



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

**ANÁLISIS DE DESGASTE Y CONTROL DE DEFORMACIÓN DE LAS CADENAS
RIVETLESS 698 UTILIZADA EN LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS DE LOS
MOLINOS DEL TÁNDEM B, ZAFRA 2013-2014, INGENIO MAGDALENA, S. A.**

Angel José Francisco González Guerra

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE DESGASTE Y CONTROL DE DEFORMACIÓN DE LAS CADENAS
RIVETLESS 698 UTILIZADA EN LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS DE LOS
MOLINOS DEL TÁNDEM B, ZAFRA 2013-2014, INGENIO MAGDALENA, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANGEL JOSÉ FRANCISCO GONZÁLEZ GUERRA
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

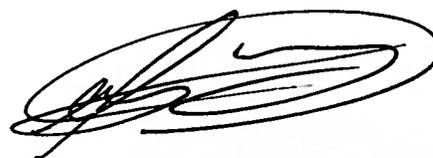
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DE DESGASTE Y CONTROL DE DEFORMACIÓN DE LAS CADENAS RIVETLESS 698 UTILIZADA EN LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS DE LOS MOLINOS DEL TÁNDEM B, ZAFRA 2013-2014, INGENIO MAGDALENA, S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 28 de febrero de 2014.



Angel José Francisco González Guerra



Guatemala, 10 de noviembre de 2014
REF.EPS.DOC.1118.11.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Angel José Francisco González Guerra** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200819189, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **ANÁLISIS DE DESGASTE Y CONTROL DE DEFORMACIÓN DE LAS CADENAS RIVETLESS 698 UTILIZADA EN LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS DE LOS MOLINOS DEL TÁNDEM B, ZAFRA 2013-2014, INGENIO MAGDALENA S.A..**

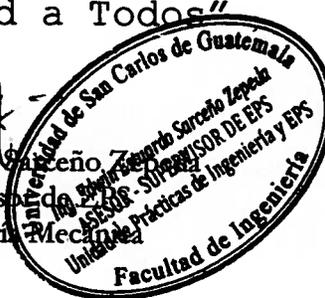
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Guzmán
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EESZ/ra



Guatemala, 10 de noviembre de 2014
REF.EPS.D.662.11.14

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ANÁLISIS DE DESGASTE Y CONTROL DE DEFORMACIÓN DE LAS CADENAS RIVETLESS 698 UTILIZADA EN LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS DE LOS MOLINOS DEL TÁNDEM B, ZAFRA 2013-2014, INGENIO MAGDALENA S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Angel José Francisco González Guerra** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Director de la Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado, al trabajo de graduación “ANÁLISIS DE DESGASTE Y CONTROL DE DEFORMACIÓN DE LAS CADENAS RIVETLESS 698 UTILIZADA EN LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS DE LOS MOLINOS DEL TÁNDEM B, ZAFRA 2013-2014, INGENIO MAGDALENA, S. A.”, del estudiante Angel José Francisco González Guerra, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio Cesar Campos Paiz
DIRECTOR



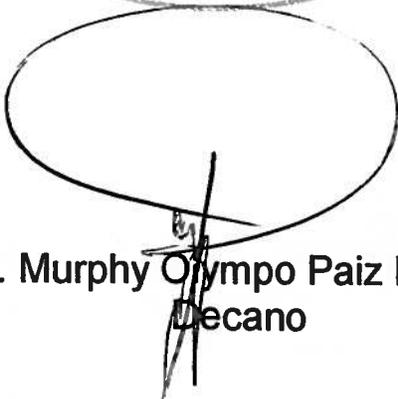
Guatemala, noviembre de 2014

/behdei,



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: **ANÁLISIS DE DESGASTE Y CONTROL DE DEFORMACIÓN DE LAS CADENAS RIVETLESS 698 UTILIZADA EN LOS CONDUCTORES INTERMEDIOS DE LOS MOLINOS DEL TÁNDEM B, ZAFRA 2013-2014, INGENIO MAGDALENA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Angel Jose Francisco González Guerra**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, octubre de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme sabiduría, guiarme y colmarme de bendiciones.
Mis padres	Francisco Celestino González Coronado y Azalia Magaly Guerra Ralda de González, por guiarme por el buen camino, ser ejemplo de dedicación, esfuerzo, amor y apoyo incondicional.
Mis hermanas	María de los Angeles y Andrea Conchita González Guerra, por su cariño, comprensión y apoyo.
Mi sobrina	Fátima Sophía Sagastume González, por su cariño.
Mi cuñado	Manuel de Jesús Sagastume Martínez, por su apoyo y cariño brindado.
Mis abuelos	Angel José Ramón González Álvarez (q.e.p.d.), y Mirtha Concepción Coronado Vela de González, José Guerra Aceituno y Marta Alicia Ralda de Guerra (q.e.p.d.), por su amor, apoyo
Mis tíos	y sabios consejos.

Mis tíos

Harold Estuardo Guerra Ralda, Angel Francisco, Jorge Emilio, Angel José Ramón y Antonio Adolfo González Coronado, por su cariño, apoyo y sabios consejos.

Mis primos

Por su cariño y apoyo.

Mi novia

Stacy Thamara Chacón Avilés, por su cariño incondicional y apoyo en el transcurso de mi carrera.

Mi amigo

Juan Antonio Rivera Ticas, por su apoyo y sincera amistad compartida durante muchos años de mi vida.

Mis amigos

André Juárez, Ricardo González, Diego Nájera, Rubén Larrañaga, Jonathan Sandoval, Axel Guzmán, Byron Quelex, Leonel Barrera, Kenneth Figueroa y Erick Monroy, por su apoyo y sincera amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por ser quien me bendice con sabiduría y guía mis pasos todos los días de mi vida.
- Mi asesor** Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda, por su comprensión, apoyo y consejos para realizar el presente trabajo de graduación.
- OPTESA** En especial al ingeniero agrónomo Nicolás Acevedo, por su colaboración, apoyo y brindarme la oportunidad de realizar la práctica final en la empresa que eficientemente dirige.
- Ingenio Magdalena** Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado y por su apoyo incondicional.
- USAC** Por ser mi alma mater y brindarme la mejor educación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Generalidades de la empresa.....	1
1.1.1. Ubicación.....	2
1.1.2. Reseña histórica	4
1.1.3. Misión	5
1.1.4. Visión.....	5
1.1.5. Política de calidad.....	5
1.2. Estudio de ahorro de costos en el consumo de agua potable al instalar un purificador de agua	6
1.2.1. Costos del consumo de agua potable antes de la instalación del purificador de agua.	7
1.2.2. Purificador de agua.....	10
1.2.2.1. Cotización del sistema de purificación del agua.....	12
1.2.3. Ahorro de costos en el consumo de agua potable..	12
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	17
2.1. ¿Qué es un tándem?	17

2.2.	Descripción de los molinos de caña	18
2.3.	Función de los molinos de caña	20
2.4.	Principales componentes de los molinos de caña de azúcar ...	20
2.4.1.	Bancazo	20
2.4.2.	Virgen.....	21
2.4.3.	Chumacera plana	22
2.4.4.	Mazas de molinos	22
2.4.4.1.	Maza superior.....	24
2.4.4.2.	Maza cañera.....	25
2.4.4.3.	Maza bagacera.....	26
2.4.4.4.	Cuarta maza	27
2.4.5.	Acumulador de presión.....	28
2.4.6.	Bomba de presión hidráulica	29
2.4.7.	Cabezote hidráulico.....	30
2.4.8.	Raspadores	32
2.4.9.	Cuchilla central.....	32
2.4.10.	Coronas.....	33
2.5.	Conductor intermedio	34
2.5.1.	Conductor intermedio de cadena y tablillas.....	35
2.5.2.	Motor	38
2.5.3.	Reductor.....	39
2.5.4.	<i>Sprocket</i>	40
2.5.5.	Tolva Donelly.....	41
2.6.	Análisis de la cadena Rivetless 698	42
2.6.1.	Fuerzas y condiciones en que trabaja la cadena Rivetless 698, en los conductores intermedios del tándem B	44
2.6.2.	Medición del corrimiento por tensado y variación del paso de la cadena Rivetless 698	54

2.6.3.	Medición del desgaste de pasadores en la cadena de arrastre Rivetless 698, de los conductores intermedios del tándem B.....	64
2.6.4.	Medición del porcentaje de desgaste en 5 pies de cadena de arrastre Rivetless 698	71
2.7.	Propuesta para la mejora del funcionamiento de la cadena y alargar la vida útil de la misma.....	75
3.	FASE DE DOCENCIA	77
3.1.	Importancia de la seguridad industrial	77
3.2.	Presentación de problemas comunes que se dan en las cadenas de arrastre Rivetless 698	81
3.3.	Presentación de las condiciones en las que debe trabajar la cadena Rivetless 698	84
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Foto aérea del Ingenio Magdalena.....	2
2.	Ubicación del Ingenio Magdalena	3
3.	Sistema de purificación del agua.....	11
4.	Rayado de maza (cilindro)	18
5.	Virgen del molino 2 del tándem B.....	21
6.	Chumacera desgastada y retirada	22
7.	Maquinación del rayado del cilindro (maza)	23
8.	Maza superior perforada del tercer molino del tándem B, desmontada para reparación.....	24
9.	Maza cañera del molino 1 del tándem B, desmontada para reparación	25
10.	Maza bagacera del molino 2 del tándem B, desmontada para reparación	26
11.	Cuarta maza del molino 3 del tándem B, desmontada para reparación	27
12.	Posición de las mazas en los molinos.....	28
13.	Acumuladores de presión, antes de desmontar para reparación	29
14.	Cabezote hidráulico de molino 2 del tándem B	30
15.	Cabezote hidráulico de molino 3 del tándem B después del mantenimiento y reparación	31
16.	Cuchilla central y puente del molino 3 del tándem B, después de hacerles mantenimiento	33
17.	Cadena Rivetless 698 con barra de fijación del tándem B	36

18.	Tablillas utilizadas en los conductores intermedios del tándem B, en el Ingenio Magdalena.....	37
19.	Conductor intermedio de cadena y tablillas del tándem B, entre los molinos 2 y 3.....	38
20.	Conductor intermedio que descarga en tolva Donnelly.....	42
21.	Cadena de arrastre Rivetless 698.....	43
22.	Partes del pasador de la cadena de arrastre Rivetless 698.....	64
23.	Pasador desgastado del conductor intermedio 2, del tándem B.....	65
24.	Ensayo de líquidos penetrantes realizado a pasadores del inclinado 1 del tándem B.....	65
25.	Ensayo de partículas magnéticas realizado a pasadores del inclinado 1 del tándem B.....	66
26.	Falla en una cabeza del pasador.....	81
27.	Falla en las dos cabezas del pasador.....	82
28.	Desgaste del pasador de la cadena Rivetless 698.....	82
29.	Falla por sobreesfuerzo en una placa del eslabón hembra.....	83
30.	Pasador afectado por la abrasión.....	84
31.	Embagamiento de eslabón hembra de la cadena Rivetless 698 del conductor intermedio 1.....	85

TABLAS

I.	Costos de agua potable del 01-11-10 al 31-10-11.....	8
II.	Costos de agua potable del 01-11-11 al 31-10-12.....	9
III.	Costos de agua potable del 01-11-12 al 31-10-13.....	13
IV.	Costos de agua potable del 01-11-13 al 30-06-14.....	14
V.	Especificaciones referente a los motores de los conductores intermedios del tándem B.....	39

VI.	Especificaciones referente a los reductores, de los conductores intermedios del tándem B.....	40
VII.	Medidas de la cadena Rivetless 698	43
VIII.	Cálculo de RPM en el <i>sprocket</i> del conductor intermedio, del tándem B	46
IX.	Par que genera el motor en el eje motriz de la cadena Rivetless 698	47
X.	Tensión generada por el par del motor	48
XI.	Cálculo de la potencia necesaria para vencer la fricción sin bagazo en los conductores intermedios del tándem B.....	49
XII.	Potencia necesaria para vencer la fricción generada por el bagazo en los conductores intermedios, tándem B	50
XIII.	Potencia necesaria para elevar el bagazo en los conductores intermedios del tándem B	51
XIV.	Potencia total necesaria en los conductores intermedios del tándem B	52
XV.	Tensión en cadena de los conductores intermedios por potencias totales necesarias en el tándem B.....	53
XVI.	Tensión total en cadena Rivetless 698 en conductores intermedios del tándem B	54
XVII.	Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 1, del tándem B.....	55
XVIII.	Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 2, del tándem B.....	56
XIX.	Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 3, del tándem B.....	57
XX.	Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 4, del tándem B.....	58

XXI.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 13/01/2014	59
XXII.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 20/01/2014	59
XXIII.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 27/01/2014	60
XXIV.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 10/02/2014	60
XXV.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 17/02/2014	61
XXVI.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 11/03/2014	61
XXVII.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 10/04/2014	62
XXVIII.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 23/04/2014	62
XXIX.	Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 12/05/2014	63
XXX.	Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 1, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que falló el 10/05/2014	66
XXXI.	Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 1, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014	67
XXXII.	Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 2, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014	68

XXXIII.	Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 3, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014	69
XXXIV.	Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 4, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014	70
XXXV.	Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 1 del tándem B, retirada por falla el 10/05/2014	71
XXXVI.	Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 1 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014	72
XXXVII.	Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 2 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014	73
XXXVIII.	Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 3 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014	74
XXXIX.	Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 4 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014	75

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
Hp	Caballos de fuerza
μ	Coefficiente de fricción
\emptyset	Diámetro
l	Distancia
m_f	Flujo másico
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
g	Gravedad
kg	Kilogramo
kW	Kilo Watts
lb	Libra
psi	Libra por pulgada cuadrada
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
m	Masa
<	Menor que
m	Metro
mm	Milímetro
W	Peso
%	Porcentaje
P	Potencia
PU	Precio Unitario

pulg	Pulgada
qq	Quintal
r	Radio
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundo
TC	Tonelada cúbica
TM	Tonelada métrica
<i>v</i>	Velocidad
V	Volumen

GLOSARIO

Abrasión	Acción y efecto de raer o desgastar por fricción.
Bagazo	Residuo de una materia de la que se ha extraído el jugo.
Cadena	Serie de muchos eslabones enlazados entre sí. Se hacen de hierro, plata y otros metales o materias.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Corona	Engranaje tallado en una pieza metálica con grandes dimensiones.
Corrosión	Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.
Eje	Pieza mecánica generalmente con forma cilíndrica que transmite el movimiento de rotación en una máquina.
Embagazado	Elemento mecánico que se cubre con bagazo.
Fermentación	Acción y efecto de degradarse por acción enzimática, dando lugar a productos sencillos, como el alcohol etílico.

FSSC	Food Safety System Certification.
Intrínseco	Íntimo, esencial o propio de él.
Maza	Cilindros horizontales que componen el trapiche de los ingenios de azúcar y se utilizan para extraer el jugo de la caña.
Molienda	Porción o cantidad de caña de azúcar, trigo, aceituna, chocolate, entre otros, que se muele de una vez.
Molino	Máquina para moler, compuesta de una muela, una solera y los mecanismos necesarios para transmitir y regularizar el movimiento producido por una fuerza motriz.
Par	Sistema de dos fuerzas iguales paralelas, de sentidos contrarios y aplicadas en dos puntos distintos, que crean un movimiento de rotación.
SKF	Svenska Kullagerfabriken.
Sprocket	Rueda dentada utilizada ya sea en una transmisión por engranaje, cadena de transmisión o correa de transmisión. También se conoce como engranaje.

RESUMEN

En la costa sur de Guatemala muchas empresas se dedican a la extracción de azúcar de la caña, la más grande en producción es Ingenio Magdalena, S. A., ubicado en la Finca Bugarvilia, La Democracia, Escuintla.

Uno de los mayores problemas que se dan en los tándem es la falla de las cadenas Rivetless 698 utilizadas en los conductores intermedios. Debido a que la falla de la misma implica de 4 a 6 horas de paralización del proceso de molienda, generando pérdidas millonarias.

Los cuatro conductores intermedios del tándem B cuentan con dos cadenas de arrastre Rivetless 698, las que se analizaron para observar las condiciones en que trabajan.

Entre las condiciones en las que trabajan las cadenas están:

- Abrasión: generada por el bagazo.
- Corrosión: ocasionada por la acidez del jugo de caña.
- Esfuerzos cíclicos: resultado del trabajo constante.
- Embagazamiento: se produce por la maceración, el bagazo se acumula en la cadena y es comprimido por el *sprocket*.

Se analizó el desgaste de los pasadores y de la cadena, la deformación del paso, el corrimiento por tensado de cadena, las fuerzas tensionantes y las condiciones en las que trabaja.

OBJETIVOS

General

Analizar el comportamiento de la cadena Rivetless 698 utilizada en los conductores intermedios de los molinos del tándem B, en el Ingenio Magdalena.

Específicos

1. Estudiar los cambios, que sufre la cadena Rivetless 698, durante el tiempo de zafra.
2. Observar y medir el desgaste que obtuvo la cadena Rivetless 698 al final del tiempo de servicio.
3. Estudiar la elongación por desgaste y deformación permanente que sufre la cadena.
4. Determinar las condiciones en las que operan las cadenas en cada uno de los inclinados del tándem B.
5. Dejar un antecedente en la empresa de las condiciones y el comportamiento que tiene la cadena cuando se encuentra en servicio.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de extracción de jugo de caña, los conductores intermedios o inclinados juegan un papel muy importante; son los encargados de transportar el bagazo que sale de los molinos y trasladarlo sobre la tolva Donelly.

En el Ingenio Magdalena se utilizan conductores intermedios denominados Conductor de arrastre o Conductor de cadena y tablillas. El problema más frecuente que poseen los conductores de arrastre, es el desgaste que sufren las cadenas Rivetless 698, durante el período que se encuentra en funcionamiento en la zafra.

La finalidad de este análisis es medir el nivel progresivo de desgaste de las cadenas Rivetless 698, que se encuentran en los conductores intermedios del tándem B y estudiar los factores que influyen en el mismo durante la zafra 2013 - 2014.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Generalidades de la empresa

El Ingenio Magdalena es una empresa que primordialmente se dedica a la producción de azúcar proveniente de la caña. En la actualidad también producen otros productos derivados del proceso como energía eléctrica, alcohol y azúcar refina.

Actualmente es el ingenio azucarero más grande en producción de azúcar en Guatemala, también es uno de los ingenios que exporta azúcar cumpliendo con los estándares de calidad requeridos, debido a que está certificado por FSSC.

En la zafra 2013 – 2014 se molió un total de 7 719 166,70 toneladas cúbicas, produciendo 15 086 083,79 quintales de azúcar, 922 411 152 kilowatt hora y 101 094 761 litros de alcohol.

Figura 1. **Foto aérea del Ingenio Magdalena**



Fuente: Recursos Humanos, Ingenio Magdalena S. A.

1.1.1. Ubicación

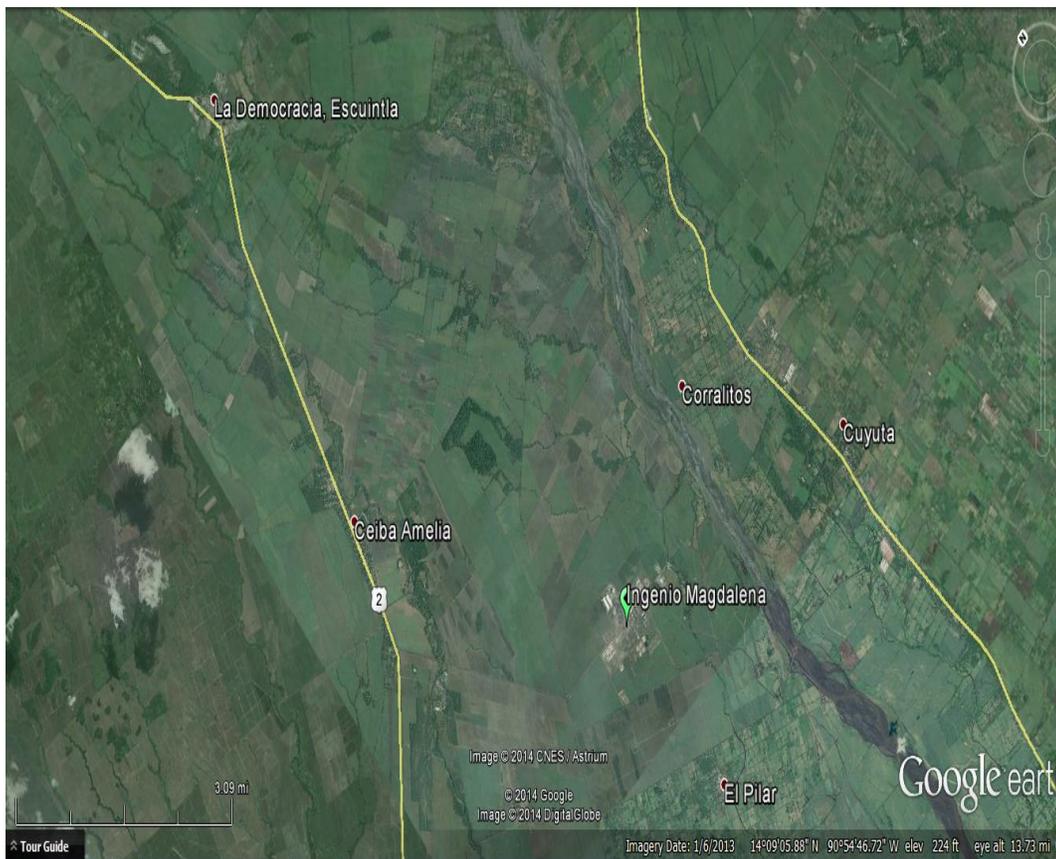
Escuintla es el departamento ubicado en el centro-sur de Guatemala, posee una extensión territorial de 4 384 kilómetros cuadrados y cuenta con un clima tropical. Se encuentra sobre la cordillera (Sierra Madre), por lo que la estructura es accidentada y con una pendiente que termina en el mar.

La riqueza natural ha cedido espacio al cultivo de café, cardamomo, plantaciones de algodón y caña de azúcar, también cuenta con extensas fincas donde se dedican a la ganadería.

Entre los municipios de Escuintla se encuentra, La Democracia que cuenta con una superficie de 320 kilómetros cuadrados, donde la mayoría de fincas se dedican a la ganadería y al cultivo de caña de azúcar.

El Ingenio Magdalena se encuentra ubicado en la finca Bugarvilia, Ceiba Amelia, La Democracia. Con una latitud de 14 grados 7 minutos 10,67 segundos norte, longitud de 90 grados 55 minutos 52,44 segundos oeste.

Figura 2. **Ubicación del Ingenio Magdalena**



Fuente: Google Earth. Google 2013. Consulta: 08 de agosto de 2014.

1.1.2. Reseña histórica

En 1968 empiezan a realizar las gestiones y trámites para la formación de un nuevo ingenio ubicado en la finca Magdalena, El Rodeo, Escuintla; el ingenio toma el nombre de la finca donde está montado. Para 1970 el Ingenio Magdalena producía mieles para la elaboración de licor.

En 1983 el ingenio es reubicado en la finca Buganvilia, La Democracia, donde se encuentra en la actualidad. En 1984 se adquieren los molinos de la Central Guánica en Puerto Rico. Inicia una nueva ampliación cuando se adquiere un tándem nuevo en 1996, con una capacidad de 9 200 toneladas métricas de molienda por día.

Fue en 2001 cuando inicia la instalación de una planta de alcohol (destilería) con una capacidad de 120 000 litros diarios. En ese año también se realiza una inversión en un turbogenerador incrementándolo hasta producir 53,5 megawatts de energía eléctrica.

En el 2005 se adquiere 1 570 hectáreas y se amplía la fábrica con la instalación del tándem C, con capacidad de 9 200 toneladas métricas de molienda diaria. En ese año se instala una nueva planta de cogeneración de 30 megawatts.

En el 2006 se amplían las instalaciones de refinería con una capacidad de producción de 920 toneladas métricas de azúcar. Ya en marcha la planta de cogeneración se llega a producir 74 megawatts de energía eléctrica.

Luego de seguir en crecimiento constante es en el 2010, donde se inicia la construcción de una nueva planta de cogeneración. En el 2014 se continúa la

instalación de la nueva planta de cogeneración. En la zafra 2013 – 2014 se produjo 15 086 083,79 quintales de azúcar, también se molieron 7 719 166,70 toneladas cúbicas de caña, se produjeron 101 094 761 litros de alcohol y se generó 922 411 152 kilowatt hora de energía eléctrica. Actualmente se considera al Ingenio Magdalena como el más grande en producción de Guatemala.

1.1.3. Misión

“Desarrollamos con innovación y eficiencia productos alimenticios, agrícolas y energéticos para mejorar la calidad de vida de las personas.”¹

1.1.4. Visión

“Al 2015 desarrollaremos y atenderemos con presencia directa en al menos 5 mercados seleccionados en las distintas líneas de negocio, con productos y servicios diferenciados, con un negocio energético equivalente al 50 por ciento del resultado del Ingenio Magdalena (crecimiento inteligente y diferenciado).”²

1.1.5. Política de calidad

Se fabrican productos inocuos derivados de la caña de azúcar para uso industrial y consumo directo, cumpliendo con la legislación vigente y los requisitos de los clientes, comunicándolo de manera eficaz.

¹ Ingenio Magdalena S. A.

² Ibíd.

Magrisa garantiza la satisfacción del cliente a través de productos que cumplan eficientemente los requisitos y expectativas acordadas, comprometidos con la mejora continua de procesos y el desarrollo integral de los colaboradores.

1.2. Estudio de ahorro de costos en el consumo de agua potable al instalar un purificador de agua

Entre los purificadores de agua se pueden encontrar los que utilizan el ozono para tratar el agua. Las plantas de tratamiento de ozono son convenientes debido a que desinfecta el agua con mayor efectividad que las que utilizan el cloro para la eliminación de microorganismos o bacterias. El ozono también elimina malos olores y sabores al agua tratada.

Para la utilización del ozono para purificar el agua es necesario contar siempre con electricidad, si hay ausencia de energía la planta de tratamiento no genera ozono.

Debido a que el ozono no evita que los gérmenes vuelvan a reproducirse, si no se aplica la dosis idónea el agua puede llegar a contaminarse de nuevo. Uno de los químicos que si evitan el crecimiento de los gérmenes es el cloro, por lo cual la planta de tratamiento debe apoyarse de una pequeña dosis de cloro para hacer más efectiva la purificación del agua.

Es de mucha importancia tomar en cuenta que se necesitan filtros que puedan retener las partículas en suspensión que contenga el agua. Es necesario realizarle análisis al agua y compararlo con la Norma COGUANOR NTG 29 001, donde se detallan las especificaciones que debe cumplir el agua para consumo humano. Prácticamente esta norma establece los valores de las

características que define la calidad del agua apta para el consumo humano. Se deben de tomar en cuenta los Límites Máximos Aceptables (LMA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP).

El Límite Máximo Aceptable es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual, estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor. El Límite Máximo Permissible (LMP) es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para el consumo humano.

El Ingenio Magdalena en el Área de Fábrica utiliza gran cantidad de garrafones de agua potable, las cuales eran compradas a una empresa por unidad, pero esto ocasionaba elevados costos durante el período de zafra y reparación. Lo cual decantó en una inversión para una planta purificadora de agua a base de ozono. Se pretende realizar un estudio del ahorro económico logrado con dicha acción y compararlo con los gastos de agua previos a la planta.

1.2.1. Costos del consumo de agua potable antes de la instalación del purificador de agua

Los valores se tomaron por año zafra, esto quiere decir que los datos se empiezan desde noviembre hasta octubre del siguiente año.

Es de mucha importancia hacer mención que los datos fueron tomados de las requisiciones del 01/11/2010 al 30/06/2014. Pero por cuestiones de privacidad de la empresa no se especificará el nombre de la empresa o proveedor ya que dicha información es únicamente de uso interno.

Se detallarán los datos hasta el momento que se instaló la planta de tratamiento de agua y posteriormente se realizará un promedio del gasto mensual antes de la implementación de la planta.

Tabla I. **Costos de agua potable del 01-11-10 al 31-10-11**

COSTO DE AGUA POTABLE DEL 01-11-10 AL 31-10-11						
Fecha		Descripción	Unidad	Cantidad	P. U.	Inversión
De	A					
01-11-10	01-12-10	agua pura	garrafón	1 545	Q 8,05	Q 12 437,25
01-12-10	01-01-11	agua pura	garrafón	1 550	Q 8,05	Q 12 477,50
01-01-11	01-02-11	agua pura	garrafón	2 389	Q 8,05	Q 19 231,45
01-02-11	01-03-11	agua pura	garrafón	1 792	Q 8,05	Q 14 425,60
01-03-11	01-04-11	agua pura	garrafón	2 238	Q 8,05	Q 18 015,90
01-04-11	01-05-11	agua pura	garrafón	1 529	Q 8,05	Q 12 308,45
01-05-11	01-06-11	agua pura	garrafón	1 964	Q 8,05	Q 15 810,20
01-06-11	01-07-11	agua pura	garrafón	1 846	Q 8,05	Q 14 860,30
01-07-11	01-08-11	agua pura	garrafón	1 610	Q 8,05	Q 12 960,50
01-08-11	01-09-11	agua pura	garrafón	668	Q 8,05	Q 5 377,40
01-09-11	01-10-11	agua pura	garrafón	2 100	Q 8,05	Q 16 905,00
01-10-11	31-10-11	agua pura	garrafón	1 577	Q 8,05	Q 12 694,85
Costo anual de agua potable						Q167 504,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Costos de agua potable del 01-11-11 al 31-10-12**

COSTO DE AGUA POTABLE DE 01-11-11 A 31-10-12						
Fecha		Descripción	Unidad	Cantidad	P. U.	Inversión
De	A					
01-11-11	01-12-11	agua pura	garrafón	1 835	Q 8,05	Q 14 771,75
01-12-11	01-01-12	agua pura	garrafón	1 934	Q 8,05	Q 15 568,70
01-01-12	01-02-12	agua pura	garrafón	2 019	Q 8,05	Q 16 252,95
01-02-12	01-03-12	agua pura	garrafón	1 609	Q 8,05	Q 12 952,45
01-03-12	01-04-12	agua pura	garrafón	2 276	Q 8,05	Q 18 321,80
01-04-12	01-05-12	agua pura	garrafón	2 182	Q 8,05	Q 17 565,10
01-05-12	01-06-12	agua pura	garrafón	1 388	Q 8,05	Q 11 173,40
01-06-12	01-07-12	agua pura	garrafón	2 365	Q 8,05	Q 19 038,25
01-07-12	01-08-12	agua pura	garrafón	2 366	Q 8,05	Q 19 046,30
01-08-12	01-09-12	agua pura	garrafón	2 184	Q 8,05	Q 17 581,20
01-09-12	01-10-12	agua pura	garrafón	1 525	Q 8,05	Q 12 276,25
01-10-12	31-10-12	agua pura	garrafón	930	Q 8,05	Q 7 486,50
Costo anual de agua potable						Q182 034,65

Fuente: elaboración propia.

$$\frac{(Q. 167 504,40 + Q. 182 034,65)}{24 \text{ meses}} = Q. 14 564,13/\text{mes}$$

El promedio se elaboró sumando los gastos en los dos años y el resultado dividido entre 24 meses dando un resultado de Q. 14 564,13 por cada mes.

1.2.2. Purificador de agua

La planta de purificación de agua es de ozono y está diseñada para una capacidad de 25 galones por minuto. El inyector de ozono es de marca Sterilight, proveniente de Canadá. El sistema está compuesto por los siguientes componentes:

- Dosificador de cloro automático, un depósito de 25 galones de cloro, kit detector de cloro para determinar la dosis adecuada.
- Tanque de fibra de vidrio: su función es la retención de sólidos disueltos, con una filtración hasta de 5 micrones.
- Filtro de fibra de vidrio y válvula semiautomática: la función del filtro es la absorción de cloro, plomo, mal olor, mal sabor y mal color producida por la descomposición orgánica en los pozos. La válvula semiautomática es utilizada para el retrolavado del filtro.
- Dos filtros pulidores: son filtros de polipropileno de hasta 5 micrones.
- Cámara de luz ultravioleta: su función es esterilizar contaminantes microbiológicos, ameba, bacterias, virus, entre otros.
- Cámara de ozono: es utilizada para la inyección de ozono al agua que ha pasado por todos los componentes anteriores con el fin de eliminar cualquier microorganismo que haya quedado vivo y de esta manera volver más eficiente la purificación del agua.

- Accesorios: son todas las tuberías, codos, tee de PVC y demás componentes necesarios para la instalación del sistema.

Figura 3. Sistema de purificación del agua



Fuente: Ingenio Magdalena S. A.

1.2.2.1. Cotización del sistema de purificación del agua

La inversión en el sistema de purificación del agua es de Q. 56 500,00 y la forma de pago es de Q. 33 900,00 de anticipo (60 por ciento) y Q. 22 600,00 después de la instalación (40 por ciento). El precio anterior incluye:

- Instalación completa de todo el sistema, con sus respectivas pruebas
- Garantía de un año
- Asesoría técnica inmediata
- Resultado de análisis fisicoquímico de producto final (agua 100 por ciento pura).
- Mantenimiento del primer año de utilización

1.2.3. Ahorro de costos en el consumo de agua potable

Es importante hacer un estudio de los costos del consumo que se obtuvo después de la implementación de la planta de tratamiento, comparándolos con los costos que se tenía antes de la instalación de la misma y así analizar en cuanto tiempo se recuperará la inversión.

Tabla III. Costos de agua potable del 01-11-12 al 31-10-13

COSTO DE AGUA POTABLE DE 01-11-12 A 31-10-13						
Fecha		Descripción	Unidad	Cantidad	P. U.	Inversión
De	A					
01-11-12	01-12-12	agua pura	garrafón	369	Q 8,05	Q 2 970,45
01-12-12	01-01-13	agua pura	garrafón	339	Q 8,05	Q 2 728,95
01-01-13	01-02-13	agua pura	garrafón	476	Q 8,05	Q 3 831,80
01-02-13	01-03-13	agua pura	garrafón	356	Q 8,05	Q 2 865,80
01-03-13	01-04-13	agua pura	garrafón	372	Q 8,05	Q 2 994,60
01-04-13	01-05-13	agua pura	garrafón	393	Q 8,05	Q 3 163,65
01-05-13	01-06-13	agua pura	garrafón	315	Q 8,05	Q 2 535,75
01-06-13	01-07-13	agua pura	garrafón	309	Q 8,05	Q 2 487,45
01-07-13	01-08-13	agua pura	garrafón	210	Q 8,05	Q 1 690,50
01-08-13	01-09-13	agua pura	garrafón	261	Q 8,05	Q 2 101,05
01-09-13	01-10-13	agua pura	garrafón	238	Q 8,05	Q 1 915,90
01-10-13	31-10-13	agua pura	garrafón	259	Q 8,05	Q 2 084,95
Costo anual de agua potable						Q 31 370,85

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por Ingenio Magdalena S. A.

Tabla IV. **Costos de agua potable del 01-11-13 al 30-06-14**

COSTO DE AGUA POTABLE DE 01-11-13 A 30-06-14						
Fecha		Descripción	Unidad	Cantidad	P. U.	Inversión
De	A					
01-11-13	01-12-13	agua pura	garrafón	269	Q 8,05	Q 2 165,45
01-12-13	01-01-14	agua pura	garrafón	336	Q 8,05	Q 2 704,80
01-01-14	01-02-14	agua pura	garrafón	352	Q 8,05	Q 2 833,60
01-02-14	01-03-14	agua pura	garrafón	353	Q 8,05	Q 2 841,65
01-03-14	01-04-14	agua pura	garrafón	345	Q 8,05	Q 2 777,25
01-04-14	01-05-14	agua pura	garrafón	451	Q 8,05	Q 3 630,55
01-05-14	30-06-14	agua pura	garrafón	365	Q 8,05	Q 2 938,25
Costo de agua potable						Q 19 891,55

Fuente: elaboración propia.

$$\frac{(Q. 31 370,85 + Q. 19 891,55)}{19 \text{ meses}} = Q. 2 698,02/\text{mes}$$

Para obtener el promedio mensual después de la instalación de la planta se tomó en cuenta el costo anual de agua potable comprendido del 01-11-12 al 31-10-13 y a dicha cantidad se sumó el costo de agua potable comprendido del 01-11-13 al 30-06-14, el resultado fue dividido entre 19 meses que equivalen al total de meses que fueron considerados para el estudio.

$$Q. 14 564,13/\text{mes} - Q. 2 698,02/\text{mes} = Q. 11 866,11/\text{mes}$$

El consumo promedio anual después de la planta purificadora de agua es de:

$$Q. 2\,698,02/\text{mes} * 12 \text{ mes}/\text{año} = Q. 32\,376,25 / \text{año}$$

Considerando el promedio del costo anual de agua potable de los dos años anteriores a la planta purificadora de agua, el consumo promedio anual que se obtuvo después de la instalación de la planta y la inversión inicial, se calculó el ahorro que se obtuvo en el primer año.

$$Q. 174\,769,53 - Q. 32\,376,25 - Q. 56\,500,00 = Q. 85\,893,28$$

El ahorro anual de los demás años considerando una inversión de Q. 6 000,00 por mantenimiento es de:

$$Q. 174\,769,53 - Q. 32\,376,25 - Q. 6\,000,00 = Q. 136\,393,28$$

El ahorro mensual es Q. 11 866,11 y se observó que no solo se recuperó el 100 por ciento de la inversión en el primer año de implementación, sino también se ahorró aproximadamente Q. 85 893,28. Los demás años si el valor del mantenimiento es de Q. 6 000,00 como se espera, se tendrá un ahorro aproximado de Q. 136 393,28.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. ¿Qué es un tándem?

La palabra tándem hace referencia al conjunto de dos o más elementos que tienen una actividad en común, que colaboran en algo o se complementan. Es por esto que se denomina tándem a la configuración de un conjunto (batería) de molinos que tienen como objeto la extracción de la mayor cantidad de jugo a la fibra de caña.

Los tándem generalmente constan de cinco o seis molinos en serie, que extraen el jugo de caña con tres o cuatro mazas. El jugo que se extrae en el primer molino es denominado: jugo cristal por ser el de mayor pureza y al jugo que se extrae del segundo en adelante se denomina: jugo crudo debido a que tiene un porcentaje de agua. Para tener una mejor extracción a la fibra que sale del segundo molino se le agrega una mezcla de jugo y agua denominada maceración, a una temperatura aproximada de 53 grados Celsius (127,4 grados Fahrenheit). Para la mejor extracción de jugo en el último molino se le agrega el agua de imbibición (mezcla de agua fría y agua caliente), el rango de temperatura a la que se debe aplicar el agua de imbibición es de 45 a 55 grados Celsius (113 a 131 grados Fahrenheit).

La razón de la aplicación del agua de imbibición consiste en que el bagazo después de la extracción de jugo siempre va a tender a contener una humedad mínima de jugo puro del 40 por ciento en el mejor de los casos y se le aplica agua caliente con el fin de abrir la fibra y reemplazar la mayor cantidad del jugo

con el agua que se le está aplicando, de esta manera poder disminuir la pérdida de sacarosa en el bagazo dejando un 40 por ciento de mezcla de agua y jugo.

2.2. Descripción de los molinos de caña

Son las maquinarias compuestas por una serie de cilindros (mazas) ubicadas adecuadamente y convenientemente; con un rayado para permitir el paso de la caña de azúcar, de esta manera lograr la mayor y mejor extracción de la sacarosa de las células internas y externas de la fibra.

Figura 4. **Rayado de maza (cilindro)**



Fuente: elaboración propia.

Las mazas comúnmente son cuatro, pero la encargada de realizar el trabajo de compresión para la extracción del jugo es la maza superior que por

medio de presión hidráulica exprime la fibra contra las mazas cañera y bagacera. Debido a esto las tres mazas se encuentran ubicadas de manera triangular.

Los molinos se clasifican por sus vírgenes y entre ellos se pueden encontrar:

- Virgen con pernos reales y horizontales: tienen dos pernos largos aproximadamente verticales, denominados pernos reales que se encargan de soportar los esfuerzos de levantamiento de la maza superior, que son transmitidos a los cabezotes por la cámara de aceite del pistón hidráulico.
- Virgen Squier: este tipo de molino no cuenta con pernos reales y el esfuerzo es recibido enteramente en los dos pasadores que fijan las piezas laterales de las vírgenes.
- Virgen Cail: este tipo de virgen tiene el cabezote inclinado 15 grados hacia atrás, este cambio se realizó debido a que cuando una virgen se rompe por lo general es del lado de la salida. De tal manera que se diseñó este tipo de virgen considerando la reacción de salida y la reacción de entrada.
- Virgen Fives: esta se basa en la perpendicularidad del pistón (cabezote), pero considerando los 15 grados de corrimiento del pistón. Se considera que es como si se rotara los 15 grados hacia atrás el pistón pero posteriormente rota todo el molino los mismo grados hacia adelante, el pistón quedaría perpendicular pero las mazas cañera y bagacera estarían corridas 15 grados hacia atrás.

2.3. Función de los molinos de caña

El trabajo del molino es la extracción de la mayor cantidad de sacarosa que contenga la fibra y depositar el bagazo (residuo de materia después de ser extraído el jugo) en un conductor.

Pero también cuenta con otras funciones como mantener una compresión de caña uniforme entre las mazas aunque varíe el volumen de caña, esto se logra a través del movimiento de la maza superior y la presión hecha por el pistón hidráulico del cabezote.

Otra función es la del aprovechamiento del rayado para comprimir mayor cantidad de caña, de esta manera desmenuzar la fibra para el rompimiento de las células y la mejor extracción de la sacarosa.

Desfibración de la caña de azúcar para poderse utilizar como combustible fácil de incinerar dentro del hogar de la caldera y aumentar el poder calorífico.

2.4. Principales componentes de los molinos de caña de azúcar

Los molinos son la parte más importante del tándem son los encargados de realizar la extracción del guarapo (jugo en el cual se contiene la sacarosa); para lograr este objetivo los molinos cuentan con una serie de componentes que se describen a continuación.

2.4.1. Bancazo

Es la base principal de las vírgenes encargadas de mantenerlas paralelas. Son de acero fundido sobre el cual va colocada la estructura del

molino y todos los accesorios que componen a dicha estructura. El bancazo va fijo al cimiento a través de pernos y así evitar movimientos axiales de las vírgenes.

2.4.2. Virgen

Es una estructura robusta, que puede ser de acero fundido o de acero de bajo carbono. La virgen es la encargada de soportar a todas las piezas que conforman el molino y accesorios. Va anclada a la cimentación con pernos de anclaje.

Las dimensiones de las vírgenes dependen de la cantidad de caña a moler (set de molienda) y de la compresión necesaria en la misma.

Los tipos de vírgenes utilizadas en los molinos del tándem B son rectas y están diseñadas para alojar cuatro mazas, para el aumento de la efectividad de extracción de jugo.

Figura 5. Virgen del molino 2 del tándem B



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.3. Chumacera plana

Son piezas semicilíndricas con forma de tejas fabricadas en bronce, provistas de pasos para la circulación del agua de enfriamiento y de una ranura para la lubricación de aceite en la superficie de rozamiento, esta chumacera cubre la mitad del muñón.

Figura 6. Chumacera desgastada y retirada



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.4. Mazas de molinos

Consiste en un cilindro sólido, de acero el cual es maquinado, la longitud varía dependiendo de la distancia entre vírgenes. Las mazas están compuestas por las siguientes partes:

- Eje: cilindro sólido de acero, la longitud depende de la distancia entre las vírgenes, en los extremos del eje se fabrican los muñones donde van

alojadas las chumaceras, a un extremo se le denomina lado corona y al otro lado libre, en el lado corona se fabrica un cuadrado donde va ensamblada una corona que se encarga de transmitir el movimiento a las coronas entre sí.

- **Camisa:** es un cilindro fabricado de hierro fundido el cual va acoplado con el eje, sobre esta camisa es donde se fabrica el rayado, el diámetro de la camisa depende del Setting de cada molino y la posición que ocupe la maza.
- **Rayado:** es la configuración que se le va a dar a cada maza al momento de fabricar los dientes. El número de dientes depende de la posición de la maza.
- **Chorroado o granulación:** método de agregar soldadura al rayado de la maza de una forma no homogénea con electrodo azúcar 80, la finalidad de esta aplicación de soldadura es evitar el patinaje de las mazas y proporcionarle una mejor tracción.

Figura 7. **Maquinación del rayado del cilindro (maza)**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.4.1. Maza superior

Esta maza tiene un eje más largo porque cuenta con una corona en cada extremo, y lleva un cuadrado después de la corona en el lado motriz, debido a que es la maza encargada de transmitir el movimiento a las demás mazas del molino. Tiene 39 dientes por ello se clasifica como macho al centro, por tener un diente en el centro. Las mazas superiores del tándem B son perforadas, con la finalidad de obtener un mejor drenaje del jugo.

Figura 8. **Maza superior perforada del tercer molino del tándem B, desmontada para reparación**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.4.2. Maza cañera

Esta maza lleva una corona que va instalada en un extremo, la cual va acoplada a la corona de la maza superior quien es la encargada de transmitirle movimiento. Es donde se realiza la primera extracción y va colocada en la entrada de la caña, es de ahí donde se deriva el nombre. Tiene 38 dientes y se denomina hembra al centro debido a que en el centro de ella queda acoplado el diente de la maza superior.

Figura 9. **Maza cañera del molino 1 del tándem B, desmontada para reparación**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.4.3. Maza bagacera

Esta maza mantiene las mismas características que la maza cañera, el movimiento lo recibe por medio de la maza superior y posición se encuentra en la salida del bagazo. Tiene 38 dientes y es hembra al centro, pero a diferencia que la cañera, esta mantiene una menor distancia entre dientes con la maza superior para hacer más eficiente la extracción.

Figura 10. **Maza bagacera del molino 2 del tándem B, desmontada para reparación**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.4.4. Cuarta maza

Es una maza de diámetro inferior a las otras mazas lleva una corona de diámetro menor en el lado opuesto al lado motriz, esta gira a mayor revolución que las otras tres mazas. Tiene como objeto direccionar e introducir el bagazo a presión entre la maza superior y la maza cañera. Es un tipo de maza hembra al centro.

Figura 11. **Cuarta maza del molino 3 del tándem B, desmontada para reparación**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 12. **Posición de las mazas en los molinos**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.5. Acumulador de presión

Es una especie de recámara que tiene conexión directa con el cabezote hidráulico a través de una manguera de alta presión y se encarga de amortiguar la sobreflotación de la maza superior por la irregularidad del volumen de caña que pasa por debajo de esta. Se conforma por un cilindro o botella de metal que tiene en su parte inferior un globo inflado con nitrógeno a presión; al haber una sobrecarga el fluido hidráulico fluye hacia el acumulador comprimiendo la bolsa de hule que contiene el gas nitrógeno, aliviando las sobre cargas que se presentan.

Figura 13. **Acumuladores de presión, antes de desmontar para reparación**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

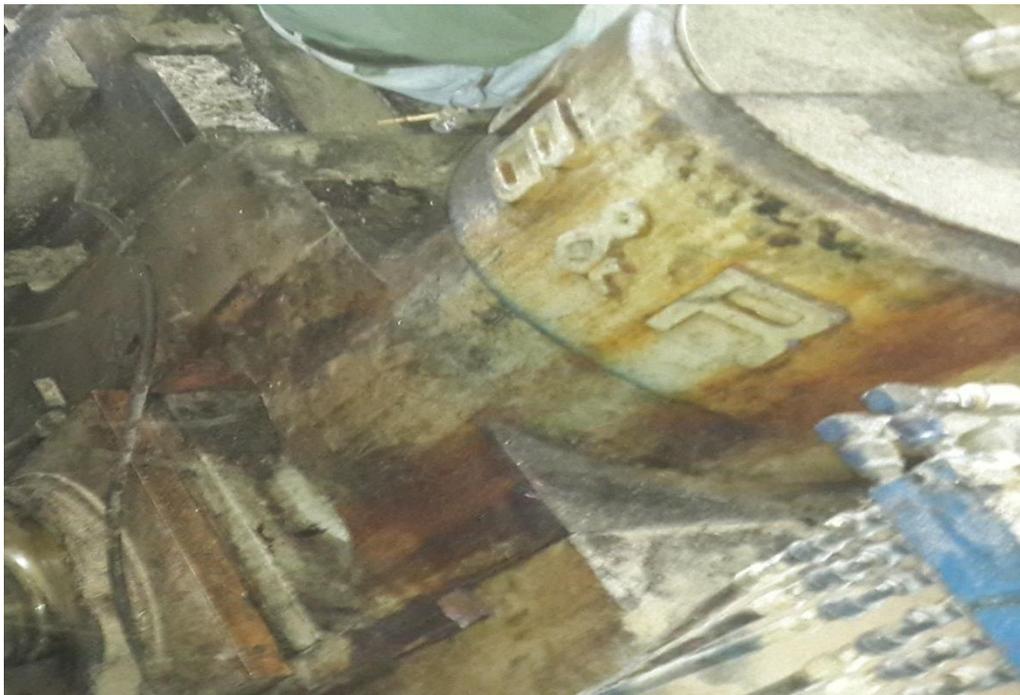
2.4.6. Bomba de presión hidráulica

Esta bomba tiene como objeto introducir el aceite dentro de la tubería, ponerlo bajo presión y levantar el acumulador a la posición inicial de trabajo. Generalmente se maneja un rango de presión entre 2 000 a 3 000 libras por pulgada cuadrada.

2.4.7. Cabezote hidráulico

Es un dispositivo hidráulico que está conformado por un pistón que se encuentra entre un cilindro y entre ellos unos sellos utilizados para evitar cualquier fuga de fluido hidráulico. En el Ingenio Magdalena, este pistón se mantiene a una presión aproximada de 2 500 libras por pulgada cuadrada y su función es ejercer mayor fuerza (carga) sobre la masa superior, con el fin de realizar una mayor compresión sobre la fibra que pasa por debajo de la maza superior y encima de las mazas inferiores (cañera y bagacera) mejorando la extracción de jugo.

Figura 14. **Cabezote hidráulico de molino 2 del tándem B**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 15. **Cabezote hidráulico de molino 3 del tándem B después del mantenimiento y reparación**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.8. Raspadores

Son piezas de hierro fundido, dentadas longitudinalmente, los dientes se alojan directamente en el rallado de las mazas, cada maza utiliza el respectivo raspador y tiene como objeto la limpieza del rayado de las mazas y de esta manera evitar que se embagazen. Los mismos se acoplan a las vírgenes por medio de un eje y un tornillo que se utiliza para el ajuste, de tal manera que aunque se desgaste desempeñe bien su función.

2.4.9. Cuchilla central

Es una pieza parecida a los peines por ser dentada, pero a diferencia que estos, se encuentra dentada de ambos lados, de tal manera que los dientes coincidan en el espacio del rayado de la maza cañera y la maza bagacera. A diferencia de los peines la función de la cuchilla central no es de limpiar las ranura del rayado de las mazas, ella tiene como objetivo principal el servir de puente a la fibra que pasa entre la maza cañera y la maza bagacera. Va montado sobre una pieza llamada puente, el cual va fijado a las vírgenes y también cuenta con un dispositivo que permite su ajuste.

Figura 16. **Cuchilla central y puente del molino 3 del tándem B, después de hacerles mantenimiento**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.4.10. Coronas

Son engranajes rectos de grandes dimensiones y se encuentran instalados en uno de los extremos del eje de las mazas. Su función es la transmisión de potencia y movimiento entre las coronas de las otras mazas. Por medio de un motor conectado a un reductor que a su vez se encuentra acoplado al eje de la maza superior, se le da movimiento a esta maza, pero al estar acopladas entre sí las coronas, se logra el movimiento de todo el sistema de mazas.

2.5. Conductor intermedio

Son los componentes mecánicos que se encargan del traslado del bagazo de la salida de un molino a la entrada del siguiente. Existen 5 clases de conductores intermedios actualmente en uso:

- Conductor de listón (de tablillas) tipo delantal: estos conductores cuentan con duelas (tablas curvadas) que traslapan montadas en dos o tres hileras de cadenas con distancias cortas (60 mm a 80 mm). Son utilizados comúnmente en medio de molinos de 3 mazas, con poco espacio disponible entre sí, en donde no hay conductos cerrados de alimentación a los molinos. Estos conductores trabajan con pendientes pequeñas (10 a 25 grados), las ruedas del conductor alrededor del eje motriz se usan en forma efectiva como cuarta maza (maza alimentadora) para el molino.
- Conductores intermedios de bandas con poca inclinación: la función característica de estos conductores es muy similar a los conductores de duelas tipo dental. El bagazo es conducido sobre una banda, la cual puede ser, lisa en la parte alta (inclinación máxima de 22 grados) o con pestañas de poca altura estampadas o pegadas en fajas transversales para ayudar a la alimentación del bagazo (con una inclinación máxima de 30 grados).
- Conductor raspador intermedio, de cadena y duela: en la actualidad estos conductores son los más comunes. Comprenden duelas de profundidad montadas ya sea en medio o afuera de dos hileras de cadena de arrastre con medio o largo paso (150 mm a 300 mm). Estos conductores son utilizados en los casos donde la caña necesita elevarse

pronunciadamente (40 a 60 grados), típico en conductores intermedios entre molinos con alimentadores Donnelly.

- Conductores intermedios tipo banda: también son utilizados los tipos de banda de hule. Cuando únicamente se requieren inclinaciones moderadas (< 20 grados), pueden utilizarse bandas de superficie plana. Sin embargo, para inclinaciones pronunciadas (para alimentadores Donnelly), los conductores de banda con bolsas son ampliamente utilizados. El bagazo es conducido en la parte superior del conductor.
- Conductores de tolva alimentadora Meinecke: también llamados conductores fijos del tipo de tolva alimentadora Meinecke. Estos son utilizados entre molinos que tengan poco espacio entre sí. El bagazo que descarga un molino se mantiene bajo alguna presión al ser comprimidos entre peines o láminas raspadoras ubicadas en las mazas superiores y bagaceras. Estas proyectan el bagazo hacia arriba, usualmente a unos 30 grados de elevación hacia una tolva alimentadora Meinecke.

2.5.1. Conductor intermedio de cadena y tablillas

Estos conductores se llaman también de arrastre o inclinados (debido a su forma), son utilizados comúnmente para el traslado de bagazo de un molino al siguiente donde la tolva de alimentación es tipo Donnelly, también pueden ser utilizados para el traslado de bagazo entre molinos provistos de alimentadores abiertos.

Las velocidades de los conductores intermedios deben estar comprendidas en un rango de 1,0 a 8,0 metros por segundo. Con el fin de aumentar la vida útil de la cadena, se debe utilizar no más del 60 por ciento del

volumen entre duelas y los *sprockets* deben de tener un mínimo de 14 o 7 dientes para cadenas de bloques donde exista un diente por dos pasos.

El bagazo no se debe apilar más allá de la altura de la duela cuando se cuenta con inclinaciones pronunciadas, pero en inclinaciones bajas, el bagazo usualmente se apilará por encima de las tablillas.

La cadena cuenta con un eslabón macho y una hembra. En el primero se introduce una barra de acero con una perforación en la cual pasa el tornillo, la tablilla cuenta con un par de placas perforadas con un espacio de 5/8 pulgada entre ellas. La barra se introduce entre el macho de la cadena, posteriormente se monta la tablilla sobre la cadena, dejando dentro de las orejas de la tablilla el eslabón macho y se hace pasar un tornillo en medio de los agujeros de la barra y las dos orejas, para ser apretado por último con una tuerca y de esta manera fijar la tablilla.

Figura 17. **Cadena Rivetless 698 con barra de fijación del tándem B**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 18. **Tablillas utilizadas en los conductores intermedios del tándem B, en el Ingenio Magdalena**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 19. **Conductor intermedio de cadena y tablillas del tándem B, entre los molinos 2 y 3**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

2.5.2. Motor

Al momento de la elección del motor a utilizar para los conductores intermedios de cadena y tablillas se debe tomar en cuenta que la potencia del mismo debe ser mayor a las potencias necesarias para:

- Vencer la fricción del conductor vacío con el ensamblaje duela-cadena ya sea deslizándose o cargada sobre rodillos.
- Vencer la fricción del bagazo en la base del conductor (para moverse sobre la distancia horizontal del conductor).
- Elevar el bagazo.
- Vencer las pérdidas por ineficiencia en el accionamiento (motor, engranaje, entre otros).

Las especificaciones de motores de los conductores intermedios del tándem B son:

Tabla V. **Especificaciones referente a los motores de los conductores intermedios del tándem B**

Núm. de Inclinado	Potencia (HP)	RPM
1	50	1 770
2	50	1 770
3	40	1 775
4	40	1 760

Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Reductor

Es un conjunto de engranajes acoplados entre sí, su finalidad consiste en disminuir gradualmente las revoluciones de entrada (del motor) y aumentar el

torque hacia el eje de salida del reductor, consta de tres ejes que van montados sobre cojinetes, dispuestos en una carcasa en la cual están alojados los engranes y el lubricante. El ratio es la relación cuantificada entre dos magnitudes que refleja su proporción, en pocas palabras la relación de las revoluciones que entran al reductor entre las que salen de él.

Tabla VI. **Especificaciones referente a los reductores, de los conductores intermedios del tándem B**

Núm. de inclinado	RPM	Ratio
1	1 800	63,984
2	1 800	63,984
3	1 800	63,00
4	1 800	63,984

Fuente: elaboración propia.

2.5.4. Sprocket

Engranaje o rueda dentada que tiene como función la transmisión en la cadena de arrastre del inclinado. Este se elabora en el taller de reparación del Ingenio Magdalena. Se fabrica por medio de una cortadora de plasma CNC en una lámina de 1/2 pulgada, luego es pulida y biselada de los dientes. En el centro tiene un corte con un diámetro interno de 4 pulgadas y un vacío rectangular de ½ pulgada, donde se instala una cuña para su fijación al eje.

El conductor intermedio tiene dos *sprockets* por eje y cuenta con dos ejes. El que se encuentra en la parte superior es el eje motriz, es el encargado de transmitir el movimiento a las cadenas y también tiene como función el tensado

de las cadenas. El eje inferior se le llama colero debido a que su función es seguir el movimiento del eje motriz.

Los *sprockets* del eje motriz cuentan con 8 dientes, un diámetro interno de 4 pulgadas, un paso de $2 \frac{1}{32}$ pulgadas, un espesor de $\frac{1}{2}$ pulgada y un diámetro primitivo de $5 \frac{3}{16}$ pulgadas.

Los *sprockets* del eje colero cuentan con 7 dientes, un diámetro interno de 4 pulgadas, un paso de $2 \frac{1}{32}$ pulgadas, un espesor de $\frac{1}{2}$ pulgada y un diámetro primitivo de $4 \frac{17}{32}$ pulgadas.

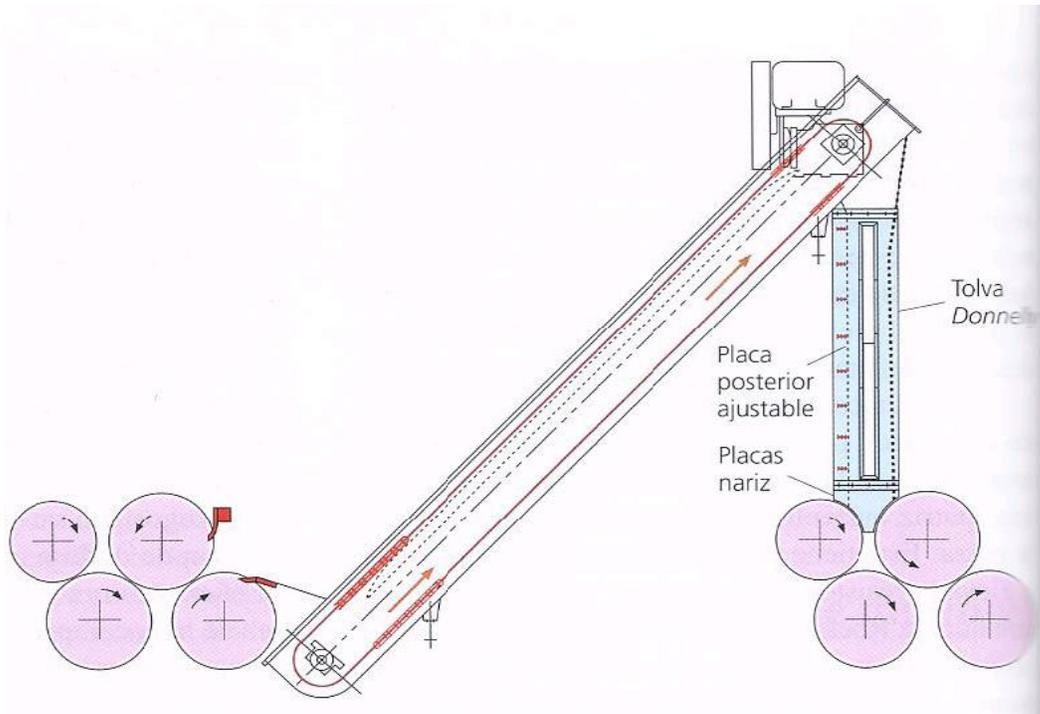
2.5.5. Tolva Donnelly

Donnelly observó que el ángulo de la placa alimentadora de bagazo en los molinos juega un papel importante en el efecto sobre la presión y por consiguiente sobre el agarre por fricción del bagazo sobre la maza cañera. Para tolvas de igual longitud, la presión se duplica al momento de incrementar el ángulo de alimentación de 45 a 90 grados.

Una vez que el ángulo de alimentación se incremente por arriba de 55 grados, el extremo superior de la tolva necesita ser cubierta para contener el bagazo, lo que dio origen a las tolvas cerradas Donnelly.

A medida que la tolva se inclina hacia el zenit del molino, el ángulo de aproximación sobre la maza cañera se torna más perpendicular y no permite que haya una buena alimentación, por lo cual se requiere que un rodillo alimentador (cuarta maza) sean adicionados para desviar el bagazo sobre la abertura de entrada.

Figura 20. **Conductor intermedio que descarga en tolva Donnelly**



Fuente: REIN, Peter. Ingeniería de la caña de azúcar. p. 160.

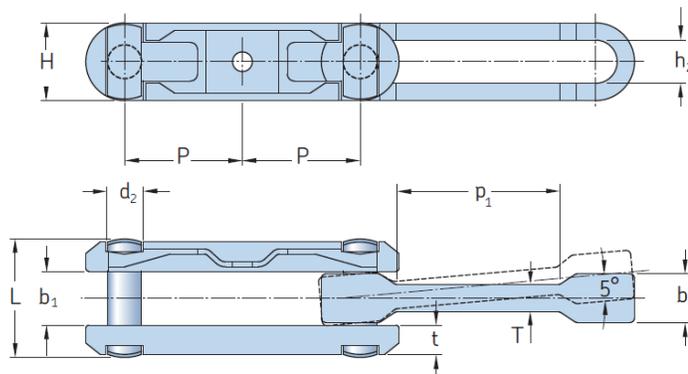
2.6. **Análisis de la cadena Rivetless 698**

La cadena utilizada en la zafra 2013 – 2014 en el tándem B del Ingenio Magdalena es la Rivetless 698, la cual es de acero fundido con tratamiento térmico superficial para aumentar la resistencia al desgaste, corrosión y erosión. Debido a que en el conductor intermedio la cadena se encuentra en contacto directo con el bagazo de donde se extrae el jugo, la cadena debe estar diseñada para trabajar sin lubricación, con el fin de evitar la contaminación del jugo. El eslabón macho es el compuesto por una pieza en forma de argolla y el eslabón hembra está compuesto por dos placas de acero, entre ellas se

ensambla el eslabón macho. Los eslabones se unen mediante pasadores con forma de I.

Las dimensiones de la cadena Rivetless 698 son las siguientes:

Figura 21. Cadena de arrastre Rivetless 698



Fuente: SKF. *SKF Conveyor Chains (catálogo de cadenas de ingeniería SKF)*. p. 114.

Tabla VII. Medidas de la cadena Rivetless 698

Cadena	Paso P (plg)	Pin diámetro d_2 (plg)	Pin largo L (plg)	Altura del centro eslabón macho h_2 (plg)	Altura cadena H (plg)	Espesor de placa t (plg)	Espesor menor eslabón macho T (plg)	Distancia interna entre placa b_1 (plg)	Ultima carga Q_{min} (Klb)
698	6 1/32	1 1/8	3 3/4	1 1/4	2 9/16	9/16	1	5/8	100.00

Fuente: SKF. *SKF Conveyor Chains (catálogo de cadenas de ingeniería SKF)*. p. 114.

Las fallas que se presentan en las cadenas Rivetless 698 son por fatiga o desgaste y no se puede realizar un ensayo de fatiga, debido a que se tiene que elaborar una probeta con las medidas normadas, el acero y el tratamiento térmico que se utiliza en la cadena, otro inconveniente es que no se cuenta con la máquina utilizada para la elaboración de este tipo de ensayos. Por tal motivo se analizó únicamente el desgaste que sufrió la cadena de los inclinados del tándem B durante la zafra 2013 – 2014.

El criterio utilizado en el Ingenio Magdalena para la elección de la cadena de arrastre es: el límite de resistencia a la fatiga varía desde 40 hasta 60 por ciento de la resistencia a la tensión, para aceros, tomado de la presentación consideraciones para elección de cadenas de la empresa SKF. De tal manera, para asegurarnos que la cadena no fallará rápidamente por fatiga, se medirán los esfuerzos a los que es sometida la misma, los cuales deben de ser menores al 40 por ciento de la carga mínima última de la cadena Rivetless 698 (100 000 lb).

Otro criterio a tomar en cuenta es para el buen funcionamiento de la cadena es recomendable que la elongación del paso no exceda del 3 por ciento tomada de la misma presentación de SKF.

2.6.1. Fuerzas y condiciones en que trabaja la cadena Rivetless 698, en los conductores intermedios del tándem B

Las condiciones en las que trabaja la cadena Rivetless 698 utilizada en los conductores intermedios son las siguientes:

- En seco: no se debe aplicar ningún tipo de lubricante a la cadena, debido a que no se debe contaminar el jugo del bagazo.
- Erosión: el polvillo del bagazo tiene un efecto erosivo ante el acero.
- Corrosión: el jugo de la fibra de caña es altamente corrosivo, debido a que al momento de fermentarse al contacto con el aire este se acidifica.
- Desgaste: por el movimiento cíclico, contacto directo entre eslabones (metal con metal) y contacto entre cadena y *sprocket*, se genera un mayor desgaste en la cadena del conductor intermedio.
- Esfuerzos cíclicos: por mantenerse en movimiento continuo la cadena del conductor intermedio, los esfuerzos son cíclicos, lo cual puede generar la falla por fatiga de algún eslabón.

Se debe calcular la tensión total a la que es sometida la cadena en el conductor intermedio, la cual debe ser menor al 40 por ciento de la carga mínima última que soporta la cadena Rivetless 698, con el fin de prevenir una falla por fatiga en un corto tiempo.

Se debe calcular la tensión generada por el Par del motor, para ello es necesario conocer las RPM que tiene el eje motriz de la cadena. Para el cálculo de las RPM, se considera el ratio (factor de reducción) del reductor y la transmisión por cadena que conecta el reductor con el eje motriz de la cadena de arrastre Rivetless 698.

$$\text{RPM en eje motriz} = \frac{\text{RPM}_{\text{motor}}}{\text{Ratio}} * \frac{\text{No. dientes sprocket}_{\text{menor}}}{\text{No. dientes sprocket}_{\text{mayor}}}$$

Donde:

RPM_{motor} : las revoluciones por minuto de la plaqueta del motor.

Ratio: el factor de reducción de la plaqueta del reductor.

Núm. dientes *sprocket* menor: número de dientes de *sprocket* de transmisión con diámetro menor.

Núm. dientes *sprocket* mayor: número de dientes de *sprocket* de transmisión con diámetro mayor.

Tabla VIII. **Cálculo de RPM en el *sprocket* del conductor intermedio, del tándem B**

TÁNDEM B					
Núm. de Inclinado	Motor	Reductor	Núm. Dientes de <i>sprocket</i> de Transmisión		RPM en <i>sprocket</i> de Inclinado
	RPM	Ratio	Menor	Mayor	
1	1770	63,984	21	45	12,90948
2	1770	63,984	21	45	12,90948
3	1775	63	21	45	13,14815
4	1760	63,984	21	45	12,83654

Fuente: elaboración propia.

Luego de haber calculado las RPM del eje motriz del conductor intermedio, se puede calcular el par generado por el motor.

$$\text{Par} = \frac{\text{HP} * 716 * 0,7375}{\text{RPM}} = (\text{lb} - \text{pie})$$

Donde:

Par: es el torque que genera el motor

HP: la potencia del motor en caballos de fuerza

716: el factor por el que se multiplica la potencia para convertirla a watt

RPM: las revoluciones por minuto en eje de transmisión de la cadena

0,7375: factor para convertir watt en lb-pie

Tabla IX. **Par que genera el motor en el eje motriz de la cadena Rivetless 698**

TÁNDEM B			
Núm. de Inclinado	Motor HP	RPM en sprocket de Inclinado	Par en Conductor de Inclinado (lb-pie)
1	50	12,90948	2045,20286
2	50	12,90948	2045,20286
3	40	13,14815	1606,46197
4	40	12,83654	1645,45866

Fuente: elaboración propia.

Ahora se puede encontrar la tensión que se genera en la cadena por el motor.

$$\text{Tensión de transmisión en cadena} = \frac{\text{Par}}{r \text{ sprocket}}$$

Donde:

Par: es el torque que genera el motor lb-pie

r sprocket: radio de sprocket de cadena es de 1,27324 pie

Tabla X. **Tensión generada por el par del motor**

TÁNDEM B	
Núm. de Inclinado	Tensión de transmisión en cadena (lb)
1	1606,302321
2	1606,302321
3	1261,71523
4	1292,343231

Fuente: elaboración propia.

La potencia necesaria para vencer la fricción del conductor vacío, con el ensamble de tablilla-cadena es P_1 .

$$P_1 = \frac{2 * g * m_{\text{cadena}} * l_{\text{horizontal}} * \mu * v}{1000}$$

Donde:

g : la gravedad 9,81 m/s²

m_{cadena} : masa de la cadena-tablilla debe ser en un rango de 100 a 160 kg/m

$l_{horizontal}$: distancia horizontal de eje motriz a eje colero en metros.

μ : coeficiente de fricción para cadena y tablillas, 0,35 valor conservador.

v : velocidad del conductor en m/s

Tabla XI. **Cálculo de la potencia necesaria para vencer la fricción sin bagazo en los conductores intermedios del tándem B**

VENCER LA FRICCIÓN DEL CONDUCTOR (CADENA-DUELA)					
Núm. de Inclinado	Masa cadena-tablilla (kg/m)	longitud horizontal de conductor (m)	Coeficiente de fricción (μ)	Velocidad del conductor (m/s)	P1 (kW)
1	149,189258	7,77	0,35	0,53	4,218921949
2	149,189258	7,77	0,35	0,53	4,218921949
3	149,189258	7,77	0,35	0,53	4,218921949
4	149,189258	7,77	0,35	0,54	4,29852425

Fuente: elaboración propia.

Otra potencia que influye en la tensión de la cadena es la ocasionada por la fricción entre el bagazo y la base del conductor por donde se arrastra P_2 .

$$P_2 = \frac{g * m_f * l * \mu}{1\ 000}$$

Donde:

g : gravedad 9,81 m/s²

m_f : es el flujo másico de bagazo o la molienda en kg/s

l : longitud horizontal con carga en metros

μ : coeficiente de fricción para carga de bagazo, puede asumirse 0,3 conservadoramente

Tabla XII. **Potencia necesaria para vencer la fricción generada por el bagazo en los conductores intermedios, tándem B**

VENCER LA FRICCIÓN DEL BAGAZO					
Núm. de inclinado	Velocidad de flujo másico (T/h)	Velocidad de flujo másico (kg/s)	Longitud horizontal con carga (m)	Coeficiente de fricción de bagazo (μ)	P2 (kW)
1	625	175	7,1	0,3	3,656678
2	625	175	7,1	0,3	3,656678
3	625	175	7,1	0,3	3,656678
4	625	175	7,1	0,3	3,656678

Fuente: elaboración propia.

También se debe calcular la potencia necesaria al momento de elevar el bagazo (P_3), en el conductor intermedio.

$$P_3 = \frac{g * m_f * h}{1\ 000}$$

Donde:

g: gravedad, 9,81 m/s².

m_f : flujo másico de bagazo (molienda) en kg/s

h: elevación del bagazo en metros

Tabla XIII. **Potencia necesaria para elevar el bagazo en los conductores intermedios del tándem B**

ELEVAR EL BAGAZO			
Núm. de inclinado	Velocidad de flujo másico (Kg/s)	Altura h (m)	P3 (kW)
1	175	5	8,58375
2	175	5	8,58375
3	175	5	8,58375
4	175	5	8,58375

Fuente: elaboración propia.

Luego es necesario la suma de las tres potencias calculadas anteriormente ($P_1 + P_2 + P_3$).

Tabla XIV. **Potencia total necesaria en los conductores intermedios del tándem B**

POTENCIA TOTAL NECESARIA, TÁNDEM B				
Núm. de Inclinado	P1 (kW)	P2 (kW)	P3 (kW)	P total (kW)
1	4,218922	3,6566775	8,58375	16,459349
2	4,218922	3,6566775	8,58375	16,459349
3	4,218922	3,6566775	8,58375	16,459349
4	4,298524	3,6566775	8,58375	16,538952

Fuente: elaboración propia.

La potencia total se utiliza para calcular la tensión que le es ejercida a la cadena del conductor intermedio por el bagazo, tablillas y la misma cadena.

$$Tensión = \frac{P \text{ total} * 1\ 000}{g * v} * 2,2 = (lb)$$

Donde:

P total: potencia total en kW

g: gravedad 9,81 m/s²

v: velocidad de la cadena en m/s

Tabla XV. **Tensión en cadena de los conductores intermedios por potencias totales necesarias en el tándem B**

TENSIÓN EN CADENA POR POTENCIAS NECESARIAS				
Núm. de Inclinado	P total (kW)	Gravedad (m/s²)	Velocidad del conductor (m/s)	Tensión (lb)
1	16,45935	9,81	0,53	6964,5085
2	16,45935	9,81	0,53	6964,5085
3	16,45935	9,81	0,53	6964,5085
4	16,53895	9,81	0,54	6868,5948

Fuente: elaboración propia.

Para conocer la tensión total en cada conductor intermedio del Tándem B se sumó la tensión generada por potencias necesarias y la tensión de transmisión de la misma, es de mucha importancia tomar en cuenta que la cadena Rivetless 698 tiene una carga mínima última de 100 000 libras fuerza. La sumatoria de tensiones debe ser menor al 40 por ciento de dicha carga (40 000 libras fuerza), para que la cadena no falle por fatiga en menos tiempo.

Tabla XVI. **Tensión total en cadena Rivetless 698 en conductores intermedios del tándem B**

TENSIÓN TOTAL EN CADENA RIVETLESS 698				
Núm. de Inclinado	Tensión (lb)	TENSIÓN DE TRANSMISIÓN (lb)	Tensión total de cadena	40 % de carga última (lb)
1	6 964,508	1 606,302321	8 570,81077	40 000,00
2	6 964,508	1 606,302321	8 570,81077	40 000,00
3	6 964,508	1 261,71523	8 226,22368	40 000,00
4	6 868,595	1 292,343231	8 160,93798	40 000,00

Fuente: elaboración propia.

Es de gran importancia hacer hincapié en que la cadena Rivetless 698 de los conductores intermedios del tándem B en el Ingenio Magdalena, trabaja a tensiones menores del 10 por ciento de la carga última.

2.6.2. Medición del corrimiento por tensado y variación del paso de la cadena Rivetless 698

Al momento de que la cadena sufra desgaste y deformaciones permanentes en sus eslabones, se afloja el sistema de arrastre del conductor intermedio de tablillas-cadena, de tal manera que se revisó en cada mantenimiento durante la zafra 2013-2014 con el fin de tensarla si fuese necesario para su buen funcionamiento. Estos datos se tomaron directamente en el corrimiento total que se da en el eje motriz al momento de tensarlo, se midió con un vernier en los mantenimientos de la zafra 2013-2014, en el tándem B.

Este problema también genera deformaciones del paso de la cadena, las cuales se recomienda que no excedan del 3 por ciento de elongación y de esta manera evitar la cabalgadura de la cadena en el *sprocket*. Como el paso de la cadena es de 12,0624 pulgadas, la deformación no debe ser mayor del 12,4244 pulgadas. Estas se midieron directamente de los eslabones de la cadena en los mantenimientos durante la zafra 2013-2014, las medidas fueron tomadas por un vernier para tener una mayor exactitud, en el tándem B.

Se le denomina lado libre, al lado opuesto del motor que le da movimiento a las mazas en el molino, y el lado donde se transmite el movimiento entre las mazas y al reductor se le llama lado corona.

Tabla XVII. **Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 1, del tándem B**

Fecha	TANDEM B	
	CORRIMIENTO TOTAL INCLINADO 1	
	Lado libre	Lado corona
23-12-13	0	0
30-12-13	11/16	3/4
06-01-14	7/16	7/8
13-01-14	1/4	1/4
20-01-14	1/4	0
27-01-14	3/8	5/32
10-02-14	0	0
17-02-14	5/8	1/4
11-03-14	1/4	13/32
24-03-14	1 1/4	7/16
10-04-14	0	0
23-04-14	0	1/4
12-05-14	0	1/4
Total	4 1/8	3 5/8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 2, del tándem B**

Fecha	TANDEM B	
	CORRIMIENTO TOTAL INCLINADO 2	
	Lado Libre	Lado Corona
23-12-13	0	0
30-12-13	7/8	9/16
06-01-14	7/16	5/8
13-01-14	7/16	5/16
20-01-14	3/8	3/8
27-01-14	1/2	7/32
10-02-14	0	0
17-02-14	0	1/2
11-03-14	3/16	5/16
24-03-14	7/16	9/16
10-04-14	7/8	5/8
23-04-14	7/16	13/16
12-05-14	1/16	0
Total	4 5/8	4 29/32

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 3, del tándem B**

Fecha	TANDEM B	
	CORRIMIENTO TOTAL INCLINADO 3	
	Lado Libre	Lado Corona
23-12-13	0	0
30-12-13	9/16	5/16
06-01-14	5/16	5/8
13-01-14	1/16	1/4
20-01-14	3/8	1/4
27-01-14	1/16	0
10-02-14	0	0
17-02-14	1/16	0
11-03-14	1/8	5/16
24-03-14	1	7/16
10-04-14	1/2	5/8
23-04-14	13/16	13/16
12-05-14	0	1/16
Total	3 7/8	3 11/16

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Corrimiento total generado por el tensado de la cadena de arrastre en el inclinado 4, del tándem B**

Fecha	TANDEM B	
	CORRIMIENTO TOTAL INCLINADO 4	
	Lado libre	Lado corona
23-12-13	0	0
30-12-13	7/16	5/16
06-01-14	0	3/16
13-01-14	5/16	9/16
20-01-14	3/16	1/2
27-01-14	0	5/32
10-02-14	0	0
17-02-14	3/16	1/4
11-03-14	1/4	9/32
24-03-14	3/8	0
10-04-14	1/2	7/16
23-04-14	7/8	3/4
12-05-14	1/8	1/16
Total	3 1/4	3 1/2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 13/01/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
13/01/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,2275	12,288	12,2275	12,247667	12,2315	12,2325	12,282	12,248667
2	12,1315	12,1616	12,1775	12,156867	12,1531	12,202	12,1435	12,1662
3	12,178	12,1685	12,157	12,167833	12,1875	12,203	12,205	12,1985
4	12,1295	12,151	12,1395	12,14	12,198	12,226	12,2435	12,2225

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 20/01/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
20/01/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,248	12,232	12,278	12,252667	12,2625	12,2645	12,2365	12,2545
2	12,1545	12,1445	12,1685	12,155833	12,1805	12,164	12,147	12,163833
3	12,177	12,164	12,177	12,172667	12,187	12,167	12,274	12,209333
4	12,164	12,125	12,13	12,139667	12,227	12,194	12,24	12,220333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 27/01/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
27/01/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,25	12,28125	12,25	12,260417	12,2725	12,28125	12,25	12,267917
2	12,125	12,125	12,25	12,166667	12,1875	12,25	12,125	12,1875
3	12,1875	12,1875	12,1875	12,1875	12,1875	12,1875	12,25	12,208333
4	12,125	12,1875	12,125	12,145833	12,1975	12,25	12,25	12,2325

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 10/02/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
10/02/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,293	12,255	12,28	12,276	12,257	12,281	12,287	12,275
2	12,163	12,145	12,18	12,162667	12,186	12,15	12,15	12,162
3	12,166	12,167	12,195	12,176	12,2	12,193	12,208	12,200333
4	12,226	12,202	12,171	12,199667	12,193	12,198	12,212	12,201

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 17/02/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
17/02/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,287	12,271	12,28	12,279333	12,27	12,305	12,271	12,282
2	12,21	12,201	12,219	12,21	12,21	12,181	12,159	12,183333
3	12,2	12,164	12,235	12,199667	12,201	12,203	12,198	12,200667
4	12,189	12,1919	12,221	12,200633	12,21	12,203	12,222	12,211667

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 11/03/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
11/03/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,284	12,278	12,292	12,284667	12,354	12,22	12,324	12,299333
2	12,189	12,177	12,237	12,201	12,23	12,214	12,189	12,211
3	12,134	12,27	12,232	12,212	12,212	12,137	12,255	12,201333
4	12,252	12,2515	12,2405	12,248	12,234	12,2085	12,24	12,2275

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 10/04/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
10/04/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,325	12,312	12,313	12,316667	12,365	12,327	12,2251	12,3057
2	12,258	12,189	12,186	12,211	12,239	12,216	12,179	12,211333
3	12,224	12,209	12,214	12,215667	12,24	12,234	12,24	12,238
4	12,264	12,27	12,238	12,257333	12,226	12,224	12,223	12,224333

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 23/04/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
23/04/2014	Muestra (plg)			Promedio (plg)	Muestra (plg)			Promedio (plg)
No. Inclinado	1	2	3		1	2	3	
1	12,104	12,145	12,1255	12,124833	12,125	12,102	12,1465	12,1245
2	12,3145	12,3435	12,1305	12,262833	12,244	12,2735	12,285	12,2675
3	12,3085	12,3225	12,2545	12,295167	12,314	12,3211	12,3185	12,317867
4	12,2865	12,2475	12,286	12,273333	12,307	12,321	12,235	12,287667

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Deformación del paso de los inclinados del tándem B, datos obtenidos el 12/05/2014**

TANDEM B								
Fecha:	Lado Libre				Lado Corona			
12/05/2014	Muestra (plg)			Promedio	Muestra (plg)			Promedio
No. Inclinado	1	2	3	(plg)	1	2	3	(plg)
1	12,111	12,155	12,1355	12,133833	12,135	12,112	12,1755	12,140833
2	12,321	12,339	12,1605	12,2735	12,258	12,275	12,295	12,276
3	12,3085	12,3225	12,2545	12,295167	12,331	12,3235	12,3148	12,3231
4	12,2895	12,258	12,316	12,287833	12,305	12,323	12,325	12,317667

Fuente: elaboración propia.

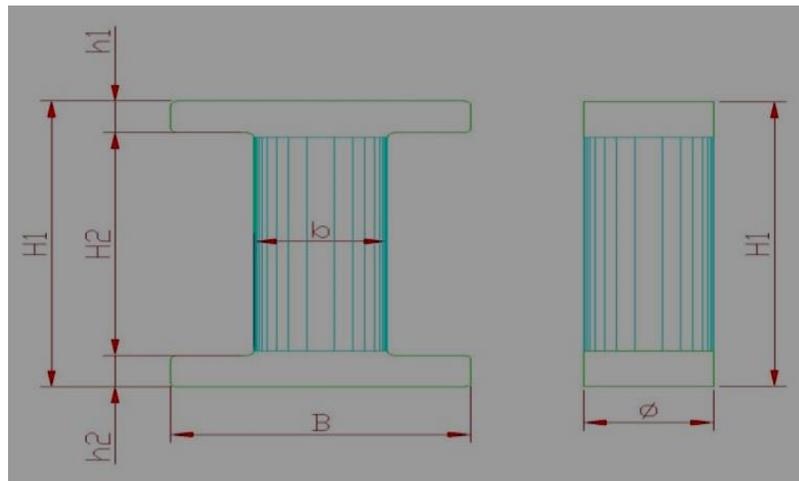
Se llevó un control para que el corrimiento de tensado fuese lo más parejo posible, pero hay variación debido a que en el lado libre cuesta la tensada de la cadena, porque en ese lado se encuentra la carcasa que protege la cadena de transmisión del eje motriz.

Ninguna cadena de los conductores intermedios (inclinados) llegó a una deformación mayor al 3 por ciento del paso, de tal manera que no se obtuvieron problemas de cabalgadura de cadena de arrastre en el *sprocket*.

2.6.3. Medición del desgaste de pasadores en la cadena de arrastre Rivetless 698, de los conductores intermedios del tándem B

Al estar tensada continuamente la cadena es necesario retirar un pie de cadena para mantener el eje a la misma altura. Los pasadores que se analizaron, son los del pie de cadena que se retiró, los que se quitaron cuando se cambió la cadena por falla (debido al desgaste y fatiga) y los que terminaron la zafra 2013-2014.

Figura 22. Partes del pasador de la cadena de arrastre Rivetless 698



Fuente: Área de Maquinaria, Ingenio Magdalena S. A.

También es de mucha importancia hacer hincapié que a los pasadores más desgastados de la cadena que falló en el conductor intermedio del inclinado 1 del tándem B, se realizaron ensayos de líquidos penetrantes y partículas magnéticas con el fin de observar alguna falla pero no presentaron ninguna anomalía.

Para calcular el volumen de los pasadores se utilizó el principio de Arquímedes, se introdujo uno por uno en un beaker con medidas, donde el volumen del pasador es igual al volumen desplazado de agua.

Figura 23. **Pasador desgastado del conductor intermedio 2, del tándem B**



Fuente: Área de Maquinaria, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 24. **Ensayo de líquidos penetrantes realizado a pasadores del inclinado 1 del tándem B**



Fuente: Área de Maquinaria, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 25. **Ensayo de partículas magnéticas realizado a pasadores del inclinado 1 del tándem B**



Fuente: Área de Maquinaria, Ingenio Magdalena S. A.

Tabla XXX. **Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 1, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que falló el 10/05/2014**

MEDIDAS DE PASADORES DESGASTADOS INCLINADO 1, TANDEM B. 10/05/2014										
MUESTRAS	H1 (plg)	H2 (plg)	h1 (plg)	h2 (plg)	B (plg)	b (plg)	ϕ (plg)	VOLUMEN (plg ³)	PESO (lbf)	masa (lb)
0	3,47047	2,69409	0,39055	0,39055	2,55118	1,12992	1,10236	5,98033	1,25133	0,03889
1	3,45850	2,70300	0,36700	0,38450	2,52600	1,09100	1,07900	5,55316	1,20724	0,03752
2	3,45400	2,71400	0,36700	0,38800	2,51150	1,06700	1,07750	5,55316	1,20503	0,03745
3	3,46250	2,69980	0,37200	0,38200	2,51500	1,08800	1,09925	5,61418	1,21253	0,03769
4	3,44700	2,71500	0,37350	0,36400	2,51000	1,08100	1,06100	5,37009	1,17329	0,03647
5	3,45600	2,69750	0,38000	0,38100	2,52150	1,07150	1,06750	5,49214	1,19357	0,03710
6	3,46950	2,69700	0,38300	0,38500	2,53000	1,10800	1,07700	5,49214	1,19445	0,03712
Promedio	3,45792	2,70438	0,37375	0,38075	2,51900	1,08442	1,07688	5,51248	1,19769	0,03723

Porcentajes de variación de medidas										
Máximo (%)	0,67635	0,77598	6,03024	6,79811	1,6142	5,56864	3,75214	10,20408163	6,236786	6,236786
Promedio (%)	0,36179	0,3819	4,30192	2,50928	1,26142	4,02724	2,31205	7,823129252	4,287057	4,287057
Mínimo (%)	0,02802	0,10785	1,93347	0,65293	0,83025	1,94007	0,28232	6,12244898	3,100775	3,100775

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 1, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014**

MEDIDAS DE PASADORES DESGASTADOS INCLINADO 1, TANDEM B. 27/05/2014										
MUESTRAS	H1 (plg)	H2 (plg)	h1 (plg)	h2 (plg)	B (plg)	b (plg)	ϕ (plg)	VOLUMEN (plg ³)	PESO (lbf)	masa (lb)
0	3,47047	2,69409	0,39055	0,39055	2,55118	1,12992	1,10236	5,98033	1,25133	0,03889
1	3,45850	2,69950	0,38350	0,38750	2,51100	1,12200	1,08350	5,91930	1,23854	0,03849
2	3,46100	2,69500	0,38350	0,39010	2,51850	1,12250	1,09850	5,91930	1,23766	0,03847
3	3,44850	2,69800	0,38100	0,37600	2,52100	1,12350	1,09050	5,91930	1,23810	0,03848
4	3,44850	2,69700	0,37750	0,38950	2,51450	1,12000	1,07350	5,85828	1,21738	0,03784
5	3,44650	2,69900	0,38050	0,38250	2,51000	1,12750	1,10150	5,91930	1,23458	0,03837
6	3,45000	2,70000	0,37500	0,37650	2,51800	1,12450	1,09650	5,85828	1,23414	0,03836
Promedio	3,45217	2,69808	0,38017	0,38368	2,51550	1,12333	1,09067	5,89896	1,23340	0,03834

Porcentajes de variación de medidas										
Máximo (%)	0,69075	0,2192	3,98185	3,72552	1,6142	0,87805	2,61821	2,040816327	2,713178	2,713178
Promedio (%)	0,52747	0,14806	2,65894	1,7582	1,39861	0,58304	1,06095	1,360544218	1,432934	1,432934
Mínimo (%)	0,27294	0,03361	1,80544	0,11522	1,18302	0,21429	0,07821	1,020408163	1,021846	1,021846

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 2, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014**

MEDIDAS DE PASADORES DESGASTADOS INCLINADO 2, TANDEM B. 27/05/2014										
MUESTRAS	H1 (plg)	H2 (plg)	h1 (plg)	h2 (plg)	B (plg)	b (plg)	φ (plg)	VOLUMEN (plg³)	PESO (lbf)	masa (lb)
0	3,47047	2,69409	0,39055	0,39055	2,55118	1,12992	1,10236	5,98033	1,25133	0,03889
1	3,46550	2,79000	0,37750	0,37650	2,44700	1,06300	1,01550	5,12599	1,15389	0,03586
2	3,46400	2,82750	0,37250	0,37550	2,46900	1,04000	1,00000	5,12599	1,14771	0,03567
3	3,46400	2,79050	0,37400	0,38400	2,42150	1,04450	1,03250	5,49214	1,18475	0,03682
4	3,47000	2,80300	0,37900	0,38450	2,47150	1,07060	1,02300	5,67521	1,20592	0,03748
5	3,46450	2,79400	0,38750	0,39000	2,43500	1,06000	1,08750	5,85828	1,23766	0,03847
6	3,46000	2,76500	0,38100	0,38650	2,48350	1,07000	1,04550	5,79726	1,21341	0,03771
Promedio	3,46467	2,79500	0,37858	0,38283	2,45458	1,05802	1,03400	5,51248	1,19056	0,03700

Porcentajes de variación de medidas										
Máximo (%)	0,30176	4,95178	4,62198	3,85354	5,08318	7,95819	9,28571	14,28571429	8,280479	8,280479
Promedio (%)	0,16729	3,74543	3,06435	1,97585	3,78639	6,36368	6,20143	7,823129252	4,856707	4,856707
Mínimo (%)	0,01361	2,63189	0,78125	0,14083	2,65293	5,25003	1,34821	2,040816327	1,092319	1,092319

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 3, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014**

MEDIDAS DE PASADORES DESGASTADOS INCLINADO 3, TANDEM B. 27/05/2014										
MUESTRAS	H1 (plg)	H2 (plg)	h1 (plg)	h2 (plg)	B (plg)	b (plg)	φ (plg)	VOLUMEN (plg³)	PESO (lbf)	masa (lb)
0	3,47047	2,69409	0,39055	0,39055	2,55118	1,12992	1,10236	5,98033	1,25133	0,03889
1	3,45450	2,70150	0,37600	0,38200	2,52200	1,10000	1,08150	5,85828	1,21518	0,03777
2	3,46900	2,71800	0,37850	0,37200	2,51950	1,09950	1,02250	5,24804	1,14639	0,03563
3	3,45950	2,69800	0,38050	0,38250	2,51400	1,11150	1,04950	5,79726	1,20900	0,03758
4	3,47000	2,70950	0,38300	0,37450	2,52550	1,12000	1,04600	5,55316	1,19092	0,03701
5	3,46450	2,70300	0,38000	0,38350	2,52300	1,10100	1,07300	5,55316	1,19666	0,03719
6	3,46000	2,71000	0,37850	0,36500	2,52450	1,11800	1,06100	5,61418	1,19842	0,03725
Promedio	3,46292	2,70667	0,37942	0,37658	2,52142	1,10833	1,05558	5,60401	1,19276	0,03707

Porcentajes de variación de medidas										
Máximo (%)	0,46024	0,88733	3,72581	6,54206	1,45741	2,69233	7,24464	12,24489796	8,386187	8,386187
Promedio (%)	0,21772	0,46666	2,85097	3,57615	1,16669	1,91057	4,24351	6,292517007	4,680526	4,680526
Mínimo (%)	0,01361	0,14497	1,93347	1,80515	1,00664	0,87805	1,8925	2,040816327	2,889359	2,889359

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Medición del desgaste de los pasadores del conductor intermedio 4, de la cadena Rivetless 698 del tándem B que finalizó la zafra el 27/05/2014**

MEDIDAS DE PASADORES DESGASTADOS INCLINADO 4, TANDEM B. 27/05/2014										
MUESTRAS	H1 (plg)	H2 (plg)	h1 (plg)	h2 (plg)	B (plg)	b (plg)	φ (plg)	VOLUMEN (plg³)	PESO (lbf)	masa (lb)
0	3,47047	2,69409	0,39055	0,39055	2,55118	1,12992	1,10236	5,98033	1,25133	0,03889
1	3,45850	2,70300	0,36700	0,38450	2,52600	1,09100	1,07900	5,55316	1,20724	0,03752
2	3,45400	2,71400	0,36700	0,38800	2,51150	1,06700	1,07750	5,55316	1,20503	0,03745
3	3,46250	2,69980	0,37200	0,38200	2,51500	1,08800	1,09925	5,61418	1,21253	0,03769
4	3,44700	2,71500	0,37350	0,36400	2,51000	1,08100	1,06100	5,37009	1,17329	0,03647
5	3,45600	2,69750	0,38000	0,38100	2,52150	1,07150	1,06750	5,49214	1,19357	0,03710
6	3,46950	2,69700	0,38300	0,38500	2,53000	1,10800	1,07700	5,49214	1,19445	0,03712
Promedio	3,45792	2,70438	0,37375	0,38075	2,51900	1,08442	1,07688	5,51248	1,19769	0,03723

Porcentajes de variación de medidas										
Máximo (%)	0,67635	0,77598	6,03024	6,79811	1,6142	5,56864	3,75214	10,20408163	6,236786	6,236786
Promedio (%)	0,36179	0,3819	4,30192	2,50928	1,26142	4,02724	2,31205	7,823129252	4,287057	4,287057
Mínimo (%)	0,02802	0,10785	1,93347	0,65293	0,83025	1,94007	0,28232	6,12244898	3,100775	3,100775

Fuente: elaboración propia.

2.6.4. Medición del porcentaje de desgaste en 5 pies de cadena de arrastre Rivetless 698

Por medio del peso en 5 pies de cadena se pudo encontrar el porcentaje del desgaste total que presentó la cadena durante el tiempo de servicio en los conductores intermedios del tándem B.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \left(\frac{W_0 - W_f}{W_0} \right) * 100$$

Donde:

W_0 : es el promedio del peso de los 5 pies de cadena nuevos.

W_f : es el peso de los 5 pies de cadena que prestó servicio.

Tabla XXXV. **Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 1 del tándem B, retirada por falla el 10/05/2014**

Fecha: 10/05/2014		Inclinado 1 del tándem B		
Peso de 5 pies de cadena Rivetless 698				
Peso de cadena lado libre	Peso de cadena lado corona	Peso de cadena nueva	Desgaste cadena lado libre (%)	Desgaste cadena lado corona (%)
53,25	53,10	59,30	10,20236	10,45531
53,65	53,25	59,30	9,52782	10,20236
53,35	53,20	59,30	10,03373	10,28668
Desgaste mayor			10,20236	10,45531
Desgaste menor			9,52782	10,20236
Promedio de desgaste			9,92130	10,31478

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 1 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014**

Fecha: 27/05/2014		Inclinado 1 del tándem B		
Peso de 5 pies de cadena Rivetless 698				
Peso de cadena lado libre	Peso de cadena lado corona	Peso de cadena nueva	Desgaste cadena lado libre (%)	Desgaste cadena lado corona (%)
58,2	57,95	59,30	1,85497	2,27656
58,02	58,16	59,30	2,15852	1,92243
58,14	57,68	59,30	1,95616	2,73187
Desgaste mayor			2,15852	2,73187
Desgaste menor			1,85497	1,92243
Promedio de desgaste			1,98988	2,31029

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 2 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014**

Fecha: 27/05/2014	Inclinado 2 del tándem B			
Peso de 5 pies de cadena Rivetless 698				
Peso de cadena lado libre	Peso de cadena lado corona	Peso de cadena nueva	Desgaste cadena lado libre (%)	Desgaste cadena lado corona (%)
51,44	49,98	59,30	13,25464	15,71669
51,68	49,81	59,30	12,84992	16,00337
51,21	50,01	59,30	13,64250	15,66610
Desgaste mayor			13,64250	16,00337
Desgaste menor			12,84992	15,66610
Promedio de desgaste			13,24902	15,79539

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 3 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014**

Fecha: 27/05/2014		Inclinado 3 del tándem B		
Peso de 5 pies de cadena Rivetless 698				
Peso de cadena lado libre	Peso de cadena lado corona	Peso de cadena nueva	Desgaste cadena lado libre (%)	Desgaste cadena lado corona (%)
54,65	49,91	59,30	7,84148	15,83474
54,48	49,89	59,30	8,12816	15,86847
54,18	50,05	59,30	8,63406	15,59865
Desgaste mayor			8,63406	15,86847
Desgaste menor			7,84148	15,59865
Promedio de desgaste			8,20124	15,76728

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Desgaste de los 5 pies de cadena Rivetless 698 de arrastre del conductor intermedio 4 del tándem B, retirada al final de la zafra el 27/05/2014**

Fecha: 27/05/2014	Inclinado 4 del tándem B			
Peso de 5 pies de cadena Rivetless 698				
Peso de cadena lado libre	Peso de cadena lado corona	Peso de cadena nueva	Desgaste cadena lado libre (%)	Desgaste cadena lado corona (%)
56,28	56,06	59,30	5,09275	5,46374
56,04	55,75	59,30	5,49747	5,98651
56,14	55,97	59,30	5,32884	5,61551
Desgaste mayor			5,49747	5,98651
Desgaste menor			5,09275	5,46374
Promedio de desgaste			5,30635	5,68859

Fuente: elaboración propia.

2.7. Propuesta para la mejora del funcionamiento de la cadena y alargar la vida útil de la misma

Si se mejora las condiciones en que trabaja la cadena de arrastre Rivetless 698, se alarga la vida útil de la misma. Entre esas consideraciones están:

- Limpieza: la cadena se embagaza por la maceración y al momento que pasa por el *sprocket* se acumula, hasta que expande al eslabón hembra ocasionando la ruptura de la cabeza del pasador. Es recomendable que

se limpie en cada mantenimiento o mantenerla limpia a través de una manera automatizada.

- Fatiga: los esfuerzos cíclicos deben ser menores al 40 por ciento de la carga mínima última de la cadena y así evitar la ruptura prematura por fatiga.
- Deformación del paso: el paso no debe deformarse más del 3 por ciento, de esta manera se evita que la cadena cabalgue en el *sprocket*.
- Tensado: tensar las cadenas de los dos lados del conductor intermedio lo más parejo posible, así no trabaja más una que la otra y el desgaste será menor en ambas.

Es necesario tener en cuenta las consideraciones anteriores, así de esa manera poder disminuir los paros innecesarios. Las cadenas del conductor intermedio 1 del tándem B, generalmente se cambian antes de que termine la zafra, es de gran importancia planificar dicho cambio.

3. FASE DE DOCENCIA

3.1. Importancia de la seguridad industrial

La seguridad industrial es un área multidisciplinaria que se encarga de minimizar los riesgos de accidentes en la industria, esto se debe a que en toda actividad industrial existen peligros inherentes que necesitan de una correcta gestión.

Todas las industrias han estado acompañadas de diferentes riesgos dentro de la actividad laboral, tal es el caso de los accidentes que han sido causados por condiciones y actos inseguros que han ido afectando la productividad de la empresa.

Las normas de seguridad han pasado por diferentes fases, y por distintos momentos de implementación, e inicialmente el interés estaba concentrado simplemente en propiciar que las instalaciones fueran seguras, en evitar accidentes y en el uso de elementos de protección, las cuales estaban concentradas específicamente en los aspectos físicos y logísticos para garantizar la seguridad en los trabajadores. Pero más allá de las especificaciones logísticas o físicas, la seguridad industrial debe tener un enfoque integral e incluyente y tomar en cuenta además, la responsabilidad del trabajador y de todos los miembros, el ambiente laboral y comportamientos, por lo que el sistema de gestión de la seguridad es una red en la que todos son responsables.

La seguridad industrial tiene muchos objetivos pero entre los que más se destacan son: evitar lesiones y muerte por accidente, porque cuando ocurre este tipo de riesgos puede haber una alteración en la productividad que genera el potencial humano, como la reducción de los costos operativos de producción. Además, la seguridad tiene una función en línea, como de asesoría, aquí entran los especialistas en seguridad quienes son los encargados de reconocer que parte corresponde a cada categoría. Para ello es necesario que se conozca de manera clara lo que es en sí evasión de riesgos, que se refiere a la forma de navegar libre de incómodos sucesos, para evitar hacer cosas que puedan afectar.

Tomando en cuenta todo lo anterior es necesario implementar sistemas de protección, que se encarguen de disminuir los riesgos y accidentes a todas las personas que laboren en la empresa, como pueden ser primeros auxilios, protección en máquinas, protección contra incendios, contra sismos y todos los medios que proporcionen una medida de seguridad para la integridad física de las personas.

En si los riesgos no son más que una relativa exposición a un peligro, con esto se puede afirmar que la ausencia de riesgos constituye la seguridad, la cual se define como la protección relativa de exposición a peligros.

Entonces, la seguridad industrial requiere principalmente que los trabajadores cooperen y utilicen las vestimentas y elementos necesarios; con el fin de disminuir los accidentes y que puedan desarrollar el trabajo de la mejor manera posible. Cabe destacar que la seguridad industrial es relativa, porque es imposible garantizar que nunca se producirá ningún tipo de accidente.

Al realizar el análisis de riesgos, se debe realizar un proceso en el que están incluidos puntos muy importantes que son los siguientes:

- Establecer el contexto: este punto se refiere a conocer e identificar el ambiente y condiciones en las que se realizará la actividad.
- Conformación del grupo de análisis de riesgos: el grupo debe ser conformado por varias personas de diferentes disciplinas relacionadas con el trabajo a realizar, incluyendo trabajadores; el propósito de esto es asegurar varios puntos de vista y las experiencias de quienes ya conocen el trabajo y los peligros involucrados.
- Determinar las actividades: esta es la primera tarea del grupo de análisis, se debe enumerar cada actividad a realizar teniendo en cuenta las personas involucradas y otras tareas que se realicen en el área de influencia.
- Identificación de peligros: en este punto se identifican y enumeran los peligros presentes en cada actividad.
- Determinación de las consecuencias: una vez identificados los peligros, es el momento de determinar las consecuencias posibles para las personas, la propiedad y el ambiente.
- Valoración de las consecuencias: para valorar las consecuencias, se acostumbra usar una escala numérica de 1 a 4, donde: 1 = menor, 2 = moderado, 3 = mayor y 4 = desastroso.

- Controles actuales: identificados los peligros y las posibles consecuencias, se procede con la identificación de los controles existentes para evitar la ocurrencia de esas consecuencias. Aquí lo importante es que esos controles existan en la organización y que efectivamente se practiquen.
- Determinación del riesgo (probabilidad de ocurrencia): con la información recaudada hasta este punto, se determina el riesgo. O sea, la probabilidad de que ocurra el accidente. El riesgo se califica como: bajo, medio o alto.

Como un tipo de riesgo se tiene al accidente como un proceso, caracterizado por una alteración perjudicial del estado de salud. El estado o proceso de enfermedad puede ser provocado por diversos factores, tanto intrínsecos como extrínsecos al organismo enfermo.

Un punto de partida para empezar a desarrollar la seguridad en aquellas empresas que aún no cuenten con programas establecidos será:

- Identificar las condiciones y actos inseguros.
- Evaluar el peligro potencial que encierran.
- De acuerdo a la magnitud evaluada de los riesgos, dictar las medidas preventivas que correspondan y vigilar que se cumplan.

Es indudable que con estas actividades se lograrán buenos resultados parciales, pero no debe perderse el enfoque de que si solo se actúa en esta forma únicamente se estará atacando a los síntomas del problema. Para

obtener resultados permanentes, deberá implementarse un programa formal de seguridad.

La planificación es una función básica de la administración de un sistema y consiste en analizar el futuro, a partir de la toma de decisiones del presente, con el objeto de minimizar los riesgos y obtener ventajas.

3.2. Presentación de problemas comunes que se dan en las cadenas de arrastre Rivetless 698

Entre los problemas que se pueden generar en las cadenas de arrastre Rivetless 698 de los conductores intermedios se encuentran: falla de la cabeza del pasador, falla en las dos cabezas del pasador, desgaste del pasador de la cadena Rivetless 698, entre otros, los cuales se describen a continuación:

- Falla de la cabeza del pasador: este se produce cuando en el eslabón hembra se introduce bagazo que al pasar por el *sprocket* se comprime y se acumula generando esfuerzos cortantes en la cabeza de los pasadores de la cadena, ocasionando el desprendimiento de la misma. Las fallas que se pueden presentar aparecen en las figuras 26 y 27.

Figura 26. **Falla en una cabeza del pasador**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

Figura 27. **Falla en las dos cabezas del pasador**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

- Falla por ruptura de pasador (debido al desgaste): por el trabajo constante de la cadena en condiciones de esfuerzos cíclicos, nula lubricación, ambiente corrosivo y erosivo, se generan desgastes en los pasadores que pueden llegar a ocasionar la falla de un pasador y la ruptura de la cadena.

Figura 28. **Desgaste del pasador de la cadena Rivetless 698**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

- Falla por fatiga: se da cuando los esfuerzos son cíclicos, generalmente suceden antes de tiempo cuando la cadena trabaja a tensiones mayores al 40 por ciento de la resistencia mínima última. Esta puede darse en cualquier eslabón o en algún pasador.
- Falla por cabalgadura: esta se produce cuando la deformación permanente del paso de la cadena es mayor al 3 por ciento, la cadena se monta en el *sprocket* y genera esfuerzos mayores que ocasionan la ruptura de uno de los eslabones.
- Falla por sobreesfuerzo: cuando se tensa más un lado que el otro, una cadena trabaja más (resiste mayores cargas), ocasionando una falla por sobreesfuerzo, generalmente se da en uno de los eslabones o en la cabeza de un pasador.

Figura 29. **Falla por sobreesfuerzo en una placa del eslabón hembra**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

3.3. Presentación de las condiciones en las que debe trabajar la cadena Rivetless 698

Es de mucha importancia tener en cuenta las condiciones en las que debe trabajar la cadena de arrastre de los conductores intermedios, debido a que si una de las cadenas falla, es necesario el paro de todo el tándem.

- Lubricación nula: para evitar la contaminación del jugo que se va a extraer.
- Condición abrasiva: el bagazo por estar en constante contacto entre metales, ocasiona el continuo desprendimiento de pequeñas partículas del acero de la cadena (en forma de poros), debilitando la misma. Debido a esto las cadenas cuentan con un tratamiento térmico con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de la misma.

Figura 30. Pasador afectado por la abrasión



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

- Condiciones corrosivas: los microorganismos que se encuentran en el jugo de caña del bagazo se reproducen rápidamente y se alimentan de azúcares, ocasionando la fermentación del jugo (pérdida de sacarosa), esto genera que el jugo incremente la acidez, siendo esta responsable de ocasionar la corrosión del metal, desgastándolo superficialmente. El tratamiento térmico de la cadena ayuda a la disminución de la corrosión de la misma.
- Embagazamiento: debido a la maceración, se acumula el bagazo en la cadena, que al pasar por el *sprocket* se adhiere con mayor fuerza a esta. La cadena debe mantenerse lo más limpia posible para desempeñar bien el trabajo e incrementar la vida útil de la misma.

Figura 31. **Embagazamiento de eslabón hembra de la cadena Rivetless 698 del conductor intermedio 1**



Fuente: tándem B, Ingenio Magdalena S. A.

- Funcionamiento paralelo de las cadenas: las cadenas deben de trabajar paralelamente para la distribución equitativa de la carga generada por el bagazo y así aumentar la vida útil de las mismas. Para lograr esto se debe tensar equitativamente en ambos lados del conductor intermedio.
- Esfuerzos cíclicos: la cadena durante el período de zafra, se encuentra en trabajo constante, generando esfuerzos continuos que podrían ocasionar una falla por fatiga de la misma.

Debido a que las condiciones como la acidez, los esfuerzos cíclicos (molienda), abrasión, paralelismo de la cadena (cambia cada vez que se tensa) y embagazamiento varían de un momento a otro; no se puede saber el momento y el lugar exacto donde fallará la cadena.

CONCLUSIONES

1. La cadena Rivetless 698 sufrió desgaste debido a la nula lubricación, al comportamiento abrasivo del bagazo, a los esfuerzos cíclicos y al efecto corrosivo de la acidez del jugo de caña, factores que ocasionaron la disminución del volumen y debilitaron a la misma.
2. Los pasadores de la cadena Rivetless 698 del conductor intermedio 2 del tándem B que terminaron la zafra 2013-2014, presentaron un desgaste máximo de 8,28 por ciento de pérdida de masa y un desgaste promedio de 4,85 por ciento de pérdida de masa.
3. La cadena Rivetless 698 que terminó la zafra 2013-2014, en el lado corona del conductor intermedio 2 del tándem B, toleró un desgaste total máximo de 16 por ciento de pérdida de masa y un desgaste total promedio de 15,79 por ciento de pérdida de masa.
4. En el conductor intermedio 1 del tándem B, antes de la falla, se obtuvo una deformación promedio del paso de 2,11 por ciento en la cadena del lado libre y 2,00 por ciento en la cadena del lado corona; así como un desgaste total máximo de 10,45 por ciento y un desgaste de pasador máximo de 6,24 por ciento.
5. Los datos obtenidos son producto de las condiciones de trabajo de la cadena Rivetless 698 y de la molienda (*setting*) en la que se trabajó.

RECOMENDACIONES

Al jefe de maquinaria:

1. Verificar que las cargas a las que trabajan las cadenas Rivetless 698 estén por debajo del 40 por ciento de la carga última de la misma, siempre que se incremente la molienda, con el objeto de evitar fallas por fatiga.

Al supervisor del tándem B:

2. Observar continuamente el desgaste de las cadenas en los inclinados con el fin de determinar si es necesario el cambio de una de ellas por alguna anomalía de las mismas.

Al mecánico especial del tándem B:

3. Supervisar que se mantengan limpias las cadenas Rivetless 698 de los conductores intermedios del tándem B y de esta manera evitar alguna falla por embagazamiento.
4. Tensar las cadenas equitativamente de ambos lados del conductor, de esta manera evitar que trabaje más uno de los lados y así reducir el desgaste.
5. Cuidar que la deformación del paso no exceda el 3 por ciento, para evitar que la cadena cabalgue en el *sprocket*.

BIBLIOGRAFÍA

1. BUDYNAS, Richard; NISBETT, J. Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 9a ed. México: McGraw-Hill, 2008. 1038 p.
2. DE LEÓN, Eugenio. *Guía de montaje y mantenimiento del molino de caña de azúcar No. 1 del Ingenio Santa Ana, Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 67 p.
3. GARCÍA, Jecer. *Guía del montaje y mantenimiento de los molinos Tándem C, Ingenio Magdalena, S. A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 64 p.
4. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. México: Bartens, 2012. 872 p.
5. RUÍZ, Carlos. *Manual para ingenieros azucareros de infraestructura para la República de Guatemala*. 2a ed. México: Compañía Editorial Continental, 1964. 803 p. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.

