montaje: Horizontal

Como indica la tabla la lubricación, para este modelo de reductor la forma de lubricación es el salpicado de aceite. Cuando la operación es continua, el uso de salpicado de aceite está determinado por la frecuencia de entrada.

Tabla VIII. Especificación técnica de reductor de velocidad

Método de lubricación	Suministro de aceite	Periodo de cambio de aceite	Aceite	Cantidad de aceite	Eliminación de aceite
Salpicado de aceite	Lubricación Forzada	Cada 5000 horas.	VG220 5EP	17 galones, 64 litros.	Drenar aceite.

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Lubricantes recomendados para reductores

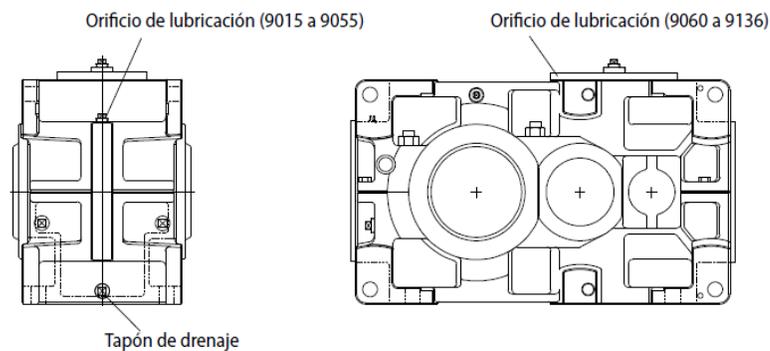
Aceite para engranajes	Marca	BP	CASTROL			CHEVRON TEXACO		EXXON MOBIL	
	ISO VG68 AGMA 2EP	ENERGOL GR-XP-68	ALPHA SP68	OPTIGEAR BM68	TRIBOL 1100/68	GEAR COMPOUNDS EP68	MEROPA WM68	SPARTAN EP68	MOBIL- GEAR 626
	ISO VG100 AGMA 3EP	ENERGOL GR-XP-100	ALPHA SP100	OPTIGEAR BM100	TRIBOL 1100/100	GEAR COMPOUNDS EP100	MEROPA WM100	SPARTAN EP100	MOBIL- GEAR 627
	ISO VG150 AGMA 4EP	ENERGOL GR-XP-150	ALPHA SP150	OPTIGEAR BM150	TRIBOL 1100/150	GEAR COMPOUNDS EP150	MEROPA WM150	SPARTAN EP150	MOBIL- GEAR 629
	ISO VG220 AGMA 5EP	ENERGOL GR-XP-220	ALPHA SP220	OPTIGEAR BM220	TRIBOL 1100/220	GEAR COMPOUNDS EP220	MEROPA WM220	SPARTAN EP220	MOBIL- GEAR 630

Fuente: Manual de reductores Paramax 9000.

Se debe asegurar que no ingresen al reductor tuercas, pernos o arandelas sueltas, tampoco polvo, agua y materiales extraños.

El reductor no estará suficientemente lubricado si el nivel de aceite está por debajo del intervalo recomendado. Sin embargo, si el nivel de aceite está por encima del intervalo recomendado, la temperatura del aceite aumentará y esto hará que se deteriore. Al drenar el aceite del reductor, se extrae el tapón de drenaje colocado bajo la unidad y se deja desagotar el aceite mientras esté todavía caliente. Para hacer más fácil el drenaje o el relleno de aceite, se retira el respiradero.

Figura 15. Señalización para lubricación de reductor



Fuente: Manual de reductores Paramax 9000.

2.2.2. Lubricación de cadena

Tabla X. Programa de lubricación de cadena

Programa de Lubricación de cadena			
No.	Horas	Fecha	Turno
1	0	16/11/2016	A
2	100	20/11/2016	B
3	200	24/11/2016	C
4	300	28/11/2016	A
5

Fuente: elaboración propia.

La lubricación de las cadenas de los conductores de bagazo debe ser constante, debido a las condiciones de funcionamiento de dichos equipos, puesto que permanecen en funcionamiento en el periodo de zafra, y aún más crítica es la condición del conductor de bagazo No. 2, por lo que se recomienda lo siguiente:

- Lubricación: diaria
- Tiempo: 20 a 30 minutos
- Aceite: Teresso 100

Es necesario utilizar un tiempo de 20 a 30 minutos para que se lubrique la cadena completa y darle tiempo al aceite para que pueda ingresar en los espacios entre los bujes y rodillos, y debido a que los espacios entre piezas son mínimos, es requerido un aceite con baja viscosidad para que pueda lubricar completamente todas las piezas y evitar que el polvo de bagazo ocupe esos espacios, por esa razón esta rutina debe realizarse todos los días.

Figura 16. Lubricación por goteo



Fuente: tomada en Ingenio Concepción S. A.

2.2.3. Chumaceras

En la industria existen distintas clases de chumaceras, para esta aplicación y por ser de servicio pesado se utilizan chumaceras bipartidas, estas facilitan el montaje y mantenimiento debido al peso y tamaño del eje, deben tener la cantidad exacta de grasa, pues el exceso dificulta el movimiento del eje, provocando sobrecalentamiento y la falla prematura del cojinete.

Las chumaceras bipartidas se ensamblan sobre el eje motriz, ubicándose sobre los agujeros que se encuentran en la base de las chumaceras, para realizar el ensamble por medio de dos tornillos con los torques especificados y ubicando los tornillos laterales de la base chumacera a tope con la chumacera bipartida.

Figura 17. Montaje de eje sobre chumacera



Fuente: Catálogo de chumaceras. P.11

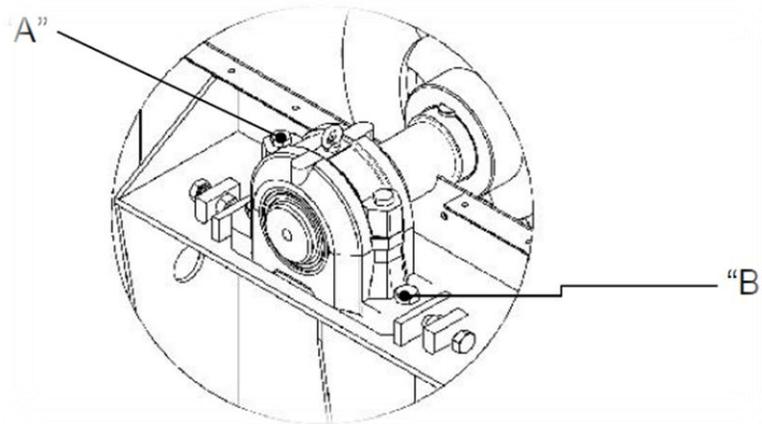
Tabla XI. Torques y cantidades de grasa

CHUMACERAS BIPARTIDAS			
	PERNO A	PERNO B	Cantidad de grasa (g)
600TR-01	M16.	M20.	700
SNV170	Tmax:151Nm	Tmax:200Nm	
400TR-01SNV215	M20.	M24.	1400
	Tmax:200Nm	Tmax:560Nm	

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se muestran los puntos en los que debe aplicarse el torque para apriete de la chumacera, con los datos de la tabla anterior:

Figura 18. Puntos de torque en chumaceras bipartidas



Fuente: Manual de transportador de bagazo.

2.2.4. Programa de tensión de cadena

El programa de tensión para una cadena debe ser cada 100 horas de trabajo continuo, para mantener la holgura de la cadena en los rangos recomendados, por lo que es de suma importancia realizar un programa que cumpla con dichos parámetros. Se hará conteo de horas para corroborar qué fecha es el siguiente ajuste, con esto se evita la elongación prematura de la cadena y los desgastes excesivos en los equipos, y habrá un ahorro en consumo energético.

Tabla XII. Programa de tensión de cadena

Programa de tensión de cadena			
No.	Horas	Fecha	Turno
1	0	16/11/2016	A
2	100	20/11/2016	B
3	200	24/11/2016	C
4	300	28/11/2016	A
5			

Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Programa de limpieza de bagazo acumulado en cadena

El programa de limpieza ocurre debido a la acumulación que se da entre los pasos de la cadena y la acumulación en los dientes de los *sprockets*, esto reduce la eficiencia de los conductores y aumenta el trabajo que el motor y el reductor realizan, por lo que es necesario colocar limpiadores que no permitan el paso del bagazo a la transmisión y colocarlos a lo largo del conductor para contribuir al libre movimiento de la cadena.

Tabla XIII. Programa de limpieza de bagazo

Programa de limpieza de bagazo acumulado			
No.	Fecha	Check	Turno
1	16/11/2016		A
2	17/11/2016		B
3	18/11/2016		C
4	19/11/2016		A

Fuente: elaboración propia.

2.3. Mantenimiento correctivo

Es aquel que se ocupa de la reparación una vez que se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o vehículo. En el mantenimiento correctivo planificado se elabora un plan en el que se prevé repuestos, mano de obra, etc.

- **Ventajas**

Si el equipo está preparado, la intervención en el fallo es rápida y la reposición en la mayoría de los casos será con el mínimo tiempo. No se necesita una infraestructura excesiva, un grupo de personas que conozcan las partes de la cadena para desarmar y poseer una prensa hidráulica será suficiente para realizar el trabajo, por lo tanto el costo de mano de obra será mínimo.

- **Desventajas**

Se producen paradas y daños graves en los equipos que pueden representar hasta una renovación del equipo y, lo más probable, es que estén fuera del presupuesto, además afectan la producción y la planificación de una manera incontrolada.

Se suele producir una baja calidad en las reparaciones debido a la rapidez en la intervención y a la prioridad de reponer antes de reparar definitivamente, por lo que se produce un hábito de trabajar defectuosamente, sensación de insatisfacción e impotencia, ya que este tipo de intervenciones a menudo generan otras, al cabo del tiempo, por mala reparación, por lo tanto será muy difícil romper con esta inercia.

2.3.1. Rotura de tablillas

Para montar las tablillas en los conductores se deben utilizar roldanas y arandelas de presión para garantizar un ajuste máximo entre la unión del aditamento A-42 (oreja) y la tablilla. ¿Por qué esta recomendación? Debido a las vibraciones que provoca el movimiento de las hileras de cadena sobre las pistas, los tornillos pierden apriete hasta que terminan de desenroscarse las tuercas, provocando que la tablilla se quiebre por el golpe y, además, esta ocasiona más roturas de tablillas en secuencia, provocando que la cadena se elongue y el paro del conductor en consecuencia.

Figura 19. Tablilla quebrada



Fuente: tomada en Ingenio Concepción S. A.

¿Qué hacer antes que se quiebren las tablillas en secuencia?

- Antes de montar las tablillas en el aditamento verificar que todas están en buen estado.

- En las inspecciones, observar que las tablillas estén en buen estado.
- Si se ve una tablilla quebrada, parar el conductor antes que se quiebren más.
- Tener tablillas, tornillos, roldanas y arandelas de presión cerca del conductor, para actuar lo más pronto posible y cambiarla inmediatamente.

Figura 20. Roldana de presión



Fuente: *Roldana de presión*. www.images/roldanas.com. Consulta: 2017.

2.3.2. Rotura de eslabones

Razones por las que un eslabón puede romperse:

- Fallas de fabricación
- Exceso de desgaste
- Exceso de tensión en cadena
- Armado de cadena con golpes

¿Qué hacer para evitar que suceda una rotura?

- Medidas actuales de las platinas comparadas con las medidas de fábrica.
- Si el desgaste máximo que indica el fabricante está muy cercano a los datos que resultaron de la medición de las piezas, realizar ensayo de líquidos penetrantes.
- Lubricar cadena para evitar el desgaste prematuro y que falle por fatiga de materiales.

2.3.3. Falla de cojinetes

Un cojinete puede fallar por múltiples razones:

- Mal montaje
- Falta de lubricación
- Utilizar lubricante o grasa de viscosidad no adecuada
- Exceso de lubricante o grasa
- Sobrecalentamiento
- Cumplimiento del tiempo de vida
- Cojinete no compatible para la aplicación
- Presencia de humedad en el lubricante

2.3.4. Repuestos necesarios para minimizar el tiempo de paro

- Llaves para armar y desarmar
- Prensa hidráulica
- Polipasto para subir los tramos de cadena al conductor
- Grasa para el pin de anclaje

- Tornillos, roldanas y arandelas de presión
- Tablillas de la medida utilizada en conductores
- Tramos de cadena cerca del conductor

2.4. Costos perdidos por paro

La planta eléctrica consta de 4 conductores movilizados con cadenas, estos son exclusivos para la movilización del bagazo hacia las calderas para la alimentación, debido a que este es utilizado como combustible. El conductor #2 es el que representa mayor grado de criticidad, debido a que si este conductor falla, automáticamente para el ingenio tanto la venta de energía como la producción de azúcar. Esto ocurre debido a que el vapor es consumido por los turbogeneradores y por la fábrica de azúcar, lo cual conlleva que si la producción de vapor es detenida, todas las funciones dependientes de ella también lo harán. Aproximadamente, el ingenio vende 17 megavatios a 50 dólares la unidad.

Ejemplo: el conductor #2 tuvo un paro inesperado, por rotura de cadena, desmontaje de los *sprockets* y fractura del eje; el paro tendrá una duración de 3 horas aproximadamente. Debe calcularse la pérdida en dólares en venta de energía al exterior:

- $17 \text{ Megavatios/h} \times 50 \text{ dólares} = 850 \text{ dólares/h}$
- $850 \text{ dólares/h} \times 3 = 2\,550 \text{ dólares}$
- R// Se pierden 2 550 dólares en 3 horas de paro, en venta de energía

Debido a que las calderas generan vapor para la fabricación de azúcar y tratamiento de jugo, si estas dejan de funcionar, la fábrica se ve afectada y

dejaría de producir azúcar; por lo que esta pérdida en dólares\$/hora es de 10 975.00. El cálculo está dado de la siguiente manera:

El ingenio tiene una molienda de 325 Ton/h y aproximadamente se producen:

$$33.80 \text{ Ton} \frac{\text{azúcar}}{h} * 320 \frac{\$}{\text{Ton}} = 10,975 \text{ \$/h}$$

En el siguiente cálculo por min, se le deben sumar 33 dólares por minuto debido a que es el costo por mano de obra detenida:

$$183 \frac{\$}{\text{min}} + \frac{33\$}{\text{min}} = 216 \frac{\$}{\text{min}} = 12,960.00 \text{ \$/h}$$

Por lo que en producción de azúcar se pierden 12,960 \$/h +850 \$/h por pérdida en venta de energía, esto es igual a 13,810 \$/h en pérdidas.

2.5. Mantenimiento en reparación

Es la temporada de finalización de zafra y todo el personal administrativo y operativo inician con los preparativos para proveer mantenimiento a toda la maquinaria para iniciar el siguiente periodo de producción.

2.5.1. Procedimiento actual

- Quitar el pin de anclaje del empalme
- Desarmar por tramos con martillo

Figura 21. Tramos de cadena sobre tarima



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Quitar los seguros de los pines de cada eslabón

Figura 22. Colaborador desarmando cadena



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Quitar los pines con martillo

Figura 23. Desmontaje de partes con martillo



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Desarmar la cadena en partes

Figura 24. Colaborador alineando eslabones a golpes con martillo



Fuente: tomada en Ingenio Concepción S. A.

Figura 25. Cadena en partes



Fuente: tomada en Ingenio Concepción S. A.

- Limpieza de corrosión

Figura 26. Limpieza en piezas



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Dejar secar las piezas

Figura 27. Secado de eslabones de cadena



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Limpiar el exceso del desoxidante en partes de cadena

Figura 28. Limpieza de excedente de desoxidante



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Ordenar los componentes de cadena

Figura 29. Organización de piezas limpias



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Inicio del armado de cadena

Figura 30. Colaborador sacando pines con martillo



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

Desechar piezas inservibles

Figura 31. Rodillos discontinuados



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

Figura 32. Bujes con desgaste excesivo



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Armar tramos de cadena (golpe en la cabeza del pin)

Figura 33. Ensamble de cadena con martillo



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Medir tramos de cadenas y formar parejas

Figura 34. Medición de tramos de cadena (pares)



Fuente: tomada en Ingenio Concepción

- Ordenar las parejas.
- Llevar los tramos cerca del conductor.
- Limpiar el conductor para facilitar el montajeSubir los tramos en parejas al conductor e iniciar el anclaje de tramos.

2.5.1.1. Ventajas

- Fácil aprendizaje
- Uso de herramientas sencillas como martillo y cincel
- Bajo costo en herramientas

2.5.1.2. Desventajas

- Golpe a las piezas, ocasionando micro-fisuras en algunos casos
- Selección de piezas por experiencia
- El procedimiento lleva más tiempo
- Piezas desechadas por exceso de desgaste después de limpiarlas
- Elongación de cadena prematura
- Falla de piezas por fatiga
- Disminución de la vida útil de los equipos

2.5.2. Procedimiento propuesto

- Desarmar en tramos la cadena con prensa hidráulica

Figura 35. Presa portátil para desmontaje de cadena



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Medición de desgaste por medio de la fórmula de elongación ejemplificada anteriormente; en el caso de la cadena para el conductor #2.
- Desarmar las piezas de la cadena con prensa hidráulica.

Figura 36. Prensa estacionaria desmontaje de pin



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

- Para las demás cadenas: medición de diámetros de rodillo, bujes, pin y platinas, para comparar el desgaste con las medidas de piezas nuevas.

Tabla XIV. Medidas de partes de cadena

PIEZAS	Medida en pulg.	Medida en mm.	Max. Desgaste mm.
Rodillo diámetro exterior	3	76.2	73.7
Diámetro interior de rodillo	1 17/64	32.04	
Diámetro exterior de buje	1 1/4	31.75	30.75
Diámetro interior de buje	1 1/16	26.98	
Diámetro de pin	7/8	22.22	19.72

Fuente: elaboración propia.

- Fabricar plantillas con los diámetros de los máximos desgastes de cada pieza; las piezas que encajen en dicha medida serán desechadas.
- Realizar un ensayo de líquidos penetrantes a platinas para verificar que no tengan fisuras y evitar que se rompan durante la zafra.
- Realizar limpieza de corrosión a las piezas que hayan cumplido con las medidas para ser reutilizadas.
- Engrasar el pin para anclar eslabones.
- Utilizar herramienta hidráulica para llevar acabo la tarea.
- Armar en tramos cortos para facilitar el movimiento.
- Medir tramos y formar parejas.
- Llevarlas cerca del conductor.
- Alineación de ejes paralelos entre sí.
- Alineación de *sprockets* de eje motriz linealmente con los *sprockets* de eje de cola.
- Líquidos penetrantes a los cuñeros de los ejes para así verificar que no existan fisuras.
- Medición del paso de los *sprockets*.
- Armar cadena nuevamente con herramienta hidráulica portátil.

2.5.2.1. Ventajas

- Evita daños de piezas, porque no se arma con golpes
- Menos tiempo
- Orden y limpieza
- Criterio de selección de piezas
- Minimiza paros en zafra por falla de piezas
- Desgaste normal de cadena
- Funcionamiento de cadena estable

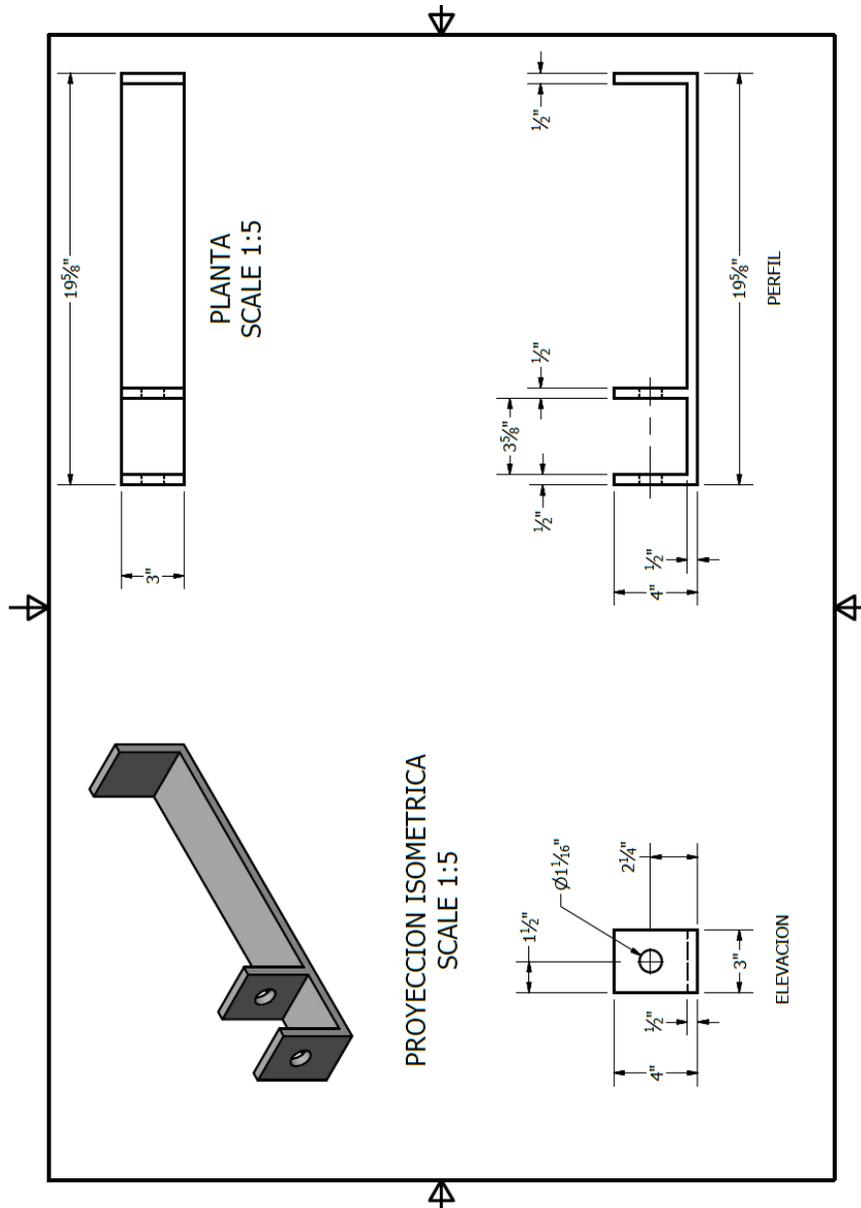
- Desgaste normal de dientes de *sprockets*
- Capacitación de personal

2.5.2.2. Desventajas

- Inversión inicial para compra de herramientas
- Desconocimiento del personal del uso de las herramientas
- Inversión en ensayos

2.5.2.3. Diseño de maquina hidráulica

Figura 37. Plano de máquina hidráulica



Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Ensayos no destructivos

Estos ensayos son utilizados para corroborar la integridad de la pieza y que no hayan fallas, en este caso fisuras que pueden presentarse en los ejes y en los eslabones de la cadena y provocar un accidente o un paro inesperado del equipo, como puede observarse en la siguiente figura, en la que se realizó ensayo de líquidos penetrantes al eje motriz del conductor #2 de bagazo.

Figura 38. Ensayo de líquidos penetrantes



Fuente: tomada en Ingenio Concepción.

3. FASE DE DOCENCIA

3.1. Capacitación al personal operativo

La capacitación al personal es una parte importante para el desarrollo del proyecto, pues son ellos los que llevan a la práctica la teoría y con estas buenas prácticas de mantenimiento se alarga la vida útil de los equipos; sin esta fase del proyecto quedarían archivados los documentos, por lo que dicha capacitación fue realizada en Ingenio Concepción y dada a personal operativo y personal de supervisión, para que puedan aplicar los conocimientos técnicos adquiridos.

Esta fase también implica un cambio de cultura y de costumbres, debido a que el personal está acostumbrado a desarmar a golpes las cadenas de los conductores y a dejar caer los lienzos desde elevadas alturas, así como a dejar las cadenas al aire libre bajo condiciones que no son aptas para el metal del que están fabricadas, y a no lubricarlas durante su funcionamiento, etc. Esto no solo implica una capacitación simple, sino de tratar de convencer a las personas para trabajar en la mejora continua. Utilizar herramientas adecuadas implica utilizar más tiempo, pero esto garantiza que el mantenimiento dará buenos resultados en el funcionamiento de los equipos en zafra. Este tipo de capacitaciones debe ser persuasivo, debido a que la mentalidad de los trabajadores en los ingenios es difícil.

El contenido de esta capacitación fue dado de la siguiente manera:

- Introducción del proyecto del plan de mantenimiento en conductores de bagazo y la necesidad de realizar un plan.
- Especificaciones técnicas de las cadenas 2184 con aditamento A-42.
- Importancia de utilización de prensa hidráulica para armar y desarmar las cadenas.
- Ventajas y desventajas de esta práctica de mantenimiento.
- Criterios para sección de piezas basados en mediciones con *vernier* (pie de rey).
- Uso de fórmula para el cálculo de elongación de cadena y cómo prevenir un desgaste prematuro y proyectar la vida útil.
- Recomendaciones para realizar una correcta lubricación.
- Importancia de la limpieza en los conductores y cómo la suciedad es igual al incremento en consumo energético.
- Recomendaciones en cambio de aceite a reductores de los equipos.
- Recomendaciones en la toma de datos de vibraciones en los motores, reductores y chumaceras de los conductores.
- Importancia de la alineación de la estructura en el lugar donde está montada la cadena y alineación de ejes y *sprockets*.

3.1.1. Criterios de selección de piezas

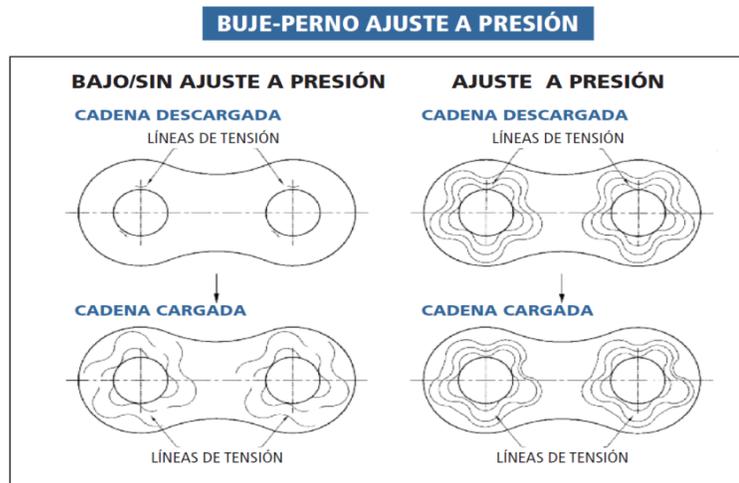
Debido a que se tienen piezas sometidas a desgaste se observa que es importante tener un criterio para seleccionar piezas y reutilizarlas. La práctica normal es por medio de inspección visual, para probar si no queda con poco ajuste la pieza; si ese fuera el caso, se cambia la pieza. Todas estas tienen una capa de desgaste que está tratada térmicamente. Se debe tener las medidas originales de las piezas para compararlas con las piezas que presentan un

desgaste, el criterio debe estar basado en esa capa tratada térmicamente, para saber qué porcentaje de desgaste tiene y cuántas horas de vida útil le quedan a la pieza. Este es un criterio de selección acertado y permite garantizar un mantenimiento eficiente.

3.1.2. Importancia del armado de cadena con prensa

Esta es una mejora en las prácticas de mantenimiento. Cuando se arman piezas con prensa hidráulica se garantiza la integridad de las piezas, con esto se sabe que no fue provocada ninguna micro fisura en los componentes de las cadenas, evitando el paro de cualquiera de los conductores, además, cuando se realiza esta práctica los pines son montados a presión, lo que provoca que las piezas estén sometidas en su composición tanto en carga como en descarga, dando una mayor vida útil al equipo y evitando la elongación prematura de la cadena.

Figura 39. Beneficios de montaje con prensa hidráulica



Fuente: Catálogo de Conexxus Chain.

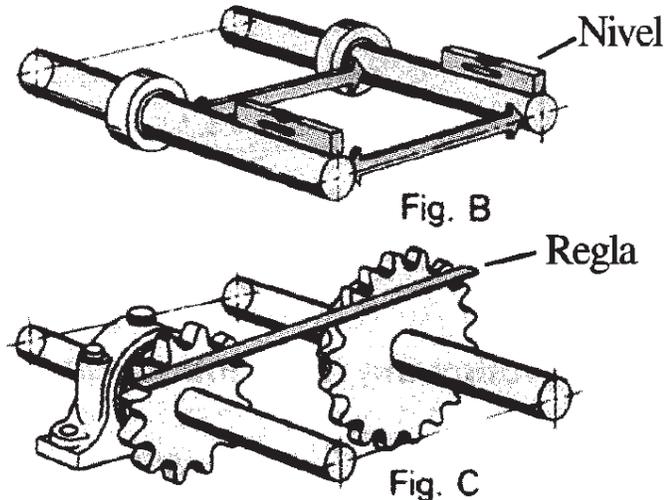
3.1.3. Consecuencias de armar a golpe de martillo

Cuando se realiza esta práctica, que desde muchos años atrás es realizada por los trabajadores de múltiples empresas para desarmar toda clase de equipos, desde reductores, cadenas, centrífugas, bombas, etc., se ocasionan daños, algunos pueden remediarse, otros no son descubiertos hasta que el equipo falla en funcionamiento y algunos otros no tienen solución. Esta práctica es sencilla, solo se necesita de un martillo y un cincel en algunos casos, por lo que cambiar esta cultura de mantenimiento no es tarea fácil, y no todos están abiertos a los cambios, pero es necesario enseñar y mejorar para garantizar el mantenimiento de cualquier equipo, utilizando prácticas innovadoras que permiten incluso un óptimo funcionamiento. Las consecuencias son:

- Desgaste de piezas
- Desajuste en los componentes
- Fallas prematuras
- Elongación acelerada de cadena
- Montaje de piezas dañadas
- Aumento de costos, por cambio de piezas en tiempos no programados
- Aumento en consumo energético

3.1.4. Alineación de ejes y *sprockets*

Figura 40. Ejemplo de nivelación de ejes y *sprocket*



Fuente: Intermecc S. A. Transmisión de potencia. Consulta: 2017.

Los ejes deben estar alineados entre sí, así como paralelos, esto garantiza que el desgaste de *sprockets* y cadenas será uniforme, lo cual ayuda a evitar la elongación prematura de la cadena, debido al desgaste de los componentes de los eslabones. Además ayuda a cuidar el equipo, también que los cojinetes, tanto de chumaceras como de reductor y motor, no fallen, pues si hay una desalineación esto provoca vibración en toda la estructura.

Las vibraciones externas afectan los equipos, ocasionando deterioro en sus componentes por la frecuencia provocada, por lo que, tanto la alineación de los ejes como de los *sprockets*, es de vital importancia.

Los conductores de los ingenios tienen un rango de desalineación aceptable en algunos casos, dado que los conductores son aproximadamente

de 60 m. de largo. Esa desalineación es casi nula, excepto cuando no hay un manejo adecuado de los tensores en la cola y puede caerse en el error de exceder la máxima desalineación permisible.

Figura 41. Demostración con nivel en conductor de bagazo #2



Fuente: tomada de Ingenio Concepción.

Cuando estas situaciones se dan, una cadena nueva puede perder toda la vida útil en un período de 6 meses. Es la degradación total de las piezas, perdiendo las capas tratadas térmicamente y diseñadas para desgaste.

3.1.5. Explicación de los resultados obtenidos en mediciones de piezas

Tabla XV. Medidas de pasadores

Cantidad	Diámetro pasador medido en pulg.	Desgaste de pasador en pulg.	Desgaste de pasador en mm.
1	55/64	1/64	0,3969
2	55/64	1/64	0,3969
3	55/64	1/64	0,3969
4	111/128	1/128	0,1984
5	111/128	1/128	0,1984
6	111/128	1/128	0,1984
7	111/128	1/128	0,1984
8	111/128	1/128	0,1984
9	111/128	1/128	0,1984
10	111/128	1/128	0,1984
11	111/128	1/128	0,1984
12	107/128	5/128	0,9922
13	107/128	5/128	0,9922
14	107/128	5/128	0,9922
15	107/128	5/128	0,9922
16	107/128	5/128	0,9922
17	107/128	5/128	0,9922
18	107/128	5/128	0,9922
19	107/128	5/128	0,9922
20	107/128	5/128	0,9922
21	107/128	5/128	0,9922
22	27/32	1/32	0,7938

23	27/32	1/32	0,7938
24	27/32	1/32	0,7938
25	27/32	1/32	0,7938
26	109/128	3/128	0,5953
27	109/128	3/128	0,5953
28	109/128	3/128	0,5953
29	109/128	3/128	0,5953
30	109/128	3/128	0,5953
	PROMEDIO	19/768	0,6284

Fuente: elaboración propia.

Generalmente se cataloga la vida útil de la cadena por el desgaste de su pin o pasador, aproximadamente estos tienen una capa de 3 mm. para desgastar, dicha capa tiene un tratamiento térmico, de cementación, revenido y temple por inducción. Cuando esta capa se desgastó por completo, queda el cuerpo de un material dúctil que ya no soportaría la carga de trabajo y las condiciones a las que está sometida la cadena, por lo que requiere un cambio de toda la cadena.

Como se ve en los resultados, los pines tienen un desgaste comparado con la medida original y la actual de 0,5 o 1 mm. de desgaste, esto significa que son reutilizables. Las piezas de medición en esta muestra van a la basura, debido al criterio anterior con el que se seleccionaban las piezas, que era por inspección visual, no por mediciones, por lo que para los mecánicos las piezas quedaban totalmente fuera de ajuste y se desechaban, pero al medir dichas piezas se observa que pueden ser reutilizadas.

Tabla XVI. Muestra de mediciones en bujes

Cantidad de bujes medidos	Diametro original en pulg.	Diametro con desgaste en pulg.	Diferencia de desgaste por uso en pulg.	Diferencia de desgaste por uso en mm.
1	1 ¼	1 7/32	0,031250	0,7938
2	1 ¼	1 7/32	0,031250	0,7938
3	1 ¼	1 7/32	0,031250	0,7938
4	1 ¼	1 7/32	0,031250	0,7938
5	1 ¼	1 9/64	0,109375	2,7781
6	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
7	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
8	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
9	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
10	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
11	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
12	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
13	1 ¼	1 17/75	0,023438	0,5953
14	1 ¼	1 8/33	0,007813	0,1984
15	1 ¼	1 8/33	0,007813	0,1984
16	1 ¼	1 8/33	0,007813	0,1984
17	1 ¼	1 8/33	0,007813	0,1984
18	1 ¼	1 8/33	0,007813	0,1984
19	1 ¼	1 8/33	0,007813	0,1984
20	1 1/4	1 8/33	0,007813	0,1984
21	1 1/4	1 8/33	0,007813	0,1984
22	1 1/4	1 8/33	0,007813	0,1984
23	1 1/4	1 4/19	0,039063	0,9922
24	1 1/4	1 4/19	0,039063	0,9922
25	1 1/4	1 4/19	0,039063	0,9922

26	1 ¼	1 4/19	0,039063	0,9922
27	1 ¼	1 4/19	0,039063	0,9922
28	1 ¼	1 4/19	0,039063	0,9922
29	1 ¼	1 3/16	0,062500	1,5875
30	1 ¼	1 11/64	0,078125	1,9844
31	1 ¼	1 1/4	0,000000	0,0000
32	1 ¼	1 1/4	0,000000	0,0000
33	1 ¼	1 1/4	0,000000	0,0000
34	1 ¼	1 1/4	0,000000	0,0000
35	1 ¼	1 11/64	0,078125	1,9844
36	1 ¼	1 8/33	0,007813	0,1984
37	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
38	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
39	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
40	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
41	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
42	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
43	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
44	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
45	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
46	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
47	1 ¼	1 15/64	0,015625	0,3969
48	1 ¼	1 13/64	0,046875	1,1906
49	1 ¼	1 8/41	0,054688	1,3891
50	1 ¼	1 11/64	0,078125	1,9844
		PROMEDIO	0,026094	0,6628

Fuente: elaboración propia.

Los bujes son componentes de la cadena destinados a ser el material de desgaste. Tienen de 1,0 a 1,2 mm de profundidad de tratamiento térmico, templado y revenido por inducción, y con una dureza de 58-62 HRC. Esta capa es la vida útil que tienen las piezas, cuando la misma se desgasta completamente es necesario cambiar el componente o toda la cadena.

La tabla que se muestra es un conteo de rodillos que fueron desechados, la medida original es de 1 ¼" y el desgaste de cada pieza fue medido en pulgadas, posteriormente se da la medida en milímetros. 7 piezas se encontraron con un desgaste que excede al desgaste máximo y 6 piezas con un desgaste cercano al límite, estas piezas por seguridad efectivamente debían desecharse, las otras 37 piezas tenían vida útil y fueron botadas a la basura, esto representa un costo para el proceso, pero el desconocimiento, la cultura y los criterios que son manejados dentro de los ingenios es fuerte, y por eso prefieren incrementar los costos para asegurar la zafra, puesto que si estos conductores se detienen, deben parar toda la operación en el ingenio, porque son los que movilizan el combustible hacia calderas.

3.2. Presentación de resultados

Figura 42. Representación gráfica de niveles en conductores de bagazo



Fuente: elaboración propia.

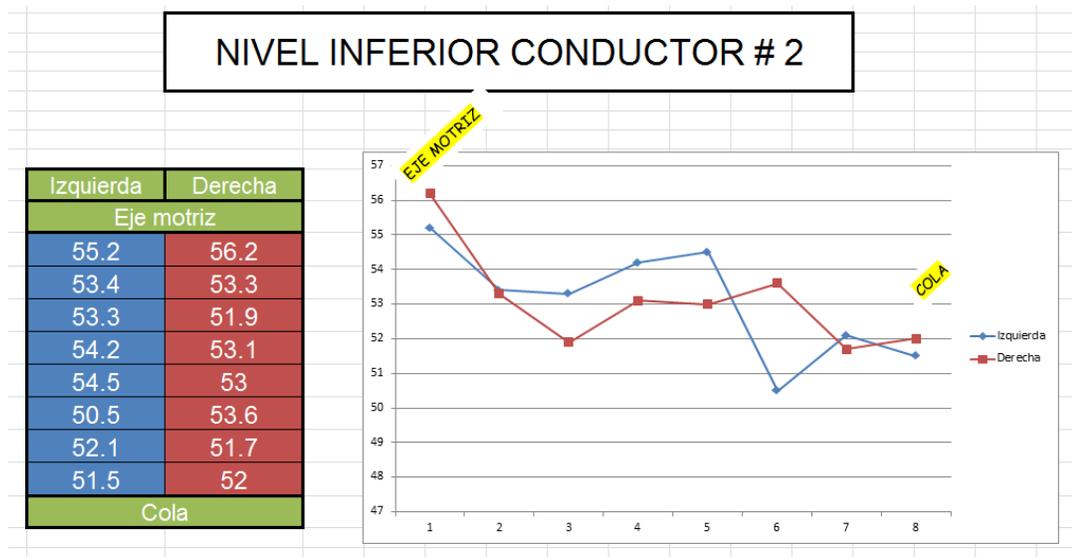
Figura 43. Representación gráfica de nivel superior en conductor de bagazo



Fuente: elaboración propia.

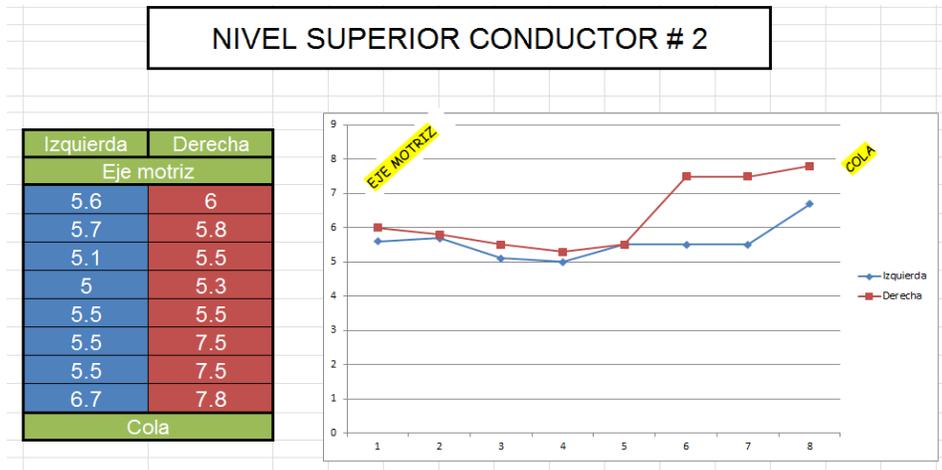
Estas gráficas representan datos de mediciones tomadas a través de topografía y muestran la desalineación respecto a un plano tridimensional de la estructura donde están encarriladas las cadenas.

Figura 44. Representación gráfica de paredes inferiores en conductores de bagazo



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Representación gráfica de paredes superiores en conductores de bagazo



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El diseño de las cadenas coincide con las especificaciones proporcionadas por el fabricante. Estudiar los manuales de cualquier equipo es importante para saber si es correcta la aplicación y evitar daños prematuros por un mal manejo del equipo.
2. La revisión de la transmisión, chumaceras y acoples es necesaria, debido a que son parte fundamental para conducir la energía mecánica, por lo que deben ser de alta calidad y tener un programa de mantenimiento adecuado, puesto que la lubricación es fundamental para mantenerlos, así como la alineación entre *sprockets* y ejes para garantizar un funcionamiento ideal.
3. Las partes críticas de los ejes son donde van montadas las piezas de transmisión, porque es donde está la máxima torsión, debido al ajuste que tiene la pieza con el eje, la cuña y su chaveta, que permiten el movimiento sin que haya deslizamiento entre piezas, por lo que es importante que haya un seguimiento estricto, ensayos de líquidos penetrantes y ultrasonidos a los ejes para corroborar que no tengan fisuras.
4. Es importante que la alineación estructural de las paredes por donde se conduce el bagazo de caña esté garantizada, debido a que, tanto el motor como el reductor y la cadena, sufren desgaste y realizan trabajo extra, por la oposición al movimiento que ocurre al friccionar con las paredes.

5. Con la realización de un plan de mantenimiento se puede garantizar un funcionamiento estable de los equipos, realizando los distintos tipos de mantenimiento necesarios para minimizar costos, evitando cambios prematuros de motores, reductores, cojinetes, chumaceras, *sprockets* y cadenas, además, esto contribuye a la eficiencia de los conductores, disminuyendo consumo energético y evitando paros no programados, que solo ocasionan pérdidas de miles de dólares.

6. Con el análisis del funcionamiento de los equipos que conforman los conductores es posible no solo un ahorro energético sino en repuestos, realizando una inspección minuciosa con ayuda de las medidas proporcionadas por fabricantes.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento al plan de mantenimiento para hacer posibles los cambios en las prácticas con los equipos, debido a que desde siempre se realizan las prácticas primitivas de mantenimiento (golpes).
2. Debido a la necesidad de limpieza en los rodillos de las cadenas, es necesario mejorar los dispositivos de limpieza y ajustarlos cuando sea necesario.
3. Debido a las condiciones de trabajo de los conductores, el aceite no debe faltar para lubricar la cadena, pues ahora mismo, después de que se acaba, los trabajadores no colocan más.
4. Para el funcionamiento óptimo de las cadenas estas deben tener *sprockets* de fábrica y no cortados de lámina, por no tener estándares de calidad, además que así contribuyen al desgaste de la cadena.
5. Por medio del aprendizaje del funcionamiento de estos equipos, es necesario realizar un análisis de la estructura por donde se conducen las cadenas y realizar las alineaciones correspondientes, para tener un conductor completamente alineado, sin desniveles que perjudiquen la libre conducción del bagazo.

BIBLIOGRAFÍA

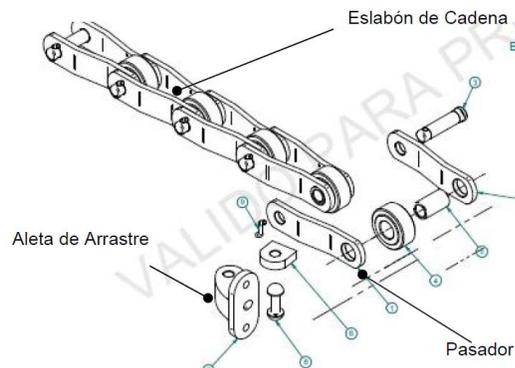
1. BATULE, Eduardo. *La clarificación del jugo de caña y la meladura*. Serie azucarera 15. 281 p.
2. CENGICAÑA. *Boletín estadístico*. No. 1 año 11. 15 p. [Consulta: 2017].
3. CHEN, James C. P. *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa, 1991. 1201 p.
4. DOUNCE, Enrique. *La productividad en el mantenimiento industrial*. 2a. reimpresión. México: CECSA, 2000. 295 p.
5. *Elaboración de azúcar*. [en línea]
<<http://www.perafan.com/azucar/ea02bibl.html#canesug>>. [Consulta: 8 de marzo de 2012].
6. *Fabricación de azúcar*. [en línea]
<http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_obtencion.php>. [Consulta: 5 de marzo de 2012].
7. FORJAS BOLÍVAR S. A. *Control de montaje y operación de cadena 2184*. [Consulta: 2017].
8. GARRIDO, Santiago. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. España: Díaz de Santos, 2003. 234 p.

9. HUGOT, E. *Handbook of cane sugar engineering*. 3a ed. New York: Elsevier. 1986. 911 p.
10. Ingenio Concepción. *Folleto informativo del ingenio*. Guatemala: Ingenio Concepción, 2011. 2 p.
11. INTERMEC S.A. *La transmisión de potencia por cadena de rodillos*. 5ta. Edición, págs. 1-80.
12. Pantaleón Sugar Holdings. *Historia de Pantaleón*. [en línea] <<http://www.pantaleon.com/historia>>. [Consulta: 13 de julio de 2016].
13. REIN, Peter, *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlin: Bartens KG, 2012. 720 p.
14. SUMITOMO. *Paramax 9000. Manual de mantenimiento*. Año 2007, págs. 1-30

APÉNDICE

Item	Descripción	Material	Cant/Und	Peso/Und
1	PLATINA LADO PIN 214x52x10mm	AISI/SAE 1045	5	0.746 kg
2	PLATINA LADO CABEZA 214x52x10mm	AISI/SAE 1045	5	0.745 kg
3	PASADOR ϕ 22.2x98mm	AISI/SAE 4140 BONF.	5	0.295 kg
4	RODILLO ϕ 76x ϕ 32	AISI/SAE 1045	5	0.909 kg
5	BUJE ϕ 35x55mm	AISI/SAE 8620	5	0.176 kg
6	ADITAMENTO A-42	AISI/SAE 1045	1	0.290 kg
7	FLIGHT WING 2 C FB	FUNDICION NODULAR.	1	1.361 kg
8	REMACHE 5-8"x64mm	AISI/SAE 4140	1	0.160 kg
9	PIN- ϕ 5-16"	AISI 304	5	0.018 kg

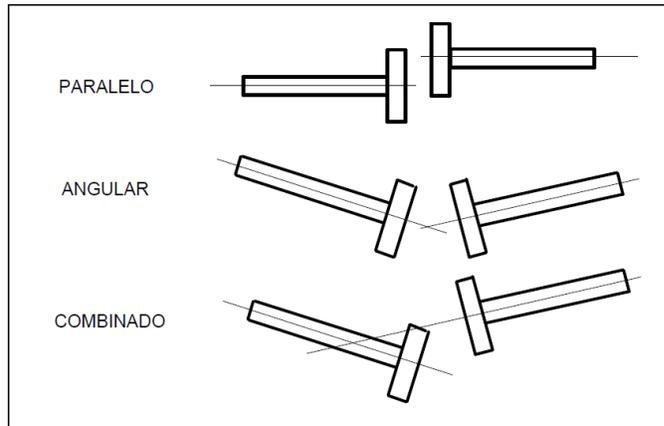
Fuente: Manual de montaje y operación cadena 2184.



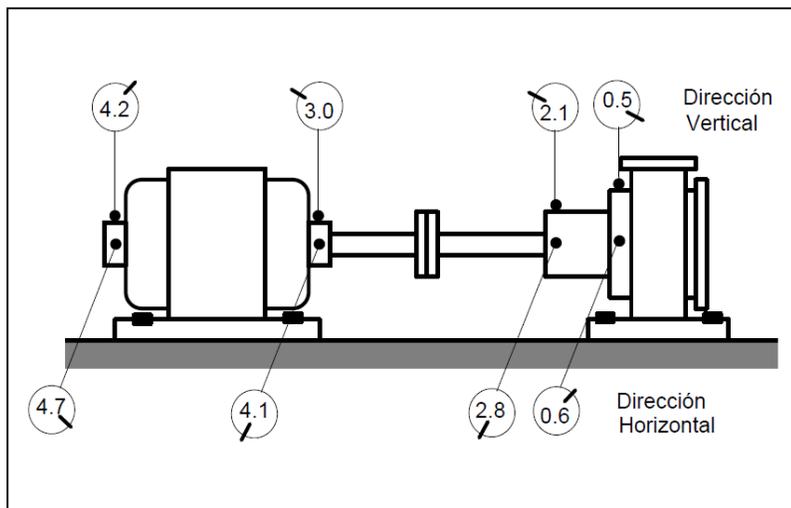
Fuente: Manual transportador de bagazo.

45.00	No	No	No	No
28.00				Permissible
18.00				Permissible
11.20				Límite
7.10				Límite
4.50	Límite	Admisible	Admisible	Admisible
2.80				Admisible
1.80				Admisible
1.12	Admisible	Normal	Normal	Normal
0.71				Normal
0.45				Normal
0.28				Normal
0.18				Normal
-	Máquinas Pequeñas	Máquinas Medianas	Máquinas grandes	Máquinas grandes
Vel. [mm/s]	(<15 kW)	(15-75 kW) (300 kW, soporte especial)	(base rígida) (>75 kW)	(alta velocidad) (>75 kW)

Fuente: Criterio de severidad de vibraciones acorde norma ISO 2372

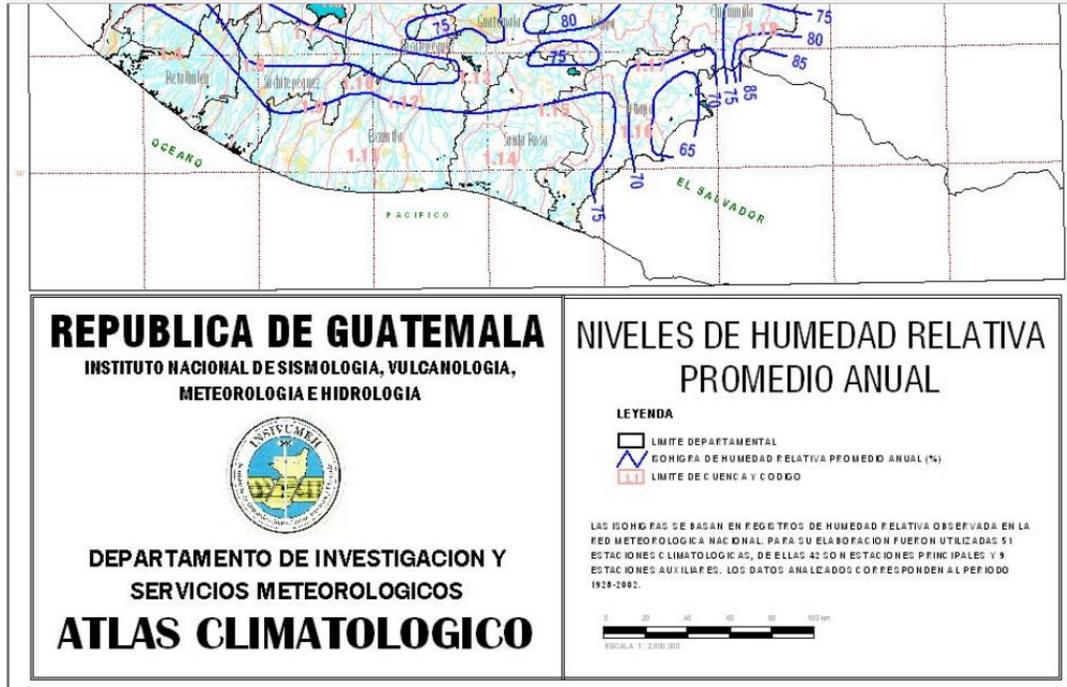


Fuente: Formas prácticas de desalineamiento de ejes.



Fuente: Análisis de vibraciones nivel I

ANEXOS



Fuente: Niveles de humedad relativa. <http://www.insivumeh.gob.gt/> Consulta: 2017.

Type of Bearing*	Type of Pin or Race	Lubrication	F ₁
Smooth Core	C.R.S. Pin	None	.40-.50
		Greased	.35
Machined Bore	C.R.S. Pin	None	.25-.35
		Greased	.20-.25
Babbitted	C.R.S. Pin	Greased	.15
Roller Bearing	Hardened Race	Greased	.10
Ball Bearing	Hardened Race	Greased	.07

*Chain Rollers

D = Roller Diameter in Inches
d_r = Roller Bore in Inches (See table)

HP = Horsepower at Head Shaft

$$HP = \frac{1.1 P_H S}{33,000}$$

J = Load on Chain due to Material sliding against Skirt Boards

$$J = \frac{Ch^2}{R} \text{ where:}$$

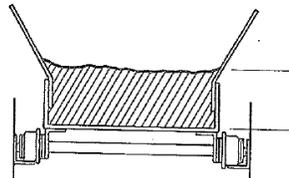
C = Length of conveyor in feet

h = Height of material in inches

R = Variable factor for different materials

3/4	1.125	1 1/8	2.375
7/8	1.250	2	2.500
1	1.375		

MATERIAL	R
Coal - carbon	14.0
Coke	35.0
Limestone - caliza	7.5
Gravel - grava	7.0
Sand - arena	5.5
Ashes - cenizas quemadas	14.0



A-3353-A

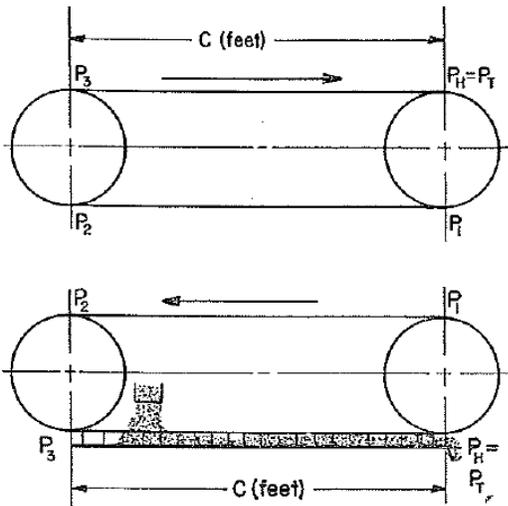
Fuente: Manual de transportadores Jeffrey.

Material	Fw	Material	Fw
Ashes	.45-.55	Lime, pebble	50-.60
Bagasse	.35-.45	Sand, dry	60-.70
Beans	.30-.40	Sand, damp	70-.80
Cement	.80	Sand, Foundry	
Coal, Anth.	.30-.50	Shakeout	60-.70
Coal, Bit.	.45-.50	Tempered	65-.75
Coke	.45-.55	Stone	45-.60
Clay	.60-.70	Wood Chips	35-.45
Gravel	.40-.55		

MAXIMUM SPEEDS IN F.P.M.
FOR ALL CONVEYOR CHAINS

No. of Teeth in Sprocket	Pitch in Inches					
	2	4	6	9	12	18
6	254	180	147	120	104	85
7	297	210	171	140	121	99
8	340	240	196	160	138	113
9	382	270	220	180	155	127
10	425	300	245	200	173	141
11	466	330	270	220	190	156
12	509	360	294	240	207	170
13	551	390	318	260	224	184
14	594	420	343	280	242	198
15	636	450	367	300	259	212

Fuente: Manual de transportadores Jeffrey.



MATERIAL CARRIED ON CHAIN

Horizontal

Note: For chains sliding on runways, substitute F_M for F_R

$$P_1 = 0$$

$$P_2 = CF_R M$$

$$P_3 = 1.1P_2$$

$$P_T = P_H = CF_R(2.1M + W) + J$$

CHAIN ROLLING AND MATERIAL SLIDING

Horizontal

Note: For chains sliding on runways, substitute F_M for F_R

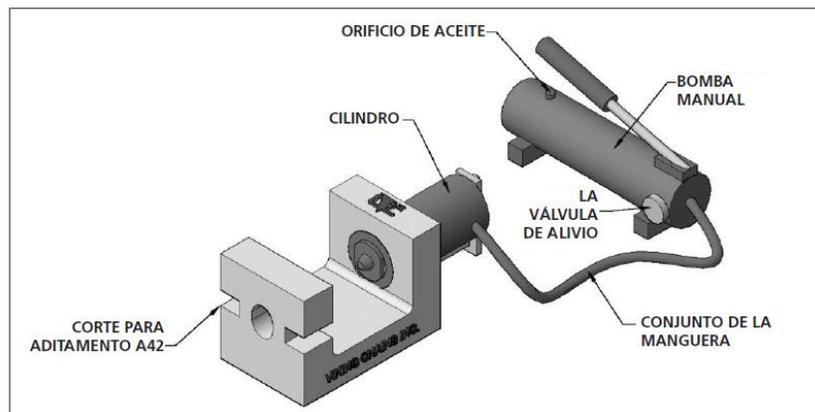
$$P_1 = 0$$

$$P_2 = CF_R M$$

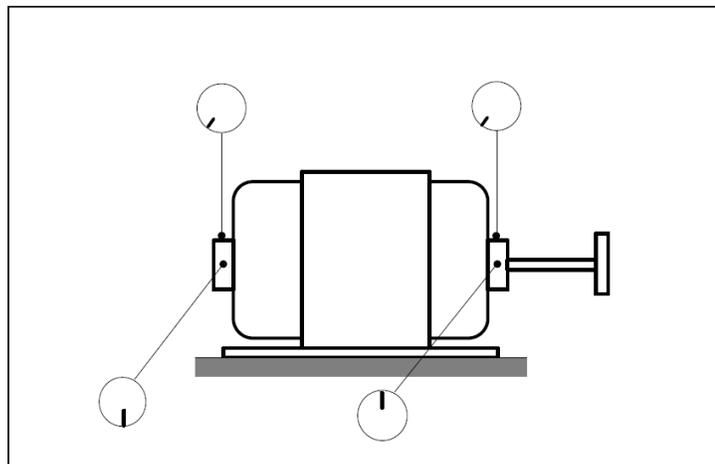
$$P_3 = 1.1P_2$$

$$P_T = P_H = C(2.1F_R M + F_W W) + J$$

Fuente: Manual de transportadores Jeffrey.



Fuente: Catálogo de Conexus Sugar Industries.



Fuente: Análisis de vibraciones nivel I

