



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

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS  
EN LOS MOLINOS DEL TÁNDEM “A” DEL INGENIO MAGDALENA S. A.**

**Jorge Estuardo Morales Sitaví**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS  
EN LOS MOLINOS DEL TÁNDEM "A" DEL INGENIO MAGDALENA S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JORGE ESTUARDO MORALES SITAVÍ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JULIO 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. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

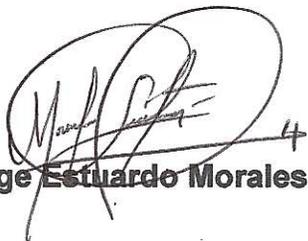
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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:

### **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS EN LOS MOLINOS DEL TÁNDEM "A" DEL INGENIO MAGDALENA S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 17 de octubre del 2013.



**Jorge Estuardo Morales Sitavi**



Guatemala, 04 de julio de 2014  
REF.EPS.DOC.710.07.14.

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 Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jorge Estuardo Morales Sitavi** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201020488, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS EN LOS MOLINOS DEL TÁNDEM "A" DEL 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. Carlos Anibal Chicojay Coloma  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo  
EESZ/ra





Guatemala, 04 de julio de 2014  
REF.EPS.D.345.07.14

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: **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS EN LOS MOLINOS DEL TÁNDEM "A" DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jorge Estuardo Morales Sitaví** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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

Ref.E.I.Mecanica.127.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS EN LOS MOLINOS DEL TÁNDEM "A" DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**, del estudiante **Jorge Estuardo Morales Sitaví, carnet No. 201020488**, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Julio Cesar Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR  
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS EN LOS MOLINOS DEL TÁNDEM "A" DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Estuardo Morales Sitaví** 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, julio de 2014

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por sus infinitas bendiciones, ser parte indispensable en mi vida y permitirme alcanzar esta meta.
- Mis abuelos** Santiago Sitaví (q.e.p.d.), por todos sus consejos y apoyo. Mercedes Gómez, por ser el pilar de mi vida, por todo su amor de madre y apoyo incondicional durante toda mi vida.
- Mis padres** Mario Morales y María Elena Sitaví, por todo su amor, consejos, motivación y apoyo para alcanzar esta meta.
- Mis tías** Ángela Sitaví, Blanca Sitaví, Mercedes Sitaví y Flor Sitaví, por todo su amor de madre y su incondicional apoyo, facilitando el poder alcanzar esta meta.
- Mis hermanos** Mario, Stephany y Angélica Morales. José y Victoria Pérez, por su amor, apoyo y motivación en todo momento.
- Mi tío** Miguel Pichiyá, por su cariño, consejos, apoyo y motivación durante mi carrera.

**Mi novia**

Cynthia Teni, por ser parte de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mí casa estudios, permitiendo iniciar mis estudios profesionales.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por permitir realizarme como profesional.
<b>Ingenio Magdalena</b>	Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado, adquiriendo conocimiento, experiencia y amistades dentro de su institución.
<b>Ingenieros</b>	Luis Nájera, Pablo de León, Erick Vela, Mynor Carranza, Edson Gómez, Sergio Soto, por permitirme y hacerme sentir parte de su equipo, por su amistad e incondicional apoyo, brindándome el conocimiento, para la realización de este trabajo.
<b>Señores</b>	Jhony Leal, Raúl Oviedo, Carlos Jiménez, Gonzalo Hernández, Gledy Boanerges, Rocael García, Juan Carlos Álvarez, Nery Hernández, Julio Pérez, Heiter Dick, por su amistad, el conocimiento y experiencia brindada para la realización de este trabajo.

**Ing. Carlos Chicojay**

Por su asesoría en la realización de este trabajo.

**Amigos de la Facultad**

Ángel Recinos, Diego Cherec, Mario Carrera, Cristian España, Héctor Velásquez, Brian López, Javier Ramírez, Diego Rodas, Estuardo Barrientos, Benjamín Arreola, Carlos Laparra, José Vásquez, Vinicio Armas, por su amistad, apoyo y experiencias vividas en los últimos años.



	2.3.1.2.	Molinos de cuatro mazas .....	15
2.3.2.		Partes del molino.....	16
	2.3.2.1.	Virgen .....	17
	2.3.2.2.	Mazas de los molinos .....	18
		2.3.2.2.1. Rayado o dientes de las mazas .....	22
		2.3.2.2.2. Ranuras (Messchaert) ..	22
		2.3.2.2.3. Tipos de mazas .....	23
	2.3.2.3.	Hidráulicos y carga de molinos .....	26
	2.3.2.4.	Chumaceras (cojinetes deslizantes) ....	27
	2.3.2.5.	Virador (cuchilla).....	28
	2.3.2.6.	Raspador (peine) .....	29
2.4.		Lubricante .....	29
	2.4.1.	Descripción.....	30
	2.4.2.	Propiedades .....	30
	2.4.3.	Aditivos.....	32
2.5.		Lubricación.....	33
	2.5.1.	Función del lubricante .....	34
	2.5.2.	Regímenes de lubricación .....	35
	2.5.3.	Chumaceras hidrodinámicas .....	37
2.6.		Sistema de lubricación .....	38
	2.6.1.	Sistema de lubricación automático de doble línea ..	38
2.7.		Transferencia de calor.....	40
	2.7.1.	Transferencia de calor en chumaceras.....	42
2.8.		Ahorro energético.....	43
	2.8.1.	Implementación de acoples flexibles .....	43
	2.8.2.	Resultados obtenidos .....	45
3.		FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	47

3.1.	Situación actual .....	47
3.1.1.	Sistema de lubricación instalado .....	50
3.1.2.	Diagrama del sistema de lubricación.....	51
3.1.3.	Equipo que compone el sistema de lubricación .....	51
3.1.3.1.	Estación de bombeo.....	53
3.1.3.2.	Líneas de distribución .....	59
3.1.3.3.	Inyectores .....	59
3.1.3.4.	Controlador .....	61
3.1.3.5.	Chumaceras en molinos del tándem “A” .....	62
3.1.3.6.	Diseño de chumaceras.....	65
3.1.3.7.	Material de chumaceras .....	72
3.1.4.	Lubricante .....	73
3.2.	Análisis de operación del sistema .....	75
3.2.1.	Análisis de la toma de temperatura .....	76
3.2.1.1.	Seguimiento de datos de temperatura.....	76
3.2.1.2.	Monitoreo de temperatura .....	79
3.2.1.3.	Datos obtenidos .....	82
3.2.2.	Análisis de altas temperaturas .....	96
3.2.2.1.	Resultados del análisis de altas temperaturas .....	96
3.2.3.	Análisis de diseño de chumaceras.....	100
3.2.3.1.	Monitoreo de comportamiento.....	100
3.2.4.	Análisis de consumo de lubricante .....	104
3.2.4.1.	Evaluación de consumo por inyección automática.....	104
3.2.4.2.	Evaluación de consumo por inyección manual .....	109

	3.2.4.3.	Consumo de aceite en chumaceras en el tándem "A" .....	111
3.3.		Propuestas de optimización .....	117
	3.3.1.	Estandarización de toma de temperatura .....	117
	3.3.1.1.	Justificación .....	118
	3.3.1.2.	Estandarización de un área para la toma de temperatura .....	121
	3.3.2.	Control de temperatura.....	130
	3.3.2.1.	Justificación .....	130
	3.3.2.2.	Rango de temperatura de operación..	132
	3.3.3.	Diseño de chumaceras en maza superior.....	136
	3.3.3.1.	Análisis de datos obtenido por monitoreo de comportamiento .....	136
	3.3.4.	Control de lubricación por inyección manual.....	142
	3.3.4.1.	Justificación .....	142
	3.3.4.2.	Mejor aplicación de la lubricación manual.....	143
4.		FASE DE DOCENCIA.....	147
	4.1.	Presentación de propuestas de optimización .....	147
	4.2.	Capacitación al personal operativo.....	158
	4.2.1.	Lubricación .....	159
	4.2.1.1.	Función del lubricante.....	159
	4.2.1.2.	Aditivos en el lubricante .....	160
	4.2.1.3.	Regímenes de lubricación .....	161
	4.2.1.4.	Sistemas de lubricación .....	161
	4.2.2.	Transferencia de calor .....	162
	4.2.3.	Toma de temperatura .....	162
	4.2.3.1.	Formatos .....	164

4.2.3.2.	Puntos de toma de temperatura .....	165
4.2.4.	Control de temperatura .....	165
4.2.5.	Control de inyección manual .....	166
4.2.6.	Seguridad Industrial .....	168
4.2.6.1.	Riesgos .....	169
4.2.6.2.	Equipo de protección.....	171
CONCLUSIONES .....		175
RECOMENDACIONES.....		177
BIBLIOGRAFÍA.....		179



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura organizacional de primer nivel.....	7
2.	Organigrama del Departamento de Maquinaria en el Ingenio Magdalena S. A.....	8
3.	Ubicación Ingenio Magdalena S. A.....	9
4.	Proceso de imbibición compuesta.....	14
5.	Molino convencional de 3 mazas .....	15
6.	Molino de cuatro mazas .....	16
7.	Virgen .....	18
8.	Eje de maza superior tándem “A” .....	19
9.	Posición de mazas .....	20
10.	Tipo de ranuras messchaert.....	23
11.	Camisa no perforada.....	25
12.	Camisa perforada.....	25
13.	Cabezote hidraulico .....	27
14.	Posición cuchilla central en las mazas .....	28
15.	Raspador .....	29
16.	Acople flexible de eslingas .....	45
17.	Diagrama, sistema de doble línea, instalado en el tándem “A” .....	52
18.	Diagrama de equipos que componen una estación de bombeo Farval .....	53
19.	Estación de bombeo Farval 1.....	54
20.	Estación de bombeo Farval 3.....	54
21.	Depósito de aceite lubricante, estación de bombeo Farval.....	55

22.	Bomba Farval DJ4-5.....	56
23.	Reductor de velocidad , estación de bombeo Farval.....	57
24.	Motor eléctrico, estación de bombeo Farval.....	57
25.	Válvula inversora, estación de bombeo Farval.....	58
26.	Inyector serie DM.....	60
27.	Controlador SS200 Farval 1 y 3.....	61
28.	Maza bagacera, previo a la instalación de chumaceras .....	62
29.	Chumacera para maza superior, tandem “A” .....	63
30.	Chumacera para maza bagacera, tandem “A” .....	64
31.	Chumacera para maza cañera, tándem “A” .....	64
32.	Chumacera para cuarta maza, tándem “A” .....	65
33.	Diseño de chumacera, refrigerada en la caja de hierro negro, con teja de bronce .....	68
34.	Vista explosionada chumacera refrigerada en la caja .....	68
35.	Chumaceras: bagacera y cañera, refrigeradas en la caja de hierro negro, con teja de bronce .....	69
36.	Chumacera completa de bronce .....	70
37.	Esquema explosionado de chumacera refrigerada en la teja.....	71
38.	Base y buje, que conforma chumacera para una cuarta maza .....	71
39.	Formato para el registro de la temperatura de chumaceras .....	77
40.	Termómetro infrarrojo marca Klein, utilizado por los mecánicos de turno .....	78
41.	Termómetro infrarrojo marca Fluke, utilizado para el monitoreo de las chumaceras .....	81
42.	Termohigrómetro utilizado para la toma, del valor de la temperatura ambiente en los molinos .....	82
43.	Temperatura de chumaceras lado corona, molino 1 .....	83
44.	Temperatura de chumaceras lado libre, molino 1 .....	84
45.	Temperatura de chumaceras lado corona, molino 2 .....	84

46.	Temperatura de chumaceras lado libre, molino 2.....	85
47.	Temperatura de chumaceras lado corona, molino 3.....	85
48.	Temperatura de chumaceras lado libre, molino 3.....	86
49.	Temperatura de chumaceras lado corona, molino 4.....	86
50.	Temperatura de chumaceras lado libre, molino 4.....	87
51.	Temperatura de chumaceras lado corona, molino 5.....	87
52.	Temperatura de chumaceras lado corona, molino 5.....	88
53.	Temperatura de chumaceras lado corona, molino 6.....	88
54.	Temperatura de chumaceras lado libre, molino 6.....	89
55.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 1 .....	90
56.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 1 .....	90
57.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 2 .....	91
58.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 2 .....	91
59.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 3 .....	92
60.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 3 .....	92
61.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 4 .....	93
62.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 4 .....	93
63.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 5 .....	94
64.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 5 .....	94
65.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 6 .....	95
66.	Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 6 .....	95
67.	Temperatura de chumaceras superiores, molino 1.....	101
68.	Temperatura de chumaceras superiores, molino 2.....	101
69.	Temperatura de chumaceras superiores, molino 3.....	102
70.	Temperatura de chumaceras superiores, molino 4.....	102
71.	Temperatura de chumaceras superiores, molino 5.....	103
72.	Temperatura de chumaceras superiores, molino 6.....	103
73.	Bomba manual.....	110
74.	Puntos de mayor fricción debido a fuerzas resultantes .....	121

75.	Termografía chumacera superior LC, molino 2 .....	122
76.	Termografía chumacera superior LC, molino 4 .....	123
77.	Termografía chumacera superior LL, molino 5.....	123
78.	Área para la toma de temperatura en chumacera superior .....	124
79.	Termografía chumacera de maza bagacera, LL molino 4 .....	124
80.	Termografía chumacera de maza bagacera, LL molino 5 .....	125
81.	Termografía chumacera de maza bagacera, LC molino 5 .....	125
82.	Área para la toma de temperatura en chumacera para maza bagacera .....	126
83.	Termografía chumacera de maza cañera, LL molino 2 .....	126
84.	Termografía chumacera de maza cañera, LC molino 5 .....	127
85.	Termografía chumacera de maza cañera, LC molino 6 .....	127
86.	Área para la toma de temperatura en chumacera para maza cañera	128
87.	Termografía chumacera en cuarta maza, LC molino 1 .....	128
88.	Termografía chumacera en cuarta maza, LC molino 3 .....	129
89.	Termografía chumacera en cuarta maza, LC molino 6 .....	129
90.	Área para la toma de temperatura en chumacera de cuarta maza.....	130
91.	Rango propuesto de temperatura de operación de chumaceras .....	132
92.	Temperatura de los diferentes diseños de chumaceras superiores ...	137
93.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 1 .....	138
94.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 2 .....	138
95.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 3 .....	139
96.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 4 .....	140
97.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 5 .....	141
98.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 6 .....	141
99.	Áreas para la toma de temperatura de chumaceras .....	149
100.	Rango propuesto de temperatura .....	150
101.	Temperatura de los diferentes diseños de chumaceras superiores ...	151
102.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 1 .....	152

103.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 1 .....	152
104.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 5 .....	153
105.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 6 .....	153
106.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 3 .....	155
107.	Termografía chumacera de maza superior, LC molino 4 .....	155
108.	Capacitación sobre el buen uso del formato para el registro de temperaturas .....	164
109.	Capacitación sobre del área ideal para la toma del valor de temperatura .....	165
110.	Capacitación para un mejor control de la temperatura en chumaceras .....	166
111.	Capacitación de la inyección por medio de una bomba manual .....	167
112.	Capacitación de la importancia de los EPP .....	168

## TABLAS

I.	Distribución de mazas en los molinos del tándem “A” .....	26
II.	Comparación consumo de potencia zafra 2012-2013 Vs 2013-2014 ...	45
III.	Descripción técnica inyectoros serie DM-51, 52, 53, 54 .....	60
IV.	Diseños de chumaceras instaladas en el tándem “A” .....	66
V.	Tipo de diseño de chumacera instalada .....	66
VI.	Especificaciones Bronce SAE 64 .....	72
VII.	Ficha técnica de aceite lubricante Optifluid 4 .....	74
VIII.	Especificaciones generales, termómetro infrarrojo IR 1 000 Klein Tools .....	78
IX.	Formato para registrar el monitoreo de temperatura .....	80
X.	Especificaciones generales, termómetro infrarrojo IR 568 Fluke .....	80
XI.	Especificaciones generales, termohigrómetro 355119-047 VWR .....	81
XII.	Cantidad de aceite suministrado por inyectoros DM 53,54 .....	105

XIII.	Cantidad de aceite suministrado por inyectores DM-52 .....	109
XIV.	Cantidad de aceite suministrada por bomba manual .....	110
XV.	Comparación de cantidad de aceite inyectada.....	111
XVI.	Duración promedio en días, de un tonel de aceite .....	112
XVII.	Consumo total de aceite, Farval 1 .....	114
XVIII.	Consumo total de aceite, Farval 2 .....	114
XIX.	Consumo total de aceite, Farval 3 .....	114
XX.	Consumo total diario de aceite, Farval 1,2 y 3 .....	115
XXI.	Distribución de aceite consumido, en inyección automática y manual .....	116
XXII.	Análisis de costo por consumo de aceite en inyección automática y manual .....	157
XXIII.	Riesgos de un operador en la recepción de caña .....	169
XXIV.	Riesgos de un operador en la extracción del jugo de caña .....	170
XXV.	EPP para un operador según su puesto en el área de patio de caña	171
XXVI.	EPP para un operador según su puesto en el área de molinos .....	173

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>am</b>	Antes del mediodía
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetros cúbicos
<b>4ta</b>	Cuarta maza o maza auxiliar
<b>gal</b>	Galones
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>g/ml</b>	Gramos por mililitro
<b>HR</b>	Humedad relativa
<b>Kw</b>	Kilovatio
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>LA</b>	Lado acople
<b>LC</b>	Lado corona
<b>LL</b>	Lado libre
<b>LM</b>	Lado motor
<b>Psi</b>	Libras fuerzas por pulgada cuadrada
<b>BAG</b>	Maza bagacera
<b>CAÑ</b>	Maza cañera
<b>SUP</b>	Maza superior
<b>MW</b>	Megavatio
<b>NR</b>	No regulado
<b>HBN</b>	Número de dureza de Brinell
<b>Oz</b>	Onzas
<b>pm</b>	Pasado mediodía

<b>%</b>	Porcentaje
<b>HP</b>	Potencia mecánica en caballos de fuerza
<b>Q</b>	Quetzales
<b>R</b>	Regulado
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>S A</b>	Sociedad Anónima
<b>TA</b>	Tándem "A"
<b>TM</b>	Toneladas de caña molida
<b>Bar</b>	Unidad de presión
<b>cSt</b>	Unidad física de la velocidad cinemática

## GLOSARIO

<b>AISI</b>	Instituto Americano del Hierro y del Acero
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de Ensayo de Materiales
<b>Bagazo</b>	Residuo de la caña, que sale del molino después de la extracción del jugo
<b>Chumacera</b>	Pieza de metal donde descansa y gira un eje.
<b>Chute</b>	Tolva vertical de alimentación en el molino.
<b>Corrosión</b>	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
<b>Desgaste</b>	Pérdida de maza en la superficie de un material sólido, por contacto directo con otro cuerpo.
<b>DIN</b>	Instituto Alemán de Normalización
<b>Domo</b>	Bodega en forma de media esfera, para el almacenamiento de azúcar.
<b>EPP</b>	Equipo de protección personal

<b>Fibra</b>	Componente de la caña compuesta por fibra vegetal, y materia insoluble.
<b>Fricción</b>	Fuerza de contacto que actúa para oponerse al movimiento deslizando entre dos superficies.
<b>Imbibición</b>	Penetración de un líquido entre las moléculas de un cuerpo sólido.
<b>LCD</b>	Pantalla de cristal líquido
<b>LED</b>	Diodo emisor de luz
<b>Maza</b>	Eje de acero, sobre el cual se ajusta, por contracción térmica, un casco de hierro fundido.
<b>Meladura</b>	Jarabe preparado, para elaboración azúcar
<b>Monitoreo</b>	Control de la operación de un sistema
<b>Oxidación</b>	Reacción química de combinación entre una sustancia, o un compuesto químico y oxígeno.
<b>Pol</b>	Es una medida del contenido de sacarosa de azúcar.
<b>Ratio</b>	Relación cuantificada entre dos magnitudes que refleja su proporción.

<b>Sacarosa</b>	Compuesto químico puro que es conocido como azúcar blanco.
<b>SAE</b>	Sociedad de Ingenieros Automotrices
<b>Tándem</b>	Conjunto de molinos cañeros.
<b>Termografía</b>	Técnica que permite registrar altas temperaturas de un cuerpo.
<b>Ultrasonido</b>	Procedimiento basado en la emisión y reflejo de ondas sonoras de alta frecuencia.
<b>Zafra</b>	Intervalo de tiempo en el año, para la molienda de caña y producción de azúcar.



## RESUMEN

Como inicio en la realización de propuestas para la optimización del sistema de lubricación de chumaceras en el tándem “A” del Ingenio Magdalena S. A., se tiene información histórica sobre el ingenio donde describe su constante crecimiento y la continua búsqueda de optimizar sus procesos, es por ello que se presenta información acerca del proceso de molienda de caña y de sus principales componentes: los molinos cañeros, los cuales hacen posible la extracción del jugo de caña, por medio de un juego de cuatro mazas, donde actúan las chumaceras y por consiguiente el sistema a optimizar.

Luego de describir los principales componentes de un molino cañero, se evalúa todo lo referente al funcionamiento del sistema de lubricación, realizando diferentes análisis, evaluaciones y monitoreo a los diferentes procedimientos que realiza el personal operativo a cargo del buen funcionamiento del sistema de lubricación de chumaceras, permitiendo conocer las deficiencias del sistema, así como de la realización de procedimientos incorrectos e innecesarios, para la creación de propuestas que permitan mejorar el sistema y disminuir costos por la lubricación de chumaceras en el tándem “A”.

Además en la búsqueda de optimizar el sistema de lubricación de chumaceras, se brinda una parte del presente trabajo de graduación a la docencia y capacitación del personal operativo, con el objetivo de eliminar malos e innecesarios procedimientos aplicados al sistema de lubricación.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar propuestas para optimizar el sistema de lubricación de las chumaceras en los molinos del tándem “A” en el Ingenio Magdalena S. A., mediante evaluación, análisis y monitoreo de la operación de los mismos.

### **Específicos**

1. Analizar y evaluar, la operación del sistema instalado para la lubricación de las chumaceras en los molinos cañeros del tándem “A”.
2. Analizar todo lo referente a la temperatura de operación en el sistema de lubricación de chumaceras.
3. Determinar el mejor diseño para una chumacera superior del tándem “A”, mediante monitoreo y evaluación en la operación del diseño.
4. Evaluar el equipo que compone el sistema de lubricación de chumaceras.
5. Evaluar el consumo de lubricante en operación actual del sistema de lubricación de chumaceras en los molinos cañeros del tándem “A”.



## INTRODUCCIÓN

Un molino cañero es parte esencial en el proceso de molienda de caña en un ingenio azucarero, esto ya que por medio de un conjunto de molinos denominado tándem, se extrae el jugo de caña el cual es la materia prima para la producción de azúcar. Es por ello que en el Ingenio Magdalena S. A. constantemente se busca aumentar la eficiencia del tándem, en este caso se busca, específicamente, aumentar la eficiencia del molino mediante la optimización del sistema de lubricación en las chumaceras de estos. Surgiendo la propuesta para la optimización de dicho sistema, esto debido a una serie de problemas e inconvenientes producto de la elevación de la temperatura de las diferentes chumaceras instaladas en el tándem “A”, en zafras pasadas.

Para la realización de la propuesta que permita optimizar el sistema de lubricación de chumaceras, se analiza, evalúa y monitorea todo lo referente al sistema, así como a la operación de las chumaceras y el comportamiento de la temperatura de estas, permitiendo obtener resultados por medio de los cuales se justifiquen dichas propuestas. Buscando con la creación de las diferentes propuestas, eliminar malos procedimientos o procedimientos innecesarios, el hacer buen uso del equipo y formatos estandarizados, así como de un control en el consumo de aceite para el tándem, el cual brinde un ahorro y por consiguiente la reducción de los costos por lubricación de chumaceras. Finalizando las propuestas, brindando una fase de docencia y capacitación la cual está dirigida al personal operativo, la cual brinde información esencial e indispensable para el personal operativo, proporcionándole el conocimiento de la importancia de la buena lubricación en una chumacera.



# **1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

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

## **1.1. Descripción de la empresa**

El Ingenio Magdalena es un productor de caña de azúcar que se encarga de transformar y comercializar en productos de mayor valor como: azúcares en diferentes tipos, alcohol, energía eléctrica y alimentos proteínicos para uso animal.

### **1.1.1. Reseña histórica**

1983-1984: a comienzos de los años 80, el Ingenio Magdalena es reubicado en la finca Bugarvilia (localización actual). Anteriormente, estaba instalado en la finca Magdalena, de la cual se deriva su nombre, ubicada en El Rodeo, Escuintla. Inicialmente, dedicaba su operación a producción de mieles como materia prima, para fabricación de licor.

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

1990-1991: durante esta zafra se alcanza una producción de 53 792 toneladas molidas de azúcar, con una plantación de 5 550 hectáreas.

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

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

En el campo se inicia el laboratorio de Meristemas, para la producción de semilla de caña y selección de variedades, con una producción de 400 000 plantas iniciales. Actualmente se producen más de dos millones.

2001: inician los trabajos de destilería con la instalación de una planta de alcohol con capacidad de 120 000 litros diarios. Un año más tarde se inicia la exportación.

2004: se amplía la generación de energía eléctrica, con más inversión en un turbo generador condensing de 16,5 megavatios con capacidad de 53,5 megavatios y en una nueva línea de transmisión eléctrica para incrementar la entrega al sistema eléctrico nacional.

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

En talleres y transporte se adquieren 100 camiones destinados al transporte de la caña, nueve cosechadoras mecánicas y maquinaria agrícola para asistir técnicamente las operaciones móviles.

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

2006: el área de campo coordina y programa una operación para garantizar 4 780 000 toneladas molidas de caña de azúcar de acuerdo a las 45 887 hectáreas de tierra cultivables.

Nuevamente se realizan inversiones para ampliar las instalaciones y consolidar la operación de la fábrica.

Se invierte en tecnología para eficientar la operación de molienda, contando con una capacidad instalada de 34 040 toneladas molidas de caña molida por día. Esto incluye evaporación y clarificación de meladura.

2007: para la fabricación de azúcar refino, se ampliaron las áreas de centrifugado, evaporación, tachos y envasado, contando con una capacidad instalada de producción de 2 760 toneladas molidas de azúcar refino por día.

En el área de cogeneración se aumentó la capacidad instalada a través de nuevas inversiones, proyecto de transmisión: elevación de 69 kilovoltios a 230 kilovoltios en la subestación de energía dentro de las instalaciones del ingenio.

Instalación de líneas de transmisión 230 kilovoltios, construcción e instalación de subestación de interconexión de 230 kilovoltios en el municipio de Siquinalá, Escuintla. Instalación de un turbo de 45 megavatios y planta termoeléctrica de 45 megavatios (zafra 2008-2009).

2008: el laboratorio de Meristemas aumenta su capacidad de producción convirtiéndose en una biofábrica con una capacidad instalada de producción artificial de plantas, a través de la técnica de multiplicación de tejidos vegetativos o micropropagación de 2 500 000 plántulas. Se dedica el 80 por ciento a la caña de azúcar y el 20 por ciento a otros vegetales.

Se inicia el programa de producción de entomopatógenos utilizados para el control biológico de plagas específicas que afectan la caña de azúcar con una capacidad de 45 000 dosis por temporada (marzo a octubre).

Alcohol: se consolidan las operaciones de una segunda planta de alcohol, con una capacidad instalada de 300 000 litros diarios.

2010: se inicia la construcción de una nueva planta de generación eléctrica a través de la utilización de combustibles renovables.

2012: se inaugura con la presencia del Sr. presidente de la República la nueva planta de generación de energía eléctrica adicionando 60 megavatios a la capacidad instalada del ingenio y se inicia la instalación de un domo para almacenar azúcar refino con una capacidad de 76 000 toneladas molidas.

2013: inicia la instalación de una nueva caldera con un turbogenerador para aumentar la capacidad instalada en la planta de energía. Se finaliza la

construcción del domo de azúcar y se construyen tres nuevos complejos habitacionales.<sup>1</sup>

### **1.1.2. Misión**

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

### **1.1.3. Visión**

“Al 2015 desarrollaremos y atenderemos con presencia directa en al menos cinco mercados seleccionados en sus distintas líneas de negocio, con productos y servicios diferenciados con un negocio energético equivalente al 50 por ciento del resultado de Magdalena”.<sup>3</sup>

### **1.1.4. Principios**

Dios: sabemos que en Él y por Él somos. Es nuestra inspiración para la toma de decisiones y para la correcta administración de los recursos con que nos ha provisto.<sup>4</sup>

Familia: motivo y razón que nos impulsa a lograr nuestros ideales trabajando con honradez, dedicación y visión; en ella cultivamos nuestros valores y principios por los que trascendemos, contribuyendo al desarrollo de los nuestros y la sociedad.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> [http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_historia](http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page_historia). Consulta: 12 de noviembre 2013.

<sup>2</sup> [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_mision](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_mision). Consulta: 12 de noviembre 2013.

<sup>3</sup> Ibid.

<sup>4</sup> [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_principios](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_principios). Consulta: 12 de noviembre 2013.

<sup>5</sup> Ibid.

Trabajo: nuestra realización se basa en el sentimiento de logro y metas cumplidas, nos permite dejar un legado a través del tiempo, con el que vemos crecer a nuestra gente y a nuestro país.<sup>6</sup>

Patria: es la que engrandecemos con nuestro esfuerzo diario en su desarrollo y de quien nos enorgullecemos por su riqueza, belleza natural, tradiciones y costumbres.<sup>7</sup>

### **1.1.5. Valores**

Responsabilidad: actuamos con pleno conocimiento de nuestras obligaciones, sintiendo como propios los objetivos de la organización, procurando el bien y asumiendo las consecuencias de nuestros actos con un verdadero compromiso por contribuir con el progreso del país.<sup>8</sup>

Integridad: obramos con rectitud y con probidad, basados en la transparencia de nuestros actos para cumplir con los compromisos acordados, apegados a nuestra visión y principios, siempre buscando la superación constante con esfuerzo positivo, sin el deterioro de otros.<sup>9</sup>

Pasión: alcanzamos nuestras metas con inspiración, coraje y audacia, actuando en forma disciplinada y trabajando en equipo, a la vanguardia de nuestro negocio, tomando decisiones en forma oportuna y acertada.<sup>10</sup>

Servicio: somos confiables. Nos entregamos con dedicación a lograr la satisfacción y confianza de nuestros colaboradores, clientes, accionistas,

---

<sup>6</sup> [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_principios](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_principios). Consulta: 12 de noviembre 2013.

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> [http://imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_valores](http://imsa.com.gt/sitio/#!/page_valores). Consulta: 12 de noviembre 2013.

<sup>9</sup> Ibid.

<sup>10</sup> Ibid.

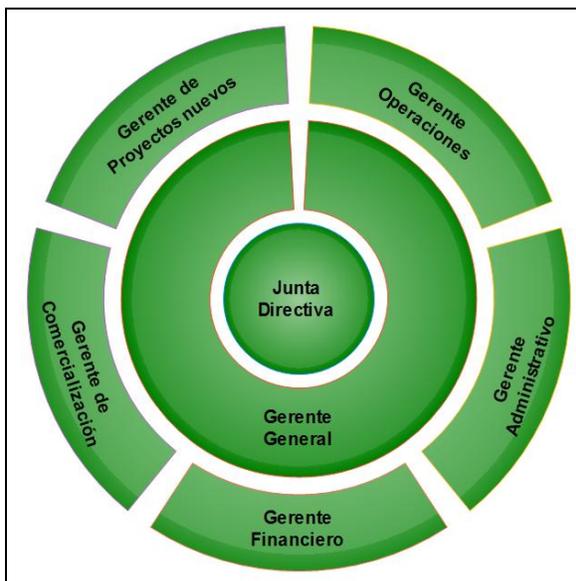
proveedores y comunidades, valorando y construyendo nuestra relación con ellos.<sup>11</sup>

Innovación: mantenemos interés constante en investigar nuevas oportunidades y formas de hacer las cosas y desarrollarlas con calidad, para ir un paso adelante y consolidar nuestro liderazgo.<sup>12</sup>

### 1.1.6. Estructura organizacional

A continuación se presenta en la figura 1 la estructura organizacional de primer nivel de Ingenio Magdalena S. A., de la cual se desprenden todas las áreas que conforman la empresa.

Figura 1. Estructura organizacional de primer nivel



Fuente: elaboración propia.

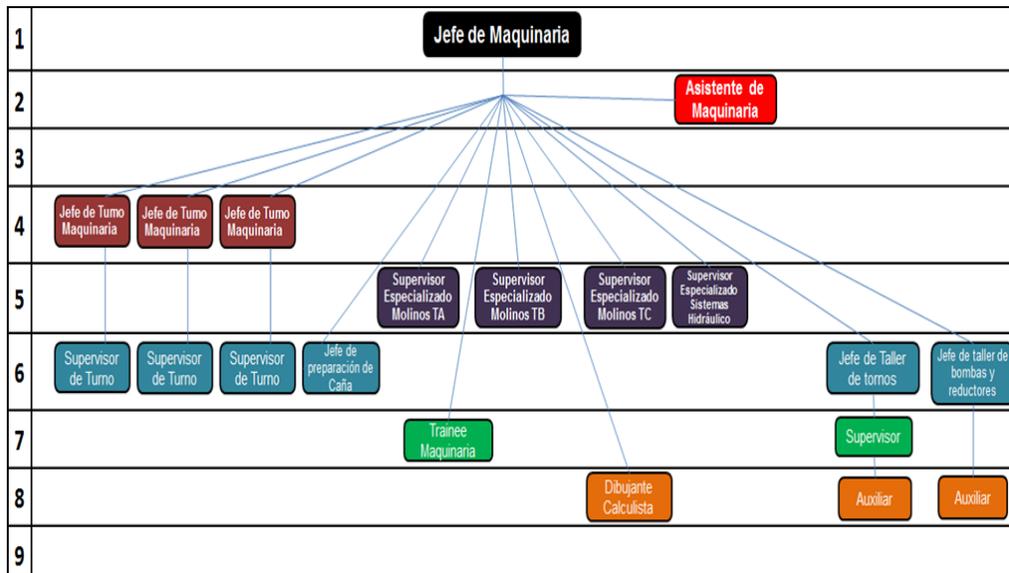
<sup>11</sup> [http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_valores](http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page_valores). Consulta: 12 de noviembre de 2013.

<sup>12</sup> Ibid.

### 1.1.6.1. Organigrama del Departamento de Maquinaria

A continuación se presenta el organigrama para el área de maquinaria, donde se llevó a cabo el proyecto para la optimización del sistema de lubricación de chumaceras en los molinos cañeros del tándem “A”.

Figura 2. Organigrama del Departamento de Maquinaria en el Ingenio Magdalena S. A.

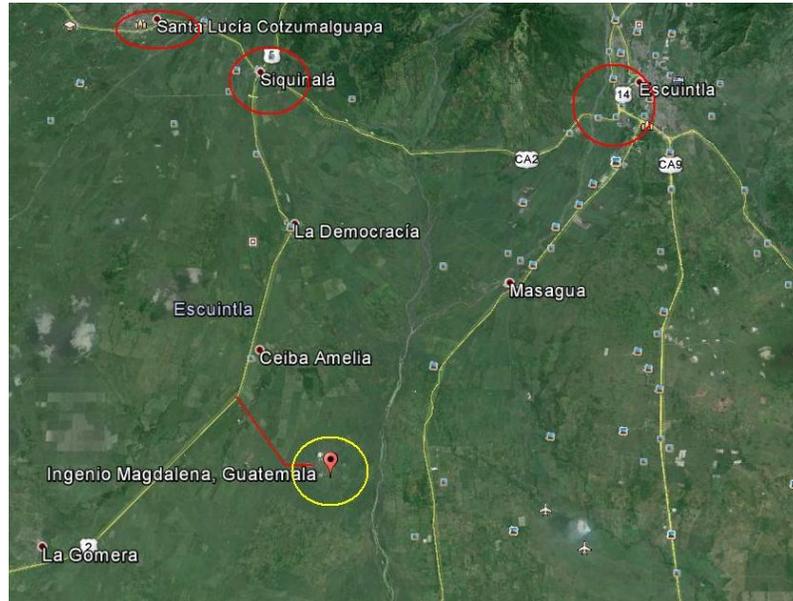


Fuente: datos proporcionados por el Departamento de Recursos Humanos.

### 1.1.7. Ubicación de la empresa

La planta industrial de Ingenio Magdalena S. A., se encuentra ubicada en el kilómetro 99,5 carretera a Sipacate, La Democracia, Escuintla, interior finca Buganvilia.

Figura 3. **Ubicación Ingenio Magdalena S. A.**



Fuente: [www.google.com.gt/maps/dir//Ingenio+Magdalena/@14.1025363,-91.1997356,21549m/](http://www.google.com.gt/maps/dir//Ingenio+Magdalena/@14.1025363,-91.1997356,21549m/). Consulta: septiembre de 2013.



## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

El objetivo principal del presente capítulo es presentar una descripción del problema a solucionar con respecto a la chumaceras en los molinos cañeros, por lo cual se inicia adquiriendo el conocimiento del proceso de extracción del jugo de caña por medio de molinos, así como de los principales componentes que conforman dicho molino, esto con la finalidad de comprender tanto el proceso como el funcionamiento donde están actuando las chumaceras y el sistema de lubricación de estas, sistema para el cual se busca una optimización en su funcionamiento. También se describe el sistema de lubricación así como de las principales propiedades del aceite a utilizar en dicho sistema. Además como parte de la fase de investigación, se describe un proyecto por medio del cual se busca un ahorro energético, con base en la implementación de acoples flexibles en los molinos cañeros.

### **2.1. Descripción del problema**

Con base al historial y al registro de las zafras pasadas, específicamente en el funcionamiento del sistema de lubricación de chumaceras en el tándem “A” de Ingenio Magdalena S. A., donde se registraron problemas constantes debido a las altas temperaturas de operación en las chumaceras de los molinos cañeros del mencionado tándem, se cuestiona la funcionalidad del sistema de lubricación así como de todo lo referente a la lubricación de las chumaceras en el tándem “A”.

Para la lubricación de las chumaceras se tiene un sistema automático, el cual se encarga de mantenerlas lubricadas, pero debido a las altas

temperaturas registradas en las zafras pasadas, surge la necesidad de evaluar, analizar y monitorear dicho sistema, con la finalidad de buscar la optimización para el sistema. Y ya que el problema no se centraliza en la funcionalidad del sistema de lubricación instalado, surge la incógnita de que si los mecánicos de turno realizan los procedimientos correctos, para determinar o prevenir altas temperatura en las chumaceras, determinando que existe un problema debido a la lubricación de chumaceras del tándem “A” lo cual hace posible la realización del presente trabajo. El cual tiene como objetivo primordial el poder proponer una optimización para el sistema, que conlleve a disminuir los costos por lubricación en el tándem “A”.

## **2.2. Descripción del proceso de molienda de caña**

El proceso de molienda de caña tiene como objetivo separar el jugo que contiene la sacarosa, del resto de la caña, la cual está constituida principalmente por fibra. Este proceso se inicia al finalizar la preparación de la caña, la cual es la encargada de mandar la fibra o caña preparada, hacia los molinos y así iniciar el proceso de molienda de esta.

Comenzando el proceso en el momento que la banda transportadora que contiene la fibra o caña preparada, deposita dicha fibra en el chute del molino uno, donde después de pasar por el chute, la fibra pasa por las mazas de los diferentes molinos. Específicamente para el tándem A, la fibra tiene que pasar por un juego de cuatro mazas que contiene cada molino, por seis molinos que conforman dicho tándem.

### 2.3. Extracción con molinos

Cuando se utiliza el término extracción, se refiere al porcentaje de sacarosa que ha sido extraído de la caña en los molinos. En los molinos la caña es exprimida por medio de elevadas presiones entre pares de mazas, las cuales están consecutivas y rotando a una velocidad máxima de 6,5 revoluciones por minuto, dichos molinos están diseñados para extraer la mayor cantidad de jugo posible.<sup>13</sup>

En el tándem “A” del Ingenio Magdalena, la extracción del jugo de caña que se logra por medio de seis molinos, inicia cuando se introduce fibra o caña preparada al molino uno por medio del chute, el cual se encarga de conducir dicha fibra, hacia las cuatro mazas del molino que luego de pasar por el primer molino, el cual es el encargado de extraer un 75 por ciento del jugo que contiene la fibra de caña, se conduce hacia un conductor de caña, un conductor tipo donnelly, el cual rota a una velocidad máxima de 12,93 revoluciones por minuto, y es el encargado de conducir la fibra hacia el molino número dos, esto se hace después de cada salida de un molino para pasar la fibra de un molino hacia otro, hasta que la fibra haya pasado por los seis molinos y esta se convierte en bagazo a la salida del molino número seis, donde este bagazo pasa a una banda transportadora hacia el área de cogeneración, este se convierte en el combustible de las calderas, para la generación de vapor. Vapor que en su mayoría es utilizado para la generación de energía eléctrica, por medio de turbogeneradores.

Además, en el proceso de molienda, se utiliza el proceso de imbibición compuesta, proceso muy importante en la molienda de caña por medio de

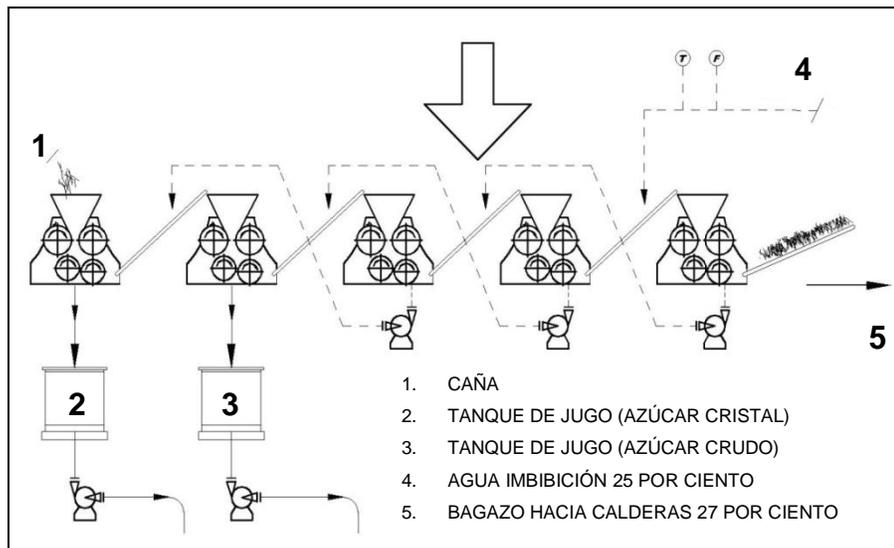
---

<sup>13</sup> REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p 117.

molinos cañeros, donde se aplica agua caliente a la fibra que sale del penúltimo molino.

Para el tándem “A” el agua de imbibición se aplica a la salida del molino número cinco, y el resultado en el molino número seis del jugo extraído, luego de haber aplicado el agua caliente, por medio de bombas se envía y se aplica a la salida del molino cuatro, el jugo que sale de este se aplica a la salida del molino tres y así sucesivamente como se visualiza en la figura 4, realizando dicho proceso con la finalidad de tener una mejor extracción de sacarosa.

Figura 4. **Proceso de imbibición compuesta**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### 2.3.1. Molino cañero

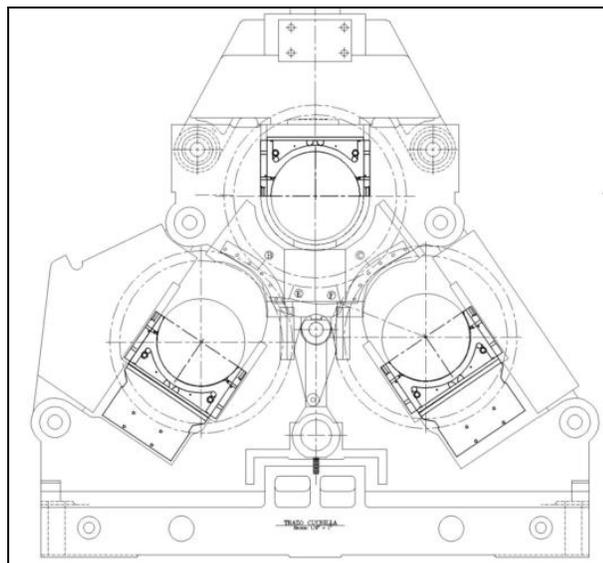
Un molino cañero es una máquina la cual está destinada a comprimir la caña de azúcar, por medio de elevadas presiones, esto se

realiza cuando se hace pasar la fibra de caña a través de unas mazas, las cuales son de vital importancia para la eficiencia en la extracción del jugo de caña.

### 2.3.1.1. Molinos convencionales

Un molino convencional es aquel donde la maza cañera y la bagacera están sobre un mismo nivel, mientras la maza superior es flotante.

Figura 5. Molino convencional de 3 mazas



Fuente: Departamento de Maquinaria.

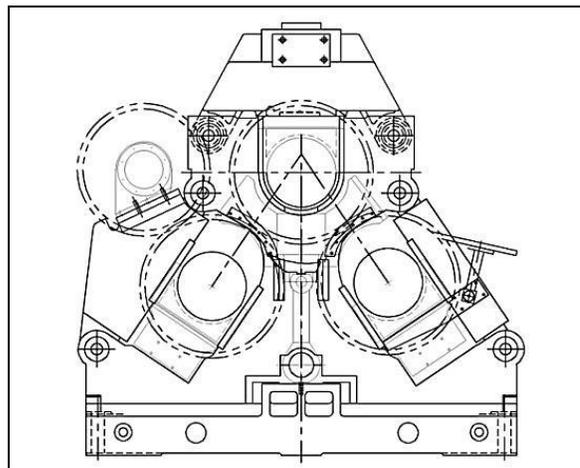
### 2.3.1.2. Molinos de cuatro mazas

Un molino de cuatro mazas se puede definir como un molino de tres mazas desordenado, con la diferencia que en este se tiene una de

alimentación, a la cual se le denomina cuarta maza. Con el uso de molinos de cuatro mazas se tiene un incremento en la extracción, un desgaste menor en las mazas de los molinos, así como una reducción de humedad del bagazo.

En la actualidad, el tándem “A” del Ingenio Magdalena, está conformado por seis molinos de cuatro mazas cada uno, estos son de diferentes marcas, Fulton para los molinos, uno, dos, tres y para los molinos cinco y seis, la marca Service. En los cuales la diferencia que se marca entre los molinos es la inclinación de la virgen.<sup>14</sup>

Figura 6. **Molino de cuatro mazas**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### 2.3.2. Partes del molino

Como parte de la comprensión del proceso de molienda de caña, donde los molinos son parte vital de dicho proceso, se hace una breve descripción de

<sup>14</sup> BATULE, Eduardo. *La molienda y la difusión de la caña de azúcar*. p 117.

las partes más importantes que conforman un molino cañero. Con la finalidad de conocer y entender donde se aplica el sistema de lubricación de chumaceras de los molinos.

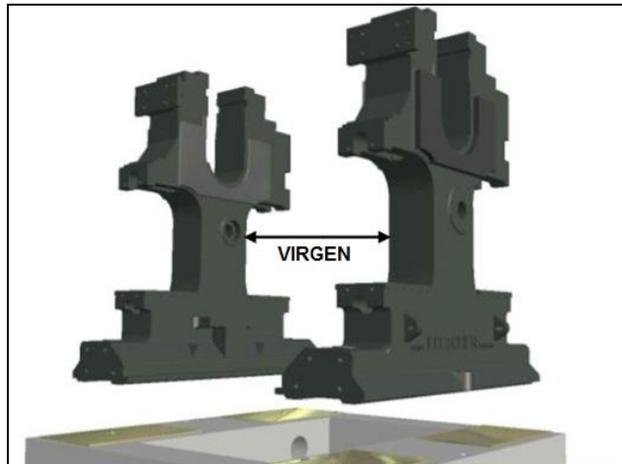
### **2.3.2.1. Virgen**

La virgen es una parte del molino utilizada para darle una orientación deseada a los componentes activos, específicamente a las mazas, orientación que debe permitir diferentes tamaños de mazas y un ajuste de las aberturas.

La virgen debe soportar las principales fuerzas que se ejercen en el molino, siendo una de ellas, la fuerza que se produce internamente, fuerza que se debe a la tensión de separación entre las mazas del molino, como la fuerza vertical impuesta por los cabezotes hidráulicos sobre la chumacera de la maza superior y las reacciones en la maza bagacera, maza cañera y el virador, estas fuerzas son mayores en comparación al peso del molino y sus mazas. Otra de las fuerzas que debe soportar la virgen son las que se ocasionan externamente, donde los cimientos deben de soportar el peso de todo el molino y la reacción al torque que se produce al poner el molino en funcionamiento.

Además es importante mencionar que en las guías de la virgen, se mantienen retenidas las chumaceras (cojinetes deslizantes), las cuales son esenciales en el sistema de lubricación. Debido a las fuerzas sobre la virgen, se prefiere que la construcción de estas sea de un acero maquinado o fundido, esto en lugar de tener una virgen construida de hierro fundido. El diseño de estas para el tándem "A" del ingenio, son vírgenes rectas marca Service ubicadas en los molinos uno, cinco y seis. Para los molinos dos, tres y cuatro, se tienen vírgenes con una inclinación de cuarenta y cinco grados marca Fulton.

Figura 7. **Virgen**



Fuente: MEJÍA COREA, Felipe. *Evaluación de un manual técnico ilustrado para el cambio de un molino Fletcher*. p 97.

### 2.3.2.2. **Mazas de los molinos**

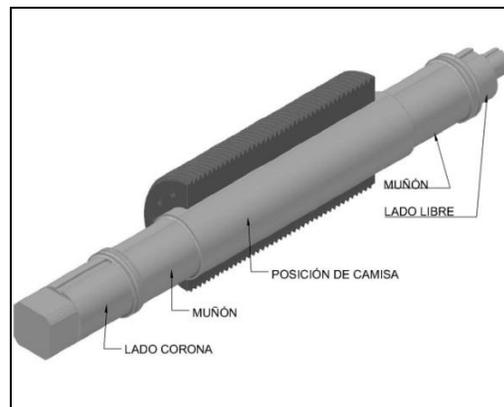
Las mazas de los molinos son constituidas por un eje de acero, sobre el cual se ajusta, por medio de contracción térmica, un casco de hierro fundido.

- Ejes de las mazas

Se necesitan que sean forjados, normalizados, alineados, homogenizados, de grano fino y que estén certificados bajo la prueba no destructiva de ultrasonido. En el ingenio, para la adquisición de estos ejes, se dibuja un plano con las diferentes medidas y especificaciones del eje que se necesita para un molino en específico, este se solicita ya con las medidas deseadas para no tener que maquinarse dicho eje, con el objetivo primordial de mantener las especificaciones del acero grado maquinaria AISI-4142 del cual se compone el eje de las mazas. En la

figura 8 se muestra el diseño de un eje para mostrar sus diferentes partes.

Figura 8. **Eje de maza superior tándem “A”**



Fuente: Departamento de Maquinaria

- Casco de hierro fundido

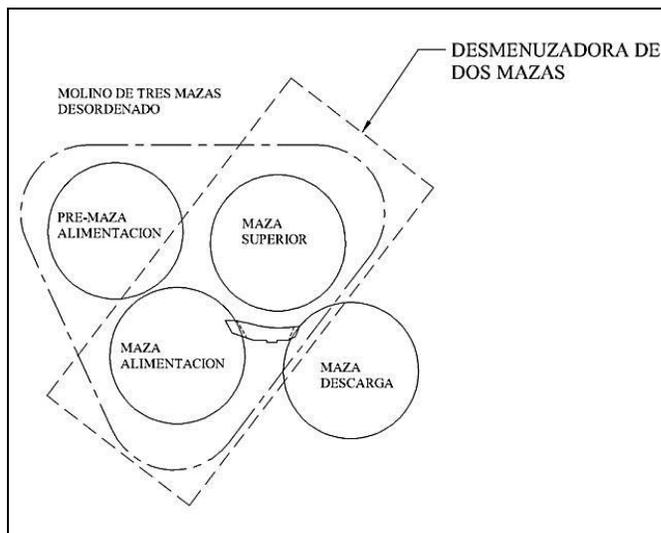
Esta es una camisa que se le coloca al eje, la cual tiene un rayado de cuarentaicinco grados, por dos pulgadas de altura, construida de una fundición de hierro gris. El diseño de esta camisa se rige por la norma ASTM-A48, así como de una dureza HBN 190-220, además la fundición y el diseño de esta camisa va a depender directamente del fabricante y de los requerimientos que defina el comprador. Para las mazas de los molinos del tándem “A” se solicita una camisa de 78 pulgadas de largo por 40 pulgadas de diámetro, dependiendo del diseño, se solicitará una maza perforada o no perforada. Si fuera perforada, se solicita una maza con 1 200 agujeros para el drenaje del jugo de caña, el material de las boquillas para dicho drenaje debe ser bronce.

- Soldadura en las mazas

Para las mazas de los molinos en el tándem “A”, como una forma de prolongar su vida útil, se le aplica un recubrimiento o blindaje, este recubrimiento se aplica por medio de soldadura eléctrica con un electrodo llamado Azúcar 80, dicho recubrimiento se aplica a los dientes de la maza en forma de puntos, simulando unos granos en las puntas de los mismos, además este blindaje que se le hace a las mazas, también se aplica en las caras de las mazas.

Los molinos del tándem “A” son de cuatro mazas, que se encuentran colocadas sobre la virgen, en la posición que se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Posición de mazas**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

Cada una de estas cuatro mazas tiene una función específica dentro del molino cañero.

- Cuarta maza o premaza de alimentación

Esta es la encargada de alimentar el molino cañero y está situada al lado de la maza superior y a la entrada de la caña.

- Maza superior

Esta es la que recibe la acción de la transmisión de potencia del molino. Además es la encargada de formar un colchón de caña, en la molienda debido a la flotación de la misma por medio de los cabezotes hidráulicos.

La función de esta maza en los molinos del tándem "A" es mover la maza bagacera y para el caso de los molinos uno, dos, tres y cuatro, también es la encargada de mover la maza cañera, esto del lado corona, hablando del lado libre, la maza superior es la encargada de mover la cuarta maza.

- Maza cañera o de alimentación

Esta maza se encuentra ubicada en la zona de alimentación del molino, es la encargada de exprimir la fibra de caña o bagazo, para extraer el jugo.

- Maza bagacera o de descarga

Maza que se encuentra ubicada en la zona de descarga del molino, es la encargada de comprimir la fibra, para extraer toda la sacarosa posible y reducir la humedad del bagazo.

#### **2.3.2.2.1. Rayado o dientes de las mazas**

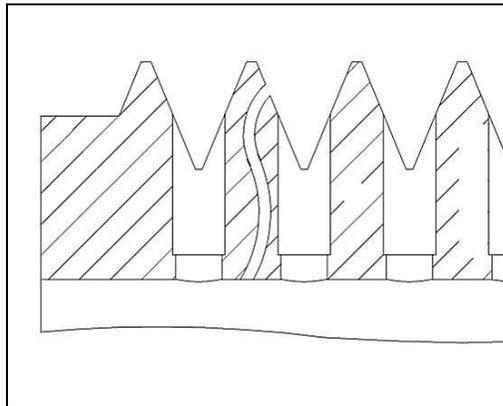
Para la molienda de caña se asume que las mazas tienen una geometría cilíndrica simple. En la práctica esto sería insuficiente debido a las necesidades de la molienda. Actualmente, en los molinos del ingenio Magdalena se cuenta con un rayado circunferencial, rayado que ayuda a romper la caña. Las mazas rayadas presentan un área superficial de contacto con la caña más grande, además la caña no alcanza a penetrar el fondo de la V del rayado y esto hace que se forme un conducto de drenaje natural de jugo de caña exprimido y, mediante las caras inclinadas de los dientes del rayado, se ejerce una fuerza extra en la extracción, sin incrementar la carga hidráulica o alguna otra fuerza sobre las mazas.

#### **2.3.2.2.2. Ranuras (Messchaert)**

Estas se hacen radialmente partiendo desde el fondo de los dientes de la maza hacia el centro. Pueden variar por el tamaño que tenga la maza, dependiendo del fabricante, estas se especifican de acuerdo al ancho que tiene la maza así como de la profundidad de la misma, como se muestra en la figura 10, partiendo del fondo del diente de la maza.

Para las mazas que se encuentran en cada molino del tándem “A” este procedimiento se dejó de realizar con la implementación de las mazas perforadas, debido a los diferentes beneficios que brindan las mismas.

Figura 10. **Tipo de ranuras messchaert**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### **2.3.2.2.3. Tipos de mazas**

Hay diferentes diseños de mazas utilizadas en los molinos cañeros en la industria azucarera. Los cuales han ido en evolución buscando la mejora de la extracción de sacarosa y disminuyendo la humedad en el bagazo. Para ello se han empleado diferentes métodos y dispositivos en la camisa de la misma, para aumentar y mejorar dicha extracción. A continuación se describen tres de los diseños que han sido los más utilizados en la industria azucarera.

- Mazas no perforadas

En esta, la camisa que se adjunta al eje es una no perforada. En el Ingenio Magdalena estas mazas no perforadas se comenzaron a sustituir por las Lotus en su momento, y luego por las mazas perforadas, primordialmente en las mazas superiores. Ver figura 11.

- Mazas lotus

Se compone de un casco de acero fundido que tiene varios agujeros radiales, los cuales funcionan como drenaje sobre la raíz de cada ranura del rayado, con intervalos regulares. Estos agujeros drenan sobre unos canales internos a lo largo del casco de la misma, esto lo hace sin tocar la caña molida, ya que se descarga el jugo en los laterales de la maza. Actualmente, estas mazas ya no son utilizadas en el Ingenio Magdalena, debido a la implementación de las mazas perforadas.

- Mazas perforadas

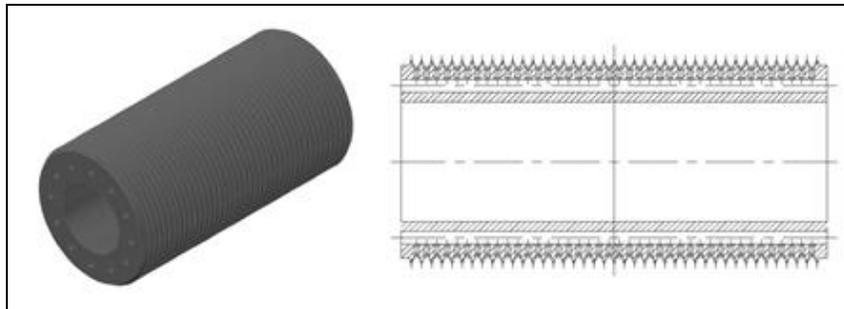
Esta es una innovación de la maza lotus con la diferencia que esta se construye en hierro gris, la cual busca minimizar la reabsorción de jugo en los molinos de caña para aumentar su extracción. Esta consiste en implementar una serie de drenajes hacia el interior de la maza, buscando separar rápidamente el jugo del bagazo durante la molienda. Esto lo realiza por medio de miles de boquillas que se encuentran en la raíz de los dientes de la maza los cuales llegan a unos amplios drenajes longitudinales y se drena a los costados de la maza, para dejar caer el jugo en la bandeja recolectora. Ver figura 12.

Figura 11. **Camisa no perforada**



Fuente, Departamento de Maquinaria.

Figura 12. **Camisa perforada**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

Actualmente en el tándem “A” se tienen mazas no perforadas y perforadas, en la tabla I se muestra la distribución de estas en los molinos del tándem.

Tabla I. **Distribución de mazas en los molinos del tándem “A”**

MOLINO	MAZAS PERFORANDAS				MAZAS NO PERFORADAS			
	BAG	SUP	4ta.	CAÑ	BAG	SUP	4ta.	CAÑ
1		X			X		X	X
2		X			X		X	X
3		X			X		X	X
4					X	X	X	X
5	X	X					X	X
6	X	X		X			X	

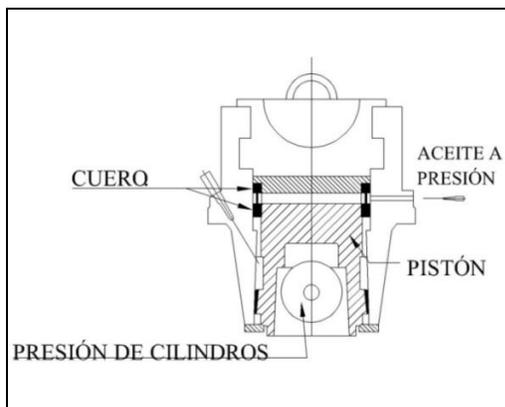
Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2.3. Hidráulicos y carga de molinos

Para obtener el beneficio de una presión constante, se necesita que una de las mazas del molino flote, para los molinos en el tándem “A”, por lo general, es la maza superior la que flota. Para lograr que la maza superior flote y ejerza la fuerza necesaria sobre el molino, se utilizan pistones hidráulicos, para lo cual se utilizan para cada molino, dos cabezotes hidráulicos como el que se muestra en la figura 13.

Estos cabezotes hidráulicos, que se encuentran montados sobre la virgen, actúan directamente hacia abajo en forma vertical, sobre la chumacera de la maza superior, la presión de estos accionamientos hidráulicos, es de alrededor de 2 500 libras fuerza por pulgada cuadrada, se proporcionan por medio de un aceite desde una bomba de alta presión, este sistema de aceite necesita absorber cambios de volumen a medida que los hidráulicos se estén moviendo con la flotación de la maza superior.

Figura 13. **Cabezote hidraulico**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

#### **2.3.2.4. Chumaceras (cojinetes deslizantes)**

Para las chumaceras de los molinos se tiene una construcción normalmente partida, sea de fundición entera de bronce o comprendiendo una carcasa con soporte de acero con una teja de bronce, una aleación típica para las chumaceras de los molinos cañeros, comprende un 84 por ciento de cobre, 10 por ciento de estaño, 3 por ciento de plomo y un 3 por ciento de zinc, pero también se utilizan otro tipo de aleaciones.<sup>15</sup>

Para los diferentes diseños de chumaceras que operan en el tándem "A", se hace circular agua de refrigeración a través de un laberinto dentro de la caja de la misma, o teja, dependiendo su diseño, después de haber pasado dentro de la chumacera el agua a la salida se dirige a unas bandejas abiertas, donde se puede diferenciar un cambio de temperatura en el agua con tan solo tener contacto con la misma, con ello se pueden iniciar los diferentes procedimientos

<sup>15</sup> REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 136.

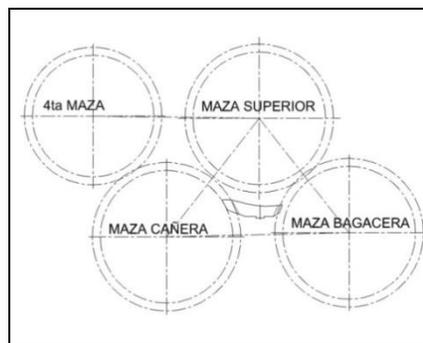
que se realizan al detectar una chumacera con una alta temperatura de operación.

### 2.3.2.5. Virador (cuchilla)

El propósito principal del virador o cuchilla, es dirigir la caña o el bagazo desde la abertura de trabajo de la maza cañera, siendo esta la que dirige a la maza bagacera para la siguiente compresión y extracción. Esto lo necesita hacer el virador cuando el bagazo se encuentra bajo una determinada compresión y dirigirlo con la mínima pérdida de compresión, la cual debe de ser con la mínima fricción hasta hacer llegar el bagazo a la abertura de la maza bagacera.

Los ajustes del virador son los que hacen posible el proceso antes mencionado, lo cual permite que el bagazo permanezca bajo una compresión considerable, generando fricción, desgaste y presión hacia arriba contra la maza superior, es por ello que el desgaste del virador refleja el perfil del rayado de la maza superior.

Figura 14. **Posición cuchilla central en las mazas**

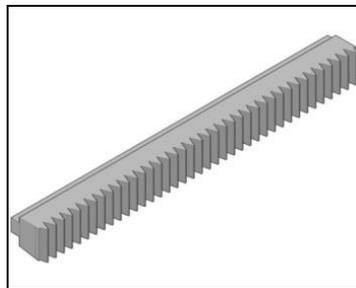


Fuente: Departamento de Maquinaria.

### 2.3.2.6. Raspador (peine)

Los raspadores se utilizan a la salida del molino para desprender el bagazo de las mazas superior y bagacera, los raspadores no necesitan mantener ninguna compresión por lo cual están expuesto a fuerzas mucho menores que los viradores. Como consecuencia, para la fabricación de los raspadores se utilizan materiales con menores especificaciones, usualmente hierro fundido o hierro SG.

Figura 15. **Raspador**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

## 2.4. Lubricante

Para la industria azucarera, en las chumaceras de los molinos cañeros se necesita un lubricante que soporte las altas cargas de trabajo debido a las necesidades y exigencias de la operación en los molinos, el indicado a utilizar en el sistema de lubricación de chumaceras en un ingenio, debe de soportar no solo las altas cargas, también debe de tener propiedades para trabajar a altas temperaturas, trabajar en ambientes con una alta contaminación, esto ya que el bagacillo y el jugo de caña el cual es altamente abrasivo, mantienen presencia continua sobre la chumacera, además dicho lubricante debe de tener una alta

demulsibilidad debido a que se tiene un alto contacto con vapor y agua, así como contacto con quimos de subproductos que se utilizan para la limpieza en los molinos.

#### **2.4.1. Descripción**

El lubricante a utilizar debe de ser un lubricante diseñado específicamente para cojinetes, que pueda trabajar bajo las exigencias que se requieren en las chumaceras de los molinos en un ingenio azucarero, en este caso en las chumaceras de los molinos del tándem “A” del Ingenio Magdalena S. A., además, este lubricante que debe de soportar las elevadas cargas y la contaminación que existe en el ambiente, debe de contener las propiedades así como los aditivos correctos para que el mismo funcione de una manera adecuada.

#### **2.4.2. Propiedades**

La propiedad primordial de un lubricante es reducir la fricción entre partes, para el caso de las chumaceras en los molinos cañeros del ingenio, es reducir la fricción que existe entre el muñón y la chumacera, y para ello un lubricante debe de tener una serie de diferentes propiedades las cuales ayuden a que esta fricción sea la menor posible, un aceite tiene diferentes propiedades, entre las más importantes se mencionan las siguientes.

- Viscosidad

Se define viscosidad como la resistencia que tiene un líquido a fluir, la cual es provocada por las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido.

- Índice de viscosidad

Valor que indica la variación de viscosidad del aceite con la temperatura, un aceite se vuelve menos viscoso cuando se aumenta la temperatura y es más viscoso a bajas temperaturas.

- Untuosidad

Propiedad del aceite para pegarse a las superficies a lubricar, esta se manifiesta cuando el espesor de la película de aceite se reduce al mínimo, sin llegar a la lubricación límite.

- Calor específico

Una propiedad muy importante en un aceite, para establecer la capacidad de absorción de calor del mismo.

- Densidad

La densidad es la razón entre el peso de un volumen dado de aceite y un volumen igual de agua, está relacionada con la naturaleza del crudo de origen y el grado de refinación. La densidad de la mayoría de aceite esta entre 700 y 950 kilogramos por metro cúbico, por definición se sabe que el agua tiene 1 000 kilogramos por metro cúbico, entonces esto significa que la mayoría de los aceites flotarán en el agua, debido a que son más ligeros, pero hay aceites que tienen una mayor densidad que el agua, haciendo que el agua flote sobre el aceite.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> <http://www.cedmm.org/fisica2/contenidotematicod.pdf>. Consulta: 16 de diciembre de 2013.

- Demulsibilidad

La capacidad de un líquido para separarse de una forma rápida del agua, una característica muy importante para un lubricante a utilizar en las chumaceras de los molinos cañeros en un ingenio, debido al contacto constante con agua.

### **2.4.3. Aditivos**

Los aditivos tienen una presencia, en un promedio del 15 por ciento al 25 por ciento en el aceite, los cuales son sustancias químicas que se le agregan a las bases lubricantes, con el objetivo de darle, o de mejorar, ciertas propiedades a la base, esto se realiza para tener aceites lubricantes con cualidades específicas. La calidad de un lubricante depende, no solo del tipo de base lubricante y de su proceso de refinación, sino también de la calidad y tipo de los aditivos utilizados.

A continuación se describen algunos de los aditivos más importantes:

- Aditivos que mejoran el índice de viscosidad: permite al aceite que se mantenga lo suficientemente fluido en frío.
- Aditivos antidesgaste: encargados de reforzar la acción antidesgaste que ejerce un lubricante con relación a los elementos a lubricar. Actúan formando una capa protectora.
- Aditivos antioxidantes: estos aditivos son los encargados de suprimir o, por lo menos disminuir los fenómenos de oxidación del lubricante.

- Aditivos detergentes: los cuales evitan la formación de depósitos o barnices.
- Aditivos dispersantes: mantienen en suspensión todas las impurezas
- Aditivos anticorrosivos: impiden el ataque a los metales ferrosos, debido a la unión del agua y el oxígeno del aire.
- Aditivos anticongelantes: este, permite al lubricante mantener una buena fluidez a baja temperatura, de quince a cuarentaicinco grados Celsius.
- Aditivos antiespuma: estos aditivos tienen como objetivo principal, limitar la dispersión de un gran volumen de aire en el aceite.
- Aditivos de extrema presión: reducen el rozamiento y en consecuencia, ayudan a economizar energía, protegiendo las superficies de las fuertes cargas. Aportando al lubricante, propiedades de deslizamiento específicas.

## **2.5. Lubricación**

La finalidad de la lubricación en las chumaceras de los molinos cañeros del tándem “A” del ingenio, es evitar que se dé un contacto directo entre el muñón de la maza con la chumacera, lo cual al entrar en contacto trae como consecuencia la formación de limaduras y finalmente se puede llegar hasta la ruptura de la chumacera. Además, si el muñón de la maza entra en contacto directamente con la chumacera, este muñón podrá quedarse con ralladuras, lo cual implica complicaciones a la hora de instalar una nueva chumacera, ya que es directamente el muñón el del problema, asimismo este contacto directo entre

materiales, provoca un desgaste y por consiguiente un arrastre de bronce, lo cual tiene como consecuencia elevar la temperatura de la chumacera.

- Existen tres tipos de lubricación

- Lubricación perfecta

Donde dos superficies se separan por la interposición permanente de una película de lubricante, con el objetivo de que estos dos materiales no tengan contacto, en un movimiento relativo en ningún punto.

- Lubricación mixta

Cuando la película de lubricante no impide totalmente el contacto entre rugosidades. Donde la carga es soportada en cierta parte por el contacto sólido-sólido y en otras por el lubricante, siendo esta parte la lubricación imperfecta.

- Lubricación límite

Donde la película de lubricante desaparece completamente o esta se queda entre las rugosidades, haciendo que toda la carga sea soportada por el contacto sólido-sólido.

### **2.5.1. Función del lubricante**

El propósito del lubricante es imponer una película de aceite entre el muñón y la maza, para evitar el contacto directo entre los materiales, a fin de

disminuir la fricción y el desgaste. El lubricante debe de tener las siguientes funciones:

- Proteger la pieza contra el desgaste
- Proteger la pieza contra la corrosión
- Proteger la pieza contra la oxidación
- Contribuir a la estanqueidad
- Contribuir a la refrigeración
- Facilitar la evacuación de impurezas

### **2.5.2. Regímenes de lubricación**

Para que exista lubricación tiene que haber una película de lubricante entre las piezas en contacto, para la lubricación de chumaceras en los molinos del tándem “A”, específicamente entre el muñón de las mazas y la chumacera. Las distintas formas de conseguir la formación de dicha película, dan lugar a los diferentes regímenes de lubricación:

- Lubricación hidrostática

En la lubricación hidrostática la capa de lubricante se garantiza debido al suministro de un lubricante a presión en la zona de contacto. La presión que se suministra es la encargada de mantener la separación de los dos cuerpos. Esta es muy apropiada para velocidades bajas y su nivel de rozamiento es bastante bajo.

- Lubricación hidrodinámica

La lubricación hidrodinámica se tiene cuando al girar el eje arrastra al aceite creando zonas de sobrepresión y de presión. Llegado un determinado momento, se crea una cuña hidrodinámica a presión la cual mantendrá separadas las superficies concordantes, sin ningún aporte de presión exterior. Esta cuña hidrodinámica depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Velocidad en el movimiento relativo entre los elementos
- Viscosidad del lubricante
- Huelgo radial entre los dos elementos
- Carga radial del eje

- Lubricación elastohidrodinámica

La lubricación elastohidrodinámica se genera en los contactos altamente cargados, que pueden ser lineales o puntuales. Como consecuencia de las altas cargas se eleva la viscosidad en el aceite y se da una deformación elástica en los cuerpos. Esta lubricación tiene lugar en los elementos que ruedan entre sí o con respecto a una superficie plana. Ya que el aumento de la viscosidad del aceite, debido a la presión y el aplastamiento de la superficie, se combina para atrapar el lubricante en el momento en que este, penetre en la zona de contacto.

- Lubricación marginal

En la lubricación marginal, los sólidos no están separados por el lubricante, por consiguiente los efectos de la película de lubricante son

insignificantes, lo cual genera un contacto entre las asperezas muy importante. La lubricación marginal se utiliza en los elementos de máquina que contengan cargas pesadas y que operen a bajas velocidades, donde es difícil obtener una película fluida de lubricante.

- **Lubricación parcial**

Esta lubricación se genera si las presiones en los elementos de máquinas lubricados elastohidrodinámicamente, resultan demasiado altas o las velocidades de operación son muy bajas; la película del lubricante tiende a dispersarse, como consecuencia habrá algún contacto entre las asperezas, y es aquí donde se origina la lubricación parcial, a veces denominada lubricación mixta, ya que dicho comportamiento se da por una combinación de efectos marginales y de película fluida.

### **2.5.3. Chumaceras hidrodinámicas**

Las chumaceras hidrodinámicas se utilizan principalmente en grandes máquinas rotatorias. Un buen diseño de las chumaceras hidrodinámicas conlleva a, un buen suministro y viscosidad del lubricante, permitiendo que durante la operación de la máquina, se forme una cuña de lubricante la cual separa al eje o muñón de la chumacera, evitando el contacto entre metal y metal. La capacidad de carga que soporta una chumacera hidrodinámica se debe a la generación del campo de presión en la película de lubricante. En casos reales las líneas de centro del eje y de la chumacera están sujetas a un cierto grado de desalineamiento angular. Este desalineamiento puede ser causado por diversos factores, entre los principales o más importantes, se pueden mencionar: inexactitudes por un mal montaje, un mal maquinado, tanto

para el eje como para la chumacera, el peso del rotor y la flexibilidad que tiene el eje o muñón.<sup>17</sup>

## **2.6. Sistema de lubricación**

El objetivo de un sistema de lubricación en las chumaceras de un molino cañero es evitar el contacto directo entre el eje y la chumacera, lo cual, si llegase a pasar, traería como consecuencia, inicialmente, la formación de limaduras y finalmente la ruptura o rajadura de la chumacera, lo cual obligaría a la sustitución de la misma, teniendo pérdidas en la producción. Entonces la finalidad de un sistema de lubricación es suministrar lubricante para evitar el contacto metal con metal, esta lubricación debe de ser lo más exacta posible si se quiere esto, se debe de tener un sistema automático para dicha lubricación en las chumaceras, que permita ser más preciso en el suministro de la lubricación, reduciendo costo por excesos en la aplicación del lubricante o problemas en la chumacera por una pobre lubricación, por estas y otras ventajas, en el tándem “A” se tiene instalado un sistema de lubricación automático de doble línea.

### **2.6.1. Sistema de lubricación automático de doble línea**

El mantener lubricada adecuadamente las chumaceras es de vital importancia para el funcionamiento del molino cañero, el no suministrar lubricante en el intervalo correcto y en las cantidades correctas, conlleva a experimentar una serie de fallas, las cuales son costosas y afectan el procesos de producción. Por ello en el tándem “A” del Ingenio Magdalena se tiene un sistema de lubricación automático de doble línea.

---

<sup>17</sup> GARCÍA, Antonio; et al. *Ingeniería investigación y tecnología*. p. 90.

Este sistema de lubricación consiste principalmente en una bomba, una válvula inversora, dos líneas principales de alimentación, inyectores cerca del punto de lubricación, líneas que conducen a los puntos de lubricación, manómetros y un sistema de control. Además de una válvula de alivio de presión, para proteger la bomba de una sobrepresión.

- Características
  - Aportación de lubricación precisa a varios puntos de lubricación.
  - Perfectamente ampliable según los puntos a engrasar.
  - Si una salida debería ser bloqueada, el resto de salidas continúa lubricando.
  - Los inyectores pueden ser ajustados independientemente.
  - Funcionamiento en ambientes y condiciones severas.
  - Mayor confiabilidad en la lubricación.
  - Integración de alarma:
    - Falla de línea, colapso, tapadas o rotas
    - Depósito de lubricante vacío
    - Lubricante contaminado
    - Falla de bomba
    - Falla del inyector
    - Falla en el suministro de aire

- Selección

Estos sistemas de inyección pueden ser diseñados según las necesidades de los usuarios, y casi para cualquier aplicación. Pero debido a la importancia de la lubricación, se debe de seleccionar el equipo correcto. La bomba y los inyectores, son seleccionados con base al peso del lubricante y la distancia que se debe trasladar el lubricante, al seleccionar estos ya se ve afectada la selección de la bomba, ya que se debe seleccionar una bomba con referencia a lo antes mencionado, así mismo la selección del inyector también se ve afectada en el tiempo requerido para el venteo después de una inyección. Además de tomar en cuenta la cantidad de los puntos a lubricar, para la presión que se va a manejar dentro del sistema, para que este mantenga una misma presión en todos los puntos a lubricar. Como parte adicional a este sistema de lubricación, se puede seleccionar una serie de instrumentos de monitoreo, para tener más confiabilidad en el sistema de lubricación.

## **2.7. Transferencia de calor**

La transferencia de calor es donde un cuerpo de mayor temperatura sede energía térmica a un cuerpo con menor temperatura, buscando un equilibrio térmico entre los cuerpos. Esta energía calorífica o calor, puede ser transferida mediante tres métodos, los cuales se describen a continuación:<sup>18</sup>

- Conducción

Este es un proceso de transmisión de calor, el cual tiene lugar debido al contacto directo entre los cuerpos, sin que exista un intercambio de

---

<sup>18</sup> CHROMALOX. *Fundamentos de transferencia de calor*. p. 1-5.

materia, con esto el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro a menor temperatura y está en contacto con el primero. La propiedad física de un material la cual define su capacidad para conducir el calor, se denomina conductividad térmica. La conductividad térmica de la materia depende de su estructura microscópica, en un fluido se debe esencialmente a colisiones aleatorias de las moléculas, en un sólido depende del intercambio de electrones libres, principalmente en metales. Sobre todo en los metales como el cobre y el aluminio, los cuales son muy buenos conductores de energía calorífica. .

- Convección

Se considera como la transferencia de energía calorífica mediante la circulación y difusión del medio calentado. La convección es el método más común para calentar fluidos o gases. Las aplicaciones regulares de calentamiento por convección incluyen, calentamiento por inmersión en agua y aceite, calentamiento de aire, calentamiento de gas y calentamiento del aire ambiental. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos, o sea transporte de calor por medio del movimiento del fluido. La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido.

- Radiación

Es la transferencia de energía calorífica por ciertas ondas electromagnéticas, esta transferencia es muy diferente a la transferencia de energía por conducción y convección. Ya que en la conducción y la convección debe de haber un contacto directo del material con la fuente

de calor. Mientras en el calentamiento por radiación, no existe un contacto directo con la fuente de calor. Esto se debe al calentamiento debido a líneas de energía infrarrojas, las cuales se irradian desde la fuente en líneas rectas y no se convierte en energía calorífica, sino hasta que es absorbida por la pieza de trabajo.

### **2.7.1. Transferencia de calor en chumaceras**

La transferencia de calor es esencial en la operación de las chumaceras en los molinos cañeros, debido a que la chumacera tiene como función absorber la energía calorífica del muñón de la maza de un molino cañero. Calor que es producido debido a la fricción que se ejerce entre el muñón de la maza y la chumacera. Esta transferencia de calor, es una transferencia de calor por conducción, ya que el muñón, el cual tiene una temperatura mayor a la de la chumacera y está en contacto directo con la misma, sede el calor producido por la fricción entre los mismos. La transferencia de calor se da más fácil debido a que la chumacera es de bronce, material con una alta conductividad térmica, además de permanecer con una temperatura menor a la del muñón, esto debido a que la chumacera también está cediendo energía calorífica por una transferencia de energía por conducción, la cual se está realizando al hacer circular agua dentro de un laberinto que se encuentra en el interior de la chumacera, y que tiene como objetivo absorber el calor que la chumacera está absorbiéndole al muñón de la maza. Manteniendo un equilibrio térmico entre el muñón de la maza y la chumacera, ya que el agua absorbe el calor producido por la fricción entre estos dos metales. Y debido que el agua que circula dentro del laberinto interno de la chumacera, va a una torre de enfriamiento, se mantiene en circulación agua con una temperatura mucho menor a la de la chumacera, lo cual hace posible una transferencia de calor.

## **2.8. Ahorro energético**

Como consecuencia de la constante búsqueda de implementar equipos más efectivos, así como de la búsqueda de un ahorro energético, surge el proyecto para la sustitución de los acoples rígidos, por acoples flexibles, por medio de los cuales se tendrían una serie de beneficios, entre los cuales se promueve que, debido a la implementación de estos acoples, se obtiene un ahorro del trece por ciento en el consumo de potencia en los motores eléctricos donde se instale el acople flexible con eslingas.

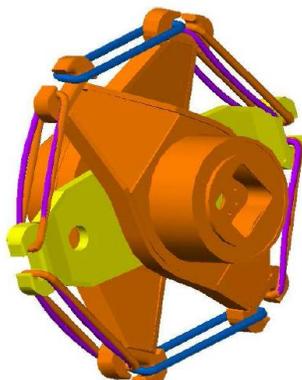
### **2.8.1. Implementación de acoples flexibles**

El acople de un molino cañero tiene como función, transmitir un momento torsor suministrado por un motor eléctrico, a través de un reductor de baja y alta velocidad, hacia las coronas en las diferentes mazas que conforman un molino cañero, permitiendo por medio de la movilidad de estas, la molienda de la fibra de caña.

En el tándem “A” del Ingenio, se tenían instalados en todos los molinos que compone dicho tándem, acoples rígidos o de palitos, estos acoples los cuales han tenido una serie de desventajas en zafras pasadas, han permitido iniciar con el proyecto de implementar acoples flexibles en los molinos cinco y seis del tándem “A”. Estos acoples se han puesto a prueba debido a una serie de beneficios comparados con los acoples rígidos, siendo uno de los más importantes, el ahorro de un trece por ciento en el consumo de potencia en cada molino donde este se instale.

- Beneficios de un acople flexible
  - Reducción hasta de un trece por ciento del consumo de potencia.
  - Reducción significativa en la fractura de los ejes.
  - Aumento significativo en la vida de las transmisiones o de los reductores.
  - No requiere lubricación.
  - Libre de mantenimiento mecánico.
  - Disminución del desgaste en las chumaceras en el molino.
  - Disminución del ruido del molino.
  - Disminución del desgaste en las chumaceras de las transmisiones.
  - Aísla cualquier vibración entre el molino y el accionamiento.
  - Aísla y absorbe cualquier esfuerzo axial entre el molino y el accionamiento.
  - Absorbe los desalineamientos entre el accionamiento y el molino.
  - Permite la instalación en distancias cortas entre el accionamiento y el molino.

Figura 16. **Acople flexible de eslingas**



Fuente: boletín, ACIP, *convertidor oscilante de torque para molinos*.

### 2.8.2. Resultados obtenidos

Luego de realizar las evaluaciones y la proyección de costos, para la implementación de los acoples flexibles en los molinos cinco y seis del tándem “A”, se procedió a la instalación de estos. Evaluando inicialmente si se consigue un ahorro en el consumo de potencia, por la implementación de dichos acoples, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla II. **Comparación consumo de potencia zafra 2012-2013 Vs 2013-2014**

	CONSUMO DE POTENCIA (Kw)		Ahorro
	2012-2013	2013-2014	
<b>Corridas</b>	<b>14.00</b>	<b>14.00</b>	
<b>Zafra</b>	<b>2012-2013</b>	<b>2013-2014</b>	
Precuchilla	269.479	319.241	15.59%
Picadora 1	306.227	262.589	-16.62%
Picadora 2	461.965	358.285	-28.94%
Desfibradora 1	1336.898	1337.445	0.04%

Continuación de la tabla II.

Desfibradora 2			
Molino 1	627.327	544.318	-15.25%
Handlungg 1			
Molino 2	641.326	622.406	-3.04%
Handlungg 2			
Molino 3	619.453	427.952	-44.75%
Handlungg 3			
Molino 4	524.522	431.779	-21.48%
Handlungg 4			
Molino 5	501.337	365.175	-37.29%
Handlungg 5	255.043	188.329	-35.42%
Molino 6	551.208	420.296	-31.15%
Handlungg 6	281.728	177.611	-58.62%
<b>Total [kW]</b>	<b>6376.512</b>	<b>5455.427</b>	<b>-16.88%</b>
<b>Total [MEGAVATIO]</b>	<b>6.377</b>	<b>5.455</b>	<b>-16.88%</b>

Fuente: Área de Cogeneración.

### **3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

Luego de la fase de investigación, en el presente capítulo se procede a realizar una evaluación actual del sistema de lubricación de chumaceras, así como un monitoreo y análisis, por medio de los cuales se obtengan resultados con los cuales se puedan realizar propuestas para optimizar el sistema.

#### **3.1. Situación actual**

Actualmente se tiene un sistema de lubricación automático de doble línea, para lubricar las chumaceras instaladas en las vírgenes del tándem “A” el cual permite inyectar cantidades deseadas en los diferentes puntos de las chumaceras. Este sistema tiene como objetivo primordial crear una película de lubricante entre el eje de la maza y la chumacera, evitando la fricción entre ellos y así evitar elevadas temperaturas de operación.

Para la temperatura de operación de las chumaceras, actualmente se tiene estandarizado, que las chumaceras deben de tener una temperatura de operación máxima de cuarenta y cinco grados Celsius, donde si se tiene una temperatura menor es estable y puede llevar a la regulación de los inyectores o a la incrementación del tiempo de paro para lubricar dichos puntos. En el caso de que dicha chumacera opere con una temperatura mayor a los cuarenta y cinco grados Celsius se tienen establecidos los siguientes procedimientos:

- Verificar temperatura del agua de salida

Proceso inicial, donde luego de que el valor de la temperatura es mayor a los cuarentaicinco grados Celsius, se realiza este procedimiento el cual lo puede realizar cualquier persona que se traslade por el área, debido a que se realiza con el simple hecho de tener contacto con el agua a la salida de la chumacera.

- Refrigeración externa con agua

Luego de establecer si una chumacera opera con una temperatura fuera del rango aceptable de operación, por medio de los dos procedimientos antes mencionados, se procede a la refrigeración de dicha chumacera, con la colocación de agua sobre la misma, esto implica una posible penetración de agua hacia la chumacera, entrando agua en contacto con el lubricante.

- Inyección de aceite

Luego de colocar agua en el exterior de la chumacera, se procede a inyectar aceite manualmente en la línea de la chumacera con alta temperatura, esto afecta directamente en el consumo del lubricante ya que se bombea en varias ocasiones y sin ningún tipo de control, únicamente dependiendo del criterio del mecánico.

- Monitoreo constante

Luego de realizar los procedimientos antes mencionados, se procede a un monitoreo constante de la chumacera, repitiendo los procedimientos

ya mencionados hasta que esta tenga una temperatura dentro del rango aceptable de operación. En este procedimiento se requiere mucha atención del mecánico de turno, ya que si no se mantiene el monitoreo, se podría mantener la chumacera con agua e inyectar lubricante manualmente sin control alguno.

- Revisión del sistema de lubricación

Luego del monitoreo, si la temperatura se mantiene, o en dado caso se eleva más, después de haber realizado los procedimientos antes mencionados, se revisa detalladamente el sistema de lubricación, con el objetivo de ver si se está inyectando adecuadamente y si no existe alguna irregularidad en las líneas de distribución. Provocando que el mecánico de turno prolongue su atención en una sola chumacera.

- Parqueo del molino

Luego de realizar todos los procedimientos antes mencionados, si no se tiene una reducción de temperatura en la chumacera con temperatura alta, como última opción se parquea el molino, para revisar la chumacera y si esta disminuye su temperatura al quitarle la carga de la molienda. Cuando se realiza este procedimiento, se ve la necesidad de puentear el molino, disminuyendo la eficiencia de la molienda de la fibra de caña.

- Sustitución de la chumacera

Luego de realizar la mayoría de los procedimientos, los cuales se realizan cuando la chumacera ya está con una muy alta temperatura, y ya no se puede disminuir la temperatura de esta por diversos factores, se

procede a la sustitución de la chumacera, lo cual implica que el molino este parqueado y puenteado durante varias horas, afectando directamente la eficiencia de la molienda.

Al realizar los diferentes procedimientos antes mencionados, se tienen consecuencias, ya que no se tiene ningún tipo de control en la aplicación de los procedimientos, incidiendo en la operación de las chumaceras, así como en los consumos de lubricante. Afectando directamente la operación completa de un molino y por consiguiente afectando la molienda de caña en el tándem completo.

### **3.1.1. Sistema de lubricación instalado**

Actualmente se tiene un sistema de lubricación automático de doble línea, donde sus características y ventajas fueron descritas en el capítulo de fase de investigación. Este sistema automático el cual se tiene instalado actualmente para la lubricación de chumaceras del tándem “A” , donde el circuito de doble línea se encuentra dividido en dos partes, una parte que lubrica las chumaceras de los molinos uno, dos y tres, el cual es un circuito abierto, y la otra parte del circuito para los molinos cuatro, cinco y seis, donde se tiene un circuito cerrado, debido a que se tiene una línea de retorno, la cual llega al tanque conectado a la bomba donde inicia el circuito de lubricación. Este sistema de lubricación para las chumaceras de los seis molinos que conforman el tándem “A”, aunque se encuentra dividido y trabaja independiente, se tiene un sistema de *bypass* el cual permite que el equipo de un circuito pueda lubricar las chumaceras de todos los molinos, en el caso de surgir alguna emergencia en el otro circuito.

Estos dos circuitos que conforman el sistema de lubricación de chumaceras, están constituidos por dos estaciones de bombeo marca Farval. El sistema es accionado por un motor eléctrico conectado a un reductor, que al salir del sistema de bombeo con una presión aproximada de 1 500 a 2 000 libras fuerza por pulgada cuadrada, pasa por una válvula inversora de la cual salen dos líneas, formado una línea de distribución paralela, donde una de las líneas es de abastecimiento y la otra es una línea de alivio del sistema. Estas dos líneas paralelas se encuentran conectadas a la caja de los inyectores, los cuales inyectan determinada cantidad de aceite dependiendo la configuración que se le dé al controlador. Los inyectores suministran determinada cantidad de aceite dependiendo de las carreras programadas en un controlador, donde también se programa el tiempo de paro.

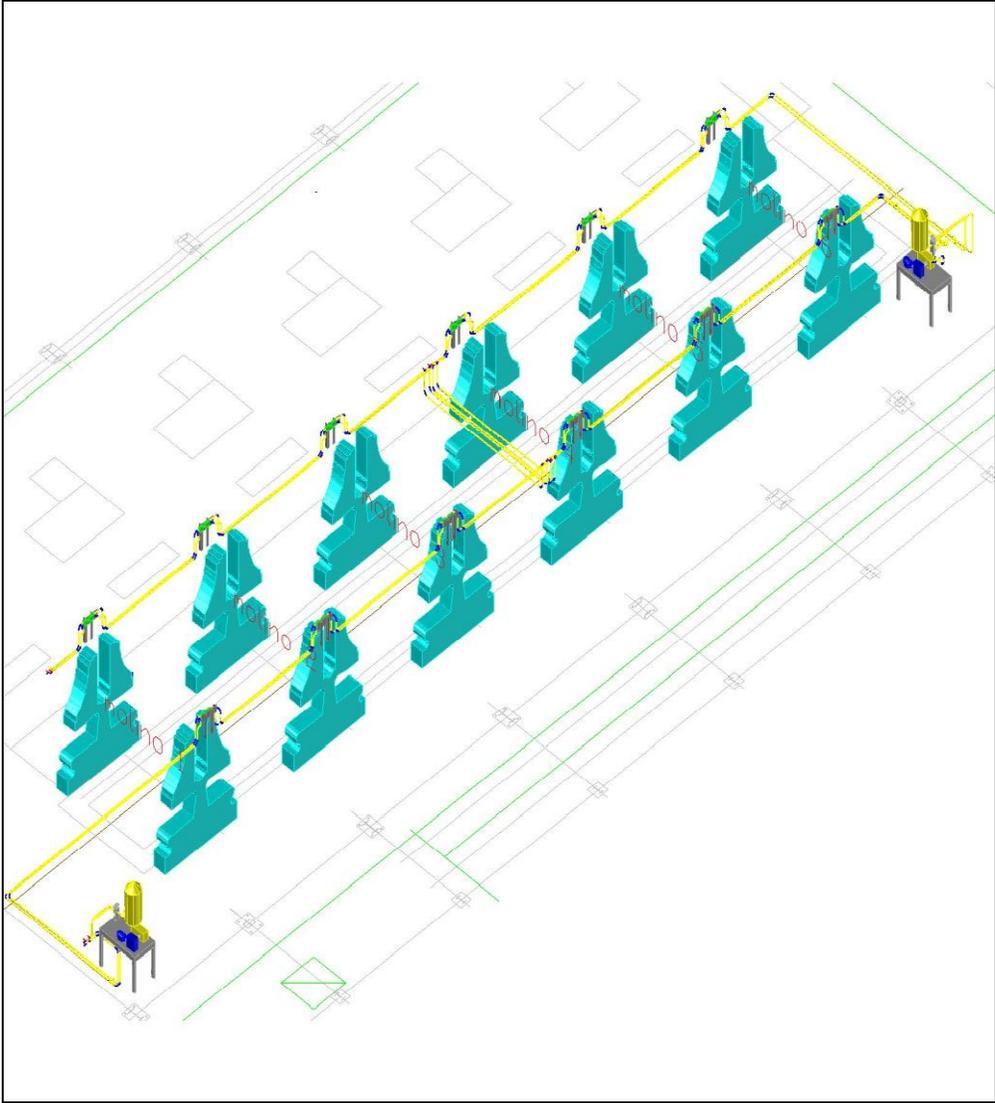
### **3.1.2. Diagrama del sistema de lubricación**

En la figura 17 se muestra el diagrama del sistema de lubricación automática de doble línea, instalado para los molinos del tándem “A”.

### **3.1.3. Equipo que compone el sistema de lubricación**

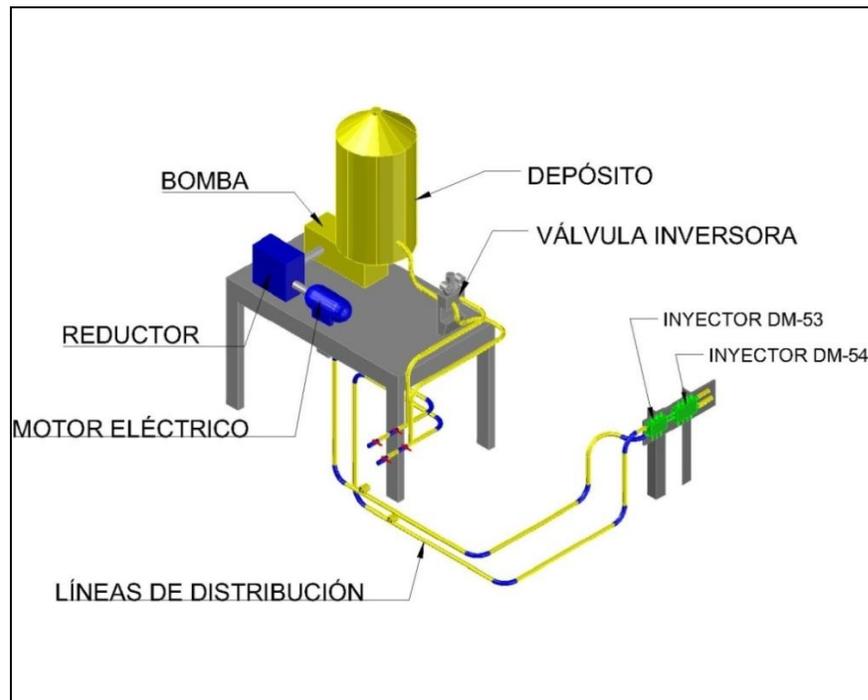
Ya descrito el sistema de lubricación de chumaceras instalado en tándem “A”, se procede a describir los equipos que conforman el sistema de lubricación, los cuales hacen posible la lubricación de chumaceras de los seis molinos cañeros. En la figura 18 se muestra un diagrama de los equipos que conforman el sistema de lubricación de doble línea instalado en el tándem “A”.

Figura 17. Diagrama, sistema de doble línea, instalado en el tándem “A”



Fuente: Departamento de Maquinaria.

Figura 18. **Diagrama de equipos que componen una estación de bombeo Farval**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### 3.1.3.1. Estación de bombeo

El sistema de lubricación de doble línea, instalado en el tándem “A”, está conformado por dos estaciones de bombeo marca Farval las cuales se muestran en las figuras 19 y 20, y se encargan del control y suministro del lubricante para el sistema de doble línea. Cada estación de bombeo está compuesta principalmente por una bomba, un motor eléctrico, una caja reductora, un depósito y una válvula de inversión, como se mostró en la figura 18 que muestra un diagrama de los equipos que conforman el sistema de lubricación.

Figura 19. **Estación de bombeo Farval 1**



Fuente: sistema de lubricacion de chumceras, tandem "A", Ingenio Magdalena S. A.

Figura 20. **Estación de bombeo Farval 3**



Fuente: sistema de lubricacion de chumceras, tandem "A", Ingenio Magdalena S. A.

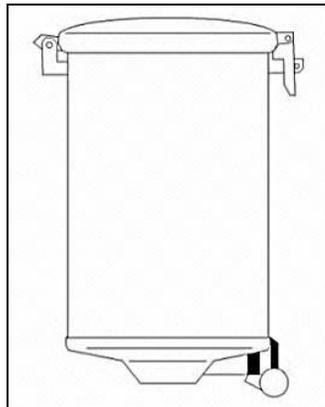
Además, para una mejor descripción de la estación de bombeo, se enlistan los principales componentes de esta, agregando para cada uno de ellos

el funcionamiento dentro de la estación de bombeo. Para cada estación de bombeo se manejan los mismos equipos ya mencionados. Para las dos estaciones de bombeo del sistema de lubricación de chumaceras, se tienen instaladas estaciones de bombeo marca Farval modelo DC-42.

- Depósito

Depósito donde se almacena el lubricante, específicamente el aceite Optifluid 4. Este depósito tiene una capacidad de 30 galones de almacenamiento con indicador de nivel flotante, el depósito se rellena por medio de su tapadera desplegable en la parte superior del mismo, ver figura 21.

Figura 21. **Depósito de aceite lubricante, estación de bombeo Farval**

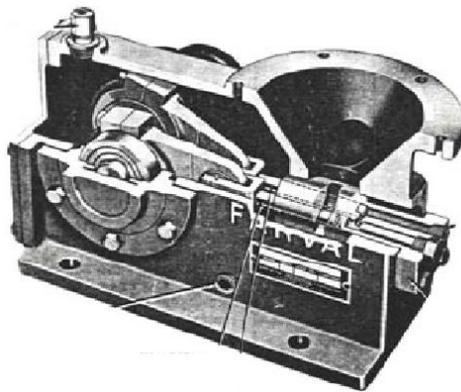


Fuente: Departamento de Maquinaria.

- **Bomba**

Es una bomba con una capacidad de 33,5 pulgadas cúbicas por minuto, de doble pistón, estos dos pistones son impulsados por excéntricos, un engranaje de gusanos, y un motor eléctrico. Es la encargada de acumular suficiente presión en la tubería de alimentación para mover todos los inyectores en cada punto de lubricación.

Figura 22. **Bomba Farval DJ4-5**

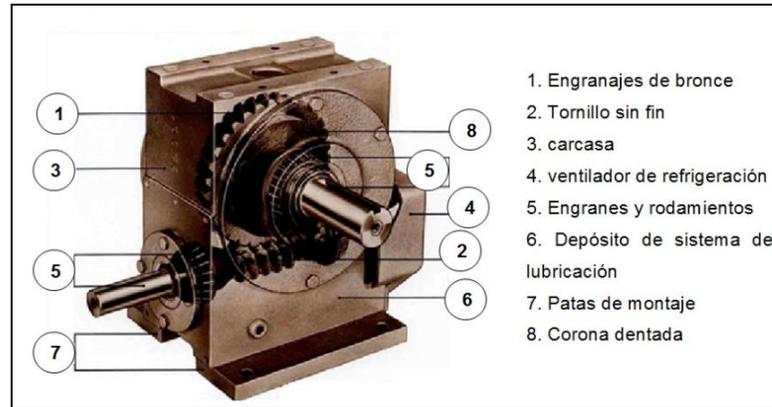


Fuente: boletín Farval DL1041.

- **Reductor**

En las estaciones de bombeo se utiliza un reductor marca Cleveland con un ratio de 15-1 con una salida de 1 750 RPM. Este reductor tiene el objetivo de dar regularidad a la velocidad del motor eléctrico, además de brindar una mayor eficiencia en la transición de potencia suministrada por el motor eléctrico.

Figura 23. **Reductor de velocidad , estacion de bombeo Farval**

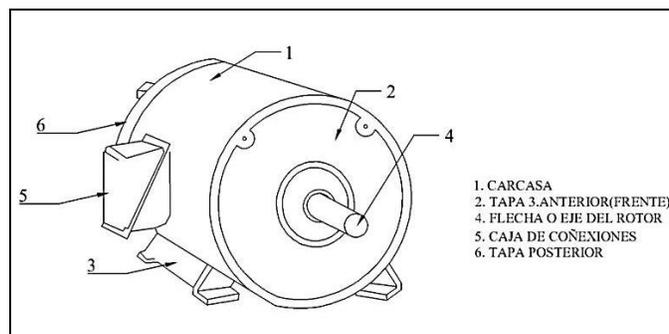


Fuente, Cleveland Gear. *Reductor de velocidad refrigerado por ventilador.* p. 3.

- **Motor eléctrico**

Se tiene un motor eléctrico de dos caballos de fuerza, el cual es el encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica la cual es transmitida a un reductor que está conectado a la bomba en la estación de bombeo.

Figura 24. **Motor eléctrico, estación de bombeo Farval**



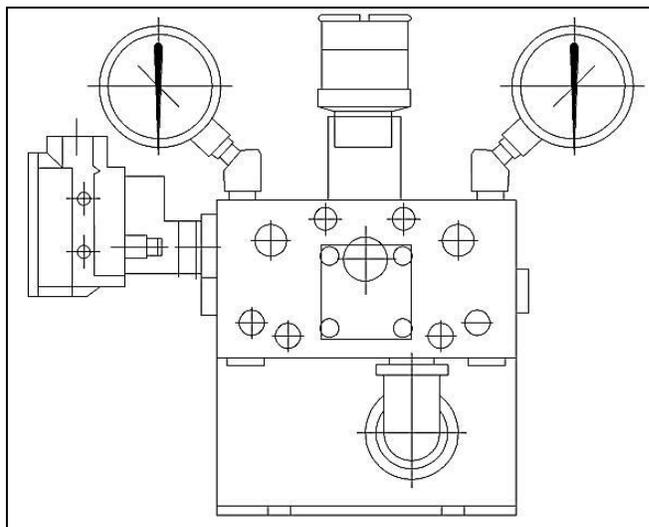
Fuente: Departamento de Maquinaria.

- Válvula de inversión

En el sistema automático de doble línea se tiene una válvula de inversión modelo DR-460A la cual dirige el caudal de la bomba a las líneas de distribución, mientras que la segunda línea de suministro es para el depósito de la bomba. Cuando finaliza cada ciclo de lubricación, la válvula de inversión redirige la bomba y el flujo de alivio. Además controla la presión máxima del sistema y de la bomba parada.

Estas son activadas por la presión del sistema y son ajustables entre 500 y 3 500 libras fuerzas por pulgada cuadrada, ideales para utilizarlas en las estaciones de bombeo Farval DC-42.

Figura 25. **Válvula inversora, estación de bombeo Farval**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### **3.1.3.2. Líneas de distribución**

El sistema de doble línea automático, como su nombre lo indica, consta de dos líneas. Estas dos líneas presurizadas después de la estación de bombeo se dirigen hasta la caja de inyectores, como se mostró en el diagrama del sistema de lubricación en la figura 18, las cuales se componen por una tubería de media pulgada de diámetro, cédula ochenta, que soporta 3 000 libras fuerza por pulgada cuadrada, la cual es la presión de trabajo del sistema de lubricación de chumaceras en los molinos cañeros.

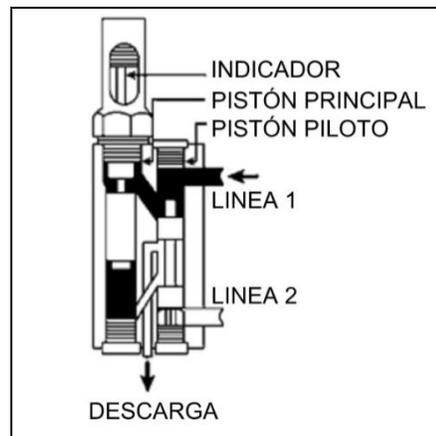
### **3.1.3.3. Inyectores**

Dentro del sistema de lubricación los inyectores son los encargados de suministrar la cantidad de aceite a los puntos de lubricación en las chumaceras, para ello en el tándem "A" se tiene instalados inyectores DM54-100 y DM53-100 distribuidos por la empresa Bijur delimon, los cuales consisten en una caja de cuatro y tres inyectores correspondientemente, con capacidad de lubricar hasta cien puntos de lubricación. Estos inyectores entran en funcionamiento cuando el lubricante entra en la válvula y fuerza el pistón de mando (ver figura 26) a bajar, con esta acción el pistón principal comienza a moverse hacia abajo, obligando a descargar lubricante de su recámara. Cuando la presión de suministro se invierte, el lubricante entra a la válvula y obliga al pistón a subir, lo que permite ejercer presión que se aplica a la parte inferior principal del pistón, haciendo que el pistón se mueva hacia arriba.

El desplazamiento que realiza el pistón del inyector cuando sube o baja se le denomina carrera y la cantidad de carreras que realice un inyector son programadas según la cantidad deseada de aceite a inyectar en el punto determinado. En la tabla III se muestran las diferentes especificaciones para

estos dos modelos de inyectores utilizados en el sistema de lubricación de chumaceras.

Figura 26. **Inyector serie DM**



Fuente: boletín, Bijur delimon international, sistema Farval de doble línea.

Tabla III. **Descripción técnica inyectores serie DM-51, 52, 53, 54**

Tamaño de válvula		Descarga de salida por carrera (cm <sup>3</sup> )	
		Máximo	Mínimo
DM-51, 52, 53, 54		5,02	1,23
		Descarga de salida por carrera (g)	
		Máximo	Mínimo
		4,82	1,19
Presión de alimentación máxima		350 bar	
Presión de descarga máxima		70 bar	
Rango de temperatura		-20 ° a 90 °C	
Lubricante		Aceite o grasa	
Materiales	Caja	Acero zincado	

Continuación de la tabla III.

	<b>Pistón</b>	Acero endurecido
	<b>Glándula</b>	Acero DM60
	<b>Sellos</b>	Nitrilo DM60
	<b>Indicador</b>	Acero inoxidable
	<b>Cubierta de glándulas</b>	Plástico

Fuente: elaboración propia, con datos de boletín Farval DL-600.

### 3.1.3.4. Controlador

Se tiene un controlador marca Farval modelo SS 2 000 encargado de controlar la acción de la estación de bombeo, este controlador tiene indicadores emisores de luz, que, dependiendo del color, alertan diferentes modos de fallo, también contiene una pantalla numérica de tres dígitos que se utiliza para la programación de la operación del sistema de lubricación. En esta programación se determina el tiempo de paro, así como la cantidad de carreras que se dará en cada inyector que está destinado para cada punto de lubricación en las chumaceras.

Figura 27. Controlador SS200 Farval 1 y 3



Fuente: cabina molidor tándem "A", Ingenio Magdalena S. A.

### 3.1.3.5. Chumaceras en molinos del tándem “A”

Debido a que los molinos instalados que conforman el tándem “A” son molinos de cuatro mazas como los mostrados en la figura 5, se utilizan ocho chumaceras por cada molino, las cuales se colocan en cada lado del eje de la maza, como en la figura 28, donde se muestra una maza bagacera con sus respectivas chumaceras en el momento después de ser asentadas y previo a su instalación.

Figura 28. **Maza bagacera, previo a la instalación de chumaceras**

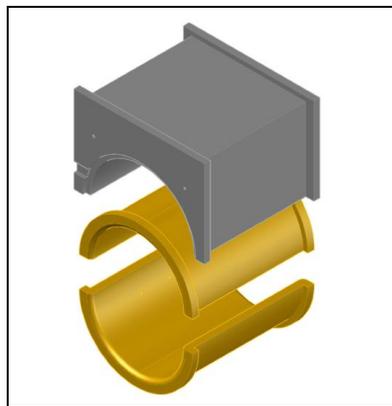


Fuente: molino 3, maza bagacera, tándem “A”, Ingenio Magdalena S. A.

Debido a la posición y a que las fuerzas que ejercen las mazas sobre las chumaceras no son las mismas, se tienen diferentes tipos de chumaceras. Es por ello que para cada maza se tiene un tipo de chumacera ideal a utilizar, la cual está construida y diseñada para la posición y la fuerza que la maza va a ejercer sobre dicha chumacera. A continuación se presentan los diferentes tipos de chumaceras con base a la maza que se utiliza en un molino cañero de cuatro mazas como los que se tienen instalados en el tándem “A” del ingenio Magdalena.

- Chumacera para maza superior: esta chumacera es un cojinete bipartido ya que se divide en dos partes, superior e inferior como se muestra en la figura 29, donde la superior recibe la fuerza que ejerce la maza, debido a la flotacion de la maza superior por la fuerza que ejerce el cabezote sobre esta, para poder crear un colchon de caña. La inferior es una teja de bronce la cual se encuentra sobre la virgen, esta entra en funcionamiento cuando la maza superior no esta flotando y el peso de la maza recae sobre ella.

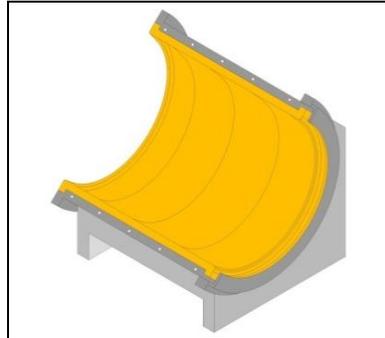
Figura 29. **Chumacera para maza superior, tandem “A”**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

- Chumacera para maza bagacera: como se habia mencionado en la fase de investigacion, esta maza se encuentra ubicada en la salida del molino y forma parte de la descarga de este, esta maza utiliza una chumacera como la que se muestra en la figura 30, la cual esta conformada por una teja inferior y una tapadera donde se encuentran los puntos de lubricación. La teja inferior es la encargada de soportar el peso de la maza y las fuerzas que se ejercen por la compresion de la caña en la molienda.

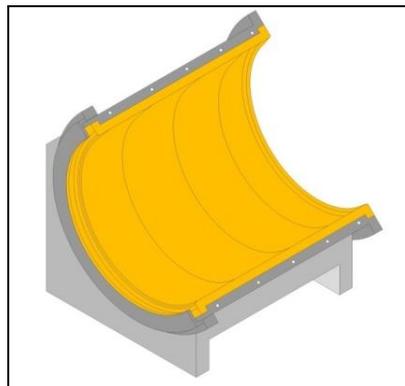
Figura 30. **Chumacera para maza bagacera, tandem “A”**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

- Chumacera para maza cañera: la chumacera para esta maza se encuentra en la alimentación del molino y, al igual que la maza bagacera, la chumacera que se utiliza en la maza cañera, está compuesta por una caja de hierro negro que soporta una teja inferior y una tapadera. En la figura 31 se muestra una chumacera a utilizar en una maza cañera.

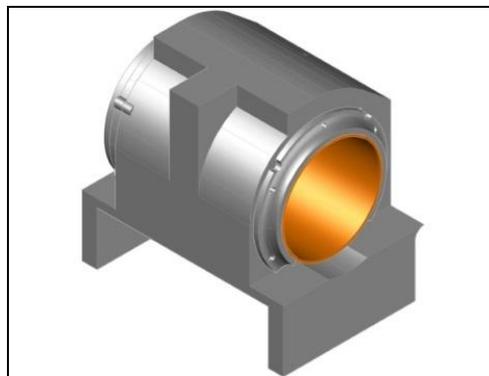
Figura 31. **Chumacera para maza cañera, tándem “A”**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

- Chumacera para cuarta maza: al igual que la maza cañera es una de las mazas encargadas de alimentar al molino, con la diferencia que para la cuarta maza o maza auxiliar se tiene una chumacera, la cual está conformada esencialmente por un buje de bronce como se muestra en la figura 32, el cual está dentro de una base formando la chumacera que se utiliza en dicha maza. Otras de las grandes diferencias de esta chumacera es que no tiene un sistema de refrigeración.

Figura 32. **Chumacera para cuarta maza, tándem “A”**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### **3.1.3.6. Diseño de chumaceras**

Actualmente en el tándem “A” se tienen diferentes tipos de diseños de chumaceras, especialmente para las chumaceras superiores, a continuación en las tablas IV y V, se enlista para cada chumacera, su descripción, diseño y donde se encuentra instalada.

Tabla IV. Diseños de chumaceras instaladas en el tándem “A”

No.	Descripción de chumacera	Diseño
1	Caja de hierro negro y teja de bronce	Refrigerada en la caja
2	Chumacera completa de bronce	
3	Caja de hierro negro y teja de bronce	Refrigerada en la teja
4	Buje / Bushing	

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Tipo de diseño de chumacera instalada

	Molino 1		Molino 2	
	LC	LL	LC	LL
<b>4ta</b>	4	4	4	4
<b>SUP</b>	2	2	2	2
<b>CAÑ</b>	1	1	1	1
<b>BAG</b>	1	1	1	1
	Molino 3		Molino 4	
	LC	LL	LC	LL
<b>4ta</b>	4	4	4	4
<b>SUP</b>	1	1	1	2
<b>CAÑ</b>	1	1	1	1
<b>BAG</b>	1	1	1	1
	Molino 5		Molino 6	
	LC	LL	LC	LL
<b>4ta</b>	4	4	4	4
<b>SUP</b>	3	3	3	3

Continuación de la tabla V.

<b>CAÑ</b>	1	1	1	1
<b>BAG</b>	1	1	1	1

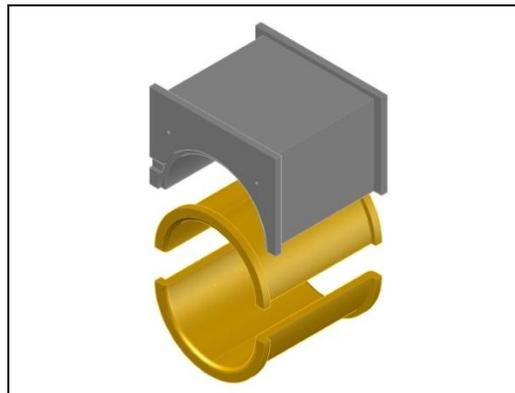
Fuente: elaboración propia.

Luego de conocer que diseño de chumacera se tiene instalado para cada lado del eje de la maza, se describe más detalladamente los diseños de chumaceras que se utilizan en los seis molinos del tándem “A”.

- Chumacera refrigerada en la caja: esta chumacera que se encuentra conformada por una caja, en donde se tiene el sistema de refrigeración de la chumacera, el cual consiste en un laberinto formado dentro del interior de la caja donde recorre agua, el cual por medio de transferencia de calor por conducción, como se mencionó en la fase de investigación, absorbe el calor que se genera por la fricción que se da entre el muñón y la chumacera. Para este diseño de chumacera refrigerada en la caja, se tienen los siguientes tipos. Ver figuras 33, 34 y 35.
  - Chumacera de caja de hierro negro y teja de bronce: este tipo de chumacera, como el nombre lo indica, está conformada por una caja de hierro negro, donde se encuentra la refrigeración de la misma. La característica de este diseño es que tiene una teja de bronce, la cual está asentada y atornillada sobre la caja de hierro, y para su refrigeración se debe enfriar primero el hierro y luego la teja de bronce, entonces la transferencia de calor es menor ya que no es directa. En la figura 34 se muestra una chumacera superior, refrigerada en la caja con teja de bronce, donde se muestran los

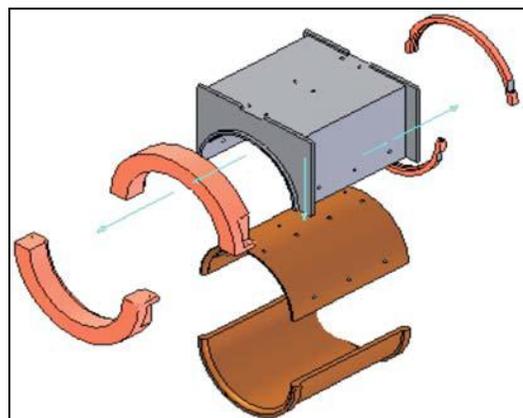
dos puntos de refrigeración de la misma, así como los puntos de entrada y salida del agua de refrigeración.

Figura 33. **Diseño de chumacera, refrigerada en la caja de hierro negro, con teja de bronce**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

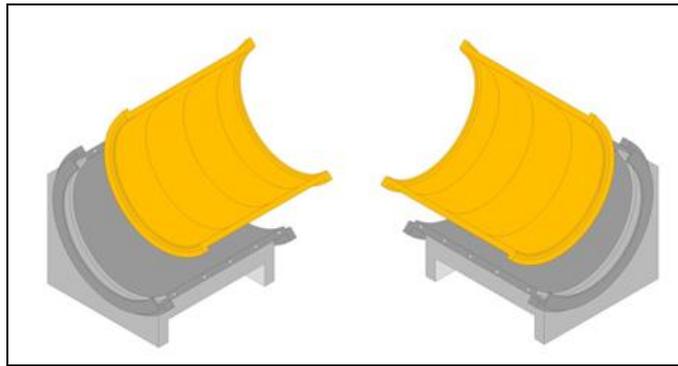
Figura 34. **Vista explosionada chumacera refrigerada en la caja**



Fuente: RODRÍGUEZ PULECIO, Sara. *Análisis comparativo de chumaceras de eje, de maza superior de molino de caña de azúcar.* p. 34.

Para las mazas bagaceras y cañeras, como se visualizó en la tabla, se tienen instaladas chumaceras con el mismo tipo de diseño, chumaceras refrigeradas en la caja de hierro negro con teja de bronce, pero el diseño en la estructura de estas varia, ya que son chumaceras inferiores. En la figura 35 se muestra una chumacera inferior refrigerada en la caja con teja de bronce.

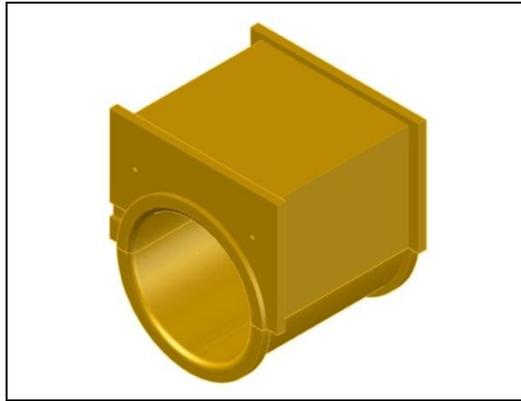
Figura 35. **Chumaceras: bagacera y cañera, refrigeradas en la caja de hierro negro, con teja de bronce**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

- Chumacera completa de bronce: chumacera construida de bronce en su totalidad, esto quiere decir que la refrigeración se hace directamente al bronce ya que el agua que recorre el laberinto de refrigeración dentro de la caja entra en contacto con el bronce directamente y no como en la caja de hierro negro, que el hierro enfría al bronce. En el tándem “A” se tienen instaladas cinco chumaceras superiores como se mostró en la tabla V, en la figura 36 se muestra una chumacera superior completa de bronce.

Figura 36. **Chumacera completa de bronce**

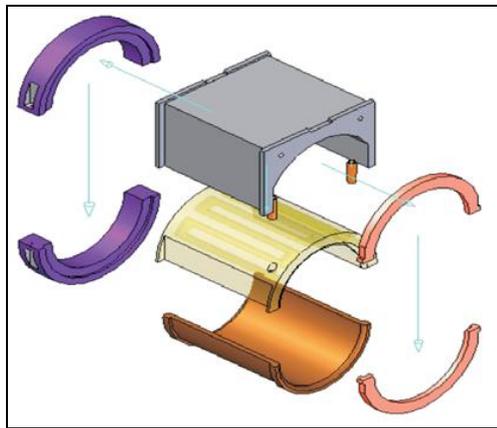


Fuente: Departamento de Maquinaria.

- Chumacera refrigerada en la teja: este diseño de chumacera es nuevo para el tándem “A”, el cual consiste en la misma estructura que una caja de hierro negro con una teja de bronce, con la gran diferencia, que en la teja se tiene la refrigeración de la misma y la caja únicamente tiene la función de soportar la presión que ejerce el eje y el desplazamiento axial del mismo. La refrigeración del bronce se hace por medio de la teja, debido a que en el interior de la misma se tiene agujeros pasantes que se conectan en los extremos. En la figura 37 se muestra una chumacera superior refrigerada en la teja y la diferencia de refrigeración de la misma.
- Buje: para la cuarta maza, no se utilizan chumaceras como las antes mencionadas; para la cuarta maza se tiene un buje de bronce como se muestra en la figura 38, el cual se coloca sobre una base formando una chumacera con buje de bronce, para esta chumacera solo se tiene los dos puntos de lubricación y no se tiene refrigeración como las otras

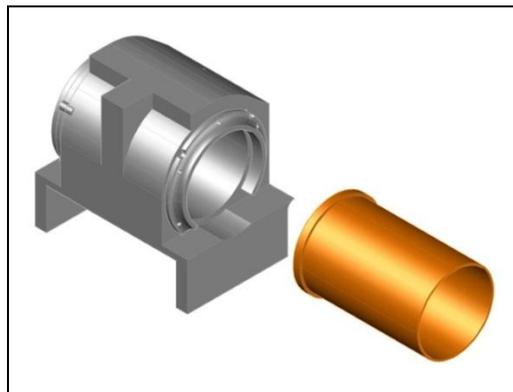
chumaceras. Esta es una maza auxiliar y no soporta esfuerzos como lo soportan las otras chumaceras.

Figura 37. **Esquema explotado de chumacera refrigerada en la teja**



Fuente: RODRÍGUEZ PULECIO, Sara. *Análisis comparativo de chumaceras de eje, de maza superior de molino de caña de azúcar*. p. 34.

Figura 38. **Base y buje, que conforma chumacera para una cuarta maza**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### 3.1.3.7. Material de chumaceras

En el Ingenio Magdalena S. A. para la teja o caja de bronce según el diseño de la chumacera para los molinos cañeros, se solicita que el material de estas sea un bronce SAE 64, el cual es una aleación con excelentes características físicas para el trabajo pesado y tiene una excelente característica antifricción, ya que contiene un alto contenido de plomo, esta aleación posee una dureza de entre 60 y 70 Brinell. Entre otras de sus propiedades: esta aleación tiene alta resistencia a la corrosión y desgaste, es fácilmente mecanizada, además soporta elevadas temperaturas, lo cual es una gran ventaja en esta aleación debido a las temperaturas que se generan por la fricción con el muñón. Otra de las propiedades importantes de esta aleación es su alta conductividad térmica que le permite absorber el calor del muñón y transmitirlo al agua de refrigeración. Esta aleación de bronce es apta para trabajos pesados ya que tolera sin dificultades el impacto y la fatiga. Ideal para trabajar bajo altas cargas y altas velocidades donde hay deficiente lubricación.

Tabla VI. **Especificaciones Bronce SAE 64**

<b>Especificaciones Bronce SAE 64</b>		
	<b>Mínimo %</b>	<b>Máximo %</b>
<b>Cobre</b>	78	82
<b>Estaño</b>	9	11
<b>Plomo</b>	8	11
<b>Zinc</b>	--	0,75
<b>Níquel</b>	--	0,75

Continuación de la tabla VI.

<b>Hierro</b>	--	0,15
<b>Antimonio</b>	--	0,55
<b>Fósforo</b>	--	0,05

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en [www.okendo.mx](http://www.okendo.mx). Consulta: 7 de enero de 2014.

#### **3.1.4. Lubricante**

Actualmente, para la lubricación de las chumaceras en los molinos del tándem "A" en el Ingenio Magdalena, se utiliza el lubricante Optifluid 4 el cual es de marca Castrol y es distribuido por la empresa Trittech, que es la encargada de proveer el lubricante, así como de brindar una asesoría para la mejor aplicación y monitoreo de operación del mismo, con el objetivo de obtener el mayor rendimiento del lubricante. Para este lubricante se tiene la siguiente ficha técnica.

- Descripción

Diseñado específicamente para ser usado en engranes abiertos, cojinetes y guías de molinos azucareros, los cuales están sometidos a elevadas cargas. Está compuesto con diferentes aditivos los cuales son seleccionados para reducir los residuos y proteger contra oxidación y corrosión.

- Aplicación

Soporta altas cargas y con propiedad de alta adherencia, mantiene una película constante sobre las superficies metálicas, incluso en posiciones verticales. Se puede aplicar por baño o por rocío.

- Ventajas

- Excelentes propiedades lubricantes que aumenta la vida del equipo.
- Alta adherencia, incluso en equipos verticales.
- Alta capacidad de soportar cargas.
- Excelente protección contra la corrosión y resistencia a la oxidación.
- Compatible con los metales no ferrosos.
- Alto índice de viscosidad.

Tabla VII. **Ficha técnica de aceite lubricante Optifluid 4**

<b>Nombre</b>	<b>Método</b>	<b>Unidades</b>	<b>Optifluid 4</b>
<b>Color Visual</b>	VISUAL	--	Ámbar
<b>Densidad a 20 ° C</b>	ASTM D 4052	g/ml	0,907

Continuación de la tabla VII.

<b>Viscosidad cinemática a 40 ° C</b>	ASTM D445	cSt	16 000
<b>Viscosidad cinemática a 100 ° C</b>	ASTM D445	cSt	560
<b>Índice de viscosidad</b>	ASTM D 2270	--	275
<b>Punto de inflamación</b>	ASTM D 92	°C	250
<b>Corrosión del cobre</b>	ASTM D 130	Clase	1 <sup>a</sup>
<b>Corrosión del acero</b>	ASTM D 665 –A	--	Pass
<b>Prueba FZG (8,3/90) Etapa</b>	DIN 51354	--	>12
<b>Cuatro bolas prueba EF, Carga de soldadura</b>	ASTM D 2783	Kg	--
<b>Cuatro prueba de desgaste de bolas (1 750 rpm, 60 min. 100 kg)</b>	ASTM D 2783	Mm	--

Fuente: Castrol Optifluid 4, [www.castrol.com/industrial](http://www.castrol.com/industrial). Consulta: 19 de noviembre de 2013.

### 3.2. Análisis de operación del sistema

Para poder realizar propuestas de optimización para el sistema de lubricación de chumaceras del tándem “A”, en el Ingenio Magdalena, previamente se realizará un análisis de la operación de este sistema, el cual consistirá en monitorear así como de evaluar: los equipos, procedimientos, personal que está a cargo del funcionamiento de este sistema y el consumo de lubricante. Con ello se obtendrán resultados, con los cuales se podrán realizar propuestas para mejorar el sistema luego del análisis y de las evaluaciones que se hicieron a cada uno de los elementos antes mencionados.

### **3.2.1. Análisis de la toma de temperatura**

Como parte inicial del análisis de la operación del sistema de lubricación de chumaceras, se analizará todo lo referente a la toma de temperatura de operación de estas, realizando un seguimiento a los datos diarios proporcionados por los mecánicos de turno y un monitoreo que permitirá obtener datos propios, evaluando el procedimiento realizado por los mecánicos, para la toma de temperatura.

#### **3.2.1.1. Seguimiento de datos de temperatura**

Este seguimiento consistirá principalmente en evaluar la forma de la toma del valor de temperatura de las chumaceras, así como de los puntos donde se es tomada y los diferentes procedimientos que realizan los mecánicos de turno para la toma de este valor, además de realizar la digitalización de los datos de la temperatura de chumaceras que los mecánicos proporcionan con la ayuda de un formato, que es proporcionado por el departamento de administración de mantenimiento. Por medio de este formato, el cual se muestra en la figura 39, los mecánicos de turno registran cada dos horas la temperatura de cada chumacera de los molinos que componen a el tándem “A”, con esos datos se realizará un promedio diario del valor de la temperatura que se tiene para cada chumacera, con el objetivo de crear un historial que muestre el comportamiento de la temperatura de las diferentes chumaceras.

Figura 39. Formato para el registro de la temperatura de chumaceras

CONTROL DE TEMPERATURA CHUMACERAS DE MOLINOS TANDEM A																								
FECHA: _____																								
MOLINO 1	LADO CORONA					LADO LIBRE					MOLINO 2	LADO CORONA					LADO LIBRE							
	HORA	4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	HORA		4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	
	07:00:00											07:00:00												
	09:00:00											09:00:00												
	11:00:00											11:00:00												
	13:00:00											13:00:00												
	15:00:00											15:00:00												
	17:00:00											17:00:00												
	19:00:00											19:00:00												
	21:00:00											21:00:00												
23:00:00										23:00:00														
01:00:00										01:00:00														
03:00:00										03:00:00														
05:00:00										05:00:00														
MOLINO 3	LADO CORONA					LADO LIBRE					MOLINO 4	LADO CORONA					LADO LIBRE							
	HORA	4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	HORA		4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	
	07:00:00											07:00:00												
	09:00:00											09:00:00												
	11:00:00											11:00:00												
	13:00:00											13:00:00												
	15:00:00											15:00:00												
	17:00:00											17:00:00												
	19:00:00											19:00:00												
	21:00:00											21:00:00												
23:00:00										23:00:00														
01:00:00										01:00:00														
03:00:00										03:00:00														
05:00:00										05:00:00														
MOLINO 5	LADO CORONA					LADO LIBRE					MOLINO 6	LADO CORONA					LADO LIBRE							
	HORA	4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	HORA		4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	4ta.	CAN	SUP	BAG	
	07:00:00											07:00:00												
	09:00:00											09:00:00												
	11:00:00											11:00:00												
	13:00:00											13:00:00												
	15:00:00											15:00:00												
	17:00:00											17:00:00												
	19:00:00											19:00:00												
	21:00:00											21:00:00												
23:00:00										23:00:00														
01:00:00										01:00:00														
03:00:00										03:00:00														
05:00:00										05:00:00														
SISTEMA DE BOMBEO																								
BOMBEO 1	6:00 A.M	BOMBEANDO		18:00	BOMBEANDO																			
BOMBEO 2		PARADO			PARADO																			
BOMBEO 3		BOMBEANDO			BOMBEANDO																			
		PARADO			PARADO																			
OBSERVACIONES																								

Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Los mecánicos del tándem “A”, para realizar la toma del valor de la temperatura de las chumaceras, utilizan un termómetro infrarrojo tipo pistola marca Klein, el cual tiene las especificaciones siguientes.

Tabla VIII. **Especificaciones generales, termómetro infrarrojo IR 1 000 Klein Tools**

<b>Termómetro infrarrojo IR 1 000 Klein Tools</b>	
<b>Altitud de funcionamiento</b>	2 000 metros
<b>Humedad relativa</b>	75% máx
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	0~50 °C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-20~60 °C
<b>Temperatura de precisión</b>	22,8 °C ±1,7 °C
<b>Emisividad</b>	0,95 fija
<b>Resolución óptica (Distancia :punto)</b>	12:1
<b>Dimensiones</b>	3,25 x 7 1,74pulgadas
<b>Peso</b>	3,9 onzas
<b>Tipo de pilas</b>	2 pilas alcalinas AAA
<b>Vida útil de las pilas</b>	14,5 horas
<b>Resolución de la pantalla</b>	0,1°
<b>Retención de la pantalla</b>	Automática
<b>Calibración</b>	Un año
<b>Laser</b>	FDA e IEC clase II
<b>Certificaciones</b>	CE e RoHS

Fuente: Manual de instrucciones, IR 1 000 Klein Tools.

Figura 40. **Termómetro infrarrojo marca Klein, utilizado por los mecánicos de turno**



Fuente: Oficina de maquinaria, Ingenio Magdalena S. A.

### **3.2.1.2. Monitoreo de temperatura**

Este monitoreo consistirá en la toma de temperatura de las chumaceras en horas de la mañana y al mediodía, obteniendo datos de temperatura propios, con el objetivo de registrar la temperatura de las chumaceras a una hora del día donde la temperatura ambiente es relativamente menor a la del resto del día, así como de tomar al medio día cuando la temperatura ambiente alcanza su punto máximo. Con ello obtener un promedio de la temperatura que se tuvo en el día por cada chumacera en los molinos del tándem “A”, registrando datos para poder evaluar y analizar los procedimientos que los mecánicos de turno deben de realizar para la correcta toma del valor de temperatura de una chumacera.

Para realizar este monitoreo se utilizará el formato que se muestra en la tabla VII donde, a determinada hora, se toma la temperatura de cada una de las chumaceras de los seis molinos que componen el tándem “A” digitalizando los datos obtenidos. Con la ayuda de este formato se registrará, a determinada hora, la temperatura de las chumaceras, registrando si dicha chumacera se encuentra con agua externa sobre ella y si el o los inyectores de esa línea se encuentran regulados, con el propósito de evaluar todo lo referente a la toma del valor de la temperatura, así como de los procedimientos que deben de realizarse. Con los datos obtenidos se hace un historial propio para visualizar el comportamiento del valor de la temperatura en las diferentes chumaceras del tándem “A”.

Para el monitoreo de temperatura se utilizó inicialmente un termómetro infrarrojo IR 1 000 Klein Tools descrito en la tabla VIII. Terminando el monitoreo antes mencionado con un termómetro infrarrojo IR 568 FLUKE con los cuales se realizaron las mediciones de temperatura sin contacto. El termómetro IR 568

FLUKE se describe a continuación, así como del termohigrómetro utilizado para la medición de la temperatura y la humedad relativa en el ambiente de operación de las chumaceras del tándem “A”.

Tabla IX. **Formato para registrar el monitoreo de temperatura**

TEMPERATURA DE CHUMACERAS "DIA" DE "MES" ZAFRA 2013-2014 "HORA"																											
TANDEM "A"															T° ambiente = °C												
TEMPERATURA MAYOR A 45°C				CHUMACERAS CON AGUA								INYECTOR REGULADO															
LADO CORONA				LADO LIBRE				LADO CORONA				LADO LIBRE				LADO CORONA				LADO LIBRE							
BAG	SUP	4ta	CAÑ	BAG	SUP	4ta	CAÑ	BAG	SUP	4ta	CAÑ	BAG	SUP	4ta	CAÑ	BAG	SUP	4ta	CAÑ	BAG	SUP	4ta	CAÑ	BAG	SUP	4ta	CAÑ
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
6																											

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Especificaciones generales, termómetro infrarrojo IR 568**

**Fluke**

Termómetro infrarrojo IR 568 FLUKE	
<b>Rango de temperaturas IR</b>	-40° C a 800° C
<b>Exactitud</b>	< 0° C ± (1,0° C + 0,1°/ 1° C)
<b>Distancia: punto (90% de energía)</b>	50:1
<b>Enfoque laser</b>	Salida 1 megavatio Clase II Longitud de onda 630 a 670 nm
<b>Emisividad</b>	Ajustable digitalmente 0,10 a 1 Tabla de materiales comunes
<b>Almacenamiento de datos</b>	99 puntos
<b>Comunicación</b>	USB 2.0
<b>Altitud operativa</b>	3 000 m sobre el nivel del mar
<b>Altitud de almacenamiento</b>	12 000 m sobre el nivel del mar

Continuación de la tabla X.

<b>Humedad relativa</b>	Del 10% al 90% de HR, sin condensación hasta 30° C
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	De 0° a 50° C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-20° C a 60° C
<b>Alimentación</b>	2 pilas AA/LR6 o conexión USB
<b>Vida útil de las pilas</b>	12 horas con láser y luz de fondo encendidos. 100 horas con láser y luz de fondo apagados.

Fuente: Manual de instrucciones, IR 568 Fluke.

Figura 41. **Termómetro infrarrojo marca Fluke, utilizado para el monitoreo de las chumaceras**



Fuente: oficina de maquinaria, Ingenio Magdalena S. A.

Tabla XI. **Especificaciones generales, termohigrómetro 355119-047 VWR**

<b>Termohigrómetro 35519-047 VWR</b>	
<b>Pantalla</b>	3/4 " Alta LCD
<b>Precisión</b>	± 1° C (0 a 40° C) ± 2%HR

Continuación de la tabla XI.

<b>Resolución</b>	1 °F o °C 1%HR
<b>Rango de temperatura</b>	0 a 50 °C
<b>Rango de humedad</b>	25 a 95% HR
<b>Memoria</b>	Temperatura máxima y mínima Humedad relativa máxima y mínima
<b>Funciones</b>	Temperatura y humedad relativa
<b>Dimensiones</b>	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> " x 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " x 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
<b>Peso</b>	3 oz

Fuente: manual de instrucciones, *termohigrómetro* 355119-047 VWR.

Figura 42. **Termohigrómetro utilizado para la toma, del valor de la temperatura ambiente en los molinos**



Fuente: oficina de maquinaria, Ingenio Magdalena S. A.

### 3.2.1.3. Datos obtenidos

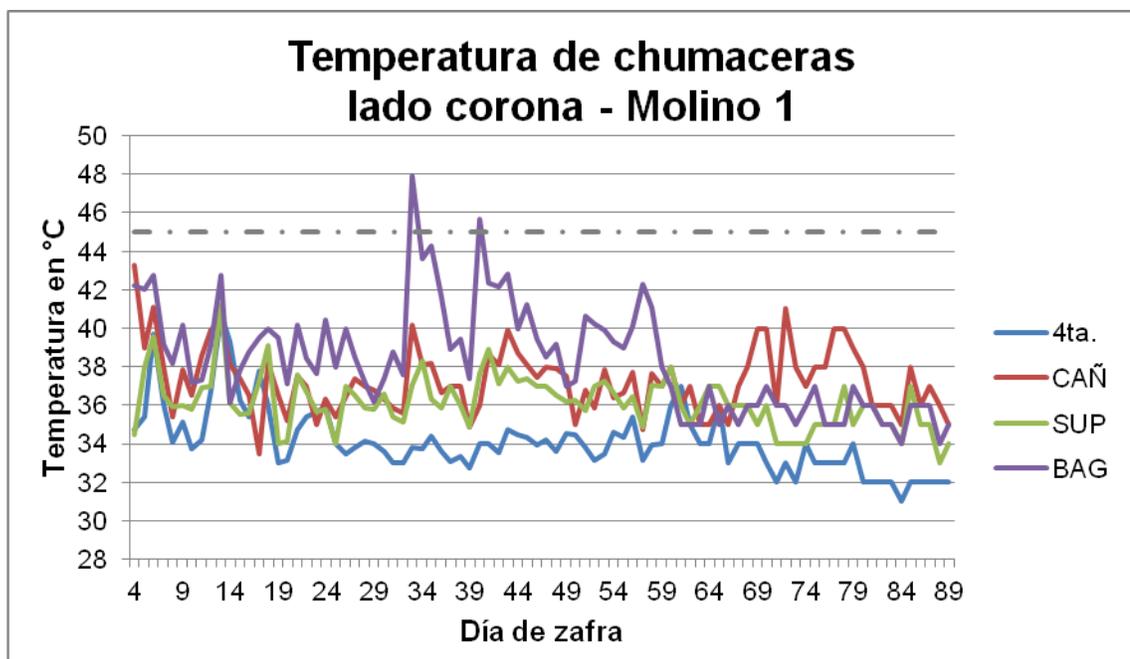
Luego de realizar el seguimiento, evaluación, análisis y monitoreo correspondiente para la toma del valor de la temperatura de las chumaceras de

los molinos del tándem “A”, se obtuvieron los siguientes datos consecuencia del análisis de la toma de temperatura.

- Datos obtenidos del seguimiento

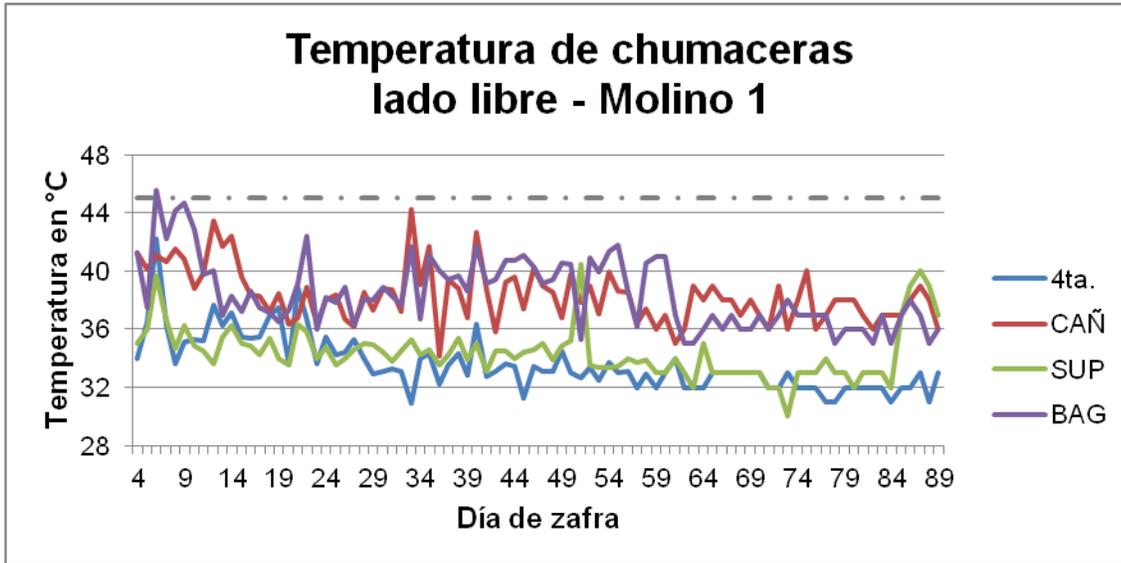
Como resultado del seguimiento de datos de temperatura, se obtuvieron datos con los cuales se presenta una gráfica con el promedio diario de los ochentainueve días de zafra. Teniendo dos gráficas por molino, una donde se muestran los promedios diarios de las chumaceras del lado corona y la otra gráfica donde se presentan los valores de temperatura para las chumaceras del lado libre.

Figura 43. **Temperatura de chumaceras lado corona, molino 1**



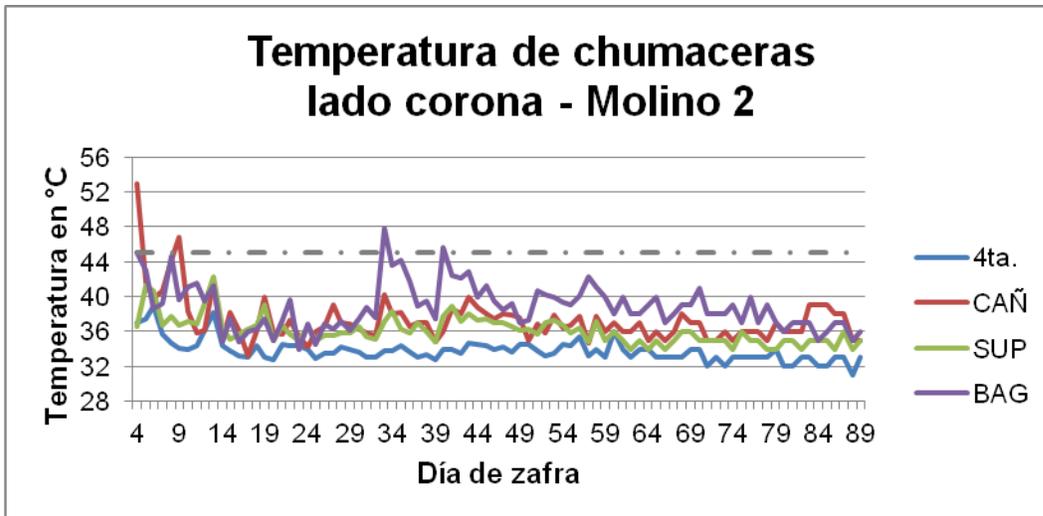
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Temperatura de chumaceras lado libre, molino 1



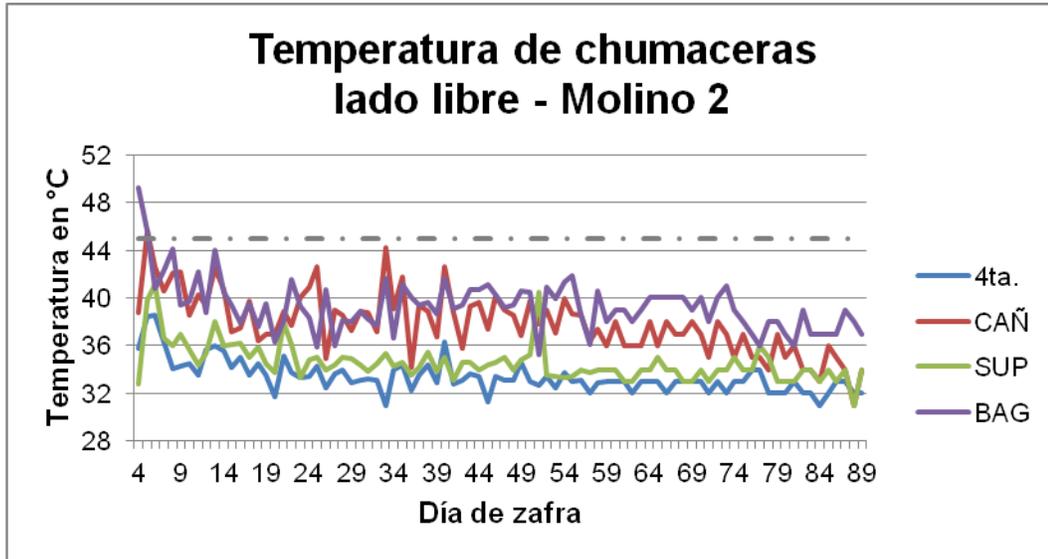
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Temperatura de chumaceras lado corona, molino 2



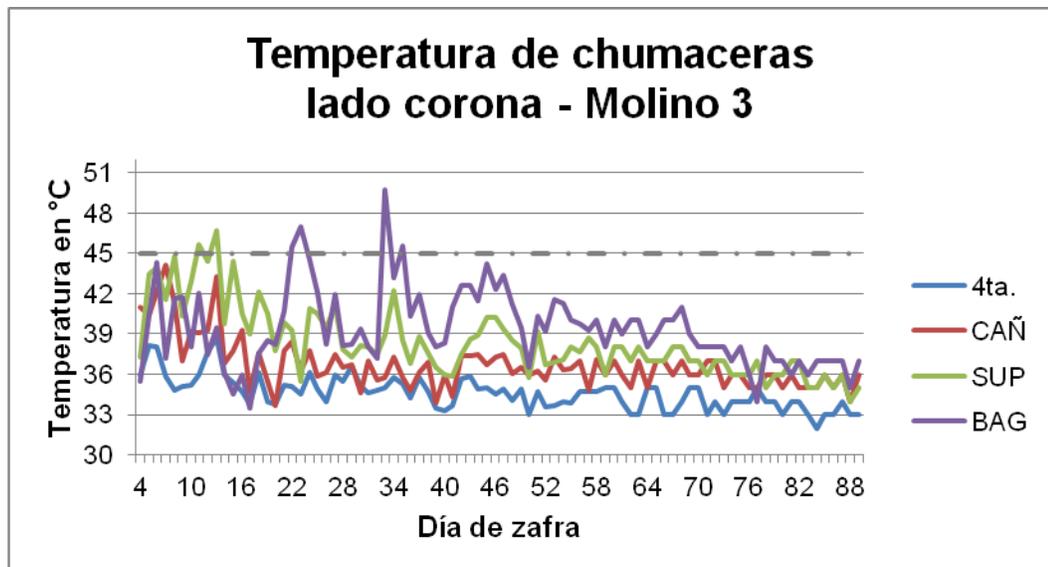
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Temperatura de chumaceras lado libre, molino 2



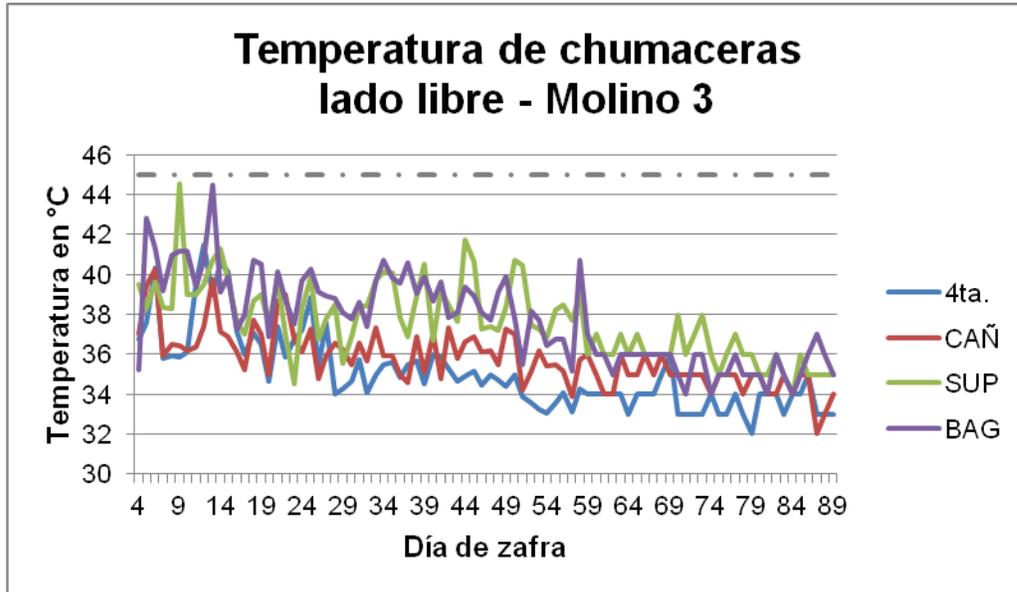
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Temperatura de chumaceras lado corona, molino 3



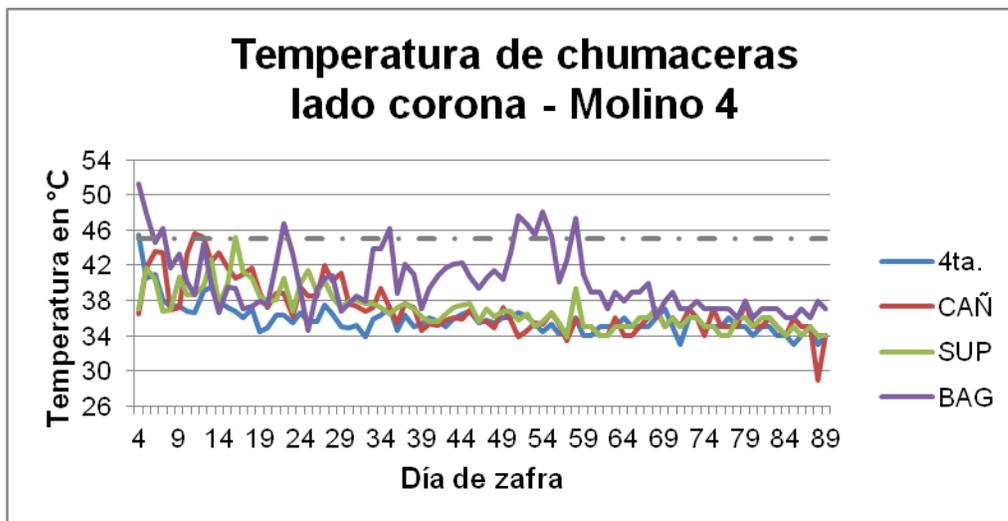
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Temperatura de chumaceras lado libre, molino 3**



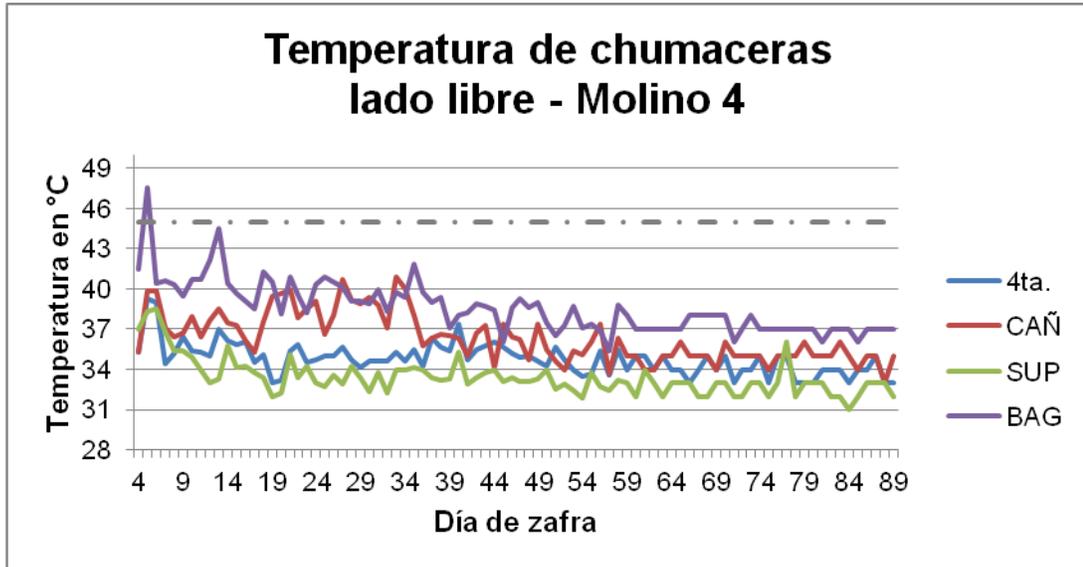
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Temperatura de chumaceras lado corona, molino 4**



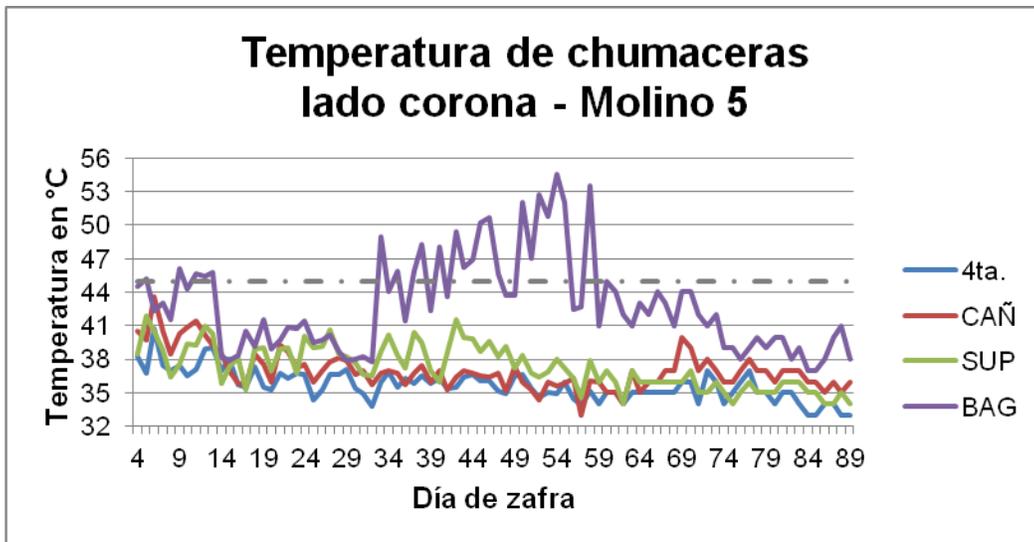
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Temperatura de chumaceras lado libre, molino 4



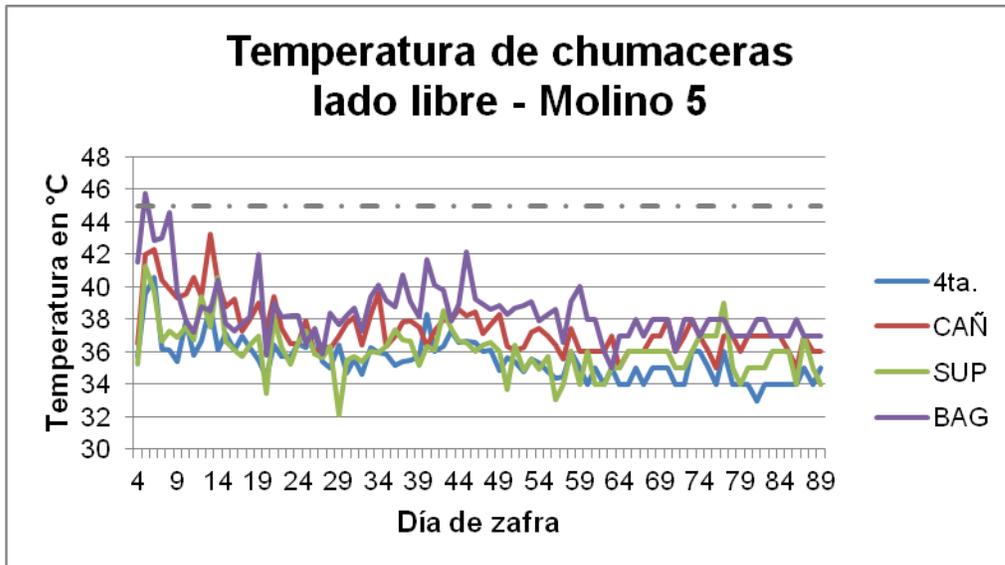
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Temperatura de chumaceras lado corona, molino 5



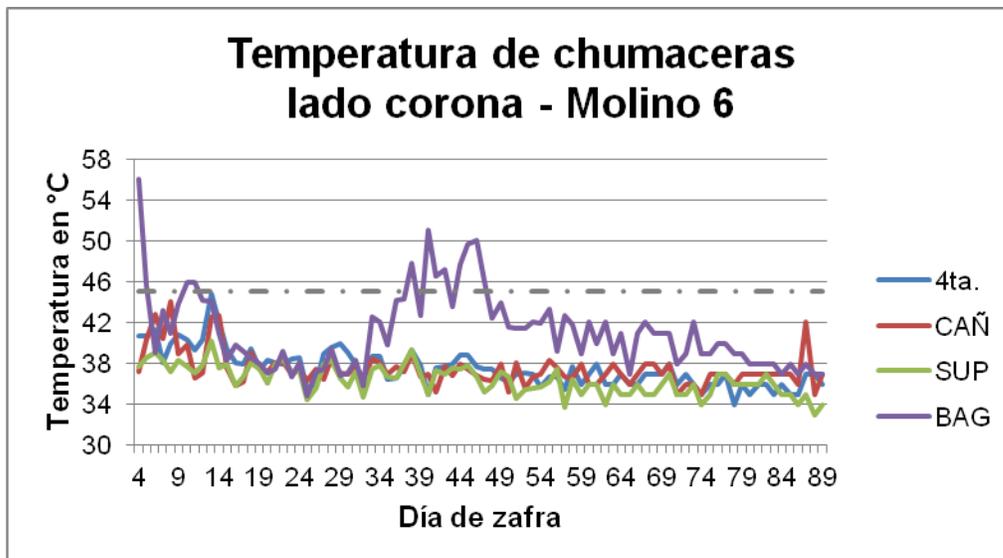
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Temperatura de chumaceras lado corona, molino 5**



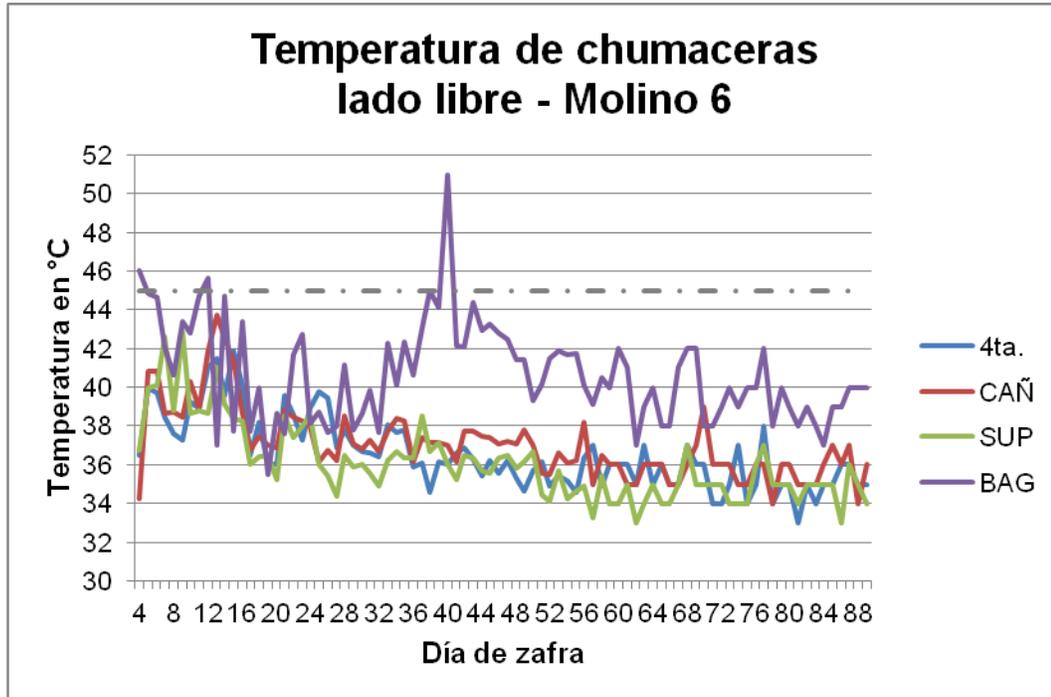
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Temperatura de chumaceras lado corona, molino 6**



Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Temperatura de chumaceras lado libre, molino 6

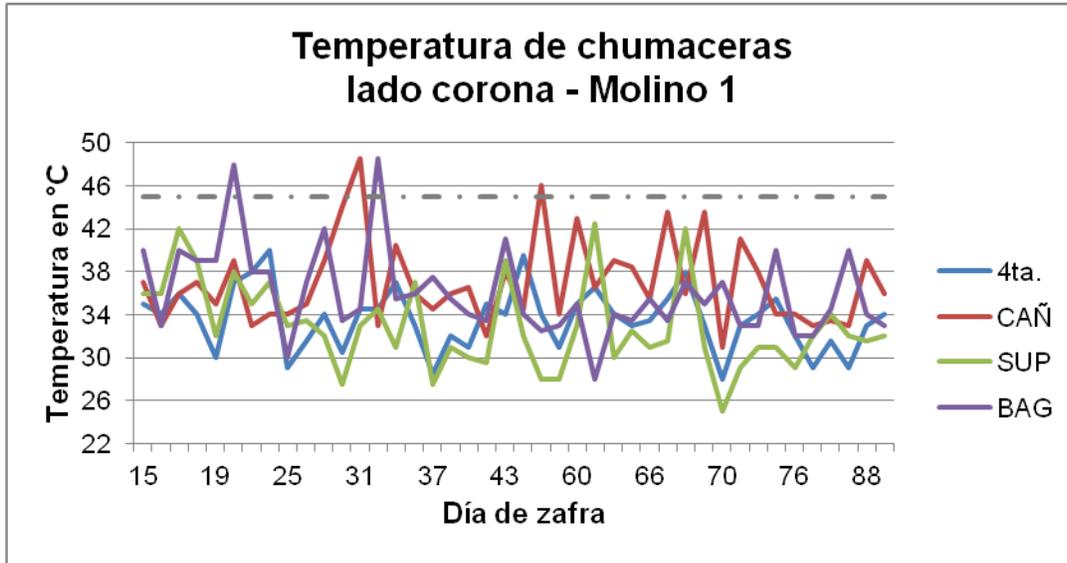


Fuente: elaboración propia.

- Datos obtenidos del monitoreo

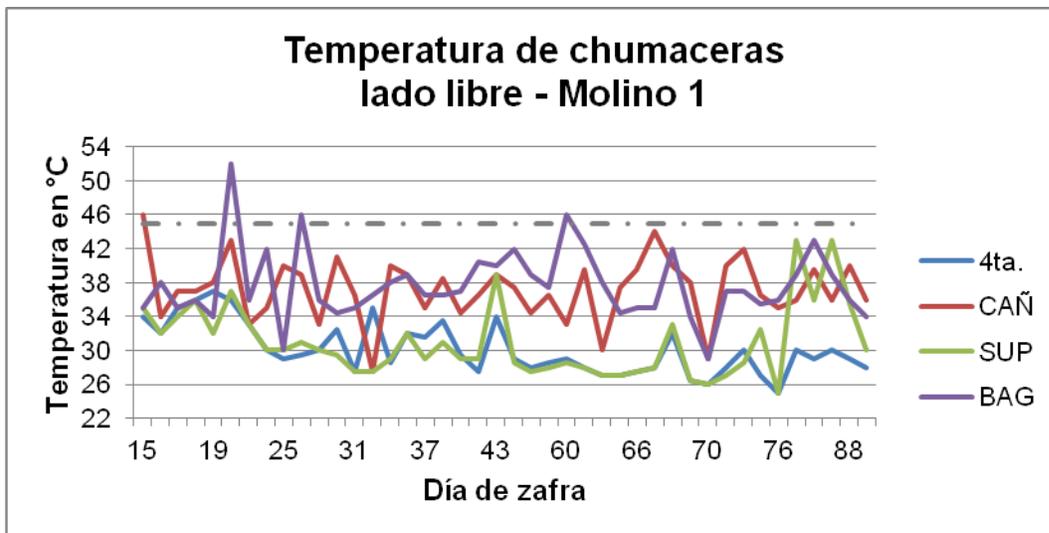
Luego del monitoreo donde se realizó, evaluó y analizó el procedimiento usado para la toma del valor de la temperatura en una chumacera, se obtuvieron datos propios con los cuales se hizo un promedio diario del valor de la temperatura de las chumaceras, a partir del día quince al día ochentainueve de zafra, con los cuales, por medio de una gráfica, se podrá visualizar el comportamiento de la temperatura de las chumaceras del tándem “A”.

Figura 55. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 1**



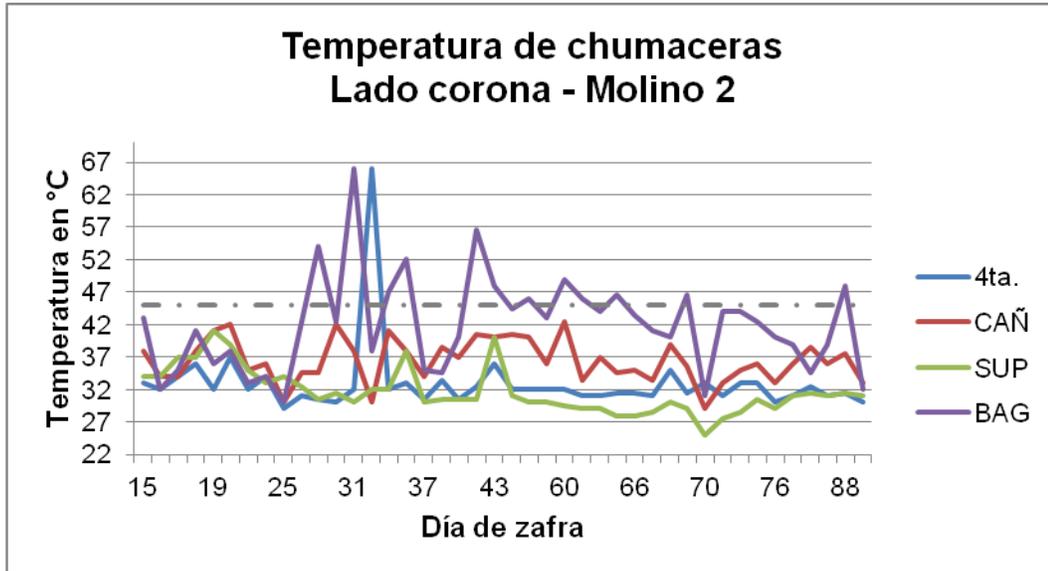
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 1**



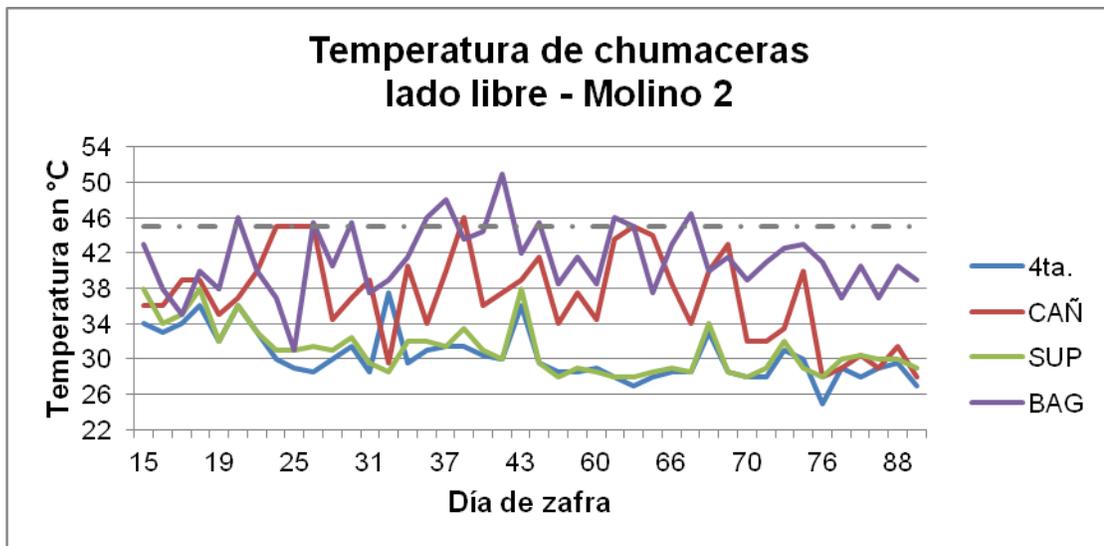
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 2**



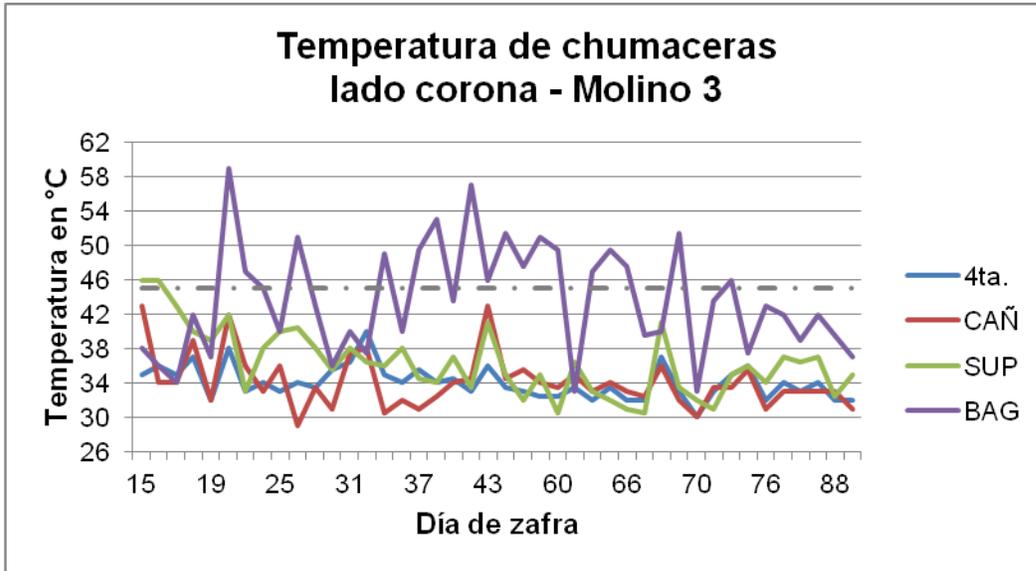
Fuente: elaboración propia

Figura 58. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 2**



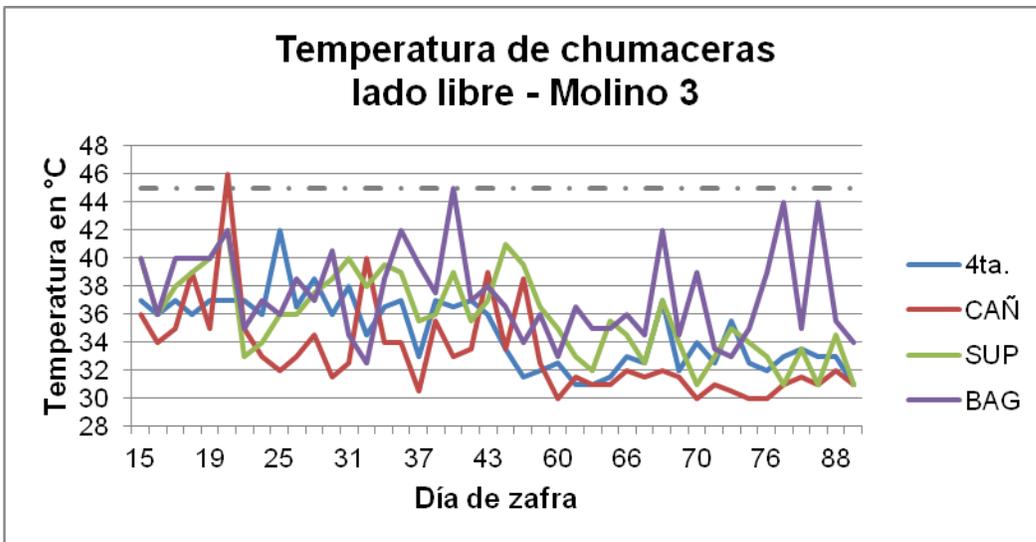
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 3**



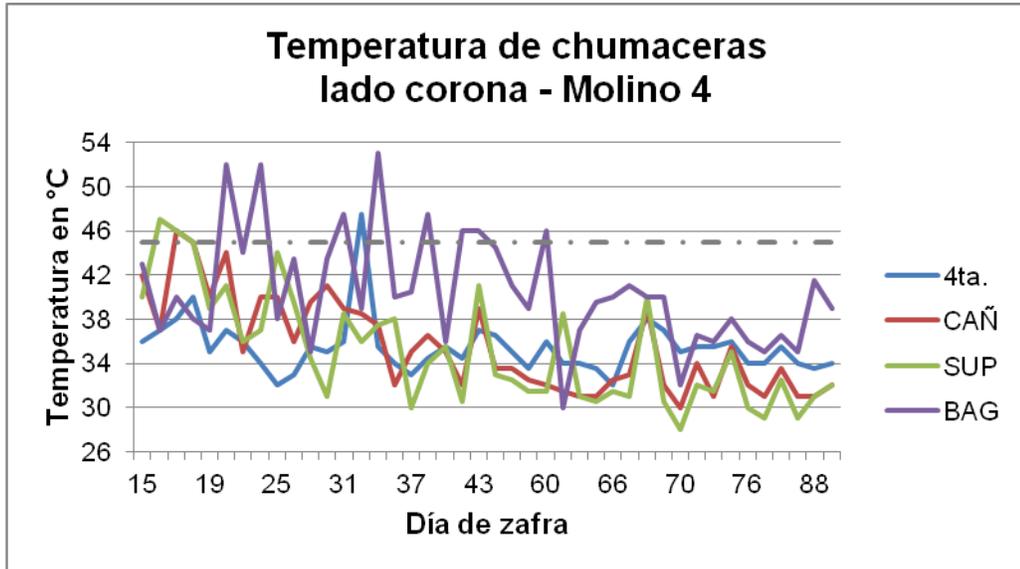
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 3**



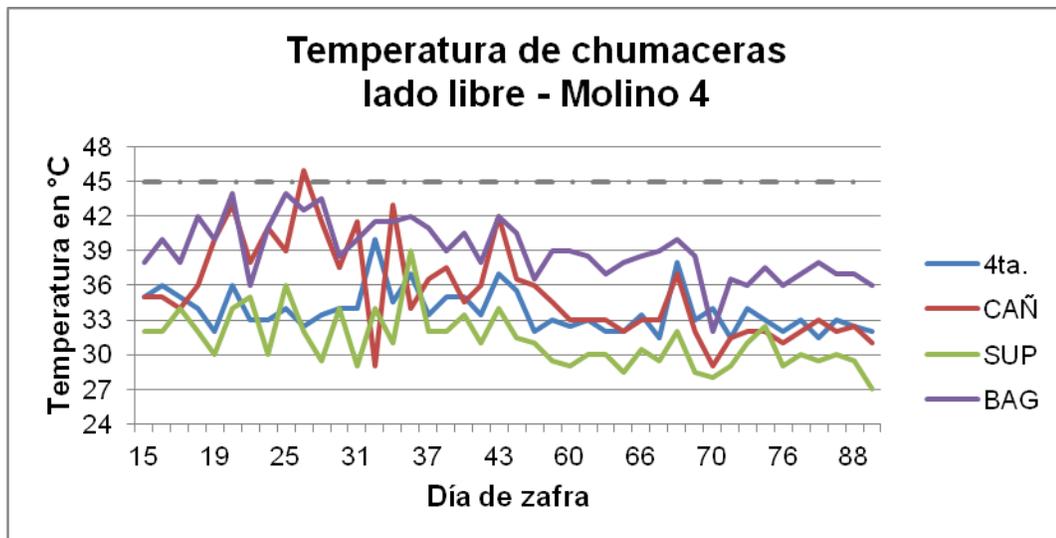
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 4**



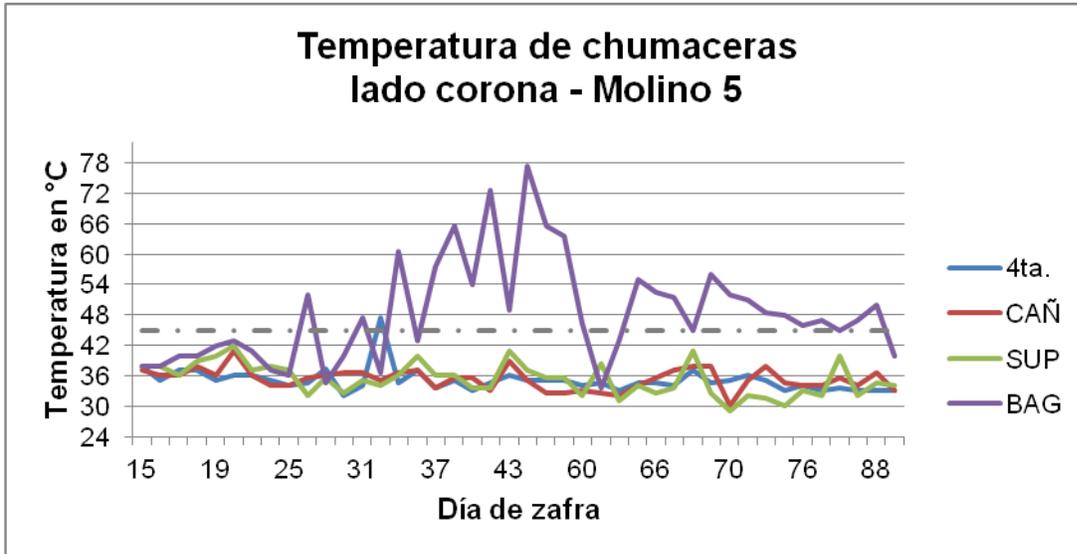
Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 4**



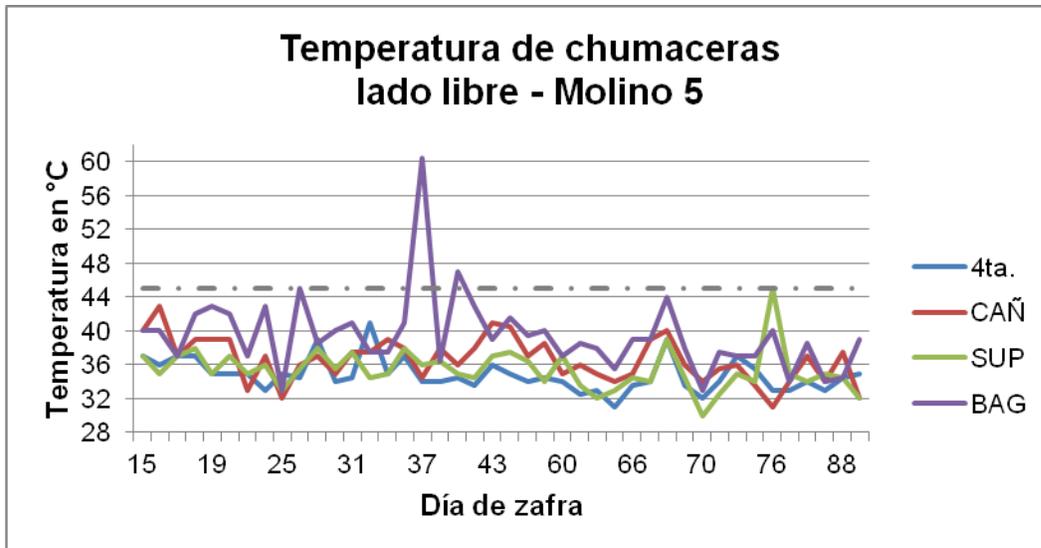
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 5**



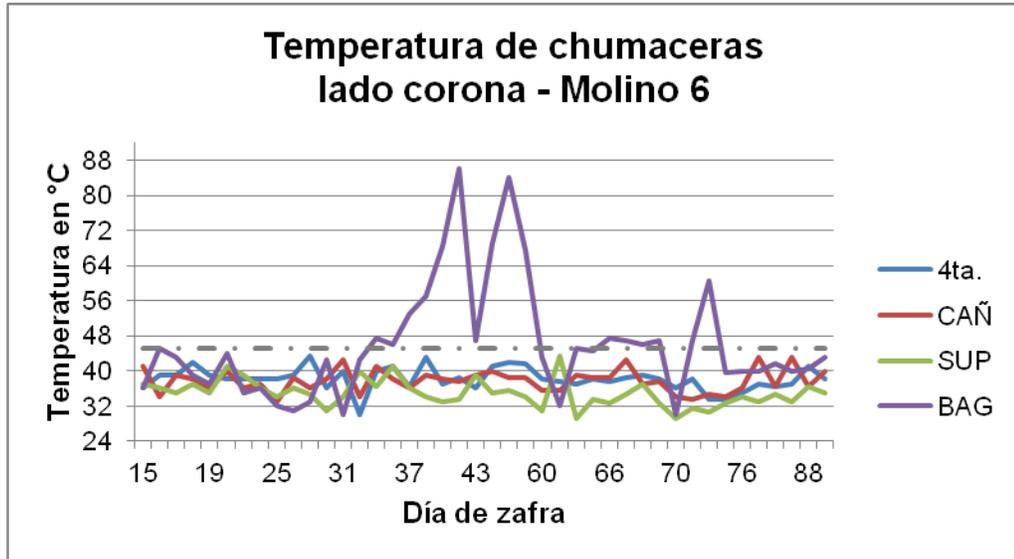
Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 5**



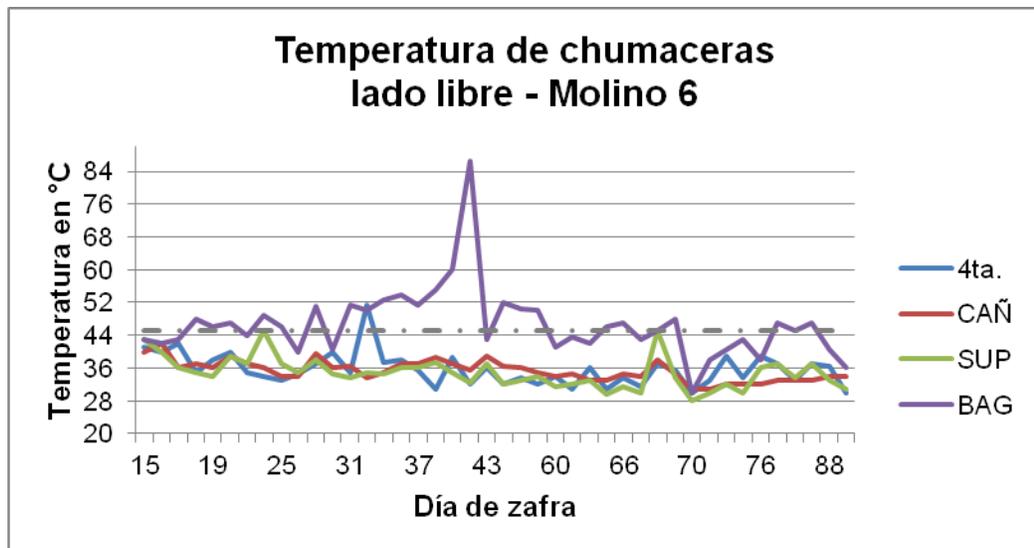
Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LC, molino 6**



Fuente: elaboración propia.

Figura 66. **Monitoreo. Temperatura de chumaceras LL, molino 6**



Fuente: elaboración propia.

### **3.2.2. Análisis de altas temperaturas**

Uno de los propósitos principales de este trabajo, es el analizar el porqué de las altas temperaturas en las chumaceras del tándem “A” del Ingenio Magdalena S.A., ya que el valor de la temperatura en zafras pasadas ha causado problemas que afectan la eficiencia de molienda del tándem, así como del alto consumo de lubricante debido a las altas temperaturas que se han registrado.

Por ello, con la ayuda del seguimiento de los datos registrados por los mecánicos y el monitoreo realizado a las diferentes chumaceras, se observaron factores que influyen directamente a la elevación de la temperatura de operación de una chumacera, evaluando el valor de cuarentaicinco grados Celsius, que se tiene como un valor de temperatura máximo que debe de alcanzar, en operación, una chumacera.

#### **3.2.2.1. Resultados del análisis de altas temperaturas**

Luego de realizar el análisis de los factores que influyen a que las chumaceras tengan una elevada temperatura, con la ayuda de los diferentes monitoreos realizados, se pudieron visualizar varios factores que influyen directamente en la elevación de la temperatura de la chumacera, estos factores se enlistan a continuación:

- Temperatura ambiente: la temperatura ambiente tiene un promedio de veintiocho grados Celsius en horas de la mañana y treinta grados Celsius al medio día, sin embargo, la temperatura en el interior del tándem, específicamente en el lugar de operación de las chumaceras,

promedia una temperatura de treinta y un grados Celsius en horas de la mañana y treintaicinco grados Celsius al medio día, lo cual demuestra que las chumaceras del tándem “A” operan en un lugar con temperatura mayor a la de ambiente. Esto influye directamente en el valor de la temperatura de las chumaceras, cuestionando si el valor de cuarenta y cinco grados Celsius que se tienen como una temperatura máxima de operación, es el límite ideal para que las chumaceras del tándem “A”, trabajen sin ninguna complicación.

- Molienda: en el tándem “A” se encuentran instalados seis molinos, los cuales están diseñados para poder moler siete mil toneladas de caña al día, sin embargo este ha sufrido varias modificaciones para que cubra una meta de doce mil toneladas de caña al día, afectando directamente en el comportamiento que sufren las chumaceras asentadas en la virgen, elevándose el valor de la temperatura, ya que a mayor carga sobre las chumaceras la viscosidad del aceite es menor.
- Jugo de caña: debido a la alta molienda en el tándem la cantidad de jugo que se extrae es demasiada y como consecuencia se tiene un baño de jugo sobre las chumaceras, sobre todo en las chumacera de la maza superior, lo cual influye en la elevación de la temperatura de las chumaceras ya que la temperatura de este jugo se encuentra en un valor promedio de cuarenta y cinco grados Celsius.
- Agua de imbibición: el agua de imbibición es directamente proporcional a las toneladas de caña que ingresan al tándem, el agua es suministrada por el departamento de fábrica y durante el monitoreo realizado se registraron valores de temperatura del agua de sesenta grados Celsius lo cual es otro factor que influye directamente en la temperatura de las

chumaceras, ya que se genera un mayor vapor entre los molinos, así como de aumentar la temperatura del jugo que es extraído por las mazas.

- Temperatura del eje: al extraer el jugo de caña, la camisa y el eje se encuentran en un baño constante, adquiriendo la temperatura de este jugo, más la temperatura que se genera por la fricción entre el muñón y la chumacera, se obtiene un valor de temperatura alto que el muñón mantiene y que por transferencia de calor se lo emite a las chumaceras.
- Contaminación: debido al ambiente donde trabaja la chumacera, esta es constantemente contaminada por la filtración de jugo y bagazo de caña en el interior de la misma, impidiendo que se cree una buena película de lubricante, además el aceite se contamina con agua y jugo, formando una grasa abrasiva, generando una mayor fricción entre el muñón y la chumacera.
- Orificios de lubricación: en el interior de la chumacera se encuentran los orificios por los cuales se suministra aceite lubricante, debido a la contaminación en la chumacera, los orificios son frecuentemente obstruidos teniendo como consecuencia que el aceite lubricante no llegue a la chumacera, dejando a esta sin la película de lubricante necesaria y dejando en contacto directo a la chumacera con el muñón, lo cual genera mayor fricción entre estas aumentando el valor de la temperatura.
- Ciclos: actualmente el sistema de lubricación de las chumaceras del tándem "A" trabaja a un ciclo de lubricación por veinticuatro minutos de paro, si se aumenta dicho valor o se disminuye a medio ciclo sin tener un

buen control del registro de los valores de temperatura de las diferentes chumaceras, la temperatura de las chumaceras se elevará por tener una lubricación pobre.

- Temperatura de coronas: la fricción que es generada por las coronas, encargadas de darle movilidad al molino cañero es alta, manejando una temperatura promedio arriba de los cuarentaicinco grados Celsius, esta temperatura es transmitida al muñón que a su vez le transmite dicha temperatura a la chumacera, valor que como sucede con frecuencia es mayor a los cincuenta grados Celsius. Afectando directamente el valor de la temperatura de la chumacera.
- Agua de refrigeración: agua que circula en un laberinto interno en la chumacera la cual tiene como función refrigerar la chumacera por medio de transferencia de calor por conducción, es un factor más que influye en la elevación del valor de la temperatura de una chumacera. Esto se debe a que, en la tubería o en las paredes del laberinto de la chumacera, se creen obstrucciones por algas o suciedad, que impida el flujo normal del agua de refrigeración.
- Maza embagazada: al irse acumulando bagazo en la cara de maza, se va apelmazando formando capas de bagazo entre la maza, el guarda jugos y la chumacera, la maza se embagaza, formándose una gran fricción entre las piezas mencionadas, además de forzar la introducción de bagazo a la chumacera, elevando el valor de la temperatura de esta.
- Descuido: descuidos que inician desde el asentamiento previo al montaje de la chumacera, hasta la operación donde por falta de atención a la

misma o por la falta de inspección al sistema de lubricación de las chumaceras, se pueden generar altas temperaturas.

### **3.2.3. Análisis de diseño de chumaceras**

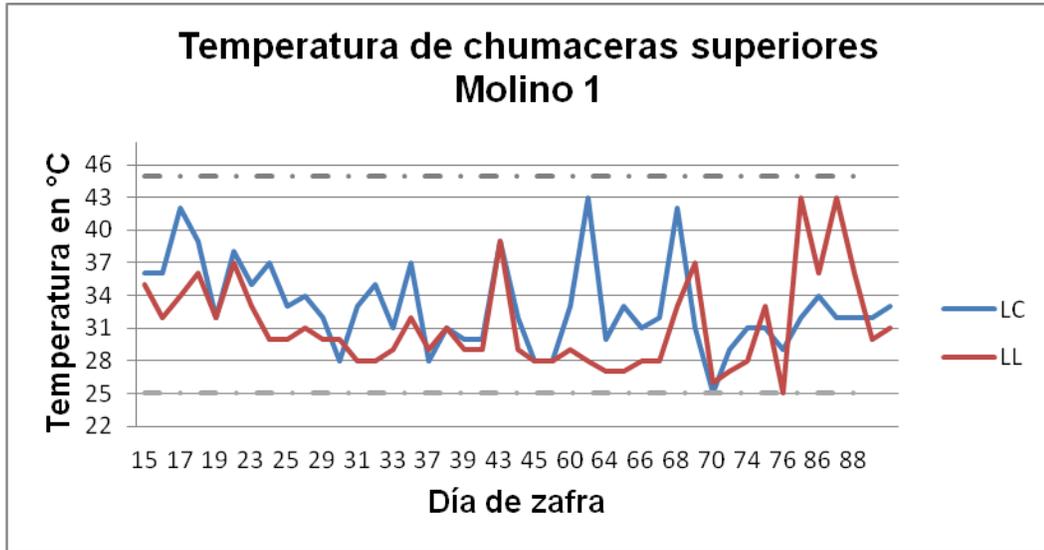
Como se mencionó en los diseños de chumaceras, en el tándem “A” se tienen instalados tres tipos de chumaceras superiores. Estas chumaceras necesitan ser evaluadas para poder proponer la utilización de un solo diseño de chumaceras superiores para cada muñón de las mazas superiores en el tándem “A”, pero antes de ello se debe de conocer el comportamiento en operación de estas.

#### **3.2.3.1. Monitoreo de comportamiento**

Para monitorear el comportamiento de los tres diseños de chumaceras superiores que se tienen instaladas en los molinos cañeros del tándem “A” se obtuvo el valor de la temperatura de operación en la mañana y al medio día, realizándolo a partir del día quince al día ochenta y nueve de zafra, obteniendo datos de temperatura para poder realizar un promedio.

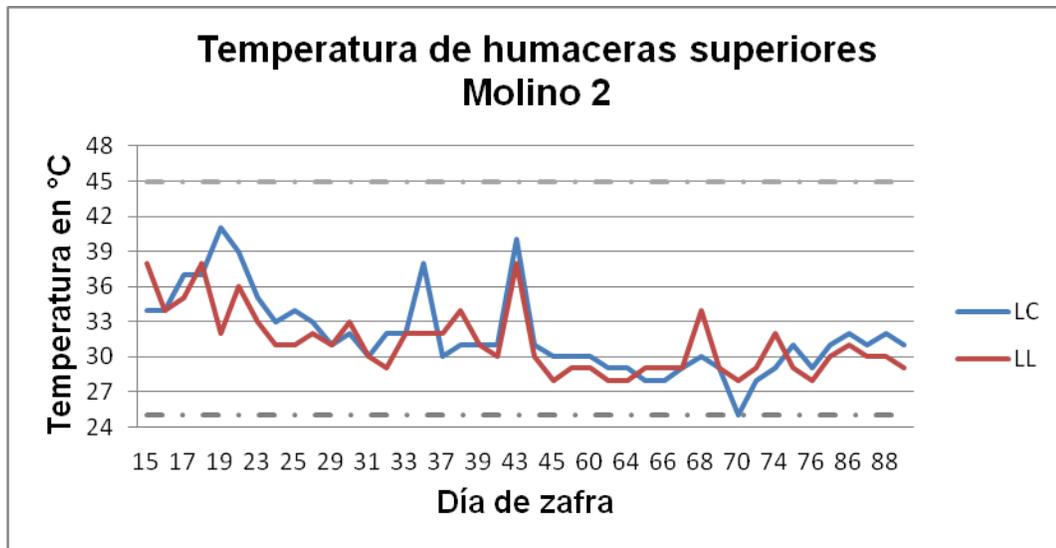
Luego de obtener el promedio diario del valor de la temperatura de las chumaceras superiores del tándem “A”, se realizó un gráfica por cada molino, la cual representa los promedios obtenidos y muestra el comportamiento de cada diseño de chumacera superior instalada. Demostrando con ello el mejor diseño para la operación en los molinos cañeros del tándem “A”.

Figura 67. **Temperatura de chumaceras superiores, molino 1**



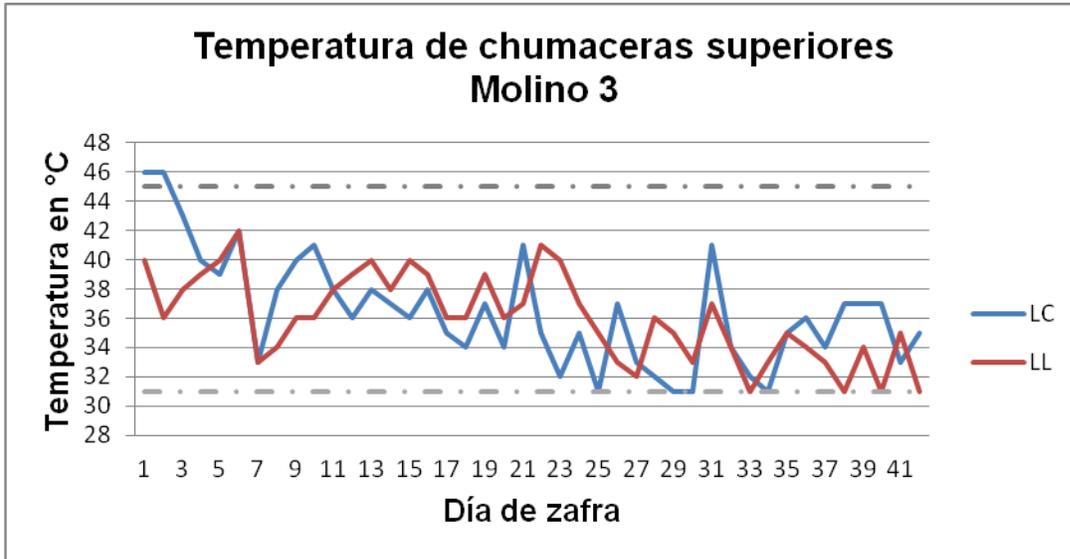
Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Temperatura de chumaceras superiores, molino 2**



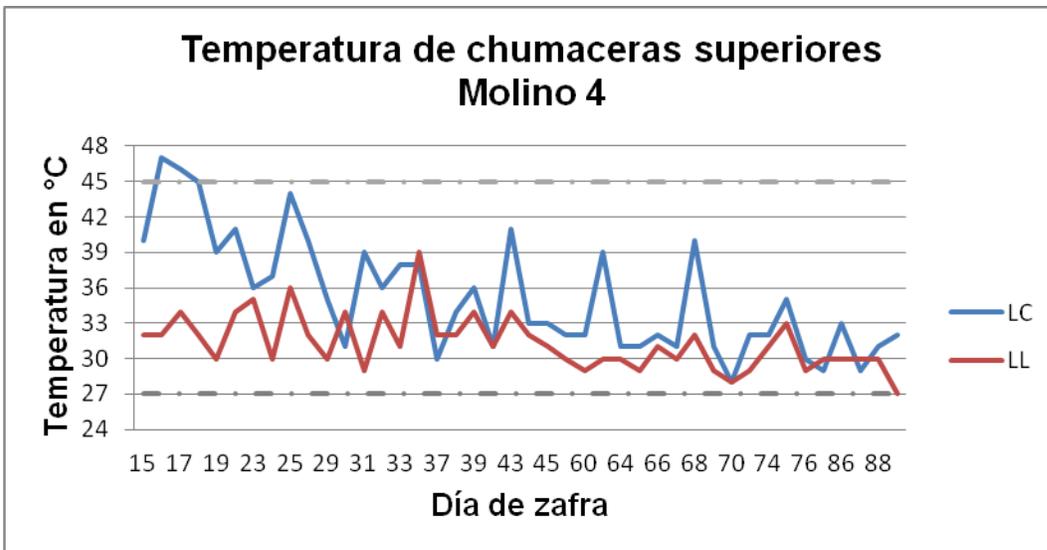
Fuente: elaboración propia.

Figura 69. Temperatura de chumaceras superiores, molino 3



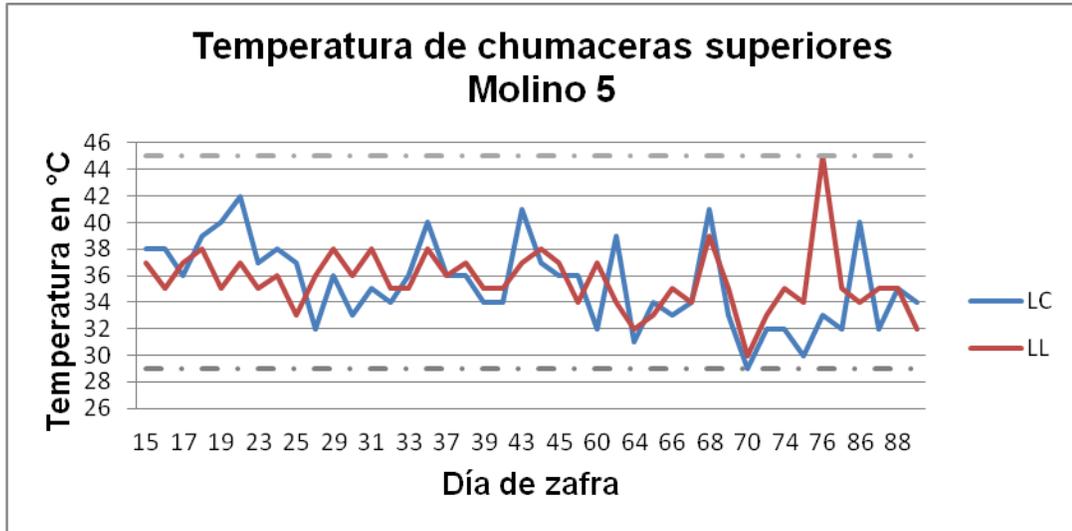
Fuente: elaboración propia.

Figura 70. Temperatura de chumaceras superiores, molino 4



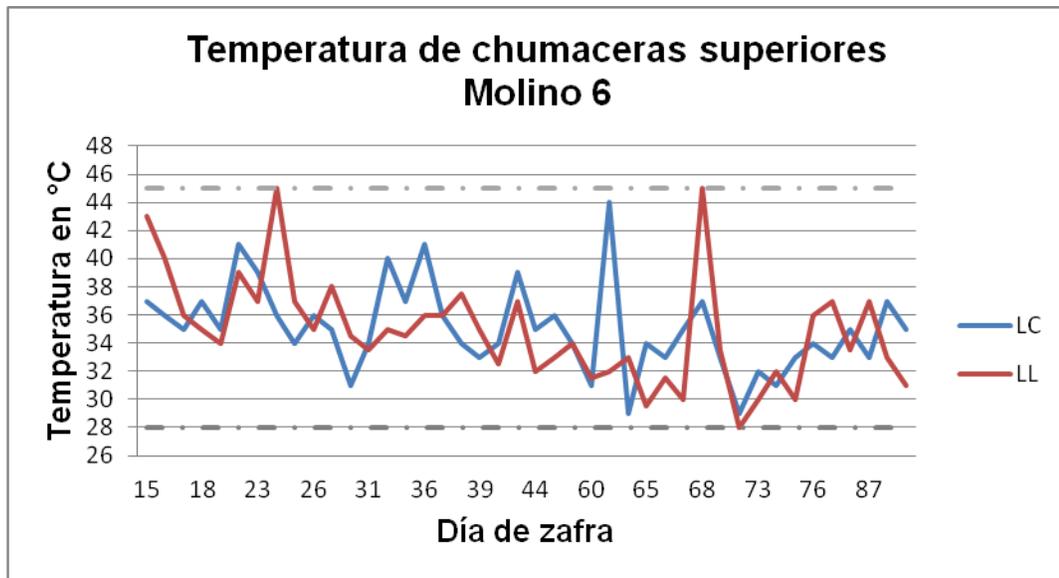
Fuente: elaboración propia.

Figura 71. **Temperatura de chumaceras superiores, molino 5**



Fuente: elaboración propia.

Figura 72. **Temperatura de chumaceras superiores, molino 6**



Fuente: elaboración propia.

### **3.2.4. Análisis de consumo de lubricante**

Como parte del análisis de operación del sistema es esencial realizar un análisis del consumo de lubricante, evaluado el consumo que se tienen en el sistema de lubricación de chumaceras, y como dicho consumo va directamente relacionado con el ciclo y el tiempo de paro programado de este. Pero debido a que existe un consumo por la inyección por medio de una bomba manual, se hace un análisis para cada uno de ellos, así como de la duración de un tonel de aceite lubricante que se utiliza en el tándem "A", con el fin de evaluar el consumo total de aceite en el tándem.

#### **3.2.4.1. Evaluación de consumo por inyección automática**

La evaluación del consumo de aceite lubricante por inyección, consiste en realizar una evaluación a cada inyector conectado a cada punto de lubricación de las chumaceras, donde se obtendrá la cantidad de aceite que suministra cada inyector al punto de lubricación en cada chumacera, con el objetivo de obtener el consumo de aceite por cada ciclo programado. Actualmente el sistema de lubricación de chumaceras del tándem "A" se encuentra programado para un ciclo de trabajo el cual consiste en dos carreras por cada inyector, por veinticuatro minutos de paro, para que cada inyector vuelva a realizar un ciclo completo de trabajo.

- **Resultados**

Luego de obtener la muestra de aceite lubricante por cada inyector instalado para la lubricación de los diferentes puntos de lubricación de las chumaceras, se procedió a pesar dicha muestra con el objetivo de

obtener un consumo total de aceite en un ciclo de trabajo. En la tabla XII se muestran los resultados obtenidos en cada molino.

Tabla XII. **Cantidad de aceite suministrado por inyectores DM 53,54**

<b>Inyectores de chumaceras en molinos TA</b>							
<b>Molino</b>	<b>Maza</b>	<b>Lado</b>	<b>Punto</b>	<b>Inyector</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Regulado</b>	<b>Peso</b>
1	4TA	LC	1 de 1	DM -53	1	R	4,41
1	CAÑ	LC	1 de 2	DM -53	1	NR	19,10
1	CAÑ	LC	2 de 2	DM -53	1	NR	3,54
1	BAG	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	7,31
1	BAG	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	6,00
1	SUP	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	8,41
1	SUP	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	8,74
<b>Total peso en gramos - Molino 1 lado corona</b>							<b>57,51</b>
1	4TA	LL	1 de 1	DM -53	1	R	7,56
1	CAÑ	LL	1 de 2	DM -53	1	R	9,53
1	CAÑ	LL	2 de 2	DM -53	1	R	8,34
1	BAG	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	8,14
1	BAG	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	13,93
1	SUP	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	6,97
1	SUP	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	6,46
<b>Total peso en gramos - Molino 1 lado libre</b>							<b>60,93</b>
2	4TA	LC	1 de 1	DM -53	1	R	5,93
2	CAÑ	LC	1 de 2	DM -53	1	R	7,64
2	CAÑ	LC	2 de 2	DM -53	1	R	7,99
2	BAG	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	6,97
2	BAG	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	9,30

Continuación de la tabla XII.

2	SUP	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	5,76
2	SUP	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	8,20
<b>Total peso en gramos - Molino 2 lado corona</b>							<b>51,79</b>
2	4TA	LL	1 de 1	DM -53	1	R	10,96
2	CAÑ	LL	1 de 2	DM -53	1	R	5,55
2	CAÑ	LL	2 de 2	DM -53	1	R	8,60
2	BAG	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	9,25
2	BAG	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	8,10
2	SUP	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	8,27
2	SUP	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	9,46
<b>Total peso en gramos - Molino 2 lado libre</b>							<b>60,19</b>
3	4TA	LC	1 de 1	DM -53	1	R	5,22
3	CAÑ	LC	1 de 2	DM -53	1	NR	9,36
3	CAÑ	LC	2 de 2	DM -53	1	NR	8,97
3	BAG	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	5,40
3	BAG	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	9,29
3	SUP	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	8,52
3	SUP	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	9,44
<b>Total peso en gramos - Molino 3 lado corona</b>							<b>56,20</b>
3	4TA	LL	1 de 1	DM -53	1	R	6,09
3	CAÑ	LL	1 de 2	DM -53	1	R	7,34
3	CAÑ	LL	2 de 2	DM -53	1	R	9,34
3	BAG	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	8,19
3	BAG	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	8,84
3	SUP	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	8,06
3	SUP	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	7,87

Continuación de la tabla XII.

<b>Total peso en gramos - Molino 3 lado libre</b>							<b>55,73</b>
4	4TA	LC	1 de 1	DM -53	1	R	7,39
4	CAÑ	LC	1 de 2	DM -53	1	NR	6,84
4	CAÑ	LC	2 de 2	DM -53	1	NR	8,86
4	BAG	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	8,71
4	BAG	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	9,06
4	SUP	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	7,76
4	SUP	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	9,52
<b>Total peso en gramos - Molino 3 lado corona</b>							<b>58,14</b>
4	4TA	LL	1 de 1	DM -53	1	R	7,44
4	CAÑ	LL	1 de 2	DM -53	1	R	6,68
4	CAÑ	LL	2 de 2	DM -53	1	R	8,43
4	BAG	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	7,56
4	BAG	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	5,23
4	SUP	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	7,12
4	SUP	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	6,26
<b>Total peso en gramos - Molino 3 lado libre</b>							<b>48,72</b>
5	4TA	LC	1 de 1	DM -53	1	R	6,74
5	CAÑ	LC	1 de 2	DM -53	1	NR	8,62
5	CAÑ	LC	2 de 2	DM -53	1	R	6,93
5	BAG	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	10,84
5	BAG	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	6,24
5	SUP	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	8,45
5	SUP	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	7,92
<b>Total peso en gramos - Molino 5 lado corona</b>							<b>55,74</b>
5	4TA	LL	1 de 1	DM -53	1	R	8,26

Continuación de la tabla XII.

5	CAÑ	LL	1 de 2	DM -53	1	NR	7,96
5	CAÑ	LL	2 de 2	DM -53	1	NR	8,88
5	BAG	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	9,64
5	BAG	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	9,28
5	SUP	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	6,41
5	SUP	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	8,28
<b>Total peso en gramos - Molino 5 lado libre</b>							<b>58,71</b>
6	4TA	LC	1 de 1	DM -53	1	R	8,10
6	CAÑ	LC	1 de 2	DM -53	1	R	4,40
6	CAÑ	LC	2 de 2	DM -53	1	NR	9,48
6	BAG	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	7,24
6	BAG	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	8,98
6	SUP	LC	1 de 2	DM -54	1	NR	8,79
6	SUP	LC	2 de 2	DM -54	1	NR	9,74
<b>Total peso en gramos - Molino 6 lado corona</b>							<b>56,73</b>
6	4TA	LL	1 de 1	DM -53	1	NR	3,54
6	CAÑ	LL	1 de 2	DM -53	1	NR	5,10
6	CAÑ	LL	2 de 2	DM -53	1	NR	4,38
6	BAG	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	5,43
6	BAG	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	7,72
6	SUP	LL	1 de 2	DM -54	1	NR	5,98
6	SUP	LL	2 de 2	DM -54	1	NR	4,77
<b>Total peso en gramos - Molino 6 lado libre</b>							<b>36,92</b>

Fuente: elaboración propia.

Como parte de la inyección automática, se cuenta con una estación de bombeo Farval 2, la cual es la encargada de lubricar las chumaceras de los diferenciales en los reductores de los molinos cinco y seis, tomando en cuenta el consumo de estos inyectores, ya que influyen en el consumo de aceite, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla XIII. **Cantidad de aceite suministrado por inyectores DM-52**

<b>Reductor</b>	<b>Lado</b>	<b>Punto</b>	<b>Inyector</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Regulado</b>	<b>Peso</b>
<b>Mol -5</b>	LA	1 de 2	DM -52	1	R	4,10
<b>Mol -5</b>	LA	2 de 2				4,60
<b>Mol -5</b>	LM	1 de 2	DM -52	1	R	2,00
<b>Mol -5</b>	LM	2 de 2				1,30
<b>Mol -6</b>	LA	1 de 2	DM -52	1	R	4,00
<b>Mol -6</b>	LA	2 de 2				4,30
<b>Mol -6</b>	LM	1 de 2	DM -52	1	R	4,00
<b>Mol -6</b>	LM	2 de 2				2,30

Fuente: elaboración propia.

#### **3.2.4.2. Evaluación de consumo por inyección manual**

Para el análisis del aceite consumido en el tándem “A” es necesario realizar una evaluación del consumo que se genera por la inyección, por medio de una bomba manual. De este consumo no se lleva ningún tipo de registro.

Con base al monitoreo realizado, donde se analizaron los diferentes procedimientos referentes a una buena operación del sistema de lubricación, se

pudo observar que en cada de turno se consumen diferentes cantidades de aceite, esto ya que los mecánicos lo aplican según su diferente criterio, usando desde veinticinco hasta cuarentaicinco inyecciones de una bomba manual, por cada línea de inyección en una chumacera.

Como parte de la evaluación del consumo por inyección con una bomba manual, se pesó la cantidad de aceite que suministra cada línea, al punto de lubricación en las diferentes chumaceras.

Tabla XIV. **Cantidad de aceite suministrada por bomba manual**

<b>Bomba</b>	<b>Marca</b>	<b>Carrera</b>	<b>Peso (g)</b>
Manual	Samoa	1	9,80

Fuente: elaboración propia.

Figura 73. **Bomba manual**



Fuente: Molinos tándem "A", Ingenio Magdalena S. A.

Con base al resultado obtenido del peso del aceite suministrado por una carrera de una bomba manual, se realizó la tabla XV comparando la capacidad máxima de un inyector, con lo suministrado por la bomba.

Tabla XV. **Comparación de cantidad de aceite inyectada**

	<b>Descarga</b>	<b>Diferencia</b>
<b>Inyector</b>	Máxima	Por cada carrera de la bomba manual, se inyecta <b>4,98 g</b> más que en la carrera de un inyector DM – 51, 52, 53, 54
DM-51,52,53,54	4,82 g	
<b>Bomba manual</b>	Una carrera	
Samoa	9,80 g	

Fuente: elaboración propia.

Con ello se establece que una carrera de la bomba manual, equivale a dos carreras de lo suministrado por una carrera de los inyectores instalados en el sistema de lubricación automático, para la lubricación de las chumaceras del tándem “A”.

### **3.2.4.3. Consumo de aceite en chumaceras en el tándem “A”**

Actualmente, el consumo del aceite en el tándem está distribuido entre la estación de bombeo Farval 1 y Farval 3, encargadas de lubricar las chumaceras de los molinos cañeros, la Farval 2 que está a cargo de la lubricación de las chumaceras en las catarinas de los reductores de los molinos 5 y 6, y la inyección manual que está a cargo del mecánico de turno.

- Consumo promedio de un tonel

A continuación se muestra la duración en días por tonel consumido en el tándem, el tiempo de duración es el promedio de un tonel, obteniendo la fecha de su apertura y la fecha de finalización de aceite en el tonel.

Tabla XVI. **Duración promedio en días, de un tonel de aceite**

No. Tonel	Apertura		Cierre		Duración (días)
	Fecha	Hora	Fecha	Hora	
1	04/11/2013	05:00 p.m.	07/11/2013	03:10 p.m.	2,90
2	07/11/2013	03:10 p.m.	12/11/2013	04:00 a.m.	4,50
3	12/11/2013	04:00 a.m.	15/11/2013	03:30 p.m.	3,50
4	15/11/2013	03:30 p.m.	20/11/2013	12:45 a.m.	4,40
5	20/11/2013	12:45 a.m.	24/11/2013	11:40 a.m.	4,50
6	24/11/2013	11:40 a.m.	28/11/2013	04:00 a.m.	3,70
7	28/11/2013	04:00 a.m.	02/12/2013	01:00 a.m.	3,90
8	02/12/2013	01:00 a.m.	05/12/2013	11:00 p.m.	3,90
9	05/12/2013	11:00 p.m.	09/12/2013	05:00 a.m.	3,30
10	09/12/2013	05:00 a.m.	12/12/2013	06:20 a.m.	3,10
11	12/12/2013	06:20 a.m.	15/12/2013	09:00 a.m.	3,10
12	15/12/2013	09:00 a.m.	15/12/2013	09:00 p.m.	3,50
13	15/12/2013	09:00 p.m.	18/12/2013	07:00 p.m.	2,90
14	18/12/2013	07:00 p.m.	21/12/2013	01:00 a.m.	3,30
15	21/12/2013	01:00 a.m.	25/12/2013	01:00 a.m.	4,00
16	25/12/2013	01:00 a.m.	29/12/2013	06:15 a.m.	3,20
17	29/12/2013	06:15 a.m.	04/01/2014	12:30 a.m.	3,00
18	04/01/2014	12:30 a.m.	07/01/2014	04:30 p.m.	3,30

Continuación de la tabla XVI.

<b>19</b>	07/01/2014	04:30 p.m.	10/01/2014	05:00 a.m.	2,60
<b>20</b>	10/01/2014	05:00 a.m.	10/01/2014	01:00 a.m.	2,80
<b>21</b>	10/01/2014	01:00 a.m.	16/01/2014	11:30 a.m.	3,40
<b>22</b>	16/01/2014	11:30 a.m.	19/01/2014	04:30 p.m.	3,21
<b>23</b>	19/01/2014	04:30 p.m.	23/01/2014	08:10 a.m.	3,65
<b>24</b>	23/01/2014	08:10 a.m.	26/01/2014	02:00 a.m.	2,76
<b>25</b>	26/01/2014	02:00 a.m.	29/01/2014	05:00 a.m.	3,13
<b>26</b>	29/01/2014	05:00 a.m.	02/02/2014	07:30 a.m.	4,10
<b>27</b>	02/02/2014	07:30 a.m.	06/02/2014	02:00 a.m.	3,69
<b>28</b>	06/02/2014	02:00 a.m.	09/02/2014	02:00 a.m.	3,00
<b>29</b>	09/02/2014	02:00 a.m.	12/02/2014	09:00 p.m.	3,79
<b>30</b>	12/02/2014	09:00 p.m.	16/02/2014	11:00 a.m.	3,58
<b>31</b>	16/02/2014	11:00 a.m.	20/02/2014	11:00 a.m.	4,00
<b>32</b>	20/02/2014	11:00 a.m.	23/02/2014	07:00 p.m.	3,33
<b>33</b>	23/02/2014	07:00 p.m.	27/02/2014	12:00 p.m.	3,71
<b>34</b>	27/02/2014	12:00 p.m.	03/03/2014	03:00 a.m.	3,63
<b>35</b>	03/03/2014	03:00 a.m.	06/03/2014	07:00 p.m.	3,67
<b>36</b>	06/03/2014	07:00 p.m.	10/03/2014	02:30 a.m.	3,31

Fuente: elaboración propia.

- Consumo por inyección automática

Con base a la evaluación realizada a cada inyector del tándem, se puede obtener el consumo debido a la inyección automática producida por la estación de bombeo Farval 1,2 y 3. Mostrando en la tabla XVII los resultados del consumo diario para cada estación de bombeo.

Tabla XVII. **Consumo total de aceite, Farval 1**

<b>Farval 1</b>	<b>Tiempo de trabajo = 2,92 minutos</b>	
	<b>Tiempo paro programado = 24 minutos</b>	
<b>Chumaceras</b>	Peso (g)	Volumen (gal)
<b>1 ciclo</b>	230,37	0,67
<b>1 día = 53,50 ciclos</b>	12 324,80	3,59

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Consumo total de aceite, Farval 2**

<b>Farval 2</b>	<b>Tiempo de trabajo = 0,37 minutos</b>	
	<b>Tiempo paro programado = 30 minutos</b>	
<b>Reductores</b>	Peso (g)	Volumen (gal)
<b>1 ciclo</b>	26,60	0,0077
<b>1 día = 47,42 ciclos</b>	1 261,37	0,3674

Fuente: elaboración propia

Tabla XIX. **Consumo total de aceite, Farval 3**

<b>Farval 3</b>	<b>Tiempo de trabajo = 0,72 minutos</b>	
	<b>Tiempo paro programado = 24 minutos</b>	
<b>Chumaceras</b>	Peso (g)	Volumen (gal)
<b>1 ciclo</b>	314,96	0,092
<b>1 día = 58,25 ciclos</b>	18 346,42	5,34

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Consumo total diario de aceite, Farval 1, 2 y 3**

Farval	CONSUMO DIARIO	
	Peso (g)	Volumen (gal)
<b>1</b>	12 324,80	3,59
<b>2</b>	1 261,37	0,37
<b>3</b>	18 346,42	5,34
<b>Total de consumo</b>	<b>31 932,59 gramos</b>	<b>9,30 galones</b>

Fuente: elaboración propia.

- Consumo por inyección manual

La lubricación por inyección manual no tiene control, por lo que, para conocer la cantidad de lubricante consumida en esa forma, hay que calcularla de manera indirecta, restando de consumo total el consumo por inyección automática. Para calcular este último se multiplica el consumo diario promedio por la cantidad de días que dura el control, que generalmente es la cantidad que dura un tonel. La diferencia sería el consumo por inyección manual. En la tabla XXI se muestran los resultados del consumo por inyección manual, a partir del trece de diciembre del dos mil trece, cuando se estableció la programación de las diferentes estaciones de bombeo Farval.

Tabla XXI. **Distribución de aceite consumido, en inyección automática y manual**

No. Tonel	Duración Promedio (días)	Galones/Tonel	Distribución de galones consumidos	
			Consumo inyección automática (gal)	Consumo inyección manual (gal)
12	3,5	52,9	32,55	20,35
13	2,90	52,9	26,97	25,93
14	3,30	52,9	30,69	22,21
15	4,00	52,9	37,20	15,70
16	3,20	52,9	29,76	23,14
17	3,00	52,9	27,90	25,00
18	3,30	52,9	30,69	22,21
19	2,60	52,9	24,18	28,72
20	2,80	52,9	26,04	26,86
21	3,40	52,9	31,62	21,28
22	3,21	52,9	29,85	23,05
23	3,65	52,9	33,95	18,96
24	2,76	52,9	25,67	27,23
25	3,13	52,9	29,11	23,79
26	4,10	52,9	38,13	14,77
27	3,69	52,9	34,32	18,58
28	3,00	52,9	27,90	25,00
29	3,79	52,9	35,25	17,65
30	3,58	52,9	33,29	19,61
31	4,00	52,9	37,20	15,70

Continuación de la tabla XXI.

32	3,33	52,9	30,97	21,93
33	3,71	52,9	34,50	18,40
34	3,63	52,9	33,76	19,14
35	3,67	52,9	34,13	18,77
36	3,31	52,9	30,78	22,12
<b>TOTAL DE GALONES CONSUMIDOS</b>			<b>786,41</b>	<b>536,09</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Propuestas de optimización**

Luego de realizar el análisis así como de las diferentes evaluaciones, con todo lo referente a la lubricación de chumaceras en los molinos cañeros del tándem “A”, en el Ingenio Magdalena S. A., se tienen suficientes elementos para formular las siguientes propuestas, las cuales permitan una optimización de dicho sistema, brindando una serie de beneficios, los cuales permitirán una mejor operación de las chumaceras, una mejora en la eficiencia de la extracción del jugo de caña, así como de una disminución en los costos por lubricación:

#### **3.3.1. Estandarización de toma de temperatura**

Luego de realizar el seguimiento de las temperaturas registradas y los procedimientos que se realizan para la obtención de estos datos por los mecánicos de turno, así como de monitorear la temperatura de las chumaceras, evaluando y analizando los diferentes procedimientos que se deben de realizar para la toma de dicha temperatura, surge la propuesta de estandarizar la toma

de la temperatura, específicamente donde se debe de realizar la medición del valor de la temperatura en las diferentes chumaceras.

### **3.3.1.1. Justificación**

Como resultado del análisis de la toma de temperatura y con los resultados del seguimiento, así como de monitorear y realizar los diferentes procedimientos necesarios para la toma de la temperatura de una chumacera, se estableció una deficiencia en el procedimiento que se realiza para la obtención de este valor. Estos factores, los cuales afectan a todo el historial de datos de temperatura de chumaceras, consisten en que los mecánicos de turno no proporcionan el valor real de temperatura de la chumacera y esto se puede deber a lo siguiente:

- Diferentes puntos para la toma de temperatura

Algunos mecánicos de turno, toman la temperatura en un punto de la chumacera, otros toman la temperatura en el muñón e incluso los asesores registran la temperatura en la caja, cuando si la caja es de hierro negro, no registrará la temperatura de la chumacera confundiendo a los mecánicos de turno.

- Agua externa sobre la chumacera

Para obtener el valor de la temperatura, se debe tener la chumacera sin agua externa sobre la misma, los mecánicos no quitan el agua para realizar dicha medida y si lo hacen, toman el valor de la temperatura de inmediato, obteniendo un dato que no demuestra la temperatura a la cual está dicha chumacera.

- No se registra el valor real

Un mecánico de turno tiene a su cargo el buen funcionamiento del sistema de lubricación de chumaceras, lo cual incluye mantener las chumaceras con una temperatura de operación no mayor a los cuarentaicinco grados centígrados. El mecánico de turno no registra cuando la temperatura de una chumacera obtuvo un valor alto, para no evidenciar que en su turno una chumacera tuvo una alta temperatura, lo cual pudo haber sido por descuido o falta de inspección del sistema de lubricación.

- Equipo utilizado

El termómetro infrarrojo utilizado tiene un alto grado de inexactitud comparado con uno de mayor alcance, en la relación del diámetro del punto con la distancia. Indicando un valor menor al que se registra en las chumaceras.

Los valores registrados por los mecánicos de turno, son esenciales para poder tener un buen historial de operación de las chumaceras y al seguir realizando la toma de temperatura de la manera actual, no se obtiene un historial adecuado y se tienen varias consecuencias, entre las principales se encuentran las siguientes.

- Mantenimiento correctivo

Al no tener un historial con valores reales, no se puede realizar un mantenimiento preventivo y se hace un mantenimiento correctivo, ya que

el historial no muestra valores que prevengan el fallo de una chumacera por una tendencia por alta temperatura.

- Parqueo de un molino

El realizar mantenimiento correctivo implica que el molino tenga que ser parqueado para la sustitución de la chumacera con problema, como sucedió el día viernes trece de diciembre del dos mil trece, cuando se parqueo el molino seis por la sustitución de la maza bagacera lado libre, teniendo un paro de nueve horas con cuarenta y cinco minutos.

- Deficiencia en la extracción

Cuando un molino es parqueado y como consecuencia puenteado para poder proseguir con la extracción del judo de caña en el tándem, se afecta la eficiencia en la extracción de la pol en el bagazo. No contar con la acción de un molino implica desechar materia prima.

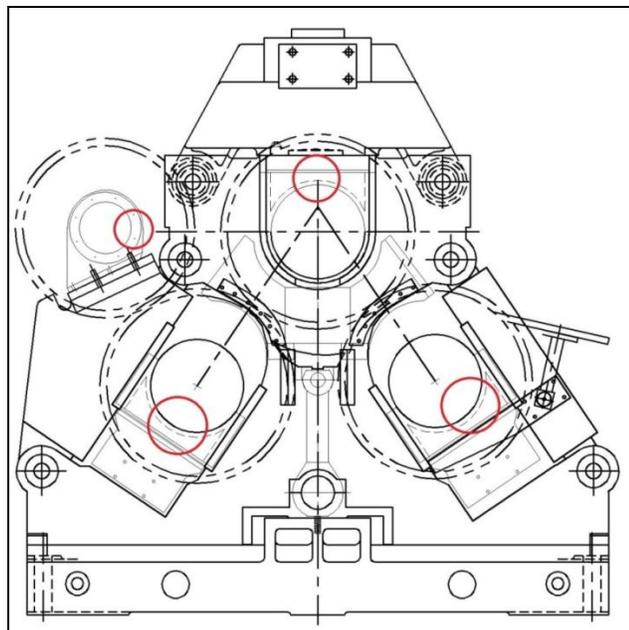
- Agua en el exterior de la chumacera

Cuando una chumacera comienza a registrar valores de temperatura alta, para obtener un valor favorable de la temperatura de la chumacera se mantiene esta con agua en el exterior, lo cual tiene como consecuencia que no se forme la película de aceite necesaria, así como de la oxidación de la misma. Además, la presencia de agua en el aceite es dañina para los aditivos que componen el lubricante.

### 3.3.1.2. Estandarización de un área para la toma de temperatura

La propuesta de estandarización de la toma de temperatura, consiste principalmente en estandarizar el área de la chumacera para la toma del valor de la temperatura en una chumacera. En la figura 74 se muestra el triángulo imaginario que se forma entre las mazas de un molino, mostrando donde se ejerce la mayor fuerza según la posición y el sentido de estas, lo cual determinaría en qué punto por la fuerza ejercida, debido a la compresión de la fibra de caña, existiría mayor fricción, por consiguiente el punto ideal para la toma de la temperatura.

Figura 74. **Puntos de mayor fricción debido a fuerzas resultantes**



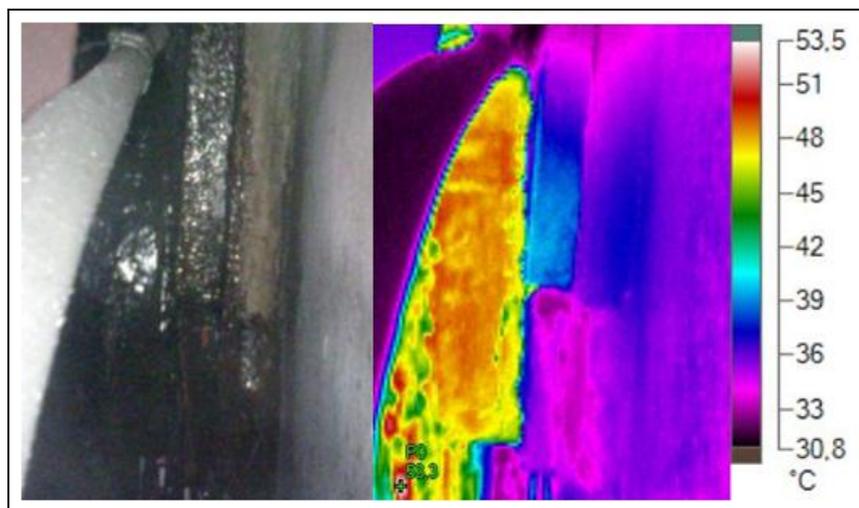
Fuente: Departamento de Maquinaria.

Pero debido a diversos factores que inician desde el asentamiento previo al montaje de las chumaceras, se determina que no se puede definir un punto específico para la toma de la temperatura en una chumacera. Durante el monitoreo realizado, donde se tomaba la temperatura de las diferentes chumaceras a diferentes horas del día, se pudo evidenciar que el valor de la temperatura máxima variaba en diferentes puntos de una misma chumacera.

Con ello surge la propuesta de establecer un área específica de la chumacera, para encontrar el valor máximo de la temperatura, realizando previamente la aplicación de termografía en las chumaceras del tándem “A”, con el objetivo de respaldar los resultados obtenidos por el monitoreo, para la toma de temperatura. Mostrando los resultados de la termografía junto al área propuesta para cada chumacera instalada.

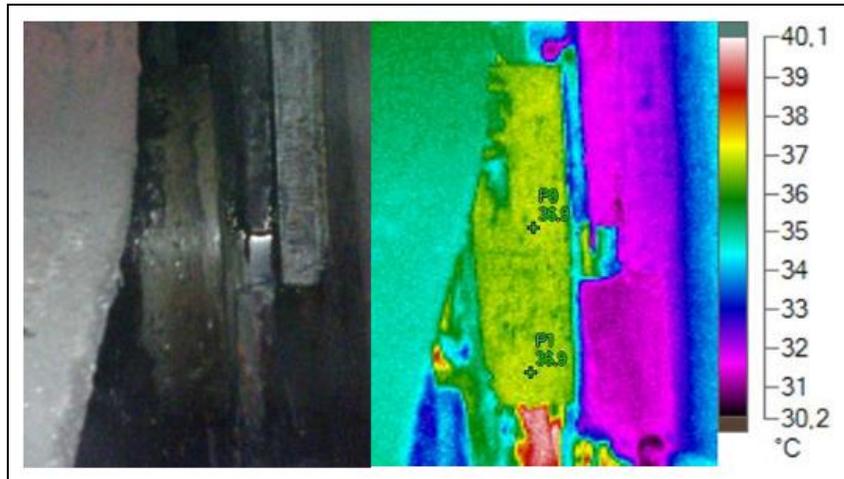
- Chumaceras de mazas superiores

Figura 75. **Termografía chumacera superior LC, molino 2**



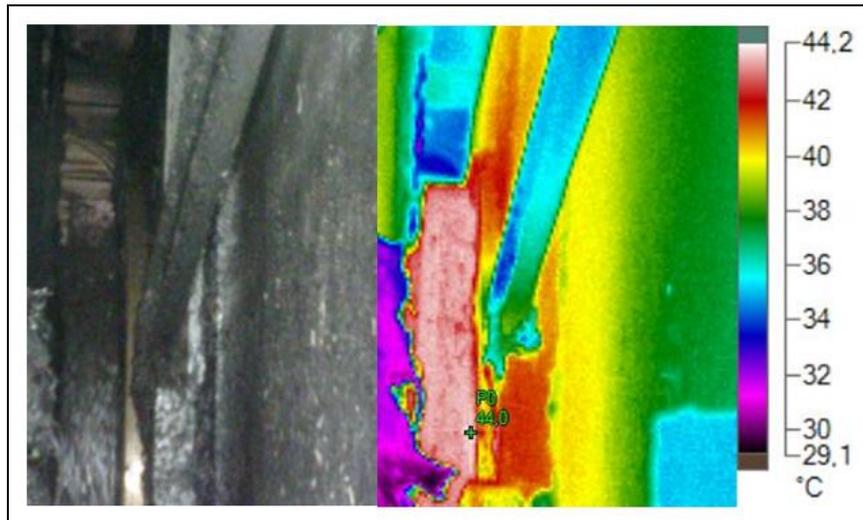
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 76. **Termografía chumacera superior LC, molino 4**



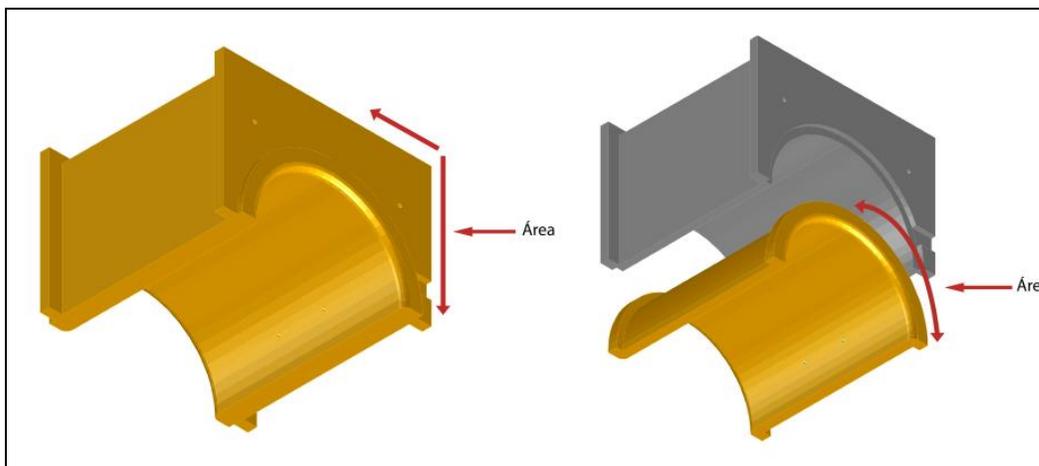
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 77. **Termografía chumacera superior LL, molino 5**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

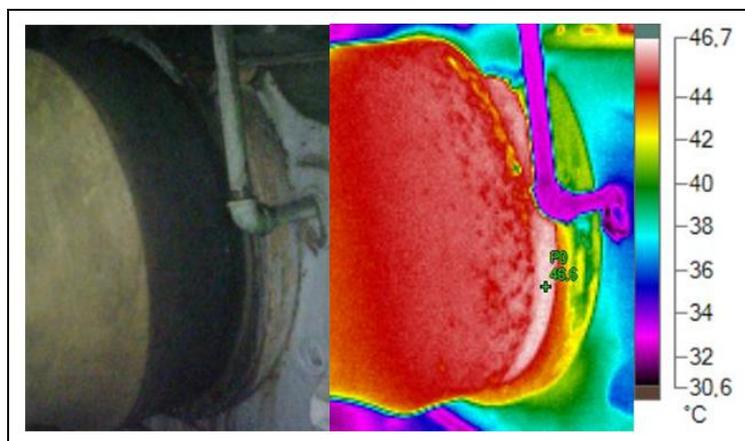
Figura 78. **Área para la toma de temperatura en chumacera superior**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

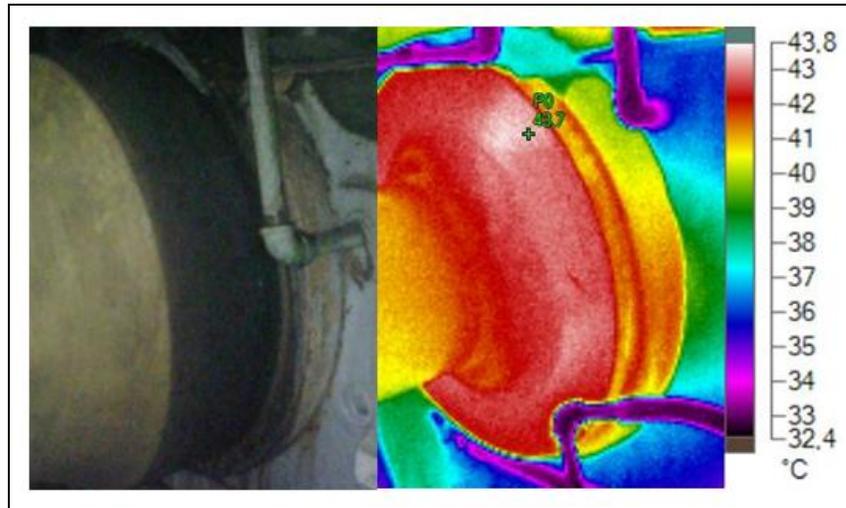
- Chumaceras en mazas bagaceras

Figura 79. **Termografía chumacera de maza bagacera, LL molino 4**



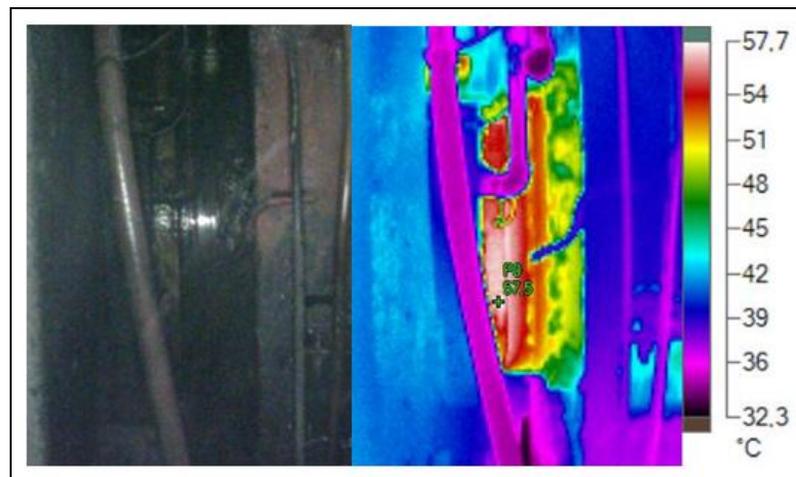
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 80. **Termografía chumacera de maza bagacera, LL molino 5**



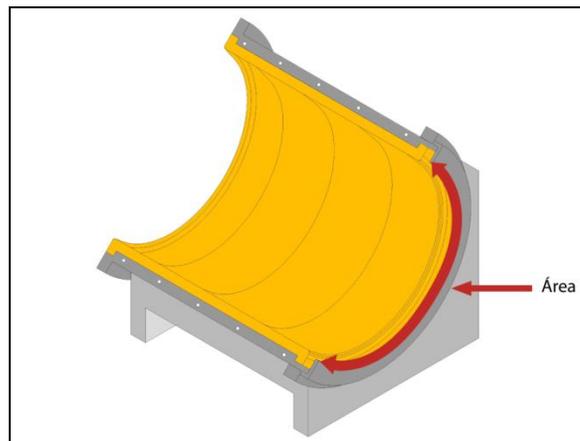
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 81. **Termografía chumacera de maza bagacera, LC molino 5**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

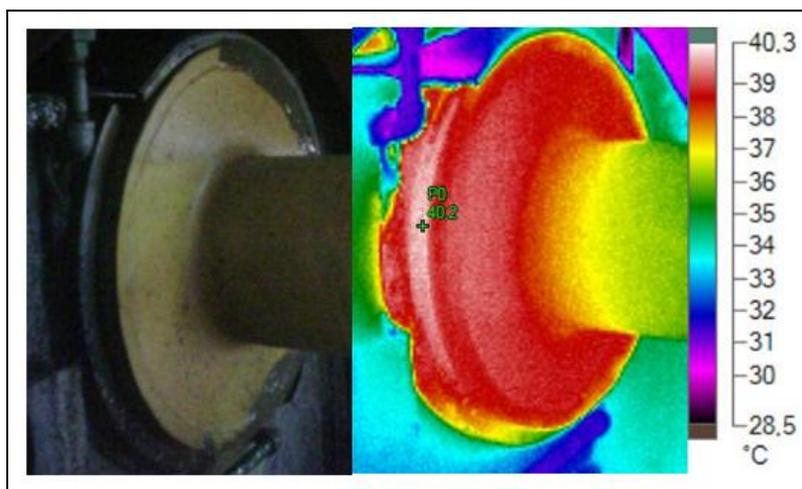
Figura 82. **Área para la toma de temperatura en chumacera para maza bagacera**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

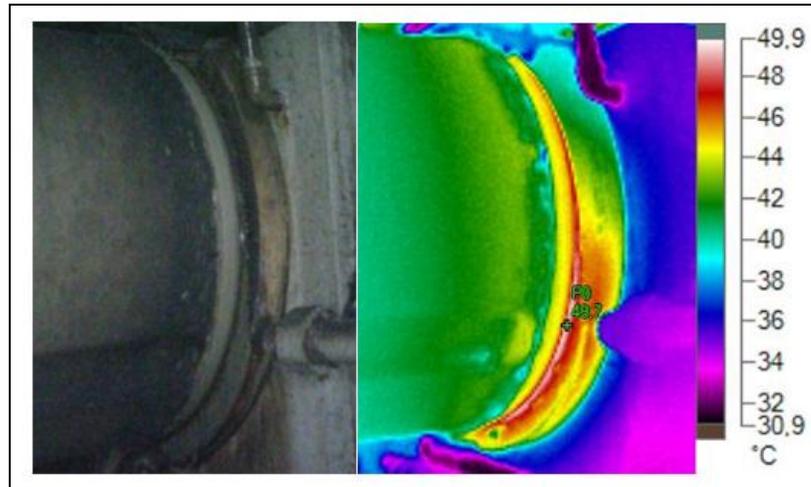
- Chumaceras de mazas cañeras

Figura 83. **Termografía chumacera de maza cañera, LL molino 2**



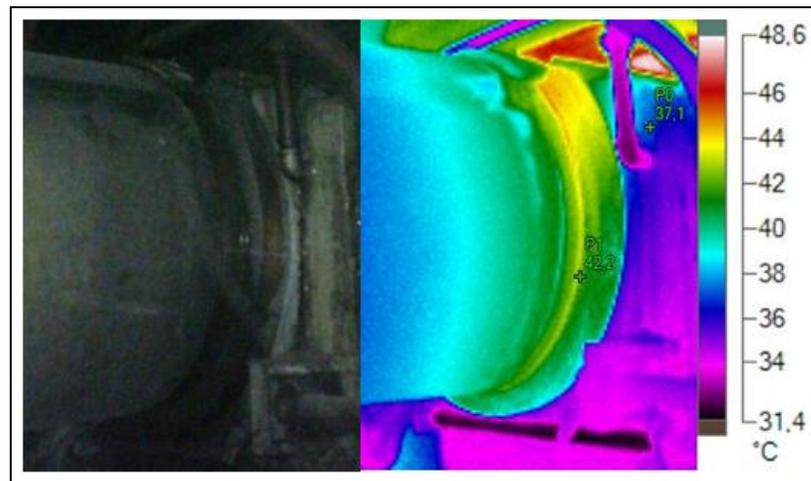
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 84. **Termografía chumacera de maza cañera, LC molino 5**



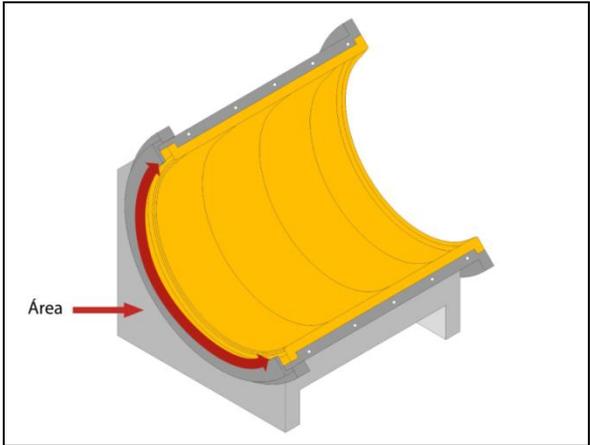
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 85. **Termografía chumacera de maza cañera, LC molino 6**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

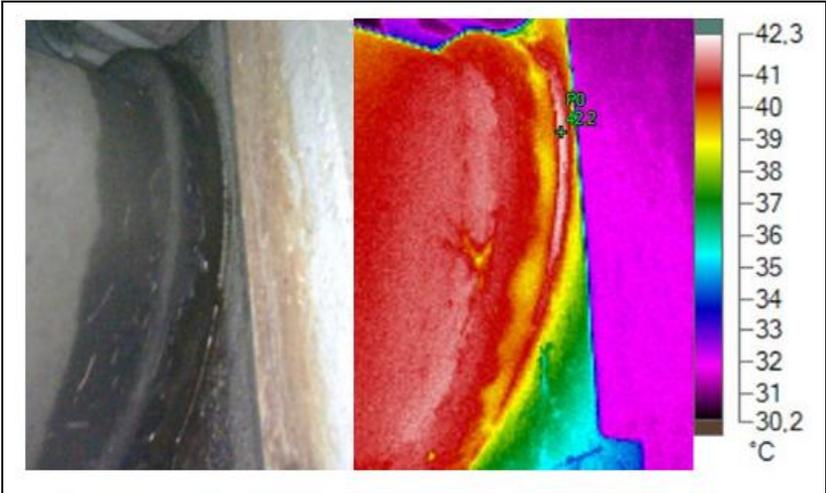
Figura 86. **Área para la toma de temperatura en chumacera para maza cañera**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

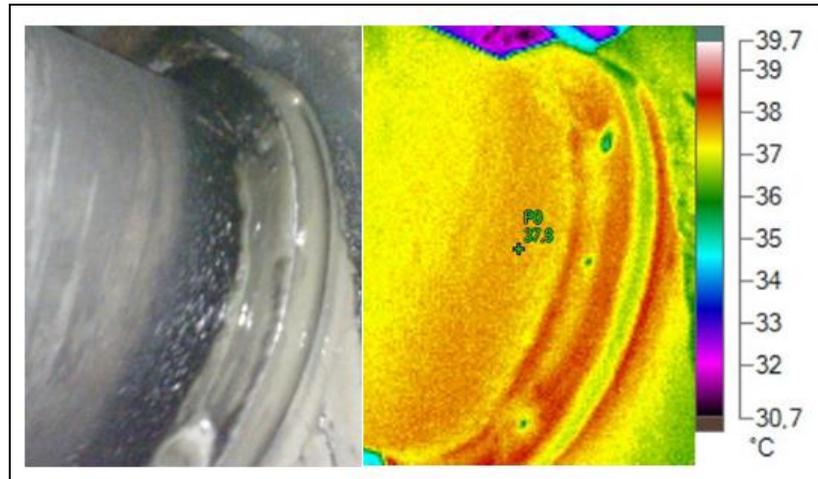
- Chumaceras en cuarta maza

Figura 87. **Termografía chumacera en cuarta maza, LC molino 1**



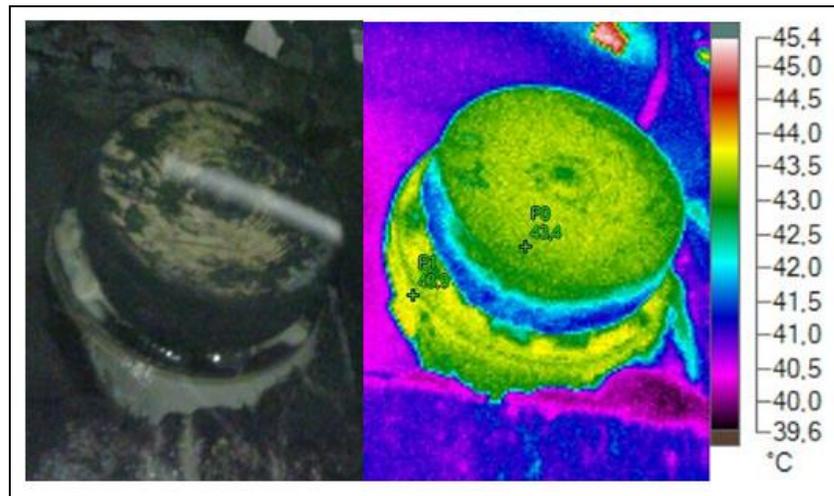
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 88. Termografía chumacera en cuarta maza, LC molino 3



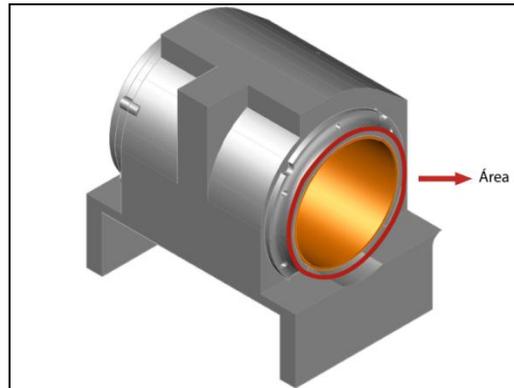
Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 89. Termografía chumacera en cuarta maza, LC molino 6



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 90. **Área para la toma de temperatura en chumacera de cuarta maza**



Fuente: Departamento de Maquinaria.

### **3.3.2. Control de temperatura**

Para esta propuesta se determinará un rango de temperatura de operación que permitirá guiar a los mecánicos de turno encargados de la buena operación de las chumaceras, tener rangos de temperatura que le indiquen procedimientos a realizar, que oriente al mecánico para que pueda visualizar en que rango se encuentra el valor de la temperatura de la chumacera y que dicho rango estandarice la temperatura máxima de operación de una chumacera. En la justificación se muestran las deficiencias más importantes que conllevan a la estandarización de un rango de operación.

#### **3.3.2.1. Justificación**

En el sistema de lubricación se ve la necesidad de establecer un rango de temperatura de operación para las chumaceras debido a diferentes deficiencias encontradas durante el monitoreo realizado en las chumaceras, así

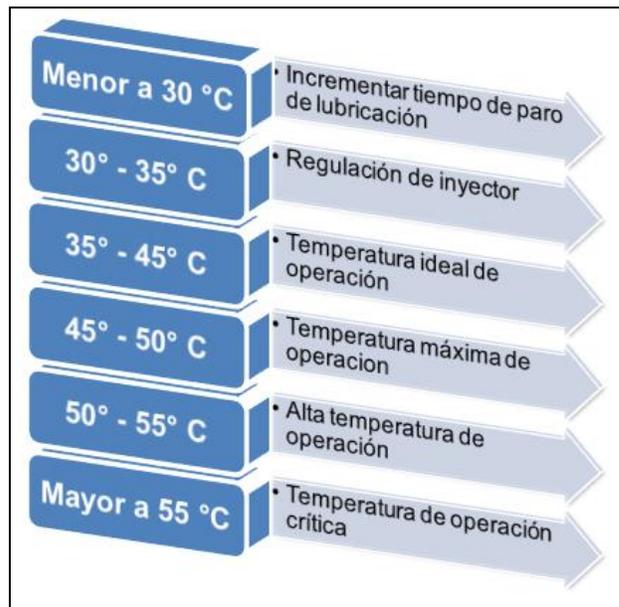
como del análisis a los valores de temperatura de operación. Teniendo como principales deficiencias los siguientes puntos:

- Temperatura de operación: cuando se inició el proyecto se dio de referencia que cuarenta y cinco grados Celsius era el límite para considerar una temperatura de operación buena, en el transcurso del monitoreo realizado a las chumaceras, algunos mecánicos de turno y vigilantes, toman de referencia cincuenta grados Celsius. Los mecánicos y vigilantes no tienen una temperatura estándar, trabajan según su criterio y realizan diferentes procedimientos que ellos así lo crean necesario, siendo esta la principal justificación para crear y estandarizar un rango para la temperatura de operación.
- Procedimientos: cada mecánico toma de referencia temperaturas límites que decide según su criterio, realizando diferentes procesos consecuencia de la decisión tomada, procesos que son como: revisar las líneas del sistema, revisar inyectores, el agua de refrigeración, si no existe taponamiento de los orificios de lubricación, sopletear las líneas, inyectar aceite manualmente etc., realizándolos sin ningún orden o según la temperatura que registra el valor de la chumacera.
- Agua externa: el no tener un rango estipulado, cuando una chumacera esta fuera del límite en su temperatura de operación, hace que los mecánicos, según su criterio mantengan agua externa en las diferentes chumaceras.

### 3.3.2.2. Rango de temperatura de operación

A continuación se propone un rango de temperatura de operación para las chumaceras del tándem “A” del Ingenio Magdalena, con el propósito de estandarizar límites para el valor de la temperatura de una chumacera, brindando una guía para que el mecánico de turno encargado del sistema de lubricación, interprete los diferentes valores obtenidos de la temperatura de una chumacera y lo guíen para mantener una temperatura óptima en estas.

Figura 91. **Rango propuesto de temperatura de operación de chumaceras**



Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los rangos propuestos para estandarizar el control de los valores de temperatura de las chumaceras:

- Incrementar tiempo de paro de lubricación

Cuando el valor de la temperatura de una chumacera se encuentra en el rango menor o igual a treinta grados Celsius, se propone que se incremente el tiempo de paro de lubricación, con el objetivo de reducir el consumo de lubricante. Actualmente para el tándem “A” como se tiene una estación de bombeo para cada tres molinos, para aumentar el tiempo de paro de lubricación se tendría que conocer el promedio de cada chumacera que se encuentre dentro del rango propuesto, para incrementar dicho tiempo de paro.

- Regulación del inyector

Cuando el valor de la temperatura de una chumacera se encuentra entre el rango de treinta a treinta y cinco grados Celsius, indica que la cantidad de aceite suministrada puede ser regulada, lo que traería como consecuencia el aumento de la temperatura de la chumacera, pasando a una temperatura de operación ideal y sobre todo influyendo en el consumo del lubricante, ahorrando por cada ciclo de trabajo. Esta regulación de aceite suministrado que se hace a través del inyector instalado para cada punto de lubricación, también puede ser regulada cuando la temperatura de una chumacera se mantiene menor a treinta grados Celsius, ya que por una chumacera no se puede aumentar el tiempo de paro a todas las chumaceras.

- Temperatura ideal de operación

El rango de treintaicinco a cuarenta y cinco grados Celsius, con base al monitoreo realizado se propone que este sea un valor de temperatura de operación ideal, ya que este rango de temperatura demostró una operación óptima y no se registró ningún tipo de problema con dichos valores de temperatura, proponiendo que el personal mantenga la temperatura de las chumaceras dentro de este rango, en el cual las chumaceras trabajan en óptimas condiciones.

- Temperatura máxima de operación

Actualmente se trabaja con una temperatura límite de cuarenta y cinco grados Celsius, proponiendo que el valor límite de temperatura máxima de operación sea de cincuenta grados Celsius, específicamente para las chumaceras en las mazas bagaceras, ya que el monitoreo realizado, indicó que a este valor de temperatura, la chumacera, debido a los varios factores que se mencionaron en el análisis del valor de la temperatura, en especial por la temperatura en el ambiente de operación, se considere aceptable.

Además, estableciendo el valor de cincuenta grados Celsius, con base a la teoría que sugiere que la temperatura máxima de operación sea considerada aceptable cuando esta esté a un valor de veinticinco a treinta grados Celsius, mayor a la temperatura ambiente. Esto quiere decir que cuando el valor de la temperatura de la chumacera se encuentre entre el rango de treintaicinco a cincuenta grados Celsius, se considere un valor máximo de temperatura considerable que le indique al mecánico que debe de realizar procedimientos de inspección

del sistema que le asegure que el aumento de temperatura no sea por alguna irregularidad en el sistema.

Para las chumaceras en la cuarta maza, maza cañera y superior, el rango de cuarenta y cinco a cincuenta grados Celsius, se aplican los mismos factores que influyen a elevar su temperatura, estableciendo aceptable dicho rango si el valor sube y regresa al rango de cuarenta a cuarenta y cinco grados Celsius, no es aceptable que tenga un valor de temperatura de cincuenta grados Celsius durante todo el día.

- Alta temperatura de operación

Luego de pasar de los cincuenta grados Celsius, cuando el valor de la temperatura se encuentre entre el rango de cincuenta a cincuenta y cinco grados Celsius, se considera una alta temperatura de operación, indicándole al personal que debe de realizar procedimientos que permitan ayudar en la refrigeración de la chumacera, como inyectar determinada cantidad de aceite manualmente.

- Temperatura de operación crítica

Cuando el valor de la temperatura sobrepasa los cuarenta y cinco grados Celsius, se considera en el rango propuesto, un valor de temperatura crítica que indica un problema en la chumacera, indicando que es necesario que se realicen procedimientos para llevar dicho valor, por lo menos al rango de cuarenta y cinco a cincuenta grados Celsius, esto ya que el monitoreo demostró que si una chumacera llega y se mantiene en un valor arriba de los cincuenta y cinco grados Celsius, trae consigo consecuencias por el problema que existe en la chumacera, que hace

que el valor de la temperatura se eleve, como el rayado del muñón, daños en la estructura de la chumacera, aumento del consumo de lubricante y la deficiencia en la molienda, entre otros.

### **3.3.3. Diseño de chumaceras en maza superior**

Luego de realizar el análisis a los diferentes diseños de las chumaceras superiores instaladas en el tándem “A” con base a los valores representados en las gráficas mostradas, como resultado del monitoreo a la operación de los diferentes diseños de chumaceras, se realiza una propuesta para la implementación del diseño que demostró el mejor comportamiento en operación, en las mazas restantes del tándem.

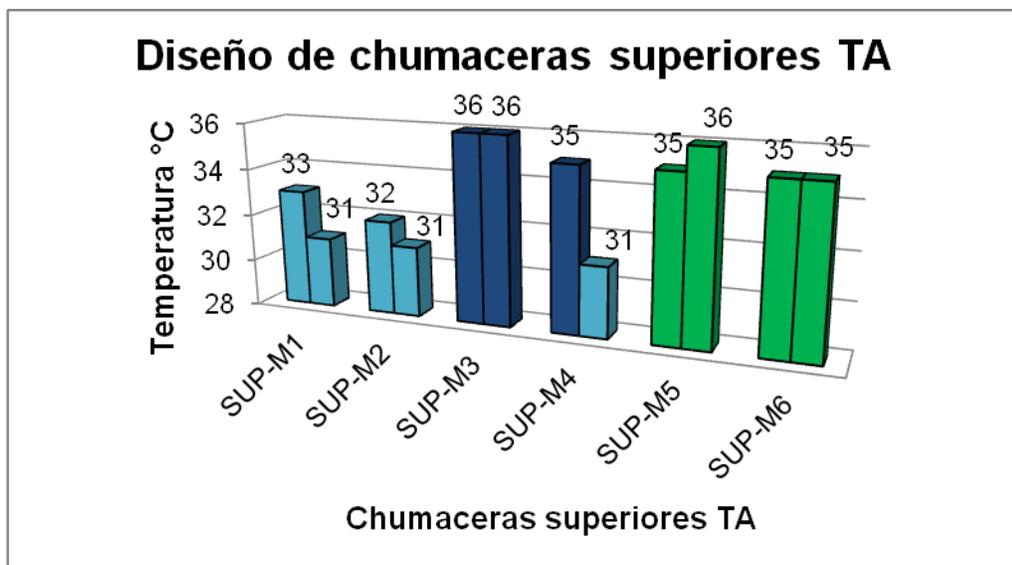
#### **3.3.3.1. Análisis de datos obtenido por monitoreo de comportamiento**

Luego de realizar el monitoreo correspondiente, a los diferentes diseños de las chumaceras instaladas en las mazas superiores del tándem “A”, demostrando por medio de las gráficas realizadas que las chumaceras superiores completas de bronce tienen un mejor comportamiento en la operación, obteniendo el mejor promedio del valor de la temperatura en operación, en comparación de los otros dos diseños. En la figura 92 se muestra la gráfica de los promedios de los datos obtenidos durante el monitoreo a los diferentes diseños.

Sin embargo, el diseño de la chumacera refrigerada en la teja no demostró una mala operación y las chumaceras con caja de hierro negro y teja de bronce obtuvieron valores altos al igual que valores aceptables y en algunas ocasiones,

valores de temperatura menores a los registrados por los otros dos diseños. Es por ello, que para respaldar la elección del mejor diseño, con base en la operación de estos diseños en el tándem “A”, se aplicó termografía en los diferentes diseños de chumacera, con el objetivo identificar el mejor diseño y respaldar el monitoreo realizado. Mostrando las chumaceras superiores lado corona para cada molino del tándem “A”, debido a que en ellas se ejerce mayor esfuerzo debido a las coronas y el acoplamiento en cada molino.

Figura 92. **Temperatura de los diferentes diseños de chumaceras superiores**



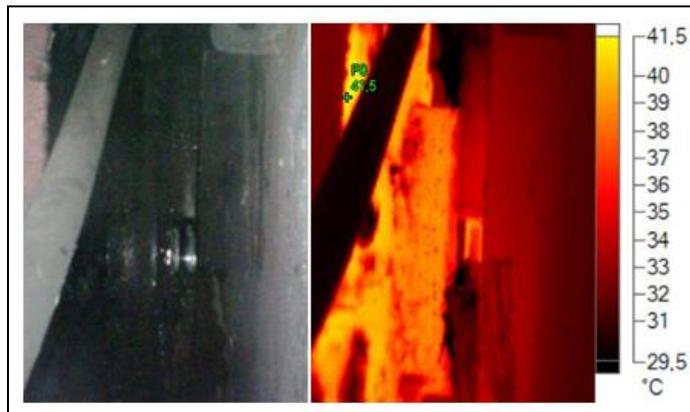
Fuente: elaboración propia.

- Diseño de chumacera completa de bronce

En el monitoreo realizado al presente diseño, se reflejo que la chumacera permanecia alrededor de 2 a 6 grados centígrados de diferencia con respecto al muñón del eje de la maza, reflejando con ello que se realiza

una buena transmición de calor de la caja completa de bronce hacia el agua que circula en su interior. Y con la ayuda de la aplicación de termografía, se respalda el monitoreo realizado.

Figura 93. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 1**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 94. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 2**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

- Diseño de chumacera, caja de hierro negro y teja de bronce, refrigerada en la caja

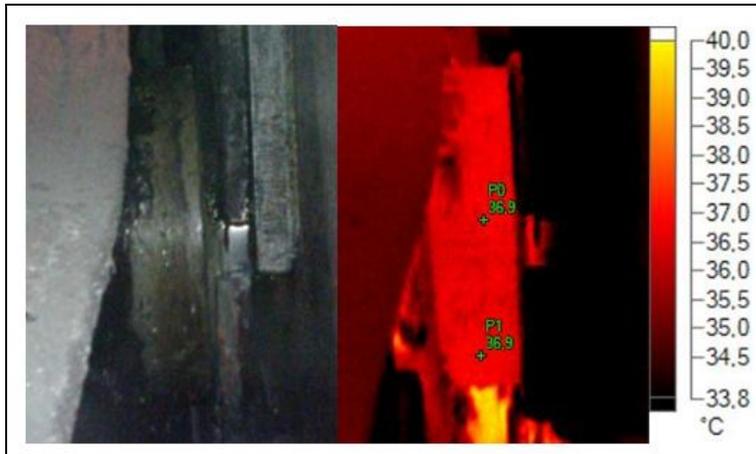
En el monitoreo se reflejó que la chumacera de este diseño, se mantenía con un valor, en su mayoría de veces, menor a los cuarenta grados Celsius, sin embargo, a la hora de la toma de temperatura del muñón, este se encontraba a una temperatura mayor, de diez grados Celsius de diferencia con la temperatura de la chumacera. En la termografía se rectifica lo identificado en el monitoreo, ya que la chumacera se encuentra a una temperatura baja, y se observa que el muñón se encuentra a una alta temperatura, demostrando que la refrigeración se mantiene únicamente en la teja, y esta no absorbe la temperatura del muñón, manteniéndose con una alta temperatura.

Figura 95. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 3**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 96. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 4**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

- Diseño de chumacera, caja de hierro negro y teja de bronce, refrigerada en la teja

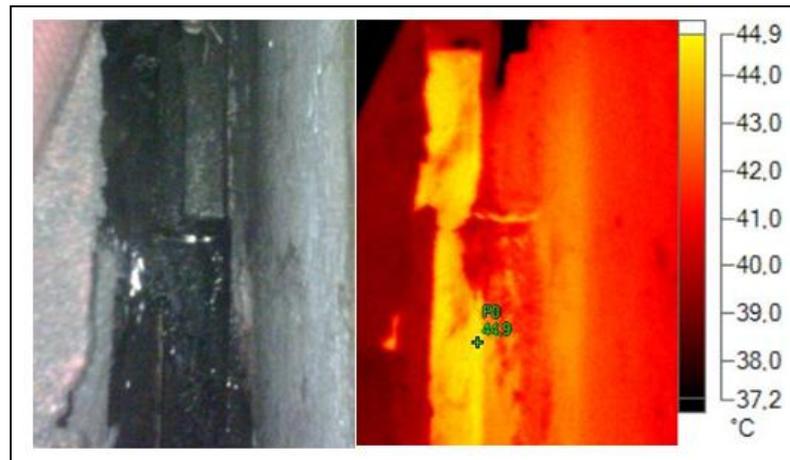
En el presente diseño se obtuvieron resultados, en su mayoría de cuarenta grados Celsius en adelante, y el valor que se obtenía era mayor o igual al del muñón. Con los resultados de la termografía se observa que tanto la chumacera como el muñón se mantienen a un valor de temperatura similar. Se concluye que la transferencia de calor entre la chumacera y la teja es muy buena, sin embargo, para la refrigeración de esta es más lenta debido a que el área de circulación del agua es menor, siendo más rápida la absorción de calor de la chumacera manteniéndose a una temperatura similar a la del muñón, y el agua de refrigeración se mantiene tibia, alrededor de treinta y cuatro grados Celsius y más alta con referencia a los otros dos diseños de chumaceras superiores.

Figura 97. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 5**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 98. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 6**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

### **3.3.4. Control de lubricación por inyección manual**

Luego de realizar el análisis en el consumo del aceite lubricante de chumaceras, específicamente en la evaluación de la lubricación manual de estas, se determinó que, por medio de esta lubricación que consiste en inyectar lubricante por medio de una bomba manual, se tiene un consumo muy alto, lo cual no debería de ser así, debido a la existencia de la lubricación automática por medio de las estaciones de bombeo instaladas en el tándem. Es por ello que surge la propuesta de aplicar un control que regule la aplicación de aceite lubricante por este método.

#### **3.3.4.1. Justificación**

La propuesta surge de los resultados obtenidos de la evaluación del consumo por inyección manual de aceite lubricante, representados en los siguientes factores que influyen directamente en el descontrol que existe para una lubricación manual, justificando la necesidad de aplicar un control en el presente método.

- Duración del tonel

La duración en días de un tonel de aceite lubricante para las chumaceras de los molinos del tándem "A", está relacionado al consumo por las tres estaciones de bombeo y el consumo por inyección manual. Por medio de la evaluación de dichos consumos, un tonel tendría que durar 5,69 días idealmente, sin embargo este tiene un promedio de duración de 3,5 días. Con ello se ve la necesidad de adquirir mayor cantidad de toneles de lubricante, lo cual influye en los costos por lubricación en las chumaceras del tándem.

- Malos procedimientos

Que los mecánicos de turno hagan la lubricación manual, sin ninguna estandarización y control, refleja el descontrol que existe en esta lubricación. Esto ya que los mecánicos de turno aplican aceite con su propio criterio y sin ningún tipo de regulación para la aplicación de este aceite, afectando el consumo de aceite en el tándem.

- Desconocimiento

Debido al desconocimiento, por parte de los mecánicos de turno, utilizan el aceite lubricante para refrigerar el muñón de la maza, aplicándole grandes cantidades a la chumacera, hasta que el aceite rebalse por los lados. Desconociendo la verdadera función del aceite aplicado actualmente, y desperdiciando aceite por una mala aplicación de este.

#### **3.3.4.2. Mejor aplicación de la lubricación manual**

Pou no poder eliminar la aplicación de aceite manualmente, debido a que dicha lubricación en determinados casos es esencial, se propone tener un mejor control de ella, tanto en el control del consumo, así como del control y la regulación en la aplicación de la lubricación por medio de una bomba manual. Buscando disminuir la cantidad de aceite suministrado por medio de este método y por consiguiente elevar la duración de un tonel, así como de disminuir los costos por lubricación en el tándem "A". La propuesta incluye:

- Capacitación

Capacitar al personal, para una mejor aplicación de aceite manualmente es esencial, ya que el conocimiento adquirido con referencia a la buena aplicación de aceite por este método permitirá que los mecánicos de turno mejoren la aplicación del método. Dando a conocer el propósito de la aplicación de aceite manualmente, y de las consecuencias que causa la mala aplicación. Además, con la ayuda de la fase de docencia, específicamente en la capacitación del personal, se logra proporcionar la información necesaria para que los mecánicos de turno apliquen de una mejor manera la inyección manual.

- División

Para poder llevar un mejor control del aceite suministrado por medio de la inyección manual, se propone que se divida la distribución de aceite por inyección automática de la inyección por medio de una bomba manual. Esto, ya que actualmente de un mismo tonel, se distribuye el aceite para el consumo de la inyección automática, así como de la inyección manual. Con ello se busca la duración ideal de 5,69 días del tonel, y que actualmente es de 3,48 días. Pudiendo controlar la cantidad suministrada por la bomba manual, así como regular el consumo que se tiene actualmente.

- Bomba manual por cada lado del molino

En el transcurso de la zafra se implementó instalar una base para colocar una bomba manual en cada lado del molino, lado corona y lado libre respectivamente. Con base a la propuesta de la división del suministro de

aceite para la inyección manual, más la colocación de una bomba manual por cada lado para cada molino, se propone brindar un seguimiento en el consumo de este método, suministrando una bomba manual con su máxima capacidad y llevar el registro de la fecha de entrega y la fecha que se termine el aceite de dicha bomba manual. Esto con el objetivo de fortalecer el historial del control general del sistema de lubricación de chumaceras y disminuir el consumo que se tiene actualmente por la inyección manual, por medio del control y regulación del aceite lubricante, así como del respectivo control de a que chumacera se le inyecta determinada cantidad de aceite.



## **4. FASE DE DOCENCIA**

Como parte esencial del proyecto, se presenta un capítulo sobre docencia, respecto a la lubricación de las chumaceras de los molinos cañeros que conforman el tándem “A” del Ingenio Magdalena S. A. Iniciando con la presentación de las propuestas de optimización a los diferentes jefes de área, y una capacitación al personal operativo con respecto al monitoreo y procedimientos a realizar, con base en los análisis realizados, además de una docencia a los mismos sobre lubricación, transferencia de calor y seguridad industrial.

### **4.1. Presentación de propuestas de optimización**

Previo a brindar una capacitación es esencial dar a conocer las propuestas para la mejora del sistema de lubricación en las chumaceras en los molinos del tándem “A”, así como los beneficios que se obtendrían con la implementación de estas. Por ello se presentan las siguientes propuestas a los correspondientes jefes de área:

- Estandarización de toma de temperatura

La propuesta de estandarizar la toma de temperatura consiste en especificar un área en la chumacera, donde se registre el valor máximo obtenido en dicha área. Ver figura 99.

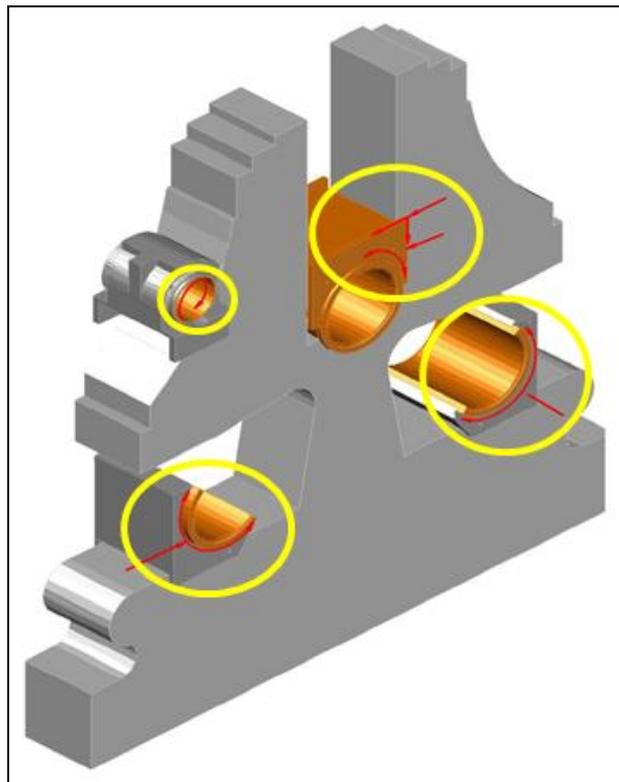
- Además se propone que los mecánicos realicen los siguientes procedimientos, previo a la obtención del valor de la temperatura de la chumacera, los cuales son:
  - Retirar el agua externa de la chumacera, si esta la tuviera.
  - Verificar la variación de la temperatura de la chumacera, temperatura del eje y de las coronas respectivamente.
  - Utilizar el área específica propuesta para la toma del valor de la temperatura de la chumacera.
  - Registrar los valores reales, principalmente si estos fueran de un valor alto.
  
- Beneficios

El estandarizar la toma del valor de la temperatura, brinda los siguientes beneficios:

- La creación de un buen historial de comportamiento de temperatura de las chumaceras.
- Seguimiento del comportamiento de la temperatura de las diferentes chumaceras.
- La aplicación de acciones preventivas a chumaceras que presente algún tipo irregularidad.

- Por medio de acciones preventivas, y no correctivas, evitar los paros, puentes y tiempos perdidos, consecuencia de alta temperatura en una chumacera.

Figura 99. **Áreas para la toma de temperatura de chumaceras**

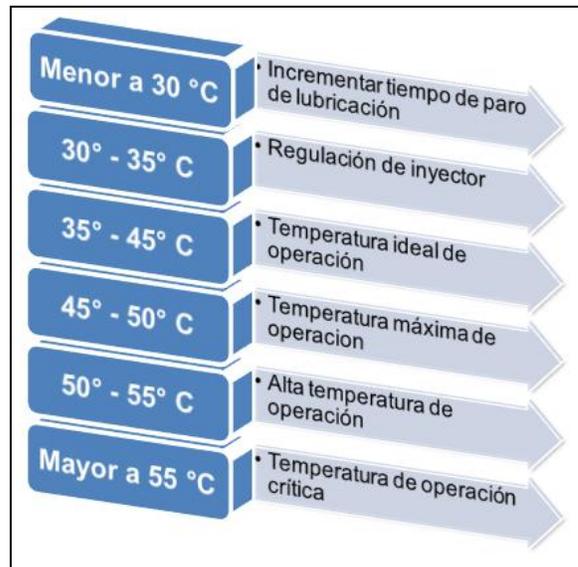


Fuente: Departamento de Maquinaria.

- Rango de temperatura de operación

El rango de temperatura de operación consiste en establecer un rango de temperatura, el cual oriente a los mecánicos encargados de la temperatura de operación de las chumaceras, a realizar procedimientos relacionados a la elevación de dicho valor. Ver figura 100.

Figura 100. **Rango propuesto de temperatura**



Fuente: elaboración propia.

- **Beneficios**

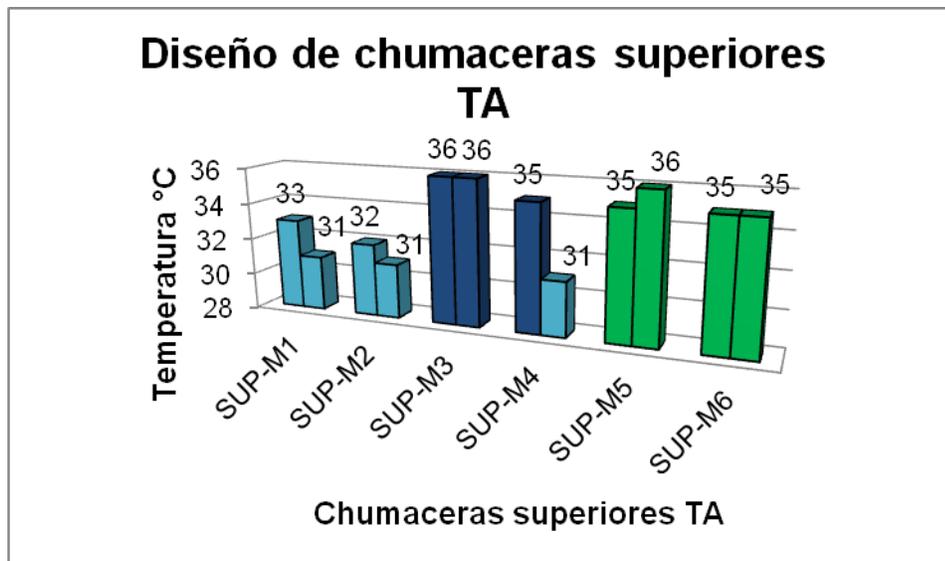
El poder estandarizar un rango de operación con un valor máximo, trae consigo los siguientes beneficios.

- Guiar al mecánico de turno a que realice procedimientos relacionados con los valores de la temperatura de una chumacera.
- Estandarizar un rango para la operación ideal, en la cual debería de operar una chumacera, así como del valor máximo que debe de llegar la temperatura de una chumacera.
- Evitar la colocación innecesaria de agua externa en una chumacera. La cual degrada propiedades específicas del aceite.

- Evitar la inyección manual, la cual está a criterio del mecánico de turno, para temperaturas que él considera altas. Afectando directamente la duración de un tonel de aceite.
- Mejor control en la temperatura de las chumaceras, lo cual permita una mejor eficiencia en la operación de las chumaceras.
- Diseño de chumaceras en maza superior

Actualmente se encuentran instalados tres diseños de chumaceras para las mazas superiores del tándem “A”, proponiendo la utilización de un solo diseño, según el comportamiento en la operación de dichas chumaceras.

Figura 101. **Temperatura de los diferentes diseños de chumaceras superiores**



Fuente: elaboración propia.

- Mejor diseño de chumacera superior

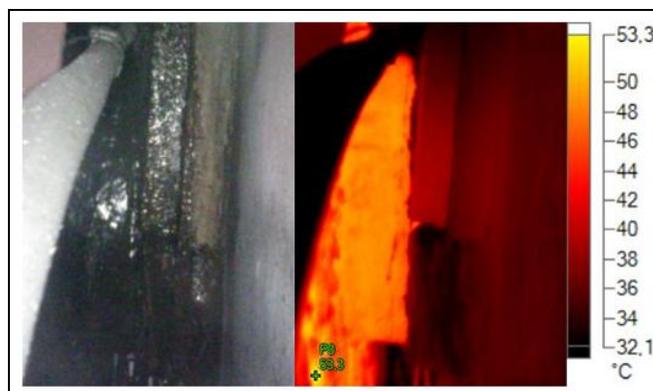
Proponiendo como el mejor diseño, la chumacera completa de bronce debido al comportamiento de operación de esta. Verificando dichos resultados con la aplicación de termografía. Ver figuras 102 y 103.

Figura 102. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 1**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 103. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 1**

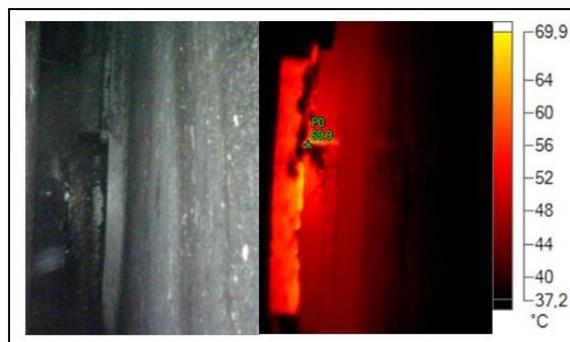


Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

- Diseño opcional

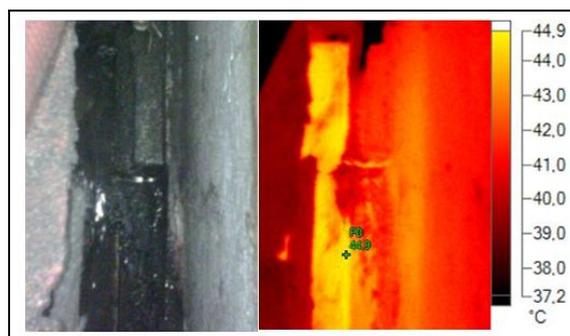
Como parte de la propuesta y debido, al alto costo de las chumaceras completas de bronce, se propone la chumacera superior refrigerada en la teja, como un diseño opcional, debido a su buen rendimiento, la cual demuestra una alta transferencia de calor del muñón hacia la teja y de la teja hacia el agua que circula en su interior. Ver figuras 104 y 105.

Figura 104. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 5**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 105. **Termografía chumacera de maza superior, LC molino 6**



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

- Sustitución de diseño

Se propone la sustitución del diseño que se compone por una caja de hierro y teja de bronce, la cual demostró en varias ocasiones, un buen comportamiento tanto en su valor de temperatura como en el agua de refrigeración. Pero al verificar la temperatura del eje se constataba que este sí tenía una alta temperatura. Demostrándolo por medio de la aplicación de termografía, que la transferencia de calor de este diseño es mínima. Ver figuras 106 y 107.

- Beneficios

Emplear chumaceras que tengan una buena transferencia de calor, y que su temperatura de operación sea menor, en comparación a los otros diseños, tiene los siguientes beneficios:

- Que exista una buena transferencia de calor entre el muñón, caja y agua, tiene como consecuencia una mejor operación de la chumacera y el eje de la maza.
- El tener temperaturas de un valor bajo, permitiría regular o incrementar el intervalo del tiempo de espera en la lubricación, aumentando la duración de un tonel de aceite, reduciendo costos por lubricación.

Figura 106. Termografía chumacera de maza superior, LC molino 3



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

Figura 107. Termografía chumacera de maza superior, LC molino 4



Fuente: Departamento de Administración de Mantenimiento.

- Mejor aplicación de inyección manual

El suministro de aceite a las chumaceras por medio de una bomba manual refleja un alto consumo en dicha aplicación, lo cual debería ser relativamente bajo si existe una buena operación de las chumaceras. Por eso se propone:

- Independizar los consumos

Proponiendo el independizar los consumos por inyección automática de la inyección manual.

- Bomba manual para cada lado del molino

Por medio de la implementación de una bomba manual para cada lado del molino, tener un control del consumo de aceite por inyección manual, para las diferentes chumaceras de cada lado del molino.

- Capacitar al personal operativo

Con el objetivo de dar a conocer la manera adecuada de la inyección manual, lo cual se reflejaría directamente en el consumo, debido a que dicho personal es el encargado de la aplicación de este método.

- Beneficios

El beneficio principal del establecer un control de la inyección de aceite por medio de una bomba manual, es el de disminuir la cantidad de aceite suministrado por inyección manual, el cual tiene un promedio de 21,44 galones, por cada tonel de aceite consumido. En la tabla XXII se determina el costo de la lubricación por inyección manual.

Tabla XXII. **Análisis de costo por consumo de aceite en inyección automática y manual**

<b>No. Tonel</b>	<b>Consumo inyección automática (gal)</b>	<b>Costo</b>	<b>Consumo inyección manual (gal)</b>	<b>Costo</b>
12	32,55	Q.10 803,67	20,35	Q.6 754,37
13	26,97	Q.8 951,61	25,93	Q.8 606,43
14	30,69	Q.10 186,32	22,21	Q.7 371,72
15	37,20	Q.12 347,05	15,70	Q.5 210,99
16	29,76	Q.9 877,64	23,14	Q.7 680,40
17	27,90	Q.9 260,29	25,00	Q.8 297,75
18	30,69	Q.10 186,32	22,21	Q.7 371,72
19	24,18	Q.8 025,58	28,72	Q.9 532,46
20	26,04	Q.8 642,94	26,86	Q.8 915,10
21	31,62	Q.10 494,99	21,28	Q.7 063,04
22	29,85	Q.9 908,51	23,05	Q.7 649,53
23	33,95	Q.11 266,68	18,96	Q.6 291,35
24	25,67	Q.8 519,47	27,23	Q.9 038,57

Continuación de la tabla XXII.

25	29,11	Q.9 661,57	23,79	Q.7 896,47
26	38,13	Q.12 655,73	14,77	Q.4 902,31
27	34,32	Q.11 390,16	18,58	Q.6 167,88
28	27,90	Q.9 260,29	25,00	Q.8 297,75
29	35,25	Q.11 698,83	17,65	Q.5 859,21
30	33,29	Q.11 050,61	19,61	Q.6 507,43
31	37,20	Q.12 347,05	15,70	Q.5 210,99
32	30,97	Q.10 278,92	21,93	Q.7 279,12
33	34,50	Q.11 451,89	18,40	Q.6 106,15
34	33,76	Q.11 204,95	19,14	Q.6 353,09
35	34,13	Q.11 328,42	18,77	Q.6 229,62
36	30,78	Q.10 217,19	22,12	Q.7 340,85
Totales	786,41	Q.261 016,68	536,09	Q.177 934,30

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Capacitación al personal operativo

Con los diferentes monitoreos realizados a la operación del sistema de lubricación de chumaceras y con base en los resultados obtenidos de cada análisis y evaluación de dicho sistema, se encontraron ciertos procedimientos inadecuados así como falta de conocimiento por parte del personal operativo. Como resultado de lo antes mencionado y como parte de la fase de docencia, se propone una capacitación al personal operativo, realizando una presentación que contenga información básica acerca de la lubricación y sus generalidades, así como de la transferencia de calor, procedimientos y definiciones de plena importancia para el conocimiento del operador a cargo del buen funcionamiento

del sistema de lubricación de chumaceras, esta capacitación incluirá lo relativo a:

#### **4.2.1. Lubricación**

En un punto esencial de la capacitación, se da a conocer información sobre la lubricación, con el objetivo de brindarle al personal operativo el conocimiento de la función, propiedades, aditivos y que tipo de película de lubricante se crea entre el muñón del eje y la chumacera.

- Contenido de docencia sobre lubricación
  - Definición de lubricación
  - Función del lubricante
  - Propiedades del lubricante
  - Aditivos en el lubricante
  - Regímenes de lubricación
  - Sistemas de lubricación
  - Transferencia de calor

##### **4.2.1.1. Función del lubricante**

Que el personal operativo, esté consciente de la función del lubricante y del porqué de lo esencial de la lubricación, es conocimiento indispensable que permite demostrar al operador, de la importancia de su trabajo.

- Contenido de docencia
  - Propósito del lubricante

- Explicación de funciones:
  - Protege la pieza contra el desgaste
  - Protege la pieza contra la corrosión
  - Protege la pieza contra la oxidación
  - Contribuye a la estanqueidad
  - Contribuye a la refrigeración
  - Facilita la evacuación de impurezas

#### **4.2.1.2. Aditivos en el lubricante**

Como parte de la capacitación, se brinda información que permita dar conocer al personal operativo, la definición y la función de un aditivo.

- Contenido de docencia
  - Definición
  - Descripción de un aditivo
  - Listado de algunos aditivos:
    - Mejoradores del índice de viscosidad
    - Antidesgaste
    - Antioxidante
    - Detergente
    - Dispersantes
    - Anticorrosivos
    - Antiespuma
    - Extrema presión

#### **4.2.1.3. Regímenes de lubricación**

Brindar el conocimiento de las distintas películas de lubricante que se pueden formar, es parte de la capacitación a presentar al personal operativo.

- Contenido de docencia para regímenes de lubricación
  - Definición
  - Tipos de regímenes:
    - Lubricación hidrostática
    - Lubricación hidrodinámica
    - Lubricación elastohidrodinámica

#### **4.2.1.4. Sistemas de lubricación**

Presentar los diferentes sistemas de lubricación, relacionándolos con posibles sistemas instalados dentro del ingenio, así como presentar la definición y características del sistema instalado para la lubricación de las chumaceras del tándem “A”, es otro punto de la capacitación a presentar.

- Contenido de docencia
  - Tipos de suministro
  - Descripción de diferentes sistemas:
    - Botella aceitera
    - Aceite con alimentación de mecha
    - Goteo

- Lubricación manual
- Anillo de lubricación
- Lubricación por cadena
- Baño de aceite
- Sistema por salpicado
- Sistemas centralizados

#### **4.2.2. Transferencia de calor**

En este punto de la capacitación, se tiene el objetivo de que el personal operativo, obtenga el conocimiento acerca del porqué y cómo se da la transferencia de calor entre, el eje hacia la chumacera y de la chumacera hacia el agua de refrigeración.

- Contenido de docencia
  - Definición de transferencia de calor
  - Tipos de transferencia de calor:
    - Conducción
    - Convección
    - Radiación

#### **4.2.3. Toma de temperatura**

Como parte de la propuesta para la estandarización de la toma de temperatura, se establecen procedimientos que debe de realizar el mecánico de turno para la previa obtención del valor de la temperatura de operación de una chumacera, con el objetivo de incentivar a los mecánicos a realizar buenos

procedimientos para obtener un buen historial de la temperatura de las diferentes chumaceras.

- Valores reales: la importancia de registrar los valores reales de la temperatura de las chumaceras, haciendo énfasis en las consecuencias del cambio de una chumacera, como lo sucedido el trece de diciembre del dos mil trece, cuando por la sustitución de una chumacera del lado libre de la maza bagacera, se tuvieron más de nueve horas de paro en el molino seis. Explicando los beneficios de tener un buen historial y realizar actos preventivos que permitan impedir la sustitución de una chumacera.
- Agua externa: si previo a la toma del valor de la temperatura en una chumacera, esta posee agua externa, que el operador encargado de la toma de dicho valor, retire el agua externa y si no muestra ningún tipo de variación instantánea la temperatura, esperar no menos de diez minutos para registrar el valor de la temperatura de dicha chumacera. Con esto se busca que el mecánico registre datos más exactos para poder crear un buen historial de operación de las chumaceras.
- Temperaturas que influyen: es necesario que el operador encargado de la toma del valor de la temperatura, cuando realice la toma de dicho valor, verifique la temperatura del muñón y de la corona, ya que la temperatura de estas partes influye directamente en la temperatura de la chumacera.
- Punto de toma de temperatura: con base a lo propuesto en la estandarización de los puntos para la toma de temperatura. Que el operador obtenga el valor máximo de las áreas especificadas,

registrando un dato más exacto de la temperatura de operación en las diferentes chumaceras de los molinos.

#### 4.2.3.1. Formatos

Es importante que los operadores estén conscientes de la importancia del formato estandarizado para el registro del valor de temperatura de las chumaceras, haciendo énfasis que con la ayuda del formato se lleva un buen historial que permita realizar actos preventivos, si este se maneja de la forma adecuada. Además de incentivar a reportar cualquier tipo de anomalía en el espacio de observaciones del formato, ya que cualquier comportamiento extraño relacionado con la temperatura y operación de la chumacera puede prevenir problemas más severos. Ver figura 108.

Figura 108. **Capacitación sobre el buen uso del formato para el registro de temperaturas**



**FORMATO**

- Utilizar de una forma correcta el formato estandarizado para el registro del valor de la temperatura de las chumaceras en los molinos cañeros del tándem "A"
- Información a presentar
  - Uso correcto del formato
  - Importancia del formato
  - Creación de un historial

MOLINO CAÑERO		TÁNDEN "A"	
CHUMACERA	TEMPERATURA	CHUMACERA	TEMPERATURA
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
11		11	
12		12	
13		13	
14		14	
15		15	
16		16	
17		17	
18		18	
19		19	
20		20	
21		21	
22		22	
23		23	
24		24	
25		25	
26		26	
27		27	
28		28	
29		29	
30		30	
31		31	
32		32	
33		33	
34		34	
35		35	
36		36	
37		37	
38		38	
39		39	
40		40	
41		41	
42		42	
43		43	
44		44	
45		45	
46		46	
47		47	
48		48	
49		49	
50		50	
51		51	
52		52	
53		53	
54		54	
55		55	
56		56	
57		57	
58		58	
59		59	
60		60	
61		61	
62		62	
63		63	
64		64	
65		65	
66		66	
67		67	
68		68	
69		69	
70		70	
71		71	
72		72	
73		73	
74		74	
75		75	
76		76	
77		77	
78		78	
79		79	
80		80	
81		81	
82		82	
83		83	
84		84	
85		85	
86		86	
87		87	
88		88	
89		89	
90		90	
91		91	
92		92	
93		93	
94		94	
95		95	
96		96	
97		97	
98		98	
99		99	
100		100	

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.2. Puntos de toma de temperatura

Los puntos donde el operador toma el valor de la temperatura, son esenciales para la formación de un buen historial, el enfatizar de la importancia de esto y mostrar en que determinada área se debe de tomar la temperatura para poder obtener un valor que muestre el valor de la temperatura de operación de la chumacera es el objetivo de este punto. Ver figura 109.

Figura 109. **Capacitación sobre del área ideal para la toma del valor de temperatura**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.4. Control de temperatura

Para poder aplicar un buen rango de temperatura de operación, es indispensable dar a conocer y explicar a los operadores el rango de temperatura de operación propuesto, para que los oriente y permita realizar los

procedimientos necesarios, así como evitar todo procedimiento innecesario, para mantener el valor de la temperatura de una chumacera en una temperatura ideal de operación. Ver figura 110.

Figura 110. **Capacitación para un mejor control de la temperatura en chumaceras**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.5. Control de inyección manual

Como parte de la capacitación al personal operativo, es necesario que se brinden los procedimientos para un mejor control en la inyección de aceite a las chumaceras, por medio de una bomba manual. Ver figura 111.

- En el momento indicado: el operador debe de establecer, por medio del rango propuesto, cuando es el momento indicado para realizar la inyección manual.

- Cantidad indicada: para poder controlar la cantidad de aceite suministrada por una bomba manual, es necesario que el operador sepa que no se debe refrigerar el eje aplicando una gran cantidad de aceite, por ello se establece que se inyecte de dos a cuatro carreras de la bomba por cada punto de lubricación para una chumacera, con base a lo estipulado en el rango propuesto de temperatura de operación.
- Intervalo de tiempo: el intervalo de tiempo para poder aplicar nuevamente aceite por medio de una bomba manual, se propone sea de cinco a diez minutos. Monitoreando la operación de esta, para ver si es necesario la continuidad de la inyección de aceite.

Figura 111. **Capacitación de la inyección por medio de una bomba manual**

**CONTROL DE LA INYECCIÓN MANUAL**

- Para que exista una buena lubricación, se deben de recordar los siguientes factores.
  - Aplicar el lubricante correcto
  - Aplicar la cantidad correcta
  - Aplicar el lubricante en el momento correcto
  - Aplicar el lubricante en el punto correcto
  - Aplicar el lubricante con el método correcto
- Acompañado de los buenos procedimientos para la lubricación por medio de una bomba manual, así como de aplicar dicho procedimiento única y exclusivamente, si es necesario.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.6. Seguridad industrial

Como último punto dentro de la capacitación a brindar al personal operativo, se imparte información acerca de la seguridad industrial, la cual es de suma importancia debido a los riesgos del operar los diferentes equipos que hacen posible la extracción del jugo de caña.

Enfocándose en los riesgos que corre un operador según su puesto, así como el uso del equipo de protección personal necesario, lo cual evita incidentes o accidentes por la operación de los diferentes equipos, según los puestos de cada operador.

Figura 112. Capacitación de la importancia de los EPP



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.6.1. Riesgos

En las tablas XXIII y XXIV se muestran los riesgos para un operador, dependiendo el área y el puesto que ejerce.

Tabla XXIII. **Riesgos de un operador en la recepción de caña**

Operación	Peligro	Clasificación	Controles propuestos
Recepción de caña	Polvo (residuos de caña, tierra)	Alto	Atomizar agua con tubos y aspersores
			Confinar las tolvas en la recepción de basura
	Impacto por caña u otros objetos (cadena rota etc.)	Grave	Elaboración de una cabina cerrada con plástico transparente contra impacto
			Delimitar tránsito de personas ajenas al proceso ya que les podría caer una caña u objeto
	Engranaje y rodillos expuestos	Grave	Colocar guarda (algún tipo de malla para evitar el acercamiento del personal)
			Se implementará un limpiador de faja individual para evitar que se ensucien los rodos y evitar que el personal los limpie
			Las poleas coleras se cambiarán por jaulas de ardillas
			Reforzar con rotulación en equipos en movimiento "PRECAUCIÓN MAQUINARIA EN MOVIMIENTO"
			Juntar a los 20 ayudantes del patio de caña para darles una inducción de que lo que no se debe hacer (en especial limpieza inadecuada de bandas)
Se necesita colocar paros de emergencia en equipos específicos de movimiento			

Continuación de la tabla XXIII.

			Se necesita auditar el funcionamiento de los paros de emergencia
			Se necesita implementar un programa de bloqueo y etiquetado

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por el Departamento de Seguridad Industrial.

Tabla XXIV. **Riesgos de un operador en la extracción del jugo de caña**

<b>Operación</b>	<b>Peligro</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Controles propuestos</b>
<b>Extracción de jugo</b>	Partículas de bagazo	Alto	Realizar auditorías para verificar el cumplimiento del uso de lentes de protección
			Confinar el espacio en el último molino
	agua caliente	Alto	Realizar inspecciones semanales, que se documenten en un registro, del estado de las mangueras y accesorios.
			Evaluar frecuencia del cambio de mangueras sin llegar a la necesidad de tener una fuga para tenerla que cambiar(contactar proveedor)
			Utilizar pistolas para alta presión de acción rápida
			Dar capacitaciones del lavado con agua caliente al personal
			Poner flexible la parte final de la manguera.
			Instalar manómetros a la vista e identificarlos.
			Instalar una válvula de alivio por si se pasa la presión en los molinos.

Continuación de la tabla XXIV.

	Paso peatonal bajo peso suspendido	Alto	Completar de colocar cables en los candados de los acoplamientos rígidos. (entre dos)
			Confinar los engranajes expuestos en la extracción de jugo en tándem "C" o restringir el paso peatonal
	Equipos en movimiento	Grave	se necesita colocar paros de emergencia en equipos específicos de movimiento
			Se necesita implementar un programa de bloqueo y etiquetado

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por el Departamento de Seguridad Industrial.

#### 4.2.6.2. Equipo de protección

Al tener los riesgos a los que está expuesto un operador según su puesto de trabajo, se puede establecer el equipo de protección personal específico para un operador.

Tabla XXV. **EPP para un operador según su puesto en el área de patio de caña**

ÁREA	PUESTO	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL NECESARIO				
		Casco	Lentes claros	Mascarilla para partículas	Guante largo	Guante corto
PATIO DE CAÑA	Ayudante para mesa # 1	X	X	X	X	
	Ayudante para mesa # 2	X	X	X	X	
	Ayudante para subterráneo	X	X	X	X	
	Ayudante para mesa # 2, A	X	X	X	X	

Continuación de la tabla XXV.

	Ayudante del caporal de patio	X	X	X		X
	Caporal de patio	X	X	X		X
	Operador del conductor de caña	X	X			
	Operador de cameco	X	X			X
	Operador de virador	X	X	X		X
	Operador de mesa	X	X			X
<b>ÁREA</b>	<b>PUESTO</b>	<b>Guante para alta temperatura</b>	<b>Tapón de oído</b>	<b>Botas de hule</b>	<b>Cinturón ajustable</b>	<b>Botas industriales</b>
<b>PATIO DE CAÑA</b>	Ayudante para mesa # 1	X	X	X	X	X
	Ayudante para mesa # 2	X	X	X	X	X
	Ayudante para subterráneo		X	X	X	X
	Ayudante para mesa # 2, A		X	X	X	X
	Ayudante del caporal de patio		X	X		X
	Caporal de patio		X			X
	Operador del conductor de caña		X			X
	Operador de cameco		X			X
	Operador de virador		X			X
	Operador de mesa		X			X

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por el Departamento de Seguridad Industrial.

Tabla XXVI. **EPP para un operador según su puesto en el área de molinos**

		<b>EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL NECESARIO</b>					
<b>ÁREA</b>	<b>PUESTO</b>	<b>Casco</b>	<b>Lentes claros</b>	<b>Mascarilla para partículas</b>	<b>Mascarilla para gases</b>	<b>Guante corto</b>	<b>Tapón de oído</b>
<b>MOLINOS TÁNDEM "A"</b>	Ayudante de mecánico de primera	X	X	X		X	X
	Bombero	X	X	X		X	X
	Mecánico especial	X	X	X		X	X
	Mecánico de primera	X	X	X		X	X
	Moedor	X	X			X	X
	Operador de motores eléctricos	X	X	X		X	X
	Vigilante de molinos	X	X	X			X
	Aplicador de químicos en molinos	X	X	X	X		X
<b>ÁREA</b>	<b>PUESTO</b>	<b>Guante nitrilo ó neopreno</b>	<b>Botas de hule</b>	<b>Cinturón ajustable</b>	<b>Careta p/ esmeril</b>	<b>Botas industriales</b>	<b>Linterna de mano</b>
<b>MOLINOS TÁNDEM "A"</b>	Ayudante de mecánico de primera		X	X		X	X
	Bombero		X			X	X
	Mecánico especial			X	X	X	X
	Mecánico de primera			X	X	X	X
	Moedor					X	
	Operador de motores eléctricos					X	X
	Aplicador de químicos en molinos	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por el Departamento de Seguridad Industrial.



## CONCLUSIONES

1. El sistema instalado para la lubricación de las chumaceras en los molinos cañeros del tándem “A” es automático de doble línea, brindando una automatización en la inyección de aceite a los diferentes puntos de lubricación en las chumaceras, afectando directamente el valor de la temperatura de las chumaceras, dependiendo de la programación en el controlador del sistema.
2. Los valores de temperatura de las chumaceras en los molinos cañeros del tándem “A” son frecuentemente afectados por diversos factores, como: la temperatura ambiente, la carga aplicada a las chumaceras por la molienda de caña, la contaminación dentro de las chumaceras, entre otros factores.
3. Los diferentes operadores encargados del buen funcionamiento del sistema de lubricación de chumaceras, no tienen un rango de operación estandarizado el cual brinde límites o una temperatura ideal de operación en las chumaceras, generando que los operadores realicen procedimientos según experiencia o criterio propio.

4. Para que el mecánico de turno encargado de registrar el valor de la temperatura de las diferentes chumaceras, se tiene estandarizado un formato para registrar los datos en un orden establecido, sin embargo, no se tiene un buen uso del formato, tampoco un punto determinado para la toma del valor de la temperatura, teniendo como consecuencia que el mecánico de turno, realice las tomas del valor de temperatura en un punto donde él así lo decida o donde se le facilite realizar dicha toma.
5. El sistema automático de doble línea instalado para el sistema de lubricación de chumaceras en el tándem “A”, está compuesto por dos estaciones de bombeo Farval, las cuales se componen de diferentes equipos, entre estos se encuentran los inyectores serie DM-53 y 54, los cuales son los encargados de inyectar determinada cantidad de aceite a los diferentes puntos de lubricación en la chumacera, y que en frecuentes ocasiones son regulados por el personal operativo sin previa evaluación del valor de la temperatura.
6. En el tándem “A” se tienen tres diseños diferentes, para las chumaceras de las mazas superiores, siendo el diseño, con la estructura completa de bronce, la de mejor comportamiento durante el monitoreo a estas chumaceras.
7. El consumo del aceite lubricante es directamente proporcional al intervalo de tiempo en la programación de las estaciones de bombeo y a la inyección por medio de una bomba manual, siendo esta última la que no tiene ningún tipo de regulación en la inyección de aceite, teniendo como consecuencia que el operador aplique, sin control aceite por medio de este método, afectando la duración de un tonel de aceite lubricante lo cual aumenta los costos por lubricación para el tándem.

## RECOMENDACIONES

1. Optimizar el sistema de lubricación de chumaceras con las siguientes acciones: capacitar al personal, estandarizar procedimientos, eliminar procedimientos innecesarios o inadecuados, informar al personal de la importancia del sistema y de las consecuencias de no realizar debidamente los diferentes procedimientos necesarios.
2. Establecer el rango de operación propuesto, con el objetivo de estandarizar procedimientos según la temperatura de la chumacera, orientando al personal operativo en la realización de procedimientos que permitan mantener el valor de la temperatura de la chumacera en un valor ideal o aceptable.
3. Emplear chumaceras con estructura completa de bronce, sustituyendo el resto de chumaceras superiores del tándem "A", ya que el diseño presentó un buen comportamiento de operación, según los valores de temperatura registrados así como en los resultados de la aplicación de termografía en estos diseños.
4. Brindar la importancia debida al comportamiento y funcionamiento del equipo que compone el sistema, y hace posible la lubricación de las chumaceras, ya que actualmente se realizan en su mayoría acciones correctivas y no se busca estandarizar acciones preventivas que permitan un mejor funcionamiento del sistema.

5. Controlar la inyección de aceite por medio de una bomba manual, para optimizar la duración de un tonel de aceite, reduciendo los costos actuales por la lubricación de chumaceras en el tándem “A” en el Ingenio Magdalena, utilizando la inyección manual, única y exclusivamente cuando esta fuera necesaria.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CORONADO, John; RIVAS, Sandro; LEÓN, Adolfo. *Estudio tribológico en chumaceras y ejes de molino de caña de azúcar*. Medellín. Ingenio Manuelita S. A., 2004. 8 p.
2. GARCÍA, Antonio; LINARES, J; MONTIEL, Arias. *Investigación numérica de las condiciones de lubricación en chumaceras hidrodinámicas con el efecto del desalineamiento del eje*. Ingeniería investigación y tecnología. 2012. 98 p.
3. HUGOT, E. *Manual para ingenieros azucareros*. 2a ed. México: Continental S. A., 1986. 803 p.
4. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Verlag Dr. Albert Bartens KG. 3a ed. Berlin: 2012. 796 p.
5. RODRÍGUEZ, Sara; CORONADO, John; VÉLEZ Carlos. *Análisis comparativo de chumaceras de eje de maza superior de molino de caña de azúcar*. Colombia: TECNURA Ingenio Manuelita S. A., 2004. 39 p.
6. Universidad de navarra, *introducción a la lubricación* [en línea]. <http://www.unav.es/adi/UserFiles/File/4000005038/cap1Introduccion%20a%20la%20lubricacion.pdf> [Consulta: 28 de noviembre de 2013].

