



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

**ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE  
PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS  
CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE  
MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**

**José Javier Morales Pellecer**

Asesorado por el Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes

Guatemala, noviembre de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE  
PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS  
CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE  
MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ JAVIER MORALES PELLECCER**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSUE IXPATA REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento de Serrano
EXAMINADOR	Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 28 de abril de 2022.



**José Javier Morales Pellecer**

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 30 de julio de 2024.  
REF.EPS.DOC.296.07.2024.

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **José Javier Morales Pellecer, Registro Académico No. 201700483** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL 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. Edwin Josue Ixpata Reyes  
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS  
Unidad de Práctica de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería

Área de Ingeniería Mecánica Industrial

EJIR/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 30 de julio de 2024.  
REF.EPS.DOC.296.07.2024.

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **José Javier Morales Pellecer, Registro Académico No. 201700483** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL 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. Edwin Josue Ixpata Reyes  
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS  
Unidad de Práctica de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería

Área de Ingeniería Mecánica Industrial

EJIR/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 30 de julio de 2024.  
REF.EPS.D.265.07.2024

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

Estimado Ingeniero Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **José Javier Morales Pellecer** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes.

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. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS



OAH /ra



ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.056.024

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**, presentado por el estudiante universitario **José Javier Morales Pellecer**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2024.

/mgp



ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

SIST.LNG.DIRECTOR.75.EMI.2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DEL INGENIO MAGDALENA SA**, presentado por: **Jose Javier Morales Pellecer**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ingeniero Cesar Ernesto Urquizu Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS DE PREPARACIÓN DE CAÑA TÁNDEM C EN EL DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**, presentado por: **Jose Javier Morales Pellecer** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, noviembre de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 690 CUI: 3055910610301

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por bendecirme con el don de la vida e iluminarme en cada momento. Por cada bendición en el camino que me permitió llegar hasta este momento.
- Mi madre** Marta Leonor Pellecer Montiel, por todos los sacrificios realizados para brindarme una mejor vida. Por todo el apoyo y amor en cada etapa de mi vida. Por cada regaño que me ha formado.
- Mi padre** Francisco Javier Morales González (q. e. p. d.) por todo el apoyo, cariño y tantas enseñanzas sobre la vida. Por cada consejo brindado y por nunca abandonarme en mi camino.
- Mis hermanos** Juan Pablo y Carmen Cristina, por enseñarme el trabajo en equipo, por brindarme tantos momentos de alegría, así como momentos de enseñanza. Los amo más que a nadie.
- Mi tía** Silvia Beatriz Pellecer Montiel, por todo su amor y cariño durante toda mi vida. Por ser una segunda madre.

**Mis abuelos**

Arturo Pellecer y Carmen Montiel (q. e. p. d.), por su amor en cada etapa de mi vida, todas sus enseñanzas recibidas y por formarme como en persona.

**Mis tíos**

Fernando y Sergio Pellecer; Edwin Morales, por cada momento compartido.

**Mis primos**

Por cada experiencia compartida y cariño.

**Mis amigos**

Dennis Alvarez, Miguel Vega y José Abril por haberme brindado su cariño y apoyo en todos los momentos de mi carrera. Por su motivación ante las dificultades.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios, dándome la valiosa oportunidad de formarme profesionalmente,
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por forjarme académicamente y ayudarme a crecer como persona. Por todo lo aprendido y vivido.
<b>Mi madre</b>	Por todo el apoyo y amor incondicional durante toda mi formación universitaria.
<b>Personal docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial</b>	Por haber transmitido sus conocimientos y compartido sus experiencias.
<b>Javier González Argueta</b>	Por todo el apoyo y cariño a mi familia, por compartir conmigo los buenos y malos momentos. Gracias por tu amistad.
<b>Mis amigos</b>	Por ser parte esencial de mi vida, y cada momento vivido.
<b>Ingenio Magdalena S.A.</b>	Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado y crecimiento profesional.

**Ing. Luis Nájera**

Por darme la oportunidad de realizar mi EPS, el conocimiento y los momentos compartidos.

**Ing. Minor Fernández**

Por el apoyo y enseñanza para el desarrollo del programa EPS y en especial la amistad formada durante este tiempo.

**Departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial**

Ings. Erick Vela, Josué Veliz y Pablo de León por permitirme ser parte de un grupo extraordinario de personas, su colaboración con el programa EPS y sobre todo la amistad y tiempo compartido.

**Ing. Julio Morales**

Por ser el vínculo que me permitió realizar el EPS en el Ingenio.

**Mi asesor**

Ing. Edwin Ixpatá, por sus enseñanzas, colaboración y apoyo en el desarrollo del programa EPS.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN .....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	1
1.1. Ingenio Magdalena S.A. ....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Personal .....	3
1.4. Ubicación.....	3
1.5. Productos .....	4
1.6. Proceso de producción .....	5
1.6.1. Caña de azúcar .....	5
1.6.1.1. Siembra .....	5
1.6.1.2. Plantación.....	6
1.6.1.3. Cosecha .....	6
1.6.1.3.1. Quema.....	6
1.6.1.3.2. Corte manual.....	6
1.6.1.3.3. Corte mecanizado .....	6
1.6.1.3.4. Transporte de caña .....	7
1.6.2. Azúcar .....	7
1.6.2.1. Recepción.....	7
1.6.2.2. Molienda .....	7

	1.6.2.3.	Clarificación.....	8
	1.6.2.4.	Evaporación .....	8
	1.6.2.5.	Cristalización .....	9
	1.6.2.6.	Separación .....	9
	1.6.2.7.	Refinación .....	9
	1.6.2.8.	Secado .....	9
	1.6.2.9.	Envasado .....	10
1.6.3.		Alcohol.....	10
	1.6.3.1.	Fermentación .....	10
	1.6.3.2.	Destilación.....	11
	1.6.3.3.	Almacenaje.....	11
1.6.4.		Energía eléctrica .....	11
	1.6.4.1.	Transformación .....	12
	1.6.4.2.	Distribución.....	12
1.7.		Plan estratégico .....	12
	1.7.1.	Misión.....	13
	1.7.2.	Visión.....	13
	1.7.3.	Principios.....	13
	1.7.4.	Valores .....	13
1.8.		Políticas del ingenio .....	14
	1.8.1.	Gestión.....	14
	1.8.2.	Seguridad y salud ocupacional.....	15
	1.8.3.	Inocuidad.....	16
	1.8.4.	Calidad .....	17
	1.8.5.	Gestión Ambiental.....	18
1.9.		Organigrama del departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial .....	19
	1.9.1.	Descripción de Puestos.....	20

2.	ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO (FASE DE SERVICIO TÉCNICO-PROFESIONAL) .....	23
2.1.	Mantenimiento .....	23
2.1.1.	Definición de mantenimiento predictivo .....	24
2.1.1.1.	Ventajas del mantenimiento predictivo en la Industria azucarera .....	26
2.1.2.	Ensayos no destructivos .....	26
2.1.3.	Técnicas de aplicación de ensayos no destructivos .....	28
2.1.3.1.	Inspección visual .....	29
2.1.3.1.1.	Equipo .....	29
2.1.3.1.2.	Hoja de registro .....	31
2.1.3.2.	Líquidos penetrantes .....	32
2.1.3.2.1.	Equipo .....	32
2.1.3.2.2.	Hoja de registro .....	34
2.1.3.3.	Partículas magnéticas .....	35
2.1.3.3.1.	Equipo .....	35
2.1.3.3.2.	Hoja de registro .....	37
2.1.3.4.	Ultrasonido.....	38
2.1.3.4.1.	Equipo .....	38
2.1.3.4.2.	Hoja de registro .....	40
2.1.3.5.	Análisis de vibraciones .....	41
2.1.3.5.1.	Equipo .....	41
2.1.3.5.2.	Hoja de registro .....	43
2.1.3.6.	Inspección de radiografía .....	44
2.1.3.6.1.	Equipo .....	44
2.1.3.6.2.	Hoja de registro .....	46
2.1.4.	Normas internacionales .....	47

	2.1.4.1.	SNT-TC-1A.....	47
	2.1.4.2.	ISO 18436 .....	48
	2.1.4.3.	ISO 1925:2001 .....	48
	2.1.4.4.	ASTM E543.....	49
	2.1.5.	Procedimiento de mantenimiento predictivo.....	49
	2.1.6.	Ruta de medición de equipos .....	51
2.2.		Estado actual .....	51
	2.2.1.	Descripción del área.....	52
	2.2.2.	Diagnostico.....	54
	2.2.3.	Descripción de equipo .....	59
	2.2.3.1.	Conductor de tablillas .....	59
	2.2.3.2.	Picadora .....	61
	2.2.3.3.	Desfibradora.....	62
	2.2.4.	Programación de mantenimiento predictivo .....	64
	2.2.5.	Procedimientos de mantenimiento predictivo .....	65
2.3.		Estado propuesto .....	66
	2.3.1.	Lineamientos del plan .....	66
	2.3.1.1.	Objetivo general .....	66
	2.3.1.2.	Objetivos específicos .....	67
	2.3.1.3.	Metas.....	67
	2.3.1.4.	Actividades .....	67
	2.3.1.5.	Estrategias de trabajo .....	68
	2.3.1.6.	Plazo de ejecución .....	68
	2.3.2.	Programación de mantenimiento predictivo .....	69
	2.3.2.1.	Zafra.....	69
	2.3.2.2.	Reparación .....	71
	2.3.3.	Procedimientos de mantenimiento predictivo .....	72
	2.3.3.1.	Procedimiento para el registro de ensayos no destructivos .....	72

2.3.4.	Registro de trabajo realizado .....	76
2.3.5.	Descripción de actividades de mantenimiento, recurso humano y hojas de programación y verificación .....	78
2.3.5.1.	Conductor de tablillas .....	79
2.3.5.1.1.	Actividades de mantenimiento .....	79
2.3.5.1.2.	Recurso humano .....	85
2.3.5.1.3.	Hoja de programación de mantenimiento .....	86
2.3.5.1.4.	Hoja de verificación .....	88
2.3.5.2.	Picadora .....	90
2.3.5.2.1.	Actividades de mantenimiento .....	90
2.3.5.2.2.	Recurso humano .....	92
2.3.5.2.3.	Hoja de programación de mantenimiento .....	93
2.3.5.2.4.	Hoja de verificación .....	95
2.3.5.3.	Desfibradora .....	97
2.3.5.3.1.	Actividades de mantenimiento .....	97
2.3.5.3.2.	Recurso humano .....	102
2.3.5.3.3.	Hoja de programación de mantenimiento .....	103
2.3.5.3.4.	Hoja de verificación ....	105
2.3.6.	Insumos, herramientas y materiales .....	107
2.3.6.1.	Soldadura .....	107
2.3.6.2.	Lubricantes .....	108
2.3.6.3.	Herramientas .....	110

3.	GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS (FASE DE INVESTIGACIÓN).....	113
3.1.	Inventarios.....	113
3.1.1.	Tipos .....	113
3.1.2.	Funciones de los inventarios .....	114
3.1.3.	Clasificación de inventarios .....	114
3.1.3.1.	Análisis ABC.....	115
3.1.3.2.	Metodología PEPS .....	116
3.1.4.	Control de inventarios .....	117
3.1.4.1.	Métodos computarizados .....	118
3.1.4.1.1.	Microsoft Excel.....	118
3.1.4.1.2.	SAP PM.....	119
3.1.4.1.3.	Capacitación .....	123
3.1.5.	Clasificación de zonas de almacenaje .....	123
3.1.5.1.	Zona de recepción y control .....	123
3.1.5.2.	Zona de preparación .....	124
3.1.5.3.	Zona de salida y verificación .....	124
3.2.	Definición de equipos críticos.....	125
3.2.1.	Clasificación de equipos críticos .....	125
3.3.	Planificación .....	126
3.3.1.	Situación actual .....	126
3.3.1.1.	Diagrama de Pareto .....	127
3.3.2.	Presupuesto .....	128
3.3.3.	Solicitudes .....	130
3.3.4.	Órdenes de trabajo.....	130
3.4.	Organización .....	131
3.4.1.	Organigrama .....	132
3.4.2.	Tareas .....	133
3.5.	Ejecución.....	135

	3.5.1.	Objetivo .....	135
	3.5.2.	Estrategia.....	135
	3.5.3.	Plan de contingencia .....	136
	3.5.4.	Riesgos.....	137
	3.5.5.	Evaluación de riesgos.....	137
	3.5.6.	Medidas .....	138
	3.5.7.	Divulgación .....	139
	3.5.8.	Supervisión.....	139
3.6.		Controles .....	139
	3.6.1.	Objetivos.....	140
	3.6.2.	Estrategias.....	140
	3.6.3.	Alcance .....	141
	3.6.4.	Evaluación cíclica .....	141
	3.6.5.	Resultados.....	142
3.7.		Seguimiento y mejora continua .....	143
	3.7.1.	Evaluación .....	144
		3.7.1.1. Evaluación de trabajo .....	145
		3.7.1.1.1. Evaluación del operario .....	147
		3.7.1.2. Inspección de almacenamiento .....	147
		3.7.1.3. Inspección de inventario .....	148
4.		CAPACITACIÓN AL PERSONAL (FASE DOCENCIA) .....	151
	4.1.	Importancia de la implementación del mantenimiento predictivo en la industria azucarera .....	151
	4.2.	Programación de actividades .....	152
	4.3.	Evaluación de capacitaciones .....	153
	4.4.	Capacitación.....	155
		4.4.1. Dinámicas.....	155

4.4.2.	Evaluación.....	157
4.5.	Resultados .....	158
CONCLUSIONES.....		161
RECOMENDACIONES .....		163
REFERENCIAS .....		165
APÉNDICES.....		167

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación del Ingenio .....	4
<b>Figura 2.</b>	Política de gestión .....	15
<b>Figura 3.</b>	Política de seguridad y salud ocupacional.....	16
<b>Figura 4.</b>	Política de inocuidad .....	17
<b>Figura 5.</b>	Política de gestión ambiental.....	18
<b>Figura 6.</b>	Organigrama del Departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial .....	19
<b>Figura 7.</b>	Curva P-F .....	25
<b>Figura 8.</b>	Inspección visual .....	30
<b>Figura 9.</b>	Hoja de registro y control para inspección visual.....	31
<b>Figura 10.</b>	Líquidos penetrantes .....	33
<b>Figura 11.</b>	Hoja de registro y control para líquidos penetrantes .....	34
<b>Figura 12.</b>	Partículas magnéticas .....	36
<b>Figura 13.</b>	Hoja de registro y control para partículas magnéticas.....	37
<b>Figura 14.</b>	Ultrasonido .....	39
<b>Figura 15.</b>	Hoja de registro y control para ultrasonido .....	40
<b>Figura 16.</b>	Análisis de vibraciones .....	42
<b>Figura 17.</b>	Hoja de registro y control para análisis de vibraciones.....	43
<b>Figura 18.</b>	Radiografía .....	45
<b>Figura 19.</b>	Hoja de registro y control para radiografía .....	46
<b>Figura 20.</b>	Flujo de mantenimiento predictivo .....	50
<b>Figura 21.</b>	Ruta de medición de equipos .....	51
<b>Figura 22.</b>	Diagrama Ishikawa sobre estado actual.....	55

<b>Figura 23.</b>	Conductor de tablillas.....	60
<b>Figura 24.</b>	Picadora.....	62
<b>Figura 25.</b>	Desfibradora.....	63
<b>Figura 26.</b>	Lectura de análisis de vibraciones .....	70
<b>Figura 27.</b>	Procedimiento para el registro de ensayos no destructivos ...	73
<b>Figura 28.</b>	Ejemplo de formato para detallar trabajo realizado .....	76
<b>Figura 29.</b>	Informe de turno.....	77
<b>Figura 30.</b>	Tablilla de arrastre .....	81
<b>Figura 31.</b>	Hoja de programación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas .....	87
<b>Figura 32.</b>	Hoja de verificación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas .....	89
<b>Figura 33.</b>	Set de cuchillas .....	91
<b>Figura 34.</b>	Hoja de programación de mantenimiento predictivo de la picadora .....	94
<b>Figura 35.</b>	Hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la picadora .....	96
<b>Figura 36.</b>	Set de martillos .....	99
<b>Figura 37.</b>	Rodo Alimentador .....	101
<b>Figura 38.</b>	Hoja de programación de mantenimiento predictivo de la desfibradora.....	104
<b>Figura 39.</b>	Hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la desfibradora.....	106
<b>Figura 40.</b>	Transacción MMBE - Stock de materiales .....	120
<b>Figura 41.</b>	Transacción MB90 - Ingreso de material .....	120
<b>Figura 42.</b>	Transacción MB51 - Movimientos de materiales.....	121
<b>Figura 43.</b>	Transacción ME51N - Solicitudes de materiales.....	121
<b>Figura 44.</b>	Transacción ME2N – Orden de compra para trabajo.....	122
<b>Figura 45.</b>	Transacción IW31 – Referencia utilización de materiales ....	122

<b>Figura 46.</b>	Recurrencia de problemas en gestión de inventario.....	128
<b>Figura 47.</b>	Mapa conceptual de interrelación para la gestión de repuestos críticos .....	133
<b>Figura 48.</b>	Inspección de almacenamiento .....	148
<b>Figura 49.</b>	Criterios de evaluación de charlas.....	157
<b>Figura 50.</b>	Resultados de evaluaciones.....	158
<b>Figura 51.</b>	Capacitaciones.....	159

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Parámetros indicadores y técnicas utilizadas en equipos rotativos .....	27
<b>Tabla 2.</b>	Parámetros indicadores y técnicas utilizadas en equipos estáticos .....	28
<b>Tabla 3.</b>	Análisis de las causas del diagrama de Ishikawa.....	57
<b>Tabla 4.</b>	Clasificación de materiales según análisis ABC.....	116
<b>Tabla 5.</b>	Determinación de criticidad para equipos.....	126
<b>Tabla 6.</b>	Modelo de Presupuesto.....	129
<b>Tabla 7.</b>	Tareas de involucrados en la gestión de inventario.....	134
<b>Tabla 8.</b>	Evaluación de riesgos a estrategia de gestión de inventario	137
<b>Tabla 9.</b>	Comparativo de gastos con propuesta de gestión.....	143
<b>Tabla 10.</b>	Evaluación de trabajos realizados .....	146
<b>Tabla 11.</b>	Programación de capacitaciones.....	153
<b>Tabla 12.</b>	Brechas de conocimiento .....	154
<b>Tabla 13.</b>	Temas para capacitaciones.....	156



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
@	Arrobas
°C	Grados Celsius
h	Hora
hp	<i>Horsepower</i> o caballo de fuerza
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
psi	Libra por pulgada cuadrada
lts	Litros
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora
%	Porcentaje
”	Pulgada
in <sup>2</sup>	Pulgada cuadrada
qq	Quintal
rpm	Revoluciones por minuto
ton	Toneladas
TM	Tonelada metrica



## GLOSARIO

<b>Almacenamiento</b>	Es el espacio físico donde se tiene administración y control de materiales, y preparación de reparto a los destinatarios finales.
<b>Bagazo</b>	Residuo de la caña que sale en molienda luego de la extracción de jugo.
<b>Critico</b>	Indicador proporcional sobre la jerarquía o prioridades de equipos durante el proceso para una toma de decisiones dirigida a lo importante.
<b>Desfibradora</b>	Equipo ubicado en la preparación de caña, encargada de volver fibra los trozos de caña.
<b>END</b>	Abreviatura para ensayos no destructivos, Es una prueba de estudio a cualquier material que no cambie sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.
<b>Gestión</b>	Pasos de operaciones para dirigir, planificar, administrar y controlar bienes, insumos, o materiales.
<b>ISO</b>	Abreviatura para la asociación inglesa “International Organization for Standardization” ‘Organización Internacional de Estandarización’ en español.

<b>Inventario</b>	Documentación donde detalla de forma ordenada y valorada todos los bienes que posee la empresa.
<b>Maceración</b>	Es un proceso de extracción de un producto en estado sólido al sumergirlo en un líquido por un tiempo determinado.
<b>Mantenimiento</b>	Acciones realizadas periódicamente con el fin de conservar el estado de un equipo y evitar su degradación.
<b>Mantto. Predictivo</b>	Técnica de mantenimiento sobre análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento, de modo que pueda solucionarse antes del fallo.
<b>Maza</b>	Eje dentado de hierro fundido que comprime el bagazo y extra el jugo de la caña de azúcar.
<b>Pol de azúcar</b>	Contenido de sacarosa en el jugo.
<b>Refinado</b>	Purificación de azúcar empleando métodos físicos y químicos, generalmente incluye los procesos como clarificación, filtración, decolorización y recristalización.
<b>Repuestos</b>	Pieza o mecanismo que es igual a las que se encuentran en operación y pueden ser sustituidas en caso de necesidad.

<b>Tándem</b>	Conjunto de molinos ordenados en serie para obtener la extracción de jugo.
<b>Termografía</b>	Técnica de ensayo no destructivo que permite registrar gráficamente las temperaturas de distintas zonas de los equipos.
<b>Trash</b>	Desecho de la caña de azúcar dividido en mineral y vegetal que se desecha en el proceso de preparación de caña.
<b>Troceadora</b>	Equipo ubicado en la preparación de caña, encargada de volver en trozos de caña la caña larga en preparación de caña.
<b>Ultrasonido</b>	Técnica de ensayo no destructivo que permite determinar vibraciones mecánicas de frecuencias superiores a las que percibe el oído.
<b>Zafra</b>	Época del año que abarca generalmente de noviembre a mayo, en la cual se lleva a cabo la fabricación de azúcar.



## **RESUMEN**

El trabajo de graduación consta de una propuesta para plan de mantenimiento predictivo y gestión de repuestos críticos para el área de preparación de caña del tándem C en el Ingenio Magdalena S.A. utilizando y ejecutando herramientas de ingeniería mecánica industrial.

La base del trabajo es la propuesta del plan de mantenimiento predictivo a base del análisis y estructuración de ensayos no destructivos que formara parte de la fase de servicio técnico – profesional en el departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial. Se realiza un diagnóstico de su estado actual, descripción del recurso humano y actividades de mantenimiento por cada componente de la línea de preparación. Esto sostendrá teóricamente el diseño de las hojas de programación y verificación del mantenimiento predictivo.

En cuanto la fase de investigación se realizó la gestión de inventario de repuestos críticos, evaluando los distintos pasos de un proceso administrativo y tomando en cuenta los principales inconvenientes registrados en preparación de caña. Se define la criticidad de los repuestos con un análisis de la herramienta diagrama de Pareto de históricos de la línea, aplicando otras herramientas administrativas y estadísticas de calidad para poder detectar los principales inconvenientes.

Por último, en la fase de docencia se dará capacitación e instrucción al personal encargado del área de mantenimiento predictivo, acerca de los procesos y herramientas propuestas para garantizar el funcionamiento y estado del departamento.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar propuesta de plan de mantenimiento predictivo y gestionar el control de inventario para el área de preparación de caña del Tándem C en el departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial en el Ingenio Magdalena S.A.

### **Específicos**

1. Analizar proceso de línea de preparación de caña Tándem C, para determinar condiciones de operación y puntos críticos.
2. Verificar planificación y programación de las tareas de ensayos no destructivos para evitar condiciones de riesgo a la operación continua y tiempos perdidos.
3. Realizar análisis de operaciones y consumos de repuestos durante mantenimiento para una asertiva planificación de inventario.
4. Validar parámetros de operación en preparación de caña del Tándem C, para diseñar guía de operadores en mantenimiento predictivo.
5. Realizar registros y controles de los ensayos no destructivos para seguimiento de cronograma de mantenimiento.

6. Diseñar programa y rutas de medición para verificar registros de las actividades y equipos que componen la preparación de caña del Tándem C.
7. Corregir debilidades en planificación, gestión y control de inventario para reducir costos y tiempos perdidos por repuestos.
8. Elaborar programa de capacitación continua junto a departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial para mejorar capacidades de operarios del área.

## INTRODUCCIÓN

El fin de la ingeniería es la optimización de recursos y personal, así como la búsqueda de la mejor continua en todos los sistemas. Dentro de los ingenios azucareros existe una inmensidad de posibilidades para aplicar centenares de herramientas de ingeniería, y principalmente en Guatemala, estas industrias son las que se mantienen actualizando continuamente sus procesos, mantenimientos y administración de recursos.

En el presente trabajo de graduación se implementa y aplican distintas herramientas de ingeniería que buscan un mejor control y registro de actividades que resulten en la mejora continua que intención el Ingenio Magdalena, específicamente en el departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial, el cual es el responsable de la preparación de caña y extracción de jugo, cuyos procesos alimentan la fabricación de azúcar y con el bagazo se crea el biocombustible para la combustión de calderas, por lo cual es la fase con mayor importancia dentro del proceso de azúcar.

Con el desarrollo de estas herramientas para el diseño del plan de mantenimiento predictivo, se espera todas las actividades de mantenimiento sean más fáciles para los operarios encargados del área, dejando una base para implementar un sistema de gestión empresarial. Este mantenimiento predictivo se diseñó con base a experiencia y conocimiento de coordinadores y supervisores del departamento, así como el personal del área de mantenimiento predictivo que está involucrada con los equipos y los distintos ensayos realizados. Complementando con una gestión de inventario de los repuestos de mayor criticidad de operaciones en preparación de caña.



# **1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

## **1.1. Ingenio Magdalena S.A.**

El Ingenio Magdalena S.A. es una empresa agroindustrial dedicada a la producción de azúcar, alcohol, energía eléctrica, biogás y demás derivados a partir de la caña de azúcar. Magdalena es uno de los ingenios más importantes de América Latina, teniendo una producción de 686,807 TM de azúcar durante la zafra 2021-2022.

El Ingenio Magdalena está estructurado por grandes áreas encargadas del funcionamiento de este los cuales son: área industrial, área administrativa, maquinaria, y campo. Dentro del área industrial existen los departamentos de; molienda y mantenimiento industrial, fábrica, refinería, cogeneración, envasado, destilería y producto terminado. El departamento de Moliendo y Mantenimiento Industrial está a cargo de recepción, preparación y extracción de caña.

## **1.2. Antecedentes**

Durante la década de los años cincuenta la familia Leal crea alianzas de negocios en torno a la agricultura y durante la década de los años setenta la familia Leal invierte en una participación en un ingenio nuevo junto a distintos grupos a formarse en la Finca Magdalena ubicada en el Rodeo, Escuintla. Para la zafra 83-84 se vende toda la participación accionaria y se adquiere el 100% de las acciones del Ingenio Magdalena, iniciando las bases de inversión y crecimiento de la empresa. El Ingenio cambia de ubicación a la Finca Bugarvilia en el municipio de La Democracia en Escuintla, generando 18 200 TM de azúcar.

En la zafra 90-91 se inicia el proyecto de Cogeneración de energía eléctrica que se complementa con la instalación de los molinos 5 y 6 de en su momento el Tándem A, adicionando también terceras mazas. Para la zafra 94-95 se sigue invirtiendo en la capacidad de generación y abastecimiento propio, y se firma un contrato de largo plazo con la Empresa Eléctrica de Guatemala. Se produjo 105 855 TM de azúcar.

Para la zafra 96-97 se adquiere un tándem nuevo de molinos y se construye un laboratorio para la producción de semillas de caña y selección de variedades. En la zafra 01-02 se inician los trabajos de destilería con la instalación de una planta de alcohol con capacidad de 120 000 litros diarios para iniciar la exportación un año después.

Para las siguientes zafras sigue creciendo la producción, adquiriendo un turbogenerador Condensing de 16,5 MW, con una cogeneración con bagazo de 53,5 MW. Además, se invierte en una nueva línea de transmisión eléctrica, así como la adquisición de 100 camiones de acarreo de caña como la instalación del tercer tándem de molinos y una planta de cogeneración de 30 MW.

Durante la zafra 10-11 se inicia la construcción de una nueva planta de generación eléctrica a base de biomasa y carbón con una capacidad de 60 MW y se inicia la construcción del domo para azúcar más grande de la región con una capacidad de 75 000 TM. Ya en tiempos más actuales durante la zafra 19-20 se implementó SAP, que consolida todas las operaciones e igualmente la automatización y gestión de la mayoría de las aplicaciones que se manejaban de maneras independientes.

Y en la actualidad, Magdalena cuenta con treinta y nueve zafras de estar en operaciones y más de 50 años de su existencia en la industria guatemalteca, innovando y con el propósito de seguir mejorando y creciendo.

### **1.3. Personal**

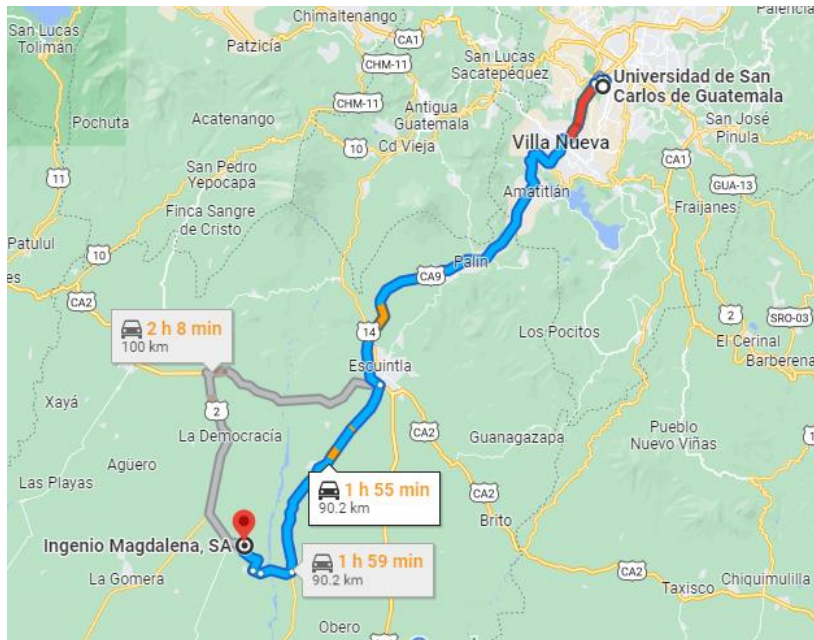
En el área industrial, se divide el personal en operativos y administrativos que durante la zafra en la cual se llevó el programa de EPS, el personal ascendía a la cantidad de 1 174 que laboran en toda la planta industrial. El personal en molienda y mantenimiento industrial se conforma de la siguiente manera:

- Personal administrativo: 20 personas
- Personal operativo: 98 personas

### **1.4. Ubicación**

El Ingenio Magdalena está ubicado en el interior de la Finca Buganvilla, ubicada en el kilómetro 99,5 carretera a Sipacate, municipio La Democracia, departamento de Escuintla, Guatemala.

**Figura 1.**  
*Ubicación del Ingenio*



*Nota.* Mapa con indicaciones de ruta para llegar al Ingenio Magdalena desde el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de Google Maps (2023). (maps.google.com), consultado el 21 de enero de 2023. De dominio público.

## **1.5. Productos**

Los tres productos principales desarrollados dentro de la planta industrial y con la caña de azúcar como materia prima, la cual gracias a su cultivo han crecido las actividades económicas en el sur del país. Dichos productos son:

- Azúcar: es el principal producto fabricado y el de mayor exportación debido a la alta demanda de este. Dentro del ingenio se procesan tres tipos de este producto: estándar, superior y refinada.

- Alcohol: la producción de alcoholes y gases tienen la melaza como materia prima. Dentro del área industrial, la destilería es el departamento encargado de la producción de alcohol y sus subproductos como gases que sirven para venta y creación de biogás utilizado en los transportes del ingenio.
- Energía eléctrica: la producción de energía eléctrica se encuentra a cargo del departamento de cogeneración, a través de la combustión de bagazo de la caña de azúcar y la producción de vapor de agua, transformando la energía térmica en energía eléctrica para el consumo interno, así como aporte a la red energética nacional.

## **1.6. Proceso de producción**

Los procesos considerados de alta prioridad son los relacionados a la caña de azúcar, azúcar, alcohol y energía eléctrica.

### **1.6.1. Caña de azúcar**

El proceso de la caña de azúcar es distinto dependiendo de la industria encargada, dentro del Ingenio Magdalena S.A. se lleva a cabo de la esta manera:

#### **1.6.1.1. Siembra**

Esta es realizada de forma manual dentro de las fincas que administra el ingenio. Se analizan y desarrollan las semillas dentro de las unidades de laboratorio del área industrial del ingenio.

### **1.6.1.2. Plantación**

Toda plantación de semillas concierne su administración y tratamientos al departamento de campo en todas las áreas designadas. Con un control de plagas de carácter preventivo con tratamientos térmicos y productos biológicos.

### **1.6.1.3. Cosecha**

Este proceso se lleva a cabo el periodo denominado zafra, la cual es la época seca del país generalmente abarcado desde noviembre hasta abril.

#### **1.6.1.3.1. Quema**

Es una actividad donde se provocan incendios controlados adrede para facilitar las labores de corte, evitando materiales no deseados en las jaulas de transporte de caña.

#### **1.6.1.3.2. Corte manual**

Es la forma de corte realizada por operarios de corte previamente facilitada por la actividad de quema, normalmente esta se realiza en áreas céntricas o cercanas a las vías de transporte

#### **1.6.1.3.3. Corte mecanizado**

Es la forma de corte realizada con maquinaria agrícola especializada que corte la caña en tallos más pequeños, le ventaja de esta es que, en el mismo proceso de corte, la jaula cañera está siendo llenada e involucra menos personal y reduce tiempos de corte, sin embargo, este corte no se puede realizar en áreas

rocosas o con pendientes pronunciadas. Normalmente en este corte no hubo actividad de quema anterior.

#### **1.6.1.3.4. Transporte de caña**

Se moviliza la caña desde dos hasta cinco jaulas cañeras dependiendo de la disposición y programa por ubicaciones, distancias, carreteras y condiciones donde se lleva a cabo el corte.

### **1.6.2. Azúcar**

Es un proceso químico bastante complejo que comprende de distintos subprocesos para obtener los resultados deseados.

#### **1.6.2.1. Recepción**

Los camiones cañeros con cuatro a cinco jaulas realizan el pesaje en basculas, para tener el estimado de caña molida por hora. Al pasar el pesaje se descargan sobre las mesas de caña por medio de viradores hidráulicos. Se realiza la limpieza en seco de la caña y pasa a la preparación de esta pasando por las fases de picadora, troceadora y desfibradora.

#### **1.6.2.2. Molienda**

Al tener la caña preparada en forma de fibra, pasan los tres tándems de molinos denominados A, B y C. El tándem A es el de menor capacidad a pesar de contar con seis molinos, pero debido a ser el primero instalado hay bastantes condicionantes para mejorar sus operaciones. Tanto el tándem B y C cuentan con cinco molinos cada uno y poseen una mayor capacidad de molienda. Cada

molino cuenta con cuatro mazas denominadas: superior, cañera, bagacera y cuarta maza.

Durante la molienda ocurre el proceso de maceración en donde los jugos de los últimos molinos regresan molino a molino para tener una extracción más eficiente. Después de este proceso de molienda se obtiene dos productos que son jugo de caña que puede ser cristal o crudo, y el bagazo que pasa a cogeneración como biocombustible.

### **1.6.2.3. Clarificación**

Seguido a molienda, los jugos llegan a calentadores que operan en un rango de temperaturas entre los 60 y 70 °C. Luego los jugos pasan a una torre de sulfatación que baja el pH para poder producir el conocido azúcar blanco. Se utiliza el azufre como decolorante y bachada de cal para neutralizar el jugo.

Después se realiza un calentamiento en tres etapas que son vegetal con temperaturas entre los 80 y 85 °C a 5 psi; vapor de 5 psi entre los 95 y 100 °C; y vapor de 10 psi para la rectificación del jugo. Posteriormente se alimenta el jugo a los clarificadores a baja velocidad para poder concentrar los lodos y extraerlos del jugo, dejando la última fase los coladores vibratorios con malla 110 *mesh* para eliminar el bagacillo remanente.

### **1.6.2.4. Evaporación**

Se realiza el tipo de quintuple efecto con evaporadores de clase Roberts. El vapor y el jugo se ubican en cámaras separadas y el jugo pasa de un evaporador a otro por medio de bombas de transferencia.

#### **1.6.2.5. Cristalización**

Es el proceso de crecimiento de la sacarosa y se realiza normalmente en tachos al vacío. Según su pureza el azúcar se clasifica en crudo y blanco. El proceso consta de introducir granos microscópicos de azúcar en el jugo, estos granos son llamados semillas. Es necesario conocer y llegar al punto exacto del cocimiento y así obtener una mejor calidad de producto.

#### **1.6.2.6. Separación**

Los cristales obtenidos durante la etapa de cristalización son separados de la miel por medio de equipos rotativos llamados centrifugas. La miel pasa por medio de telas mientras que los cristales son contenidos dentro de la misma malla y posteriormente son lavados con agua. La miel retorna a los tachos o pasa al proceso de destilación.

#### **1.6.2.7. Refinación**

Este proceso es completamente adicional para obtener azúcar con un mayor grado de finura, a través del reproceso del azúcar blanco estándar o azúcar crudo. En este proceso se disuelve el azúcar a 60 grados brix, luego se le adiciona carbón activado y tierra diatomácea. Esta solución se hace pasar por dos filtraciones en filtros verticales, hasta obtener un licor claro. El licor evaporado y empieza la cristalización de los granos.

#### **1.6.2.8. Secado**

En el proceso de centrifugado se utiliza agua de condensado para lavar el azúcar. Esto se logra en humedades que varían entre 0,3 y 0,6 %, que es

necesario pasar el azúcar por un proceso de secado para alcanzar niveles de 0,2 % para azúcar crudo y 0,03 % para azúcar blanco.

#### **1.6.2.9. Envasado**

El azúcar crudo que está disponible para exportación sale de la secadora a las bodegas de almacenamiento, y en estas bodegas se carga a granel en camiones que la transportan al puerto de embarque. El azúcar blanco estándar y refinado se envasa en sacos pequeños de 50 kilogramos y sacos jumbo de 1 400 kilogramos.

#### **1.6.3. Alcohol**

Dentro de la planta industrial se cuenta con la destilería que tiene capacidad para 450 000 litros diarios de alcohol etílico hidratado.

##### **1.6.3.1. Fermentación**

La melaza es la materia prima obtenida a partir de la producción del azúcar. Estas melazas contienen entre ochenta a ochenta y ocho grados brix y entre cuarenta y seis y sesenta grados de azúcares totales. Este proceso tiene su inicio en el laboratorio, donde se realiza un crecimiento de la levadura con quince litros de mosto. Esta mezcla pasa un día almacenada en condiciones ideales para alcanzar quince litros de levadura.

Esta levadura pasa al reactor uno y se continúa el proceso en otros tres reactores para aumentar su volumen. Cuando los semilleros alcanzan la capacidad de 80 %, se bombea su contenido hacia uno de los cuatro fermentadores, se agrega agua y melaza hasta alcanzar el 80 % de llenado y

quince grados brix. Pasadas treinta y dos a treinta y seis horas de fermentación se alcanza un alcohol al 8 %. Y por último pasa a un sedimentador de levadura donde se recupera hacia los semilleros para ser procesada en el siguiente fermentador.

#### **1.6.3.2. Destilación**

El mosto fermentado ingresa a la columna uno donde los vapores de esta columna pasan a la columna dos, donde los vapores se condensan y pasan a la columna tres donde se le agrega agua para dejar la temperatura entre 15 y 20 °C y así separar los aceites no deseables del alcohol. El alcohol libre de aceites se bombe hacia la columna cuatro donde se eleva el grado de licor. El alcohol obtenido se bombea a la columna cinco donde se separa el metanol para obtener alcohol extrafino.

#### **1.6.3.3. Almacenaje**

Se cuenta con seis tanques con capacidad de 150 000 litros cada uno donde se encuentra la producción diaria de la planta, este alcohol se despacha en pipas hacia la terminal del puerto, donde posteriormente se transporta a barcos para su exportación.

#### **1.6.4. Energía eléctrica**

La producción de energía eléctrica se realiza aprovechando la transformación de energía que resulta de la combustión de bagazo, carbón y chip con la producción de vapor de agua. La energía eléctrica se utiliza para satisfacer el consumo interno y el restante se distribuye para el consumo en la red eléctrica nacional.

#### **1.6.4.1. Transformación**

El bagazo de la caña de azúcar obtenido del proceso de molienda junto a carbón mineral, chip y rastrojo son el combustible de este proceso, se transportan por medio de bandas de hule hacia las calderas para producir vapor de agua. Este vapor tiene la mitad de agua y la otra es de fibras de caña.

El vapor seco y a alta presión en las calderas sirve para generar energía eléctrica por medio de turbogeneradores. No se utiliza toda la energía termina porque existe un residual de 20 psi que se utiliza en la fábrica para calentar y concentrar los jugos, mieles y masas en la fabricación de azúcar. El vapor producido en diez calderas del tipo acuatubular, que entregan el vapor a una serie de turbogeneradores que realizan la conversión de energía termina a mecánica y esta luego a eléctrica.

#### **1.6.4.2. Distribución**

La energía eléctrica interna es distribuida en tres líneas de 12,5 kW para el consumo del ingenio y todo el restante se eleva con un transformador a 69 kW, que es el voltaje comercial establecido por el administrador del mercado mayorista, y así interconectarse a la red nacional.

### **1.7. Plan estratégico**

Como cualquier otra industria grande, el Ingenio Magdalena S.A. como empresa se encuentra en constante desarrollo y actualización. Pero en la actualidad consta de lo siguiente.

### **1.7.1. Misión**

Producimos y transformamos la caña de azúcar de forma sostenible, desarrollando productos de valor agregado para mejorar la calidad de vida de las personas.

### **1.7.2. Visión**

Al 2026 seremos una empresa líder en costos y productividad a través de la innovación, crecimiento y la creación de valor sostenible, diversificando nuestros productos en distintos mercados.

### **1.7.3. Principios**

El Ingenio Magdalena se rige bajo los siguientes principios:

- Dios.
- Familia.
- Trabajo.
- Sociedad.

### **1.7.4. Valores**

Los valores dentro de la empresa comprenden:

- Honestidad.
- Humildad.
- Pasión por los logros.

## **1.8. Políticas del ingenio**

Para el servicio adecuado que la empresa propone ofrecer hay que regirse bajo varios lineamientos que garantizan la calidad de estos.

### **1.8.1. Gestión**

En Magdalena producimos y comercializamos energía y productos derivados de caña de azúcar, comprometidos a lograr la satisfacción de nuestras partes interesadas de forma sostenible a través de:

- Cumplimiento de las necesidades y expectativas.
- Desarrollo de una cultura de servicio.
- Mejora continua de nuestros procesos, capacidades humanas y tecnológicas con innovación, eficiencia y productividad.
- Mejora continua de nuestros procesos, capacidades humanas y tecnológicas con innovación, eficiencia y productividad.

Este compromiso es la base para lograr la rentabilidad y sostenibilidad del negocio.

## Figura 2.

### Política de gestión



*Nota.* Enfoques para la garantía de la política de gestión. Obtenido del Ingenio Magdalena S.A. (2022). *Política de gestión* (<https://www.imsa.com.gt/politicass/>), consultado el 21 de enero de 2023. De dominio público.

### 1.8.2. Seguridad y salud ocupacional

En Magdalena todos estamos comprometidos en asegurar un ambiente laboral sano y seguro, enfocado en la prevención de lesiones y enfermedades ocupacionales; a través de:

- Participación de los colaboradores.
- Cumplimiento de los requisitos legales aplicables.
- Cumplimiento del proceso de identificación de peligros, evaluación de los riesgos laborales y oportunidades de mejora como base para el establecimiento de medidas y programas de control.
- Cumplimiento de los compromisos para la satisfacción de las partes interesadas.
- La mejora continua en cada actividad para resguardar nuestros recursos y activos.

Involucrando a los colaboradores, contratistas y visitantes en nuestras actividades dentro de las instalaciones.

**Figura 3.**

*Política de seguridad y salud ocupacional*



*Nota.* Logo de seguridad y salud ocupacional. Obtenido del Ingenio Magdalena S.A. (2022). *Política de seguridad y salud ocupacional* (<https://www.imsa.com.gt/politicas/>), consultado el 21 de enero de 2023. De dominio público.

**1.8.3. Inocuidad**

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

#### **Figura 4.**

*Política de inocuidad*



*Nota.* Certificación del sistema de seguridad de alimentos ISO 22000. Obtenido del Ingenio Magdalena S.A. (2022). *Política de inocuidad* (<https://www.imsa.com.gt/politicas/>), consultado el 21 de enero de 2023. De dominio público.

#### **1.8.4. Calidad**

El Ingenio Magdalena S.A. garantiza la satisfacción del cliente a través de productos que cumplen los requisitos y expectativas acordadas, comprometidos con la mejora continua de sus procesos y el desarrollo integral de sus colaboradores.

### 1.8.5. Gestión Ambiental

Estamos comprometidos con el desarrollo sostenible, el uso racional y eficiente de los recursos naturales, la reducción del impacto de nuestras actividades garantizando la mejora continua y el cumplimiento de la legislación nacional. Lo anterior se logra a través de:

- Cumplimiento del régimen legal dentro de todas nuestras operaciones.
- Priorización de los aspectos ambientales significativos.
- Cumplimiento de indicadores ambientales a través de planes de monitoreo.

#### **Figura 5.**

*Política de gestión ambiental*



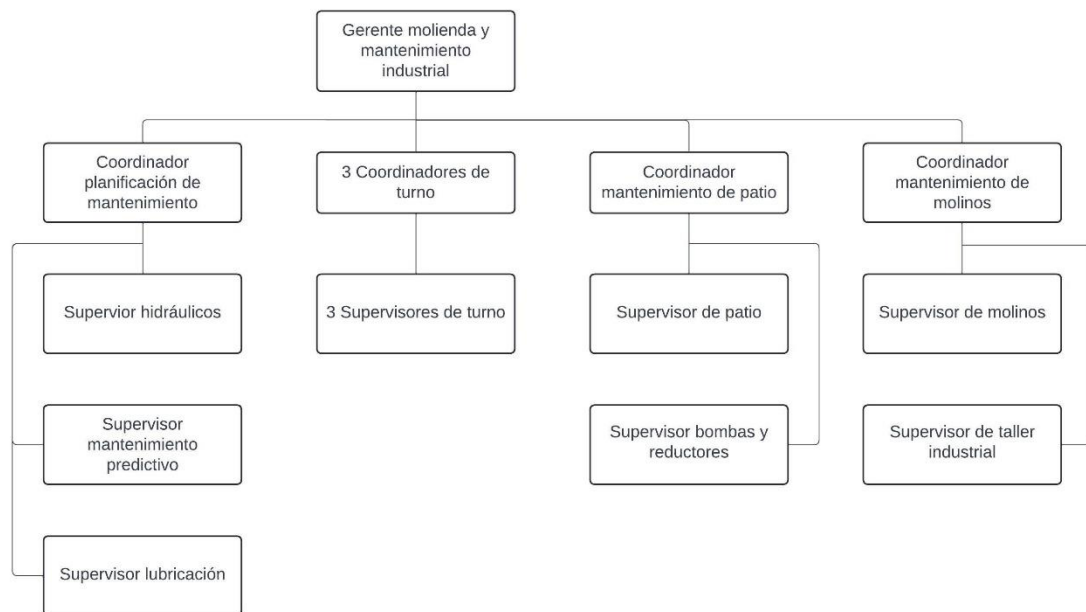
*Nota.* Logo de gestión ambiental. Obtenido del Ingenio Magdalena S.A. (2022). *Política de gestión ambiental* (<https://www.imsa.com.gt/politicas/>), consultado el 21 de enero de 2023. De dominio público.

## 1.9. Organigrama del departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial

El Departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial se distribuye de la siguiente manera, con los puestos de los encargados con tareas específicas.

**Figura 6.**

*Organigrama del Departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial*



*Nota.* Organigrama del Departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial. Elaboración propia, realizado con Lucidchart.

### **1.9.1. Descripción de puestos**

Se detalla a continuación brevemente la función y cargo de cada puesto dentro del departamento.

- Gerente Molienda y Mantenimiento Industrial: dirige el departamento delegando tareas y responsabilidades, supervisa todos los avances en reparación y todas las operaciones en zafra. Vela por el bienestar del departamento.
- Coordinador mantenimiento de molinos: es el encargado de supervisar y coordinar la realización de tareas y operaciones dentro del área de molinos, es decir, la extracción del jugo, así como la planificación de mantenimientos en dicha área.
- Supervisor mantenimiento de molinos: supervisan la realización de tareas y operaciones dentro del área de molinos, dan apoyo con su equipo de trabajo para tareas de mantenimiento correctivo.
- Supervisor taller industrial: planifica, supervisa y coordina la operación y mantenimiento del taller industrial, así como la fabricación de piezas mecánicas que se necesiten en los distintos procesos de la planta industrial.
- Coordinador mantenimiento de patio: es el encargado de supervisar y coordinar la realización de tareas y operaciones dentro del área de preparación de caña, así como la planificación de mantenimientos en dicha área.
- Supervisor mantenimiento de patio: supervisa la realización de tareas y operaciones dentro del área de preparación de caña, dan apoyo con su equipo de trabajo para tareas de mantenimiento correctivo.
- Coordinador planificación de mantenimiento: dirige y coordina las operaciones y actividades de las subáreas de lubricación, hidráulicos y mantenimiento

predictivo, está a cargo del control de molienda en toneladas molidas para proponer fechas de mantenimiento y mejoras.

- Supervisor mantenimiento predictivo: supervisa las rutas y programaciones de ensayos no destructivos en toda la planta industrial, cumpliendo con planificaciones de estado de equipos para la operación continua.
- Supervisor hidráulico: encargado de la operación y mantenimiento de todos los equipos hidráulicos de la planta industrial, planificando y supervisando las actividades de su equipo de trabajo.
- Supervisor lubricación: encargado del abastecimiento y operación continua de todo equipo que necesite lubricación, grasas y demás en toda el área industrial, así mismo planifica las filtraciones de aceites periódicas en los equipos.
- Coordinador de turno: coordina y supervisa las actividades de todo el departamento, manteniendo la operación siempre bajo los parámetros de producción y delega tareas al personal operario que tiene a cargo.
- Supervisor de turno: supervisa las actividades de todo el departamento en sus distintos turnos, es el que coordina todas las tareas correctivas que dan la continuidad en operaciones.



## **2. ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO (FASE DE SERVICIO TÉCNICO-PROFESIONAL)**

En la fase central del programa se plantea la propuesta por medio del mantenimiento predictivo la reorganización de los trabajos realizados para la preparación de caña del tándem C que opera bajo el departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial del Ingenio Magdalena S.A., con el fin de mejorar notoriamente la conservación del equipo, garantizando su funcionalidad.

### **2.1. Mantenimiento**

Un mantenimiento se puede definir como un seguimiento de actividades mediante las cuales un equipo en operaciones se mantiene o restablece a su estado óptimo del cual fue diseñado para cumplir sus funciones designadas. El mantenimiento no es aquel que encuentra las fallas de los equipos sino el que previene o corrige las mismas para maximizar la productividad, teniendo una eficiencia mayor y dar seguridad en los equipos que se encuentran en operaciones.

El personal de mantenimiento son los responsables de las tareas de conservación de dichos equipos, que su labor es que estas no fallen en el proceso que tienen designadas. El fin del mantenimiento no es únicamente conservar estados de equipos y prevenir fallas, sino que estos equipos den un retorno de su inversión.

Comúnmente las tres técnicas usadas para mantenimiento son:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento predictivo

### **2.1.1. Definición de mantenimiento predictivo**

Junto al Área de Mantenimiento Predictivo del Ingenio Magdalena S.A., se concluyó que el mantenimiento predictivo es la técnica utilizada para pronosticar el estado futuro de los equipos, teniendo el punto de fractura o rotura de cualquier componente de los equipos, con el propósito de reemplazar dicho componente antes de que falle para evitar tiempos perdidos y dándole al equipo una vida útil más larga.

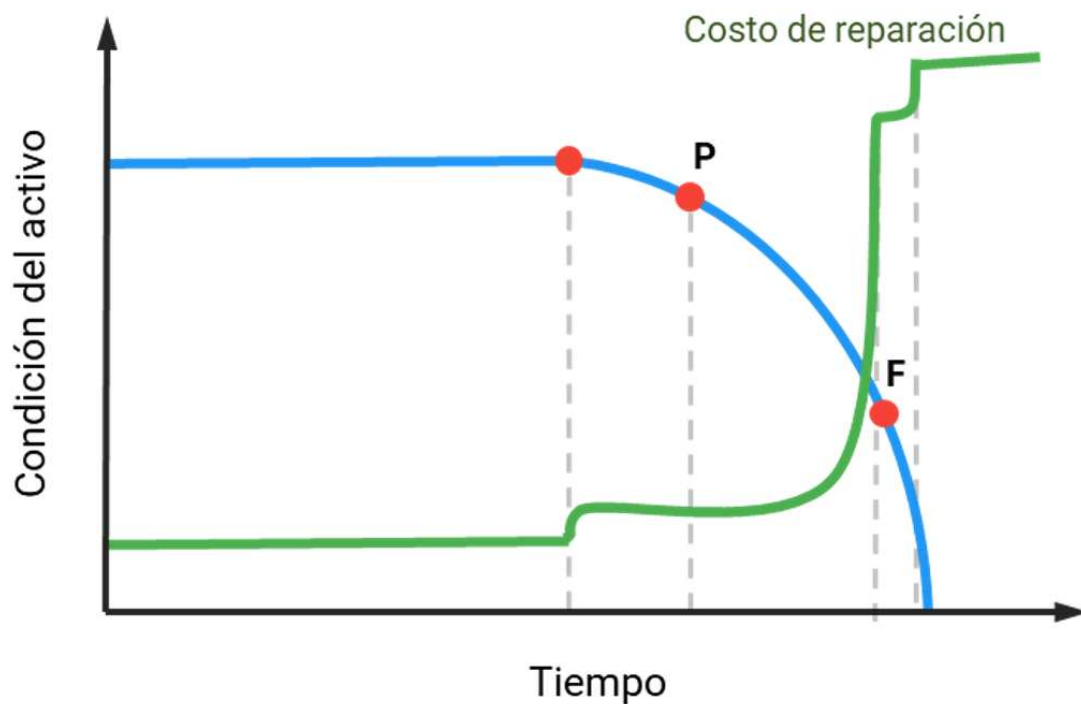
Estas predicciones de fallas se pueden detectar a través de señales que emiten los equipos al exterior por medio de ensayos no destructivos y equipos de diagnóstico de alta tecnología. Mayormente se aplican a equipos críticos donde se espera el monitoreo sea confiable y económico, sin embargo, es importante resaltar que debido a las tareas que realizan dichos equipos, las fallas y desgaste son algo inevitables, sin embargo, con el mantenimiento predictivo se espera poder actuar en el momento oportuno y evitar la mayor cantidad de fallos como tiempo perdido.

A continuación, en la figura 7 se muestra la curva P-F comparada con el costo de reparación de los equipos, esta demuestra como empieza y prosigue el deterioro de los equipos desde el punto que puede ser detectado el fallo que se denomina punto P hasta el punto de fallo funcional denominada punto F o en el peor de los casos queda inutilizado el equipo, si no se tomaron las medidas

oportunas de mantenimiento. Y este se refleja en el alza de costos de reparaciones del equipo conforme pasa el tiempo sin actuar.

**Figura 7.**

*Curva P-F*



*Nota.* Curva P-F. Obtenido de Power-MI. (2020). *La curva P-F* (<https://power-mi.com/es/content/la-curva-p-f>), consultado el 22 de enero de 2023. De dominio público.

La implementación de un mantenimiento predictivo está regida en modo general, pero en su mayoría de casos, de la siguiente manera:

- Determinar los equipos críticos de operación.
- Determinar los ensayos no destructivos adecuados.

- Capacitar al personal.
- Crear rutas de verificación del estado de equipos.
- Medición de los indicadores y promover mejoras según resultados.
- Seguimiento y control de los procesos.

#### **2.1.1.1. Ventajas del mantenimiento predictivo en la Industria azucarera**

Un costo no programado en la industria representa un costo elevado que hay una reducción de producción, así como pérdida de tiempo para operación, si se trabaja con un mantenimiento predictivo y el departamento a cargo le da seguimiento todos estos inconvenientes se pueden evitar y minimizar las fallas en los equipos. El rendimiento de los equipos influye directamente a la calidad del producto final por lo cual un mantenimiento predictivo ofrece además de aumentar el tiempo de vida útil, mejora la calidad de la azúcar.

#### **2.1.2. Ensayos no destructivos**

Los ensayos no destructivos son métodos usados en las industrias cuya función principal es evaluar las propiedades y condiciones de los materiales o componentes de los equipos sin dañar los mismos. Normalmente los ensayos no destructivos tienen el fin de hallar discontinuidades o fisuras en los equipos. Dentro del Departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial los ensayos no destructivos se llevan a cabo en los siguientes equipos:

- Motores eléctricos.
- Equipos rotativos y estáticos.

Para estos equipos hay diferentes parámetros indicadores y técnicas de ensayos no destructivos que se realizan periódicamente o al notar el parámetro indicador para verificar los estados de dichos equipos, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 1.**

*Parámetros indicadores y técnicas utilizadas en equipos rotativos*

<b>EQUIPOS ROTATIVOS</b>	
<b>PARÁMETRO INDICADOR</b>	<b>TÉCNICA UTILIZADA</b>
Oscilaciones	Análisis de vibraciones
Ruido	Análisis de vibraciones
Temperatura, Presión	Termografía
Contaminación en lubricantes	Análisis de aceites
Estado de rodamientos	Análisis de vibraciones
Alineación	Laser de monitoreo

*Nota.* Determinación de técnica a utilizar en los equipos rotativos en base al parámetro indicador. Elaboración propia, realizado con Word.

**Tabla 2.**

*Parámetros indicadores y técnicas utilizadas en equipos estáticos*

<b>EQUIPOS ESTÁTICOS</b>	
<b>PARÁMETRO INDICADOR</b>	<b>TÉCNICA UTILIZADA</b>
Anormalidad en equipo	Inspección visual
Corrosión	Radiografía o ultrasonido
Fisuras	Líquidos penetrantes o partículas magnéticas
Fugas	Análisis de vibraciones
Desgaste	Análisis fisicoquímico
Alineación	Alineación y balanceo

*Nota.* Determinación de técnica a utilizar en los equipos estáticos en base al parámetro indicador.  
Elaboración propia, realizado con Word.

### **2.1.3. Técnicas de aplicación de ensayos no destructivos**

Dentro del Ingenio Magdalena se ha implementado una gran cantidad de ensayos no destructivos para poder garantizar la operación continua de los equipos. Dichos ensayos no destructivos son realizados por operarios plenamente capacitados para las labores que realizan. El mantenimiento predictivo debe estar plenamente documentado, definido y estructurado cada actividad que se realiza, así como sus registros durante los recorridos por las rutas específicas de cada equipo crítico a ser evaluado. A continuación, se detalla una breve definición de cada ensayo no destructivo, así como sus recursos necesarios para su aplicación y su guía de verificación para resultados.

### **2.1.3.1. Inspección visual**

Una inspección visual puede ser tan simple como una observación directa sobre el equipo hasta una inspección minuciosa con dispositivos tales como microscopios o endoscopios para verificar detalles del equipo a evaluar. Los fallos más notables con esta técnica de análisis se manifiestan físicamente mediante fisuras, grietas, desgaste, cambios de color o forma, entre otros. Esta técnica es aplicable en zonas de los equipos donde se puede observar directamente y en la actualidad se diseñan más equipos que permitan esta técnica que no se tiene la necesidad de desmontarlos.

#### **2.1.3.1.1. Equipo**

Dentro del equipo básico para una inspección visual se cuenta con:

- Lentes de aumento
- Microscopios
- Linternas
- Calibres
- Reglas
- Galgas
- Micrómetros

**Figura 8.**

*Inspección visual*




*Nota.* Operario realizando una inspección visual. Elaboración propia.

### 2.1.3.1.2. Hoja de registro

Se define una hoja de registro para control durante inspección visual.

**Figura 9.**

*Hoja de registro y control para inspección visual*

		<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>		Código: IV-AP-2023-0001	
Mantenimiento Predictivo				Página: 1 de 1	
AREA		FECHA			
CLIENTE					
ID DE LA PIEZA		UBICACIÓN			
EQUIPO UTILIZADO Y ESPECIFICACIONES					
RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN					
CROQUIS					
IMAGEN VISIBLE					
OBSERVACIONES					
EXAMINADO POR		NIVEL			
REVISADO POR		NIVEL			

*Nota.* Hoja de registro y control para inspección visual realizada en equipos. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **2.1.3.2. Líquidos penetrantes**

El fin de esta técnica es encontrar discontinuidades superficiales en los equipos o fallos internos que se presentan con fisuras en el exterior. Esta prueba consta de tres etapas para su realización, se limpia y remueve toda partícula que no sea propia del material. Transcurrido el tiempo y con el material totalmente seco, se aplica un líquido penetrante tintado sobre todas las fisuras posibles, se elimina este líquido con una limpieza superficial y por último se aplica un líquido revelador que mostrara las partes del equipo donde se encuentran los fallos o fisuras que se verá el líquido penetrador a simple vista.

#### **2.1.3.2.1. Equipo**

Dentro del equipo básico para un ensayo de líquidos penetrantes se cuenta con:

- Para limpieza:
  - Disolventes de grasa
  - Desoxidantes alcalinos
  - Ácidos para los óxidos
  - Productos cáusticos
- Para penetración:
  - Líquido penetrante rojo que cumplan con las normas mínimas de ensayos no destructivos
- Para revelación:
  - Líquido revelador grado V que cumpla con las normas mínimas de ensayos no destructivos
- Además de guantes, papel y cepillos de alambre para limpieza extra

**Figura 10.**

*Líquidos penetrantes*




*Nota.* Aplicación de líquidos penetrantes. Elaboración propia.

### 2.1.3.2.2. Hoja de registro

Se define una hoja de registro para control durante análisis de líquidos penetrantes.

**Figura 11.**

*Hoja de registro y control para líquidos penetrantes*

		LÍQUIDOS PENETRANTES		Código: LP-AP-2023-0001	
Mantenimiento Predictivo				Página: 1 de 1	
AREA		FECHA			
CLIENTE					
EQUIPO		COMPONENTE			
MATERIAL		DIMENSIONES DE LA PIEZA			
EQUIPO LIMPIEZA		METODO DE REMOCIÓN			
TIPO DE LIQUIDO PENETRANTE		TIPO DE ELIMINACIÓN			
DESIGNACIÓN DE MATERIAL					
PENETRANTE		REMOVEDOR		REVELADOR	
NOMBRE		NOMBRE		NOMBRE	
TIEMPO		TIEMPO		TIEMPO	
RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN					
AREA INSPECCIONADA					
INDICACIONES					
ACEPTADO		RECHAZADO			
OBSERVACIONES					
IMÁGENES DE OBSERVACIONES E INDICACIONES					
EXAMIDO POR		NIVEL			
REVISADO POR		NIVEL			

*Nota.* Hoja de registro y control de líquidos penetrantes realizada en equipos. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **2.1.3.3. Partículas magnéticas**

Este ensayo no destructivo también permite localizar discontinuidades o fisuras tanto superficiales como internas. Este ensayo trabaja bajo el principio de magnetización de un material ferromagnético al ser inducido a un campo magnético. De primero, se limpia la superficie a evaluar y se induce a un campo magnético uniforme para poder esparcir partículas magnéticas diminutas. Estas partículas van a orientarse siguiendo el flujo del campo magnético, dejando en evidencia las discontinuidades en la forma de distribución de las partículas.

#### **2.1.3.3.1. Equipo**

Dentro del equipo básico para un ensayo de partículas magnéticas se cuenta con:

- Equipos de electrodos de contacto de hasta 2000 A
- Bancadas de inspección multidireccional
- Yugos portátiles de CA y CC
- Guantes, careta y mascarilla

**Figura 12.**

*Partículas magnéticas*




*Nota.* Análisis de partículas magnéticas. Elaboración propia.

### 2.1.3.3.2. Hoja de registro

Se define una hoja de registro para control durante análisis de partículas magnéticas.

**Figura 13.**

*Hoja de registro y control para partículas magnéticas*

		PARTICULAS MAGNÉTICAS		Código: PM-AP-2023-0001	
Mantenimiento Predictivo				Página: 1 de 1	
AREA				FECHA	
CLIENTE					
EQUIPO					
PARÁMETROS DE INSPECCIÓN					
FUENTE MAGNETIZANTE					
MARCA					
MODELO					
CORRIENTE					
NO. DE SERIE					
TECNICA DE MAGNETIZACIÓN					
TIPO DE ILUMINACIÓN					
CORRIENTE MAGNETIZANTE					
SECUENCIA DE OPERACIÓN					
TIPO DE PARTÍCULAS					
COLOR					
FORMA DE APLICACIÓN					
VEHÍCULO					
RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN					
EQUIPO INSPECCIONADO	INDICACIONES	ACEPTADO	RECHAZADO		
OBSERVACIONES					
IMÁGENES DE OBSERVACIONES E INDICACIONES					
EXAMIDO POR				NIVEL	
REVISADO POR				NIVEL	

*Nota.* Hoja de registro y control para partículas magnéticas realizada en equipos. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### **2.1.3.4. Ultrasonido**

La técnica de ultrasonido consiste en determinar discontinuidades internas de materiales o equipos mediante ondas a frecuencias por encima del umbral superior de la audibilidad humana. Este método es el más común para encontrar fisuras y grietas en materiales gruesos donde la radiografía es insuficiente.

El ultrasonido son ondas elásticas de la misma naturaleza que cualquier otro sonido, y consiste en la propagación de estas ondas a distintas frecuencias y se verifica mediante la medición de tiempo que transcurre entre emitir la señal y la recepción del eco que este genera y con esto se puede determinar la ubicación del desperfecto ya que la propagación del ultrasonido en el material es conocida. Y la mayor ventaja de esta técnica es que estima el tamaño de la discontinuidad y por ende facilita llevar un control y evolución de este.

##### **2.1.3.4.1. Equipo**

Dentro del equipo básico para un ensayo de ultrasonido se cuenta con:

- Aceite 320
- Transductor de mano
- Palpador
- Barra de calibración
- Guantes y equipo de limpieza

**Figura 14.**  
*Ultrasonido*




*Nota.* Operario realizando análisis de ultrasonido. Elaboración propia.

### 2.1.3.4.2. Hoja de registro

Se define una hoja de registro para control durante análisis de ultrasonido.

**Figura 15.**

*Hoja de registro y control para ultrasonido*

 Mantenimiento Predictivo		ULTRASONIDO		Código: UT-AP-2023-0001	
				Página: 1 de 1	
AREA		FECHA			
CLIENTE					
EQUIPO					
ESPESOR					
INFORMACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO		PARÁMETROS DEL EQUIPO		PARÁMETROS DE INSPECCIÓN	
FABRICANTE		TIPO BARRIDO		AMPLITUD	
MODELO		VOLTAJE		RANGO	
NO. DE SERIE		INTENSIDAD		RET. PALPADOR	
TRANSDUCTOR		AMORTIGUAMIENTO		VEL. MATERIAL	
PALPADOR		PRF		FRECUENCIA	
CALIBRACIÓN		RECTIFICAR		M. ACOPLANTE	
RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN					
CROQUIS					
IMAGEN VISIBLE					
OBSERVACIONES					
EXAMIDO POR		NIVEL			
REVISADO POR		NIVEL			

*Nota* Hoja de registro y control para ultrasonido realizada en equipos. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **2.1.3.5. Análisis de vibraciones**

Es indispensable aclarar que toda máquina o equipo presenta cierto nivel de vibraciones como consecuencias de holguras, desequilibrios, rozamiento, entre otros. Sin embargo, este nivel de vibración aumentara si, además, existe un desperfecto extra tal como desalineación, cojinetes defectuosos, nivelaciones inadecuadas.

El nivel vibratorio puede ser usado como parámetro de control funcional para el mantenimiento predictivo de los equipos, teniendo un nivel admisible de trabajo y otro de alerta en el cual puede existir un fallo inminente generado por la fatiga de esfuerzo. El análisis de vibraciones consta de tres puntos de examinación que son horizontal, vertical y axial de los cuales dependiendo en cual este el nivel inadmissible se puede indicar la severidad de fallo y el tipo de fallo.

#### **2.1.3.5.1. Equipo**

Dentro del equipo básico para un ensayo de análisis de vibraciones se cuenta con:

- Sensores sin contacto (lápiz)
- Sensor de contacto y soporte de alta temperatura
- Transmisor
- Vibrometros
- Transductores
- Digitalizador de frecuencias

**Figura 16.**

*Análisis de vibraciones*




*Nota.* Operario realizando análisis de vibraciones. Elaboración propia.

### 2.1.3.5.2. Hoja de registro

Se define una hoja de registro para control durante análisis de vibraciones.

**Figura 17.**

*Hoja de registro y control para análisis de vibraciones*

		<b>ANÁLISIS DE VIBRACIONES</b>		Código: AV-AP-2023-0001	
Mantenimiento Predictivo		Página: 1 de 1			
AREA			FECHA		
CLIENTE					
EQUIPO					
COMPONENTE					
ANALISTA					
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO					
ANALIZADOR			UNIDADES		
FABRICANTE			TIPO MEDICIÓN		
SENSOR			VELOCIDAD		
FABRICANTE					
RESULTADOS DEL ANALISIS					
CROQUIS DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN					
VALORES					
FECHA Y HORA					
NOMBRE DE MÁQUINA	NOMBRE DEL PUNTO	ORIENTACIÓN	VALOR DE ULTIMA MEDICIÓN EN OPERACIÓN ANTES DE QUITAR EL PESO	VALOR EN OPERACIÓN SIN EL PESO	VALOR EN VACÍO SIN PESO
DIAGNÓSTICO					
ESPECTROS, GRÁFICAS DE TENDENCIA Y NORMAS ISO DE VIBRACIONES					
EXAMADO POR			NIVEL		
REVISADO POR			NIVEL		

*Nota.* Hoja de registro y control para análisis de vibraciones realizada en equipos. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **2.1.3.6. Inspección de radiografía**

Esta técnica es especializada para encontrar las discontinuidades internas de un material como lo podrían ser grietas, burbujas o impurezas, mayormente se utiliza esta técnica para el control de calidad de uniones soldadas. Su principio es básico y consiste en ubicar el material o equipo entre una fuente radioactiva y una pantalla fotosensible a dicha radiación para encontrar la discontinuidad interna.

#### **2.1.3.6.1. Equipo**

Dentro del equipo básico para un ensayo de radiografía se cuenta con:

- Aceite 320
- Equipo de rayos X convencionales, tanto direccionales como panorámicos
- Aceleradores lineales
- Películas radiográficas
- Químicos de revelado

**Figura 18.**  
*Radiografía*



*Nota.* Operario realizando análisis de radiografía. Elaboración propia.

### 2.1.3.6.2. Hoja de registro

Se define una hoja de registro para control durante análisis de radiografía.

**Figura 19.**

*Hoja de registro y control para radiografía*

		<b>RADIOGRAFÍA</b>		Código: RD-AP-2023-0001	
Mantenimiento Predictivo				Página: 1 de 1	
AREA		FECHA			
CLIENTE					
EQUIPO					
ESPESOR					
INFORMACIÓN DEL EQUIPO DE RADIOGRAFÍA		PARÁMETROS DEL EQUIPO		PARÁMETROS DE INSPECCIÓN	
FABRICANTE		TIPO BARRIDO		AMPLITUD	
MODELO		VOLTAJE		RANGO	
NO. DE SERIE		INTENSIDAD		MATERIAL	
RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN					
CROQUIS					
IMAGEN VISIBLE					
OBSERVACIONES					
EXAMIDO POR		NIVEL			
REVISADO POR		NIVEL			

*Nota.* Hoja de registro y control para radiografía realizada en equipos. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### **2.1.4. Normas internacionales**

En busca de la mejora continua y eficiencia en las operaciones dentro del departamento, el área encargada de mantenimiento predictivo se ha ido capacitando bajo las normas internacionales correspondientes para ensayos no destructivos, así como diagnósticos de equipos. Para ello, han atendido a varios talleres y seminarios con respecto a sus actividades y nivel jerárquico dentro del área para perfeccionar sus habilidades. Todo programa de ensayos no destructivos está dividido en dos tipos principales:

- Programas basados en el empleador.
- Programas centrales de certificación.

##### **2.1.4.1. SNT-TC-1A**

Es un conjunto de lineamientos u observaciones a los empleadores sobre como establecer y ejecutar un programa de calificación y certificación de personal de ensayos no destructivos o mantenimiento predictivo. Esta norma es recomendada para la práctica de inspecciones visuales, ultrasonidos, radiografías, partículas magnéticas y líquidos penetrantes. La norma SNT-TC-1A tiene tres requisitos por cumplir:

- El empleador deberá preparar una práctica por escrito para calificar y certificar al personal de END de la empresa según su nivel de certificación:
  - Nivel I
  - Nivel II
  - Nivel III

- El empleador deberá modificar la norma según sea necesario para garantizar los requisitos de calificación y certificación sean satisfactorios para el trabajo de END que realicen los operarios.
- La certificación del personal se rectificará según condiciones de la norma y se revocará al concluir labores.

#### **2.1.4.2. ISO 18436**

Especifica los requisitos generales para el personal de análisis de vibraciones quienes ejecutan monitoreo y diagnóstico de estado de equipos. Se examina a los operarios para certificarlos según nivel de categoría siendo el I el más bajo y el IV el más alto donde la confiabilidad del operario es respaldada por su conocimiento y experiencia. La certificación de cumplimiento de esta norma proveerá reconocimiento de las calificaciones y competencias de los individuos teniendo que renovarla cada cinco años.

#### **2.1.4.3. ISO 1925:2001**

La norma ISO 1925 dicta el balanceamiento de rotores o equipos con ejes giratorios, sobre todos los aspectos que se deben considerar en su instalación, así como su función principal de trabajo y mantenimientos. Los desbalanceamientos pueden ser provocados por desgastes, mal montaje, falta de simetría, falta de homogeneidad y variaciones de tamaños o en la estructura. Esta norma clasifica el desbalanceamiento según la distribución de masas en:

- Desbalanceo estático: cuando el eje principal de inercia es paralelo al eje de rotación.
- Desbalanceamiento de cupla: cuando el eje principal de inercia intercepta al eje de rotación en el centro de gravedad del rotor.

- Desbalanceamiento cuasi-estático: cuando el eje principal de inercia intercepta el eje de rotación en un punto distinto al centro de gravedad del rotor.
- Desbalanceamiento dinámico: cuando el eje principal de inercia no intercepta al eje de rotación.

#### **2.1.4.4. ASTM E543**

Trata de las especificaciones y estándares mínimos que deben tener todas las agencias que practiquen los ensayos no destructivos y el equipo para realizar dichos ensayos. Los requisitos incluyen:

- Un manual de procedimientos escrito para el trabajo de ensayo no destructivo.
- Procedimientos de control de procesos u operación que contendrán la información necesaria para controlar las actividades necesarias para el examen de materiales.
- Calificación del personal que incluye capacitación y certificación.
- Mantenimiento y calibraciones de equipos que deberán contener listados de inventario.
- Ficha técnica y funcionamiento del equipo.
- Registros y documentos archivados y accesibles según sea necesario para auditorías.

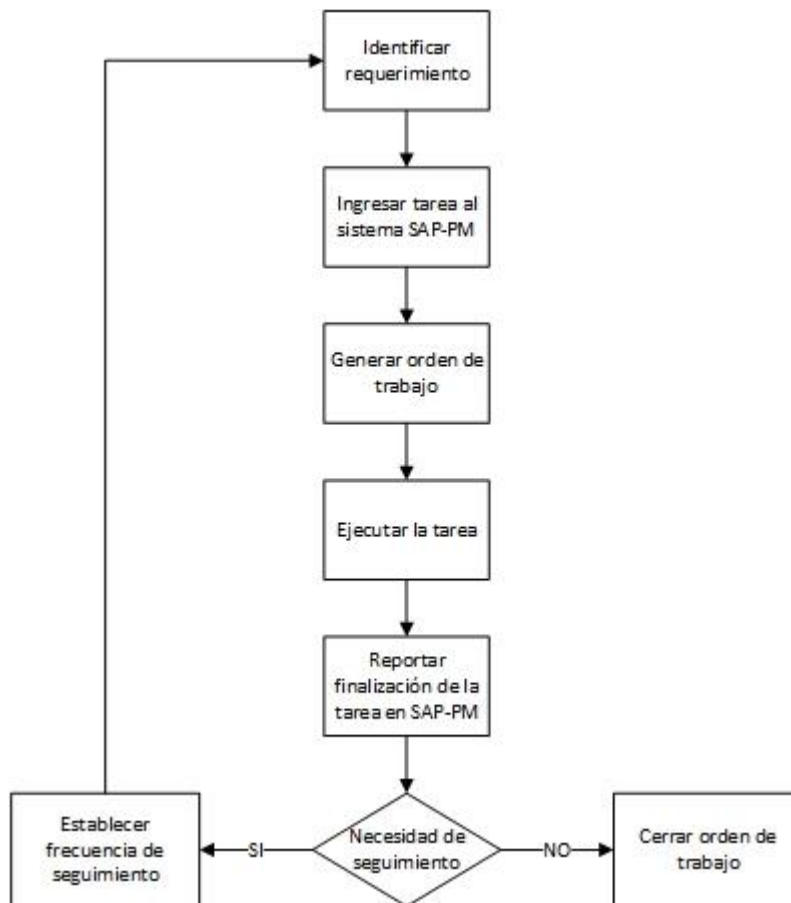
#### **2.1.5. Procedimiento de mantenimiento predictivo**

El fin de un mantenimiento predictivo es identificar fallos, todo trabajo realizado por el área de planificación de mantenimiento es determinante para el cumplimiento de la continuidad de operaciones. El sistema actual de órdenes de trabajo debe constatar del siguiente orden:

- Generar las órdenes de trabajo en SAP-PM por cada tarea de mantenimiento predictivo.
- Planificar los mantenimientos correctivos que se derivan del análisis de mantenimiento predictivo.
- Programar los mantenimientos correctivos y ejecutarlos.
- Llenar el informe correspondiente de mantenimiento predictivo.

**Figura 20.**

*Flujo de mantenimiento predictivo*



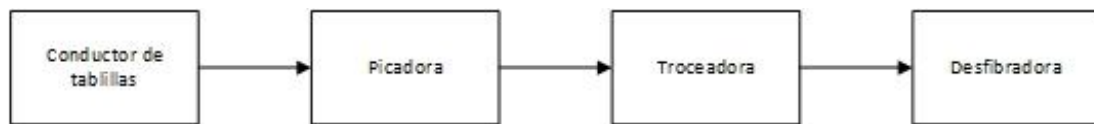
*Nota.* Diagrama de flujo de mantenimiento predictivo. Elaboración propia, realizado con Visio Drawing.

### 2.1.6. Ruta de medición de equipos

Se presentan los diagramas de ruta para los equipos críticos en preparación de caña indicando los puntos de medición y evaluación de ensayos no destructivos de cada uno.

#### Figura 21.

*Ruta de medición de equipos*



*Nota.* Diagrama de ruta de medición para equipos críticos en preparación de caña. Elaboración propia, realizado con Visio Drawing.

Específicamente para el tándem C se rediseño el sistema de preparación de caña para solo contar con una picadora con una potencia nominal de 1 750 hp y dos desfibradoras con una potencia nominal de 3 000 hp cada una.

## 2.2. Estado actual

Para poder definir el estado actual, se llevó a cabo un análisis y estructuración del departamento, se delimita toda actividad correspondiente al proceso y su maquinaria o equipos involucrados. Se debe aclarar que el proceso está relativamente automatizado y que las maquinarias y equipos se encuentran bajo parámetros aceptables.

### **2.2.1. Descripción del área**

El Ingenio Magdalena S.A. tiene tres tándems que conjuntos tienen una capacidad de molienda de hasta cuarenta mil toneladas métricas, bajo el cargo del departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial. Esa capacidad de molienda se distribuye de la siguiente forma: once mil toneladas para el tándem A, catorce mil quinientas toneladas para el tándem B y catorce mil quinientas toneladas para el tándem C. El tándem C el cual podría incluso aumentar su molienda de ser necesario por su estado de equipos y proceso.

El proceso incluye desde la llegada de jaulas cañeras al área de descarga denominadas mesas de caña donde se realiza su limpieza en seco, estas jaulas son volteadas por medio de grúas de volteo hidráulicas denominadas malacates o viradores. La caña al ser limpiada pasa a un conductor de tablillas que las transporta a las máquinas de preparación de caña donde esta se vuelve fibra. La fibra se transporta por medio de bandas de hule que alimenta los tándems de molinos donde se extrae el jugo que puede ser cristal o crudo que pasa al proceso de producción de azúcar transportado por medio de tuberías, mientras que el bagazo se transporta por bandas de hule al área de cogeneración.

El tándem C es el de mayor capacidad de los tres tándems, cuenta con dos mesas de limpieza de caña y ha sido mejorado su sistema de limpieza en seco de la primera mesa al cambiar rodillos rotativos a barras trapezoidales cayendo a la segunda mesa donde hay un sistema de lavado con agua para que la caña resbale y caiga al conductor de tablillas para pasar por la picadora y seguidamente por dos desfibradoras que comparten carga de operación para dar una preparación con capacidad de 6 000 hp, teniendo 3 000 hp cada una.

Todo material no deseado en la caña es denominado *trash* y este puede ser vegetal o mineral y en los sistemas de limpieza este cae a bandas de hule distribuidas en las mesas para poder llevar todo ese material a un espacio de descarga. Todo este material ajeno a la caña es llevado por camiones recolectores que transportan toda esa carga a campos para utilizarla como abono.

La fibra de caña llega al tándem de molinos, cada molino está conformado por cuatro mazas denominadas: superior, cañera, bagacera y cuarta maza. El tándem C cuenta con cinco molinos donde se realizan dos extracciones de jugo, la extracción realizada en el primero molino se denomina cristal por su pureza, y el jugo obtenido desde el segundo molino hasta el quinto se denomina crudo por haber estado ya en contacto con agentes externos como lo es el agua que se usa en las maceraciones.

Todos los equipos tienen su movimiento debido a los motores eléctricos de distintas potencias alimentados por la energía producida dentro del ingenio. Todos los motores están acoplados ya sea a reductores, sistemas de cadenas o *sprockets* o sistemas de fajas. En general el equipo está en buenas condiciones, sin embargo, es necesario tener una buena planificación de mantenimiento predictivo por las condiciones externas al proceso en las que se encuentran.

Estas condiciones son las altas temperaturas del sur del país, la contaminación por el exceso de tierra en la caña, lo corrosivo del jugo de caña debido a su pH y la cantidad de caña procesada ya que el Ingenio Magdalena S.A. es el ingenio azucarero guatemalteco con mayor producción. Estas condiciones generan desgaste en el equipo que condicionan la continuidad del proceso y el cumplimiento de producción de toda la zafra.

### **2.2.2. Diagnóstico**

Para tener mayor claridad en el estado y poder dar un diagnóstico certero, se dialogó con coordinadores y supervisores del departamento sobre tareas de mantenimiento y experiencias. Se entrevistaron con preguntas abiertas para poder tomar en cuenta todos los aspectos necesarios, que cada uno desde su punto de vista considera son los factores determinantes en la realización de sus tareas.

Para un mayor entendimiento y realización de diagnóstico, a través de entrevistas no estructuradas se lograron los siguientes hallazgos:

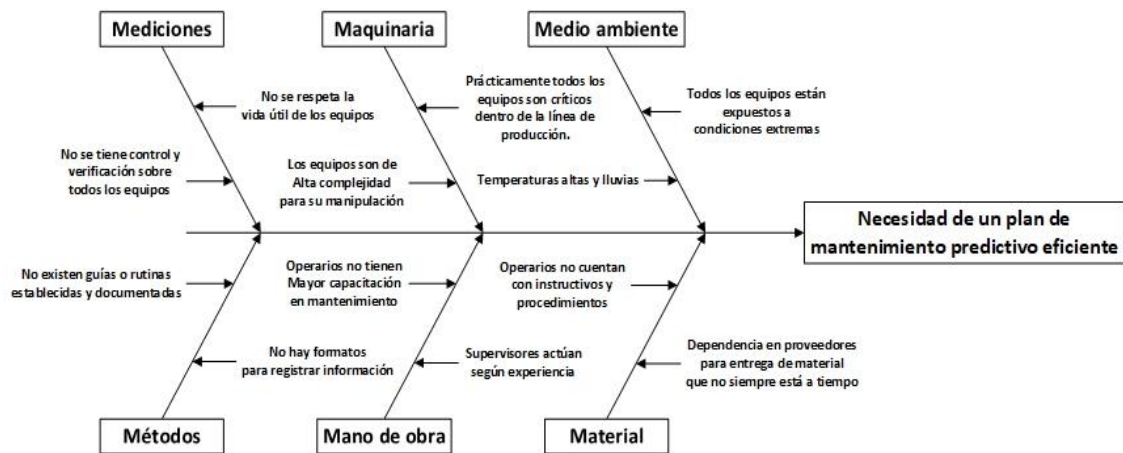
- Mediciones
  - Los equipos tienen una vida útil estipulada, así como un factor de servicio para su funcionamiento.
  - No se tiene control, registro o verificación sobre todos los equipos.
- Maquinaria
  - Todos los equipos son críticos en el área, ya que un paro o falla significa la detención de la línea de producción.
  - Todos los equipos son altamente complejos a nivel técnico, su manipulación no es sencilla.
- Medio Ambiente
  - Las condiciones de operación de los equipos no son las óptimas ya que están expuestos al sol todo el día y los jugos altamente ácidos de la caña.
  - Temperaturas de ambiente y maquinaria altas y lluvias prolongadas.
- Métodos
  - Falta de guías o rutinas establecidas o documentadas.

- No hay formatos para registrar información.
- Mano de obra
  - Operarios no cuentan con la capacitación adecuada para el puesto, ni en mantenimiento, así como producción.
  - Supervisores actúan según su experiencia.
- Material
  - No hay procedimientos para la manipulación de los materiales para los operarios.
  - Dependencia de proveedores para entrega de material a tiempo y completo.

Las causas fueron clasificadas en las seis categorías, como se muestra a continuación en la figura 22.

**Figura 22.**

*Diagrama Ishikawa sobre estado actual*



*Nota.* Diagrama de Ishikawa utilizando metodología &M sobre estado actual en preparación de caña. Elaboración propia, realizado con Visio Drawing.

Cada ramificación del diagrama implica oportunidades de mejora, tal como es mano de obra donde se debe capacitar al personal, en métodos es programar y planificar los mantenimientos, en maquinaria es la experiencia para la manipulación y mantenimiento de cada equipo, en materiales es el estudio de diseños eficientes con materiales de mejores propiedades, para mediciones es una mejora para el departamento de automatización con tableros de control y por último en medio ambiente es la adaptación a las condiciones ya que estas no se pueden controlar.

Posteriormente, se utilizaron seis criterios para evaluar y analizar las causas identificadas:

- Con el tiempo, ¿ocasiona el problema?
- ¿Ocasiona directamente el problema?
- Si se corrige, ¿elimina el problema?
- ¿La solución es factible?
- ¿Es medible la solución?
- ¿Es de bajo costo la solución?

Con estos criterios se analizó el problema para encontrar la causa raíz, ponderando de 1 a 3, siendo 3 el criterio de ponderación más alto. Se hizo una sumatoria acumulada por cada causa para tener una comparación entre ellas y verificar el mayor puntaje. Esto se establece en la tabla 3.

**Tabla 3.***Análisis de las causas del diagrama de Ishikawa*

CAUSA	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
MEDICIÓN	SOLUCIÓN	TIEMPO	DIRECTO	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	COSTO	
Control y verificación sobre los equipos.	Registros sobre actividades de los equipos.	2	2	3	3	3	3	16
Vida útil de los equipos.	Acceso a manuales del equipo.	3	2	2	2	3	3	15
MAQUINARIA	SOLUCIÓN	TIEMPO	DIRECTO	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	COSTO	TOTALES
Alta complejidad para su manipulación.	Dar instructivos a los operarios.	3	3	3	2	3	3	17
Todos los equipos son críticos.	Operación bajo los estándares óptimos del equipo.	3	3	3	2	3	3	17
MEDIO AMBIENTE	SOLUCIÓN	TIEMPO	DIRECTO	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	COSTO	TOTALES
Condiciones	Reforzar con estructuras que protejan los equipos.	1	2	1	2	3	1	10
Temperaturas	Buena lubricación del equipo, así como refrigerante.	1	2	1	2	3	1	10
MÉTODOS	SOLUCIÓN	TIEMPO	DIRECTO	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	COSTO	TOTALES
Formatos para el registro de actividades.	Creación de registros.	2	2	2	2	3	3	14
Guías establecidas o documentadas.	Validación de perfiles de puestos para verificar actividades de este.	2	2	2	2	3	3	14

Continuación Tabla 3

MANO DE OBRA	SOLUCIÓN	TIEMPO	DIRECTO	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	COSTO	TOTALES
Operarios sin capacitación	Capacitar al personal.	3	2	3	3	2	3	16
Toma de decisiones sobre la experiencia.	Siempre tener la cadena de decisiones confirmada.	2	1	2	3	3	3	14
MATERIAL	SOLUCIÓN	TIEMPO	DIRECTO	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	COSTO	TOTALES
Falta de procedimientos o instructivos.	Creación de procedimientos.	2	2	2	2	3	3	14
Dependencia de proveedores y cumplimiento	Apertura a más proveedores.	1	1	1	1	3	2	9

*Nota.* Análisis de las causas raíces del diagrama de Ishikawa. Elaboración propia, realizado con Excel.

Del análisis anterior se establece que las causas con mayor puntaje, 17 puntos, son en la ramificación de maquinaria y son la complejidad de manipulación y mantenimiento, así como la criticidad de los equipos; por lo que se identifica como las causas raíz.

Se llegó a la conclusión que el mayor problema es la falta de un plan de mantenimiento predictivo en los trabajos de mantenimiento, ya que en su mayoría son tareas correctivas o preventivas, por lo cual se espera poder desempeñar tareas de mantenimiento bajo un programa que se rija bajo parámetros de producción, que es de 400 000 toneladas métricas de caña por tándem, que en tiempo toma alrededor de un mes y medio en el tándem C.

Al relacionar todos estos parámetros que afectan el desarrollo de actividades dentro del departamento se debe desarrollar estrategias propias de un plan de mantenimiento predictivo, desde su programación y planificación hasta rutas de medición de equipos tanto como definir las actividades involucradas.

### **2.2.3. Descripción de equipo**

El departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial cuenta con una gran cantidad de maquinarias y equipos para poder transportar la caña por sus varios procesos. Este proceso como ya fue explicado está en su mayoría automatizado y tiene su movimiento transmitido por motores eléctricos alimentados por la energía creada dentro del ingenio. A esta maquinaria y equipo se le da su mantenimiento mayor cada año en el periodo de reparación donde se montan equipos nuevos o se fabrican piezas para cambios y esto permite que se encuentre en óptimas condiciones.

#### **2.2.3.1. Conductor de tablillas**

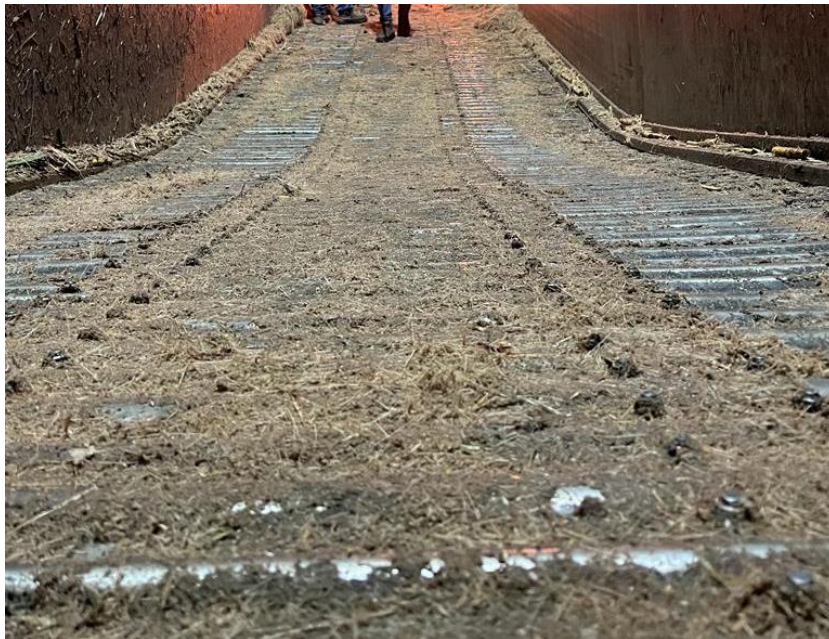
La caña al pasar su limpieza en las mesas de descarga llega al conductor de tablillas y su tarea es transportar la caña por los equipos de preparación hasta descargarla en la banda de alimentación que la transporta hasta los molinos. El conductor de tablillas del tándem C pasa por los dispositivos rotativos de picadora y desfibradora 1 y 2. Este conductor está conformado por tablillas de hierro negro de ochenta y cuatro pulgadas atornilladas entre sí con un sistema de cadenas de arrastre que desplaza la caña.

Este conductor tiene una velocidad aproximada de 0,30 m/s que está controlada por un tablero en una cabina que tiene vista sobre todo el proceso de

preparación, debido a disposiciones de equipos el conductor de tablilla cuenta con una inclinación de 22 grados con respecto a la horizontal. Este conductor es accionado por un motor eléctrico que transmite movimiento al eje motriz ubicado en un extremo del conductor y en el otro extremo está el eje colero que es encargado de tensar el conductor.

**Figura 23.**

*Conductor de tablillas*



*Nota.* Conductor de tablillas. Elaboración propia.

El mayor problema que tiene este conductor es que en la descarga de caña existan agentes externos que puedan dañar el equipo tales como rocas u otros pedazos de metal. El problema más recurrente es la suciedad que deja el lavado y la acidez del jugo de la caña que puede desgastar el metal. Sin embargo, a pesar de estas complicaciones, este equipo es capaz de soportar cuarenta y cinco toneladas de caña, pero para ellos las tablillas deben tener un grosor ligero

para que en una sobrecarga estas se deformen únicamente elásticamente y no presenten fisuras o fracturas que no dañen el equipo.

### **2.2.3.2. Picadora**

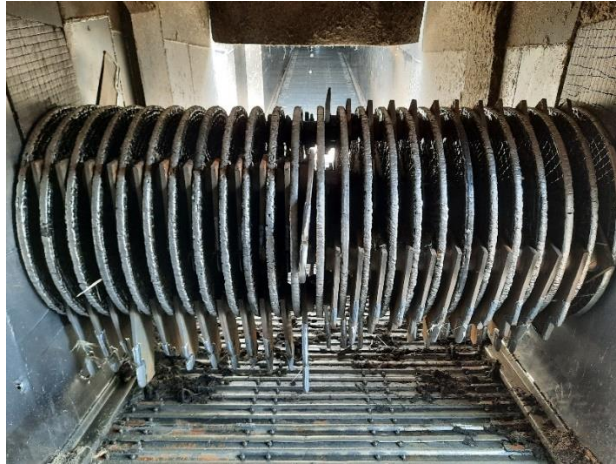
La picadora es un eje con varios planos de cuchillas cuyo fin es cortar la caña en pedazos más pequeños antes de su paso en la desfibradora para obtener un mayor índice de preparación. Este equipo opera directamente sobre el conductor de tablillas y conforma la preparación de caña, cuenta con noventa y seis cuchillas. Este equipo generalmente oscila su velocidad entre 40 y 80 m/s intentando mantener una media de 65 m/s dejando un holgura o luz entre el equipo y el conductor de tablillas de 50 mm.

El giro de la picadora lo hace con la misma dirección del movimiento de la caña transportada esto con el fin de evitar atoros en operación. La picadora del tándem C cuenta con una potencia nominal de 1 750 hp que sufre una carga aproximada del 41,91% de alrededor de 1 800 rpm. Este motor está acoplado a un reductor de velocidad.

La picadora cuenta con su eje sobre el cual se montan ocho brazos de soporte de cuchilla, por lo tanto, las noventa y seis cuchillas se reparten simétricamente escalonadas angularmente a lo largo del eje. Las cuchillas cuentan con un diseño que ayuda a removerlas rápidamente, están hechas de hierro negro 1 040 y tienen un recubrimiento de soldadura en la parte que impactan con electrodo 4 004.

## **Figura 24.**

### *Picadora*



*Nota.* Estructura de la picadora. Elaboración propia.

Las picadoras se readecuan todos los años y eso permite que su estado sea óptimo, sin embargo, las cuchillas de tanto impacto son las que más desgastes y deformaciones sufren por lo cual son reemplazadas cada cierto tiempo por un juego completo nuevo.

### **2.2.3.3. Desfibradora**

Es un eje con varios planos de martillos que convierte los trozos cortos de caña provenientes de la picadora en fibra de caña, y esto ocurre con el soporte de un yunque posicionado en la parte superior la su rotación. La desfibradora también se encuentra sobre el conductor de tablillas y conforma parte de la preparación de caña y al contrario de la picadora, la desfibradora gira en contra de la dirección del conductor de tablillas.

La desfibradora es auxiliada por un rodo alimentador que lleva la caña a la parte superior donde está ubicado el yunque, y así produce la fibra de caña. Los martillos son de lámina de hierro negro 1 040 y tienen un grosor de 2 pulgadas, para el tándem C se tiene martillos con cabeza de dos variantes de longitud con un inserto de tungsteno.

La velocidad periférica de los martillos es aproximadamente de 100 m/s, y son posicionados de una manera que exista una holgura estrecha entre la punta del martillo y el yunque. Es de gran relevancia utilizar estas holguras entre el yunque y los martillos para lograr una preparación dina del tipo requerido, con presencia de fibras largas.

**Figura 25.**

*Desfibradora*



*Nota.* Rodo alimentador y estructura desfibradora. Elaboración propia.

La desfibradora del tándem C, es tipo *Walkers* en la cual hay ochenta y ocho martillos de dos tamaños que cumplen un diámetro de 1,5097 m, y al igual que la picadora los elementos con principal desgaste son los martillos los cuales cada cierto tiempo son cambiados por un *set* nuevo. Los principales problemas para la desfibradora también son los desgastes corrosivos y abrasivos, así como la acumulación de agentes externos por lo cual es necesario revisarlas periódicamente.

Si un martillo llegara a romperse o desprenderse de la desfibradora, crearía un desbalance que puede estropear el equipo completo, por lo cual es necesario hacer un paro para poder remover el elemento opuesto y mantenerse balanceado.

#### **2.2.4. Programación de mantenimiento predictivo**

Actualmente la programación de mantenimiento predictivo se basa en corridas de análisis de vibraciones a los equipos en base a fallas en la operación o al escuchar sonidos extraños en los equipos. Se tienen hojas de inspección para poder realizar mediciones periódicamente a los equipos en base a su criticidad de operación y periodo de trabajo.

Por lo tanto, este tipo de programación no es la adecuada ni es la óptima para asegurar la continuidad de operaciones, se debe de actualizar y complementar con las demás herramientas del mantenimiento predictivo para evitar fallos que provocan pérdidas de tiempo y costos.

### **2.2.5. Procedimientos de mantenimiento predictivo**

En la actualidad el departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial no cuenta con procedimientos establecidos para el desarrollo de las actividades de mantenimiento. No hay procedimientos específicos para las tareas desde su parte técnica de cómo desarrollar todas las actividades o desde su programación para realizar todos los servicios requeridos.

Sin embargo, las actividades se rigen bajo un orden de pasos con los cuales se puede tomar este campo como una oportunidad de mejora. No se puede realizar un procedimiento como tal ya que sería específico a una actividad cuando el departamento realiza actividades de todo tipo. El proceso de mantenimiento inicia con una solicitud de mantenimiento que la elabora un coordinador de la planta industrial.

Seguido el especialista en mantenimiento verifica el problema y propone el ensayo adecuado para poder realizar. Se da el visto bueno y seguido se realiza el ensayo, del cual el especialista entrega sus resultados e interpretaciones para que el usuario decida sus acciones a tomar para poder solventar el problema. Todo esto queda registrado a nivel SAP y el mantenimiento como tal ya lo da el área donde se encuentra el componente.

El departamento de gestión de la calidad si tiene procedimientos referentes a la seguridad industrial con la que el personal operativo debe laborar y aspectos relacionados a la norma *Food Safety System Certificatio 22 000 (FSSC 22000)*, que dicta puntos a cumplir para obtener la certificación.

## **2.3. Estado propuesto**

El estado propuesto se basa en definir el plan de mantenimiento predictivo ideal y eficiente para el departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial específicamente en el área de preparación de caña. Se delimitará y estructurará sus principales lineamientos, programación y actividades de mantenimiento en base a análisis y resultados de ensayos no destructivos de la última zafra, complementando con diseño de procedimientos, hojas guías de verificación y control y análisis de tiempos y costos.

### **2.3.1. Lineamientos del plan**

Todo plan de mantenimiento debe estar definido bajo que lineamientos se guiara, por lo cual se definen objetivos, metas, actividades, estrategias y plazos para el desarrollo de la propuesta para poder tener una dirección adecuada del plan para partir y controlar.

A continuación, se describe de forma general, los lineamientos de la propuesta para el plan de mantenimiento predictivo para la preparación de caña para el tándem C.

#### **2.3.1.1. Objetivo general**

Diseñar una propuesta de plan de mantenimiento predictivo para el área de preparación de caña tándem C con base del análisis de la situación actual de los procedimientos para los ensayos no destructivos, estructurarlos y definirlos para optimizar recursos y conservación de los equipos, así como evitar tiempos perdidos garantizando la producción continua.

### **2.3.1.2. Objetivos específicos**

- Verificar estado de maquinaria y equipo, realizando ensayos no destructivos para determinar la planificación y programación de mantenimientos predictivos.
- Establecer el tipo de material e insumos adecuados en equipos y herramientas necesarias para los ensayos no destructivos con el fin de prolongar su funcionamiento y evitar fallos.
- Determinar el recurso humano, hojas de programación y verificación de los equipos involucrados.

### **2.3.1.3. Metas**

- Proporcionar bases para el departamento tenga un principio acerca de las actividades de mantenimiento predictivo para dar lugar a la mejora continua, evitando costos y tiempos perdidos.
- Realizar diseños de mejora para equipos involucrados en preparación de caña, así mismo, elaborar planes de acción para mejora de instrumentos antiguos y obsoletos que realizan los ensayos no destructivos.

### **2.3.1.4. Actividades**

- Desarrollar procedimientos de mantenimiento predictivo sobre la maquinaria de preparación de caña y como es su aplicación adecuada.

- Delegar el recurso humano según necesidades y oportunidades de mejora en las actividades de cada equipo y maquinaria.
- Programar realización de ensayos no destructivos para planificar acciones de mantenimiento según ruta y plazo de operación.
- Instruir operarios en registros y controles en los medios físicos y virtuales de trabajo, desde su aviso hasta cierre técnico.
- Realizar un análisis de tiempos perdidos o paros en mantenimientos para tener una comparación del beneficio del plan de mantenimiento.

#### **2.3.1.5. Estrategias de trabajo**

- Integrar todos los aspectos principales relacionados al mantenimiento predictivo.
- Delimitar una planificación y programación de mantenimiento predictivo para reducir tiempos perdidos en toda acción de mantenimiento correctivo.
- Catalogar todos los equipos, insumos y herramientas de mantenimiento y ensayos no destructivos para definir el fin y las características propias de cada uno.

#### **2.3.1.6. Plazo de ejecución**

Se espera poder tener un tiempo de ejecución de ocho meses (enero a septiembre 2022), debido a la carga de trabajo de este. Dentro de tal plazo se contemplan los seis meses que corresponden al ejercicio profesional

supervisado. Consecuente a los ocho meses que culminan con la presentación del trabajo, se definirá un plazo para el seguimiento y control del trabajo para determinar la viabilidad de este.

### **2.3.2. Programación de mantenimiento predictivo**

El ingenio labora bajo dos épocas, y por ende se programará por separado cada época ya que sus indicadores y acciones serán distintas. Para la época de zafra se trabajará a partir de horas laboradas y toneladas procesadas, mientras que para reparación se dará una programación establecida en tres fases que consta de desmontaje, reparación y montaje.

#### **2.3.2.1. Zafra**

Con el fin de optimizar recursos y adaptarse al cambio constante que demanda la evolución de equipos y propiedades de los materiales, la programación de mantenimiento ha ido cambiando constantemente para garantizar que las operaciones se desarrollen de manera óptima y continua. Por lo tanto, en lugar de solo dar mantenimiento de manera correctiva es necesario predecir esos fallos y programar los mantenimientos menores y que incurren en menos tiempo, a tener mantenimientos mayores que generan más costos.

Anteriormente se realizaba cada mantenimiento a los veintiún días por conocimiento empírico, sin embargo, esto cambio a mediciones de caña procesada debido a la falta de caña que podía existir durante ciertos días por una mala planificación del departamento de campo, dejando como nuevo parámetro para mantenimiento las 400 000 toneladas métricas en el tándem C. durante estos paros de operación es aprovechado el tiempo para realizar mantenimientos menores.

Ahora bien, al implementar las rutas de medición de ensayos no destructivos, se establecerá un nuevo parámetro para la programación de mantenimientos, con la lectura principalmente del análisis de vibraciones se puede establecer el punto de inflexión en el cual el equipo trabajará de manera irregular afectando las operaciones. Al tener la lectura del equipo con regularidad, al tener un dato que no esté entre los parámetros de operación se puede predecir el fallo del equipo por lo cual se puede programar de una mejor manera el mantenimiento.

**Figura 26.**

*Lectura de análisis de vibraciones*

Motor eléctrico	1HV	11.20	8.68	9.58	Horizontal
Motor eléctrico	1VV	1.83	1.54	1.99	Vertical
Motor eléctrico	1AV	2.60	3.01	2.72	Axial
Motor eléctrico	2HV	10.02	7.36	8.69	Horizontal
Motor eléctrico	2VV	3.06	2.26	2.92	Vertical
Motor eléctrico	2AV	3.47	2.80	3.05	Axial
Chumacera	3HV	6.12	4.51	5.51	Horizontal
Chumacera	3VV	3.21	2.16	2.45	Vertical
Chumacera	3AV	2.15	1.47	1.86	Axial

*Nota.* Resultados análisis de vibraciones en desfibradora 1 TC. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con las mediciones tomadas se deduce que en una chumacera hay un espectro con una amplitud predominante a 1XRPM característico de un desbalance, y con dicha información se puede predecir el desgaste de la chumacera o su mala operación de no corregir dicho parámetro.

Dependiendo del cumplimiento de tonelaje de caña procesada se puede programar un segundo análisis de vibraciones en el tiempo adecuado para confirmar la fecha de mantenimiento previamente establecida en base a

molienda. De otra manera dicho, si se tiene previsto un mantenimiento para el día 120 de zafra que se cumplen 400 000 toneladas de caña procesada, pero el día 98 presenta problemas el equipo, se debe programar un segundo análisis y de ser necesario adelantar el mantenimiento para que este sea menor y no genere tantos costos.

### **2.3.2.2. Reparación**

El tiempo de reparación generalmente es desde finales de mayo hasta principios de noviembre, que consta de tres fases donde se desmonta el equipo que en términos generales para la preparación de caña queda de la siguiente manera.

- Conductor de tablillas
  - Eje motriz y colero
  - Cadenas y tablillas de arrastre
  - Nivelador
  - Motores y reductores
  
- Picadora y desfibradoras
  - Estructura
  - Cuchillas o martillos
  - Rodo alimentador
  - Motores y reductores

En esta época todos los trabajos se rigen por una programación establecida con la herramienta diagrama de Gantt el cual es revisado semanalmente y dependiendo del cumplimiento de las tareas se pueden asignar horas extras al personal. Para esta época los coordinadores y supervisores son

asignados distintas áreas específicas del proceso teniendo la responsabilidad del avance del área y la revisión del diagrama.

En esta época se realizan la mayoría de los ensayos no destructivos a los equipos donde es necesario llevar registros y controles de los equipos para determinar su cumplimiento de vida útil. Ya que al notar los resultados se estén acercando a los parámetros permisibles de operación, se puede programar la elaboración o gestión de compra de equipos internacionales o de mayor tiempo de manufactura, así cumpliendo con las fechas de inicio de operaciones de las zafras futuras.

### **2.3.3. Procedimientos de mantenimiento predictivo**

Los procedimientos se realizan como una propuesta ya que es el departamento de gestión de calidad el encargado de realizar y administrar la autorización de reglamentos, procedimientos, manuales y otros documentos.


Se proponen dos procedimientos de actividades involucradas en tareas de mantenimiento predictivo, siguiendo la normativa de gestión de calidad.

#### **2.3.3.1. Procedimiento para el registro de ensayos no destructivos**

Se define un procedimiento para registrar las actividades realizadas para ensayos no destructivos que tengan como fin garantizar la operación estable sin afectar parámetros de producción y tanto el estado como funcionamiento de los equipos durante zafra.

## Figura 27.

### *Procedimiento para el registro de ensayos no destructivos*

 Molienda y Mantenimiento Industrial	Procedimiento para el registro de ensayos no destructivos	Código: Versión:
--	---	---------------------

#### 1. Propósito

- Delimitar y establecer los principales parámetros para el desarrollo de registros de ensayos no destructivos relacionadas a mantenimiento predictivo durante el tiempo de zafra.
- Designar y definir los responsables en el desarrollo de registro del trabajo.

#### 2. Alcance

- El procedimiento aplica a todos los niveles del departamento: ingenieros, supervisores, personal administrativo y operativo del área industrial.

#### 3. Política

- El Ingenio Magdalena S.A. documenta sus procesos de acuerdo a procedimientos establecidos y de manera estandarizada.

#### 4. Referencias

- Reglamentos internos de trabajo del Ingenio Magdalena S.A.
- Procedimiento para la elaboración de documentos.

#### 5. Distribución

El presente documento se distribuye de la siguiente manera:

- Original: archivo central de documentos en gestión de la calidad.
- Copias: consejo directivo, gerencias, coordinaciones, supervisiones, coordinador de planificación de mantenimiento, supervisor del área de mantenimiento predictivo, administrador de documentos.

## Continuación de la Figura 27.

---

### 6. Responsabilidades

- Director, gerentes, coordinadores, supervisores con maquinaria bajo su cargo del área industrial:
  - i. Velar por que todas las actividades de ensayos no destructivos sean desarrolladas debidamente documentados para un mejor control de insumos y personal.

### 7. Definiciones

- Ensayo no destructivo: Es una prueba de estudio a cualquier material que no cambie sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales con el fin de preservar su funcionamiento y operación de los equipos y proceso.

### 8. Desarrollo

El procedimiento consta en definir los parámetros y lineamientos para la creación de ordenes de trabajo de los ensayos no destructivos con el fin de tener un registro detallado en una base de datos que sirva para toma de decisiones.

Del departamento de molienda y mantenimiento industrial:

Los coordinadores de turno son los encargados de solicitar los trabajos de ensayos no destructivos desarrollados durante el turno bajo su cargo. En las ocho horas que laboran son los encargados de la operación y mantenimiento de los equipos destinados a la recepción, preparación y extracción de caña de azúcar.

El coordinar de planificación de mantenimiento es el encargado de planificar y programar dichos ensayos no destructivos, se lleven a cabo y velar por el registro de los mismos.

El supervisor del área de mantenimiento predictivo es el encargado de delegar mecánicos a las tareas de ensayos no destructivos y verificar que se realice el registro de toda actividad.

Partiendo de eso, se tienen dos puntos fundamentales en el departamento: la operación que es directamente relacionada a la caña procesada bajo parámetros de producción; y el mantenimiento, relacionado a preservar el estado y funcionamiento de los equipos, con el fin de garantizar la operación constante y estable.

Por lo tanto, coordinadores como supervisores de turno y encargados del área de mantenimiento predictivo deben coordinar las actividades relacionadas a ensayos no destructivos y todos aquellos trabajos necesarios en los equipos. Así mismo documentar

## Continuación de la Figura 27.

cada actividad describiendo las actividades realizadas, el equipo, tándem y el tiempo empleado y perdido en operación.

De la orden de trabajo:

El técnico especialista del departamento es el encargado de la creación de la orden de trabajo, debe documentar la información recopilada en el registro que presente el coordinador de turno de molienda y mantenimiento industrial, asignarle personal y materiales y presentar la información al coordinador de planificación de mantenimiento.

Del registro de trabajo:

El registro documenta la fecha y horario del turno, área y ubicación del equipo donde se realizó el trabajo, así como el tipo de ensayo y equipo que se utilizó. Se detalla la descripción del inconveniente, las acciones realizadas, el tiempo perdido de operación y la firma del coordinador de turno.

Dicho documento estará bajo el nombre de registro de ensayo no destructivo realizado en zafra y consta de una página que debe ser desarrollada por el técnico especialista del área de mantenimiento predictivo.

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:
Cargo:	Cargo:	Cargo:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

*Nota.* Procedimiento para el registro de ensayos no destructivos. Elaboración propia, realizado con Word.

### 2.3.4. Registro de trabajo realizado

- Para temporada de zafra

Actualmente los trabajos relacionados al mantenimiento predictivo en tiempo de zafra se documentan en libros diarios de los coordinadores y supervisores de turno y en la mayoría de los casos estos quedan documentados como correctivos en paros de producción. Se documenta la siguiente información:

- Fecha y ubicación
- Descripción del trabajo
- Horario de turno y firma

Este método es impráctico si se desea buscar algún inconveniente anterior o para almacenar la información, no es un registro o control eficiente. Por lo tanto, se propone un formato sencillo en *Google Forms* para tener visualización de *Excel* o *Power BI* en forma de tabla digital para poder aplicar filtros de búsqueda y agrupar por equipo o causa común. Esto con el fin de tener detallados el estado y soluciones en los distintos problemas que existe diariamente durante operación.

#### Figura 28.

*Ejemplo de formato para detallar trabajo realizado*

No.	Fecha	Turno	Tándem	Equipo	Causa	Solución	Tiempo (min)	Consecuencia
301	24/03/2022	6:00 a.m.	C	Desfibradora	Disparo de motor por sobrecarga	Cambio de eje para martillos y balanceo	124	Paro TC

*Nota.* Visualización en excel de registro de trabajo realizado; ingresado en Google Forms. Elaboración propia, realizado con Google Forms y Excel.



- Para temporada de reparación

Durante el tiempo de reparación los trabajos de mantenimiento están programados desde un inicio ya que prácticamente es la misma rutina de servicio la que se practica año tras año. Dicho programa está contemplado en la herramienta diagrama de Gantt y se realiza un estimado de la fecha de terminación y del progreso o avance de la reparación. Esto está previamente descrito en la sección 2.3.2.2.

Como propuesta complementaria se diseñará hojas de programación de mantenimiento, en las cuales el mantenimiento de reparación está contemplado como servicio anual, estas hojas estarán descritas en los distintos numerales de la sección 2.3.4.

### **2.3.5. Descripción de actividades de mantenimiento, recurso humano y hojas de programación y verificación**

Este apartado consta de la parte fundamental y central del trabajo ya que se hace la división del equipo por su criticidad, manipulación, actividades de mantenimiento y recursos utilizados en los mismo. Se describe el mantenimiento predictivo en los días de paro programado y planificado por cada equipo y el personal que estará involucrado en cada acción y se da soporte con hojas de verificación y programación del mantenimiento. En resumen, por cada equipo se detalla la siguiente estructura:

- Actividades de mantenimiento
- Recurso humano asignado para operación y mantenimiento
- Hoja de programación y verificación de las actividades de mantenimiento.

### **2.3.5.1. Conductor de tablillas**

Para el conductor de tablillas se describe las actividades de mantenimiento por equipo individual, recurso humano, hoja de programación y hoja de verificación de mantenimiento programado.

#### **2.3.5.1.1. Actividades de mantenimiento**

- Eje motriz

Se encarga del movimiento del conductor y este se ubica en uno de los extremos de este, siendo accionado por un motor eléctrico con potencia de 150 hp y un arreglo de *sprockets* y cadenas que proporcionan el movimiento rotativo del eje y axial del conductor.

- Inspección general

Se realiza una inspección visual del estado del eje tal y como de rutina diaria ejecutada por los mecánicos encargados del área, se realiza prueba de líquidos penetrantes en los extremos del eje para verificar estado de soldaduras y ultrasonido para ver si hay fisuras.

- Limpieza general

Se realiza un lavado general que se lleva a cabo por turnos, aplicando agua o solvente según las necesidades, aunque por lo general es solamente agua aplicada con mangueras a presión.

- Inspección de cadena de transmisión

La cadena es montada cada periodo de reparación y es de manera esporádica en la cual presenta algún problema, siendo más que todo inconformidades por supervisores o coordinadores tales como rotura de eslabones y se procede a reparar o cambiar según el estado de este.

- Inspección de tornillería y chumaceras

Se realiza generalmente en días de mantenimiento a cargo del mecánico que se encuentra en turno. Las chumaceras se limpian y montan en cada periodo de reparación.

- Lubricación

Se realiza generalmente cada tres días de operación sin embargo no está directamente relacionada en la programación de mantenimiento. Se utiliza grasa Alvania y a pesar de no ser parte de las actividades de mantenimiento de igual manera es revisada por los mecánicos de turno diariamente.

- Cadenas de Arrastre

Este mecanismo está acoplado a las tablillas de arrastre y a los *sprockets* y su tarea es el movimiento de la banda con un lado conductor y uno conducido.

- Inspección general

Se realiza una inspección visual del estado de los eslabones y se lleva a cabo diariamente ya que este es un punto crítico de la preparación de caña debido a que se puede descarrillar la cadena.

- Limpieza general

Se realiza cada turno de trabajo, es decir tres veces por día laborado y es debido a dos factores: la higiene y evitar que la cadena descarrile por elementos extraños en el mecanismo.

- Tablilla de arrastre

Este elemento de hierro negro es fabricado directamente en el ingenio y se acoplan entre sí a la cadena de arrastre por medio de tornillos, su fin es ser prácticamente un tablero móvil que transporta caña de las mesas de caña hasta el conductor de banda que alimenta los molinos.

**Figura 30.**

*Tablilla de arrastre*



*Nota.* Tablillas de arrastre. Obtenido de Ingenio Magdalena S.A. (2022).

- Inspección general

Se observa detalladamente las tablillas conforme a su movimiento y es una actividad que se lleva a cabo diariamente por cada turno de trabajo. Se observa el estado de las tablillas y que estas no tengan fisuras ni estén mal atornilladas.

- Limpieza

Se hace un lavado con agua a presión en uno de los extremos del conductor para retirar los restos de caña e impurezas que afecten el funcionamiento normal del conductor.

- Eje colero

Es la contraparte del eje motriz y está ubicado en el extremo opuesto. Es encargado de proseguir el movimiento transmitido por el eje motriz y está apoyado en chumaceras que permiten su rotación.

- Inspección general

De misma manera como el eje motriz, esta actividad involucra una inspección visual del estado del eje de manera diaria, se revisa por existencia de fisuras, así como el estado de *sprockets*. Se realiza prueba de líquidos penetrantes en los extremos del eje para verificar estado de soldaduras y ultrasonido para ver si hay fisuras.

- Limpieza general

Se realiza un lavado general que se lleva a cabo por turnos, aplicando agua o solvente según las necesidades, aunque por lo general es solamente agua aplicada con mangueras a presión.

- Inspección de tornillería y chumaceras

Se realiza generalmente en días de mantenimiento a cargo del mecánico que se encuentra en turno. Las chumaceras se limpian y montan en cada periodo de reparación.

- Lubricación

Se realiza generalmente cada tres días de operación sin embargo no está directamente relacionada en la programación de mantenimiento. Se utiliza grasa Alvania y a pesar de no ser parte de las actividades de mantenimiento de igual manera es revisada por los mecánicos de turno diariamente.

- *Take-ups*

Son las chumaceras del eje colero y sirven para dar tensión al conductor de tablillas, así como para graduar su posición a modo que opere de manera óptima.

- Inspección general

Es una actividad que involucra una observación detallada al estado general de la estructura. También se observa el estado de la tornillería y los

rodamientos, no por necesidad de cambio ya que en rara ocasión ocurre, sin embargo, es necesario corroborar su estado y funcionamiento.

- Limpieza

Como todos los elementos, se lleva a cabo por medio de un lavado con agua a presión para eliminar elementos extraños en la estructura.

- Lubricación

Se realiza cada dos o tres días y consiste en la aplicación de grasa Molub Alloy. Este elemento tiende a calentarse mucho a pesar de la baja velocidad a la que opera, por lo tanto, se hace necesaria una buena lubricación.

- Estructura

Es el armazón dentro del cual opera el conductor de tablillas. Consiste en un arreglo de láminas, faldones, vigas y otros elementos.

- Inspección general

Esta actividad por su complejidad se realiza de una manera bastante superficial hasta el punto de no realizarse. Esto es debido a que la estructura en sí no es un elemento crítico de operación para el conductor, y sus inconformidades no significan un riesgo para el desenvolvimiento normal. Por lo tanto, el mantenimiento de este se lleva a cabo mayormente en el tiempo de reparación e involucra las actividades de cambio de tornillería, desmontaje, montaje, limpieza y reparación de soldadura y pintura.

- Tubería y accesorios

Consta de tuberías rígidas y flexibles, así como de roscas, conectores y otros elementos que conforman un sistema hidráulico.

- Inspección general

Se realiza de manera irregular debido a que son elementos que no tienden a presentar mayores desperfectos, y que se previene el fallo para darles mantenimiento en paros de operación.

- Revisión de sellos

Se realiza cada día de mantenimiento programado, dando prioridad en los angulares de sellos, verificando su estado y corrigiendo inconformidades si se presentan.

#### **2.3.5.1.2. Recurso humano**

Durante zafra, existe personal operativo de patio de caña que tiene como tarea principal la manipulación y operación del conductor de tablillas, ubicados desde una cabina colocada encima del mismo conductor y apoyados con varias cámaras para verificar el estado de esta y la cantidad de caña que este en el lugar. Además de este operario encargado plenamente del conductor de tablillas por turno hay un soldador y un mecánico encargado de hacer rondas por el área verificando el estado del equipo, por lo tanto, por lo que quedaría de la siguiente manera:

- 3 operadores de conductor de tablillas (1 por turno)

- 3 soldadores (1 por turno)
- 3 mecánicos (1 por turno)
- 1 mecánico especial designado por el área de mantenimiento predictivo para poder llevar la verificación del equipo.

En contraste para reparación se designan únicamente 4 operarios, que quedan con tareas por cumplir durante un tiempo establecido:

- 2 mecánicos encargados de desmontar el conductor al culminar la zafra y volver a montarlo una vez se le haya dado mantenimiento o se pongan nuevas tablillas.
- 2 soldadores encargados de dar mantenimiento a las tablillas.
- 1 mecánico especial, que es designado por el área de mantenimiento predictivo para la alineación, balanceo y demás ensayos necesarios para el conductor de tablillas.

#### **2.3.5.1.3. Hoja de programación de mantenimiento**

Se presenta la hoja de programación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas y todos sus componentes para los distintos lapsos de tiempos adecuados. Este equipo es de gran relevancia en el proceso ya que es el transporte de caña y cualquier desperfecto en él puede causar un paro de producción, por lo tanto, las revisiones y controles de ensayos deben ser diarios, semanales y mensuales.

**Figura 31.**

*Hoja de programación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas*

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL						
HOJA DE RUTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE CONDUCTOR DE TABLILLAS						
NÚMERO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA				OBSERVACIONES
		DIARIO	SEMANAL	ANUAL	PROGRAMADO	
<b>ACOPLAMIENTO</b>						
1	INSPECCIÓN VISUAL				X	
2	LIMPIEZA GENERAL			X		
3	LUBRICACIÓN				X	
<b>ESTRUCTURA</b>						
4	LIMPIEZA GENERAL			X		
5	INSPECCIÓN DE LAS VIGAS DE CARGA			X		
6	INSPECCIÓN DE LA CUBIERTA			X		
7	INSPECCIÓN DE LOS FALDONES LATERALES			X		
8	REVISIÓN DE LÁMINAS			X		
9	MONTAJE DE HEMBRAS MANGO PLATE			X		
10	MONTAJE DE VIGAS DE CARFA			X		
11	DESMONTAJE DE HEMBRAS MANGO PLATE			X		
12	DESMONTAJE DE LÁMINA DEL ENCAJUELAO DE LA VIGA DE CARGA			X		
13	PULIR VIGAS DE CARGA			X		
14	DESMONTAJE DEL ANGULAR DEL FALDON DEL CONDUCTOR			X		
15	ENCAJUELAO DE VIGAS DE CARGA			X		
16	MONTAJE DEL ANGULAR DEL CONDUCTOR			X		
<b>PRUEBA</b>						
17	PRUEBA			X		
<b>CADENA DE TRANSMISIÓN</b>						
18	INSPECCIÓN VISUAL	X			X	
19	DESMONTAJE			X		
20	MONTAJE			X		
21	REVISIÓN DE ESLABONES	X			X	
22	CAMBIO DE ESLABONES				X	
<b>EJE COLERO</b>						
23	INSPECCIÓN VISUAL	X				
24	LIMPIEZA GENERAL	X				
25	DESARME DEL EJE			X		
26	REVISAR ALINEACIÓN				X	
27	LIMPIEZA GENERAL DE CHUMACERAS		X			
28	INSPECCIÓN VISUAL DE CHUMACERAS	X				
29	INSPECCIÓN DE TORNILLERÍA	X				
30	DESMONTAJE DE CHUMACERAS			X	X	
31	MONTAJE DE CHUMACERAS			X	X	
32	LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS	X				
33	DESMONTAJE DEL EJE			X		
34	FABRICACIÓN DE EJE COLERO				X	
35	INSPECCIÓN DE SPROCKETS	X				
36	CAMBIO DE SPROCKETS				X	
<b>EJE MOTRIZ</b>						
37	INSPECCIÓN VISUAL	X				
38	LIMPIEZA GENERAL	X				
39	DESARME DEL EJE			X		
40	REVISAR ALINEACIÓN				X	
41	LIMPIEZA GENERAL DE CHUMACERAS		X			
42	INSPECCIÓN VISUAL DE CHUMACERAS	X				
43	INSPECCIÓN DE TORNILLERÍA	X				
44	DESMONTAJE DE CHUMACERAS			X	X	
45	MONTAJE DE CHUMACERAS			X	X	
46	LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS	X				
47	DESMONTAJE DEL EJE			X		
48	FABRICACIÓN DE EJE COLERO				X	
49	INSPECCIÓN DE SPROCKETS	X				
50	CAMBIO DE SPROCKETS				X	

Continuación de la Figura 31.

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL						
HOJA DE RUTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE CONDUCTOR DE TABLILLAS						
NÚMERO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA				OBSERVACIONES
		DIARIO	SEMANAL	ANUAL	PROGRAMADO	
<b>TABLILLAS DE ARRASTRE</b>						
51	LIMPIEZA GENERAL				X	
52	INSPECCIÓN VISUAL	X				
53	DESMONTAJE			X		
54	INSPECCIÓN Y CLASIFICACIÓN			X	X	
55	CAMBIO DE TABLILLAS				X	
56	CAMBIO DE TACOS			X		
57	MONTAJE			X		
<b>CADENA DE ARRASTRE</b>						
58	LIMPIEZA GENERAL				X	
59	INSPECCIÓN VISUAL	X			X	
60	LUBRICACIÓN			X		
61	VERIFICACIÓN DE TENSIÓN				X	
62	MONTAJE			X		
63	DESMONTAJE			X		
<b>CONDUCTOR DE CAÑA</b>						
64	DESMONTAJE			X		
65	INSPECCIÓN DE CADENA			X	X	
66	DESARME DE CADENA			X		
67	ARMAR CADENA CLASIFICADA			X		

*Nota.* Hoja de programación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### 2.3.5.1.4. Hoja de verificación

Se presenta la hoja de verificación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas y todos sus componentes en días de paro programado.

**Figura 32.**

*Hoja de verificación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas*

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
HOJA DE RUTA DE VERIFICACIÓN PREDICTIVO DE CONDUCTOR DE TABLILLAS			
TÁNDEM:	FECHA:	REGISTRO:	
NÚMERO	ACTIVIDAD	ESTADO (%)	OBSERVACIONES
<b>ACOPLAMIENTO</b>			
1	INSPECCIÓN VISUAL		
2	LUBRICACIÓN		
<b>CADENA DE TRANSMISIÓN</b>			
3	INSPECCIÓN VISUAL		
4	REVISIÓN DE ESLABONES		
5	CAMBIO DE ESLABONES		
<b>EJE COLERO</b>			
6	INSPECCIÓN VISUAL		
7	REVISIÓN DE ALINEACIÓN		
8	LIMPIEZA GENERAL DE LAS CHUMACERAS		
9	INSPECCIÓN DE TORNILLERÍA DE ANCLAJE		
10	INSPECCIÓN DE SPROCKETS		
11	CAMBIO DE SPROCKETS		
<b>EJE MOTRIZ</b>			
12	INSPECCIÓN VISUAL		
13	REVISIÓN DE ALINEACIÓN		
14	LIMPIEZA GENERAL DE LAS CHUMACERAS		
15	INSPECCIÓN DE TORNILLERÍA DE ANCLAJE		
16	INSPECCIÓN DE SPROCKETS		
17	CAMBIO DE SPROCKETS		
<b>TABLILLA DE ARRASTRE</b>			
18	LIMPIEZA GENERAL		
19	INSPECCIÓN VISUAL		
20	INSPECCIÓN Y CLASIFICACIÓN		
21	CAMBIO DE TABLILLAS		
<b>CADENA DE ARRASTRE</b>			
22	LIMPIEZA GENERAL		
23	INSPECCIÓN VISUAL		
24	VERIFICACIÓN DE TENSIÓN		
<b>CONDUCTOR DE CAÑA</b>			
25	INSPECCIÓN DE CADENA		
REALIZADO POR:			
REVISADO POR:			

*Nota.* Hoja de verificación de mantenimiento predictivo del conductor de tablillas. Elaboración propia, realizado con Excel

### **2.3.5.2. Picadora**

Para la picadora se describe las actividades de mantenimiento por equipo individual, recurso humano, hoja de programación y hoja de verificación de mantenimiento programado.

#### **2.3.5.2.1. Actividades de mantenimiento**

El mantenimiento predictivo se realiza en los días de paro programado para el acoplamiento, cimentación, chumaceras, rodamientos y estructura.

- Cuchillas

Este elemento es de hierro negro 1 040, de forma rectangular que tienen bisel y recubrimiento de electrodo 4 004 con un inserto de tungsteno en el lado donde impacta la caña de azúcar. Tiene un largo de 18", un ancho de 7" y un grosor de  $\frac{3}{4}$ ". Están dispuestas de forma angular y son removidas cada periodo de tiempo o tonelaje de caña y son reparadas al presentar daños o inconformidades. Tiene una holgura de 6 a 7 pulgadas respecto al conductor de tablillas.

**Figura 33.**

*Set de cuchillas*



*Nota.* Set de cuchillas. Elaboración propia

- Inspección general

Se realiza en los días de mantenimiento programado o cuando el equipo está parado por falta de caña, siendo la prioridad revisar el estado de las cuchillas para evaluar la necesidad de cambio, si todo se encuentra en un buen estado solo se realiza limpieza del equipo.

- Cambio de tornillería

Se revisan las barras y los ocho tornillos expuestos en la estructura, los tornillos son de  $\frac{1}{2}$ " por  $3 \frac{1}{2}$ " de acero inoxidable.

- Cambio de cuchillas

Se realiza en los días de mantenimiento programado o cuando el equipo está parado por falta de caña, generalmente se hace un cambio de cuchillas cada 2 meses, reparando la mayoría que estaban en el juego anterior.

- Inspección de barra

Se revisa el estado de la barra en los días de mantenimiento programado mediante un ensayo de ultrasonido y se procede a cambiarla si fuera necesario.

- Picadora

Es un elemento con varios planos, en el cual van acopladas todas las cuchillas para realizar el movimiento de rotación y cortar la caña. Tiene aberturas en las cuales se aseguran los distintos grupos de cuchillas mediante pasadores.

- Inspección general

Se realiza en los días de mantenimiento programado o cuando el equipo está parado por falta de caña. A este elemento se le realiza un servicio de forma anual y cubre el desmontaje de discos y su montaje, el montaje de *bushings* y soportes. En tiempo de zafra se realizan observaciones del estado de este elemento cuando está en reposo y se realizan reparaciones que sean necesarias.

#### **2.3.5.2.2. Recurso humano**

El personal operativo para el mantenimiento de la picadora está dentro del personal de preparación de caña, siempre teniendo el apoyo de operadores del

patio de caña que tienen un rol de observantes durante la operación para informar cualquier anomalía. Durante zafra la operación de la picadora está a cargo de un solo operario y apoyo del mecánico y soldador de turno para hacer las respectivas rondas. Además, se delega la fabricación de cuchillas a un soldador de menor nivel para tener listo el cambio de cuchillas para cuando sea necesario, por lo que quedaría el recurso humano de la siguiente manera:

- 3 operadores de preparación de caña (1 por turno)
- 6 soldadores (2 por turno)
- 3 mecánicos (1 por turno)
- 1 mecánico especial designado por el área de mantenimiento predictivo para poder llevar la verificación del equipo.

Mientras que, en reparación, el mantenimiento de toda la picadora está a cargo únicamente del área de preparación de caña, donde se da la tarea a los operarios de la siguiente manera:

- 2 mecánicos, encargados del desmontaje y montaje de la picadora.
- 1 soldador, encargado de la fabricación y reparación de cuchillas.
- 1 mecánico especial, que es designado por el área de mantenimiento predictivo para la alineación, balanceo y demás ensayos necesarios para la picadora.

#### **2.3.5.2.3. Hoja de programación de mantenimiento**

Se presenta la hoja de programación de mantenimiento predictivo de la picadora y todos sus componentes para los distintos lapsos de tiempos adecuados.

**Figura 34.**

*Hoja de programación de mantenimiento predictivo de la picadora*

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
HOJA DE RUTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE PICADORA					
NÚMERO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA			OBSERVACIONES
		SEMANAL	ANUAL	PROGRAMADO	
<b>ACOPLAMIENTO</b>					
1	DESMONTAJE		X		
2	INSPECCIÓN VISUAL	X		X	
3	LIMPIEZA GENERAL	X	X		
4	LUBRICACIÓN	X	X	X	
5	MONTAJE		X		
<b>ESTRUCTURA</b>					
6	INSPECCIÓN DE VIGAS DE CARGA		X	X	
7	INSPECCIÓN DE LA CUBIERTA		X	X	
8	INSPECCIÓN DE FALDONES LATERALES		X	X	
9	REVISIÓN DE LÁMINA		X	X	
10	DESMONTAJE DE CUBIERTA Y FALDONES LATERALES		X		
11	LIMPIEZA DE SOPORTES		X		
12	REPARACIÓN DE SOPORTES		X		
<b>PRUEBA</b>					
13	PRUEBA		X		
<b>RODAMIENTOS</b>					
14	INSPECCIÓN VISUAL	X		X	
15	LUBRICACIÓN	X	X	X	
16	CALIBRACIÓN		X		
17	DESMONTAJE		X		
18	MONTAJE		X		
19	LIMPIEZA GENERAL	X			
<b>CHUMACERAS</b>					
20	INSPECCIÓN VISUAL		X	X	
21	LIMPIEZA GENERAL		X		
22	MONTAJE		X		
23	INSPECCIÓN DE TORNILLERÍA DE ANCLAJE		X	X	
24	DESMONTAJE		X		
25	PINTURA		X		
26	LUBRICACIÓN			X	
27	CAMBIO DE COJINETES		X		

Continuación de la Figura 34.

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
HOJA DE RUTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE PICADORA					
NÚMERO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA			OBSERVACIONES
		SEMANAL	ANUAL	PROGRAMADO	
<b>CUCHILLAS</b>					
28	DESMONTAJE		X		
29	CAMBIO DE JUEGO DE CUCHILLAS	X	X	X	
30	INSPECCIÓN VISUAL	X		X	
31	MONTAJE	X	X		
32	RECUPERACIÓN DE CUCHILLAS		X	X	
33	REPARACIÓN DE CUCHILLAS	X		X	
34	LIMPIEZA GENERAL	X			
35	INSPECCIÓN DE LA BARRA			X	
36	APLICACIÓN DE SOLDADURA		X		
<b>PICADORA</b>					
37	DESMONTAJE DE DISCOS		X		
38	LIMPIEZA GENERAL		X		
39	ELABORACIÓN DE BUSHINGS		X		
40	FABRICACIÓN DE SEGUROS DE BARRAS		X		
41	INSPECCIÓN VISUAL DE DISCOS LATERALES		X	X	
42	MONTAJE DE SOPORTES EN EJE		X		
43	MONTAJE DE LOS BUSHINGS EN SOPORTES		X		
44	MONTAJE DE DISCOS LATERALES		X		
45	ALINEACIÓN Y NIVELACIÓN		X		
46	BALANCEO		X		
47	INSPECCIÓN DE COJINETES		X	X	
<b>CIMENTACIÓN</b>					
48	INSPECCIÓN VISUAL		X	X	

*Nota.* Hoja de programación de mantenimiento predictivo de la picadora. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### 2.3.5.2.4. Hoja de verificación

Se presenta la hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la picadora y todos sus componentes en días de paro programado debido que, al ser un equipo rotativo en época de zafra es muy difícil acceder a todas las áreas de esta y no se pueden realizar todas las actividades con normalidad.

**Figura 35.**

*Hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la picadora*

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
HOJA DE RUTA DE VERIFICACIÓN PREDICTIVO DE PICADORA			
TÁNDEM:	FECHA:	REGISTRO:	
NÚMERO	ACTIVIDAD	ESTADO (%)	OBSERVACIONES
<b>ACOPLAMIENTO</b>			
1	INSPECCIÓN VISUAL		
2	LUBRICACIÓN		
<b>ESTRUCTURA</b>			
3	INSPECCIÓN DE VIGAS DE CARGA		
4	INSPECCIÓN DE LA CUBIERTA		
5	INSPECCIÓN DE FALDONES LATERALES		
6	REVISIÓN DE LÁMINA		
<b>RODAMIENTOS</b>			
7	INSPECCIÓN VISUAL		
8	LUBRICACIÓN		
<b>CHUMACERAS</b>			
9	INSPECCIÓN VISUAL		
10	INSPECCIÓN TORNILLERÍA DE ANCLAJE		
11	LUBRICACIÓN		
<b>CUCHILLAS</b>			
12	CAMBIO DE JUEGO DE CUCHILLAS		
13	INSPECCIÓN VISUAL		
14	RECUPERACIÓN DE CUCHILLAS		
15	REPARACIÓN DE CUCHILLAS		
16	INSPECCIÓN DE BARRA		
<b>PICADORA</b>			
17	INSPECCIÓN VISUAL DE DISCOS LATERALES		
18	INSPECCIÓN DE COJINETES		
<b>CIMENTACIÓN</b>			
19	INSPECCIÓN VISUAL		
REALIZADO POR:			
REVISADO POR:			

*Nota.* Hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la picadora. Elaboración propia, realizado con Excel

### **2.3.5.3. Desfibradora**

Para la desfibradora se describe las actividades de mantenimiento por equipo individual, recurso humano, hoja de programación y hoja de verificación de mantenimiento programado.

#### **2.3.5.3.1. Actividades de mantenimiento**

El mantenimiento predictivo se realiza en los días de paro programado para el acoplamiento, cimentación, chumaceras, rodamientos y estructura, es el mismo que se realiza en la picadora dado que son elementos muy similares.

- Desfibradora

Como se mencionó anteriormente es un elemento con varios planos llamados soportes, en donde son ubicados los martillos para realizar el movimiento de rotación cumpliendo su tarea de desfibrar los pedazos de caña. En el tándem C se utiliza la desfibradora *Walkers* que tiene su estructura y numero de martillos específico.

- Limpieza general

Se realiza normalmente en los días de mantenimiento programado o en paros por falta de caña. Es una limpieza muy superficial con agua o aire comprimido para retirar el exceso de bagazo o fibra en el equipo. Debido a su difícil acceso, esta limpieza ocurre esporádicamente, siendo una mucho mejor durante su servicio anual.

- Inspección visual

Este proceso incluye la observación del estado de los discos laterales, soportes, estructura, laminas y demás componentes se encuentran en óptimas condiciones. También es una actividad realizada en días de mantenimiento programado o en paros por falta de caña. Si se llega a notar una anomalía en la desfibradora, se procede a un análisis de esta para determinar la respuesta a dicho inconveniente.

- Martillos

Es un elemento de lámina de hierro negro 1 040 de sección plana y dos pulgadas de grosor con un inserto de tungsteno, que giran con respecto a un eje e impactan en la caña sin romper su pared celular, con este proceso se culmina la preparación de caña. Los martillos tienen un refuerzo por soldadura con electrodo 4 004 en el lado que recibe el impacto. Pueden ser removidos y reparados según las necesidades o inconformidades que presenten.

El tándem C tiene la particularidad de utilizar dos tipos de martillos perfilados que varían en largo y que se alternan en los distintos soportes. Tienen un mayor grosor que en las cuchillas de la picadora.

## Figura 36.

### Set de martillos



*Nota.* Set de martillos. Elaboración propia.

- Inspección visual

Se realiza en los días de mantenimiento programado o cuando el equipo está parado por falta de caña, siendo la prioridad revisar el estado de martillos para evaluar la necesidad de cambio, si todo se encuentra en un buen estado solo se realiza limpieza del equipo.

- Cambio de martillos

Se realiza en los días de mantenimiento programado que se produce cada 2 meses o cada 400 000 toneladas de caña procesadas. Se retiran las barras de la estructura lentamente de modo que los martillos se puedan retirar ordenadamente, sin dañar el cuerpo de la desfibradora por sobrepeso.

- Reconstrucción de martillos

Dado a las mejoras en el equipo y el injerto de tungsteno, se ha logrado una mayor vida para los martillos, y son cambiados en su mayoría a los 2 meses de uso, sin embargo, se reconstruyen los pedazos faltantes con electrodo 7 018 hasta su forma original y luego se aplica soldadura con electrodo 4 004 como refuerzo. Se vuelven a pesar y deben estar dentro de los parámetros de peso permisibles para su funcionamiento.

- Inspección de barras y de tornillería

Se realiza en los días de mantenimiento programado o en paros por falta de caña, mediante un ensayo de ultrasonido y se procede a cambiarla si fuera necesario. Se revisa el estado general de la estructura y de los elementos que la componen, de presentar inconformidades, deber ser sustituidos.

- Rodo alimentador

Este es un elemento rotativo que realiza su movimiento en sentido contrario a la desfibradora para crear la distribución correcta de caña en la parte superior, entre el yunque y los martillos. Este tiene su centro en un plano superior al de la desfibradora, por lo cual el paso de caña es uniforme y no genera atoros con el conductor de tablillas. Se acciona por un motor eléctrico de 50 hp.

## Figura 37.

### *Rodo Alimentador*



*Nota.* Rodo alimentador. Elaboración propia.

- Limpieza general

Se retiran cantidades excesivas de bagazo o fibra con agua a presión o aire comprimido, por su difícil acceso esta actividad se realiza usualmente en días de mantenimiento programado o paros por falta de caña.

- Inspección visual

Se revisa cíclicamente el estado general de la estructura observando a detalle el tambor y el eje del rodo alimentador, si fuera necesario se realiza un ensayo de líquidos penetrantes en las puntas del eje por fisuras con la soldadura del tambor, o se hace un análisis de radiografía al eje por algún mal resultado en análisis de vibraciones efectuados bajo programación.

- Lubricación

Se realiza en días de mantenimiento programado y se aplica grasa de extrema presión Alvania EP2.

- Yunque

Es un arreglo secuencial de barras metálicas con un espaciado configurado de acuerdo con el diseño de la desfibradora. Estas barras están fijas y en conjunto con la rotación de los martillos, generan el desfibrado de los pedazos de caña que provienen de la picadora.

- Lubricación

Se realiza con grasa Alvania EP2 en días de mantenimiento programado o cuando tenga la necesidad de lubricar.

- Calibración de yunque

Esta actividad se realiza en días de mantenimiento programado o en paros por falta de caña. Consta en ajustar la posición del yunque a una holgura de 1/2". Y el fin de este ajuste es la necesidad de controlar la holgura adecuada del paso de caña para mantener un óptimo índice de preparación.

#### **2.3.5.3.2. Recurso humano**

El personal operativo para el mantenimiento de la desfibradora está dentro del personal de preparación de caña, siempre teniendo el apoyo de operadores del patio de caña que tienen un rol de observantes durante la operación para

informar cualquier anomalía. Durante zafra la operación de la desfibradora está a cargo de un solo operario y apoyo del mecánico y soldador de turno para hacer las respectivas rondas. Además, se delega la fabricación de martillos a un soldador de menor nivel para tener listo el cambio de martillos para cuando sea necesario, por lo que quedaría el recurso humano de la siguiente manera:

- 3 operadores de preparación de caña (1 por turno)
- 6 soldadores (2 por turno)
- 3 mecánicos (1 por turno)
- 1 mecánico especial designado por el área de mantenimiento predictivo para poder llevar la verificación del equipo.

Mientras que, en reparación, el mantenimiento de toda la desfibradora está a cargo únicamente del área de preparación de caña, donde se da la tarea a los operarios de la siguiente manera:

- 2 mecánicos, encargados del desmontaje y montaje de la desfibradora.
- 1 soldador, encargado de la fabricación y reparación de martillos.
- 1 mecánico especial, que es designado por el área de mantenimiento predictivo para la alineación, balanceo y demás ensayos necesarios para la desfibradora.

#### **2.3.5.3.3. Hoja de programación de mantenimiento**

Se presenta la hoja de programación de mantenimiento predictivo de la desfibradora y todos sus componentes para los distintos lapsos de tiempos adecuados.

**Figura 38.**

*Hoja de programación de mantenimiento predictivo de la desfibradora*

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
HOJA DE RUTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE DESFIBRADORA					
NÚMERO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA			OBSERVACIONES
		SEMANAL	ANUAL	PROGRAMADO	
<b>ACOPLAMIENTO</b>					
1	DESMONTAJE		X		
2	INSPECCIÓN VISUAL	X		X	
3	LIMPIEZA GENERAL	X	X		
4	LUBRICACIÓN	X	X	X	
5	MONTAJE		X		
<b>ESTRUCTURA</b>					
6	LIMPIEZA GENERAL		X		
7	INSPECCIÓN DE VIGAS DE CARGA		X	X	
8	INSPECCIÓN DE LA CUBIERTA		X	X	
9	INSPECCIÓN DE FALDONES LATERALES		X	X	
10	REVISIÓN DE LÁMINA		X	X	
11	DESMONTAJE DE CUBIERTA Y FALDONES LATERALES		X		
12	LIMPIEZA DE SOPORTES		X		
13	REPARACIÓN DE SOPORTES		X		
<b>PRUEBA</b>					
14	PRUEBA		X	X	
<b>RODAMIENTOS</b>					
15	INSPECCIÓN VISUAL	X		X	
16	LUBRICACIÓN	X	X	X	
17	CALIBRACIÓN		X		
18	DESMONTAJE		X		
19	MONTAJE		X		
20	LIMPIEZA GENERAL	X			
<b>CHUMACERAS</b>					
21	INSPECCIÓN VISUAL		X	X	
22	LIMPIEZA GENERAL		X		
23	MONTAJE		X		
24	INSPECCIÓN DE TORNILLERÍA DE ANCLAJE		X	X	
25	DESMONTAJE		X		
26	PINTURA		X		
27	LUBRICACIÓN			X	
28	CAMBIO DE COJINETES		X		
<b>MARTILLOS</b>					
29	DESMONTAJE		X		
30	CAMBIO DE JUEGO DE MARTILLOS	X	X	X	
31	INSPECCIÓN VISUAL	X		X	
32	MONTAJE	X	X		
33	RECONSTRUCCIÓN DE MARTILLOS		X	X	
34	REPARACIÓN DE INSERTOS	X		X	
35	LIMPIEZA GENERAL	X			
36	INSPECCIÓN DE LA BARRA		X	X	
37	CAMBIO DE LA BARRA		X	X	
<b>DESFIBRADORA</b>					
38	DESMONTAJE DE SOPORTES		X		
39	REPARACIÓN DE SOPORTES		X		
40	LIMPIEZA GENERAL		X		
41	ELABORACIÓN DE BUSHINGS		X		
42	FABRICACIÓN DE SEGUROS DE BARRAS		X	X	
43	INSPECCIÓN VISUAL DE DISCOS LATERALES		X		
44	REPARACIÓN DE DISCOS LATERALES		X		
45	MONTAJE DE SOPORTES EN EJE		X	X	
46	MONTAJE DE LOS BUSHINGS EN SOPORTES		X		
47	MONTAJE DE DISCOS LATERALES		X		
48	ALINEACIÓN Y NIVELACIÓN DEL ROTOR		X		
49	BALANCEO DEL ROTOR		X		
50	INSPECCIÓN DE COJINETES		X		

Continuación de la Figura 38.

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
HOJA DE RUTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE DESFIBRADORA					
NÚMERO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA			OBSERVACIONES
		SEMANAL	ANUAL	PROGRAMADO	
<b>CIMENTACIÓN</b>					
51	INSPECCIÓN VISUAL		X	X	
<b>RODO ALIMENTADOR</b>					
52	DESACOPLAR		X		
53	DESMONTAJE		X		
54	INSPECCIÓN VISUAL		X	X	
55	APLICACIÓN DE SOLDADURA		X		
56	MAQUINADO DE EXTREMOS		X		
57	LIMPIEZA GENERAL		X	X	
58	MONTAJE		X		
59	ACOPLAR		X		
<b>YUNQUE</b>					
60	AFLOJAR PERNOS DE ANCLAJE DE CHUMACERA DE CARGA		X		
61	AFLOJAR TUERCA DE TORNILLOS AJUSTADORES		X		
62	DESMONTAJE DEL YUNQUE DE SU BASE		X		
63	LIMPIEZA GENERAL		X		
64	MONTAJE		X		
65	APLICACIÓN DE SOLDADURA EN LAS MUELAS DEL YUNQUE		X		
66	DESMONTAJE DE MUELAS DE YUNQUE		X		
67	MONTAJE DE MUELAS EN EL YUNQUE		X		
68	MONTAJE DEL YUNQUE EN SU BASE		X		
69	COLOCAR Y APRETAR TUERCAS EN TORNILLOS DE AJUSTE		X		
70	LUBRICACIÓN			X	
71	CALIBRACIÓN DEL YUNQUE			X	

*Nota.* Hoja de programación de mantenimiento predictivo de la desfibradora. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### 2.3.5.3.4. Hoja de verificación

Se presenta la hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la desfibradora y todos sus componentes en días de paro programado debido que, al ser un equipo rotativo en época de zafra es muy difícil acceder a todas las áreas de la misma y no se pueden realizar todas las actividades con normalidad. Esto aumenta en la desfibradora al tratarse de tres equipos: cuerpo, rodo alimentador y yunque.

**Figura 39.**

*Hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la desfibradora*

INGENIO MAGDALENA S.A. DEPARTAMENTO DE MOLIENDA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
HOJA DE RUTA DE VERIFICACIÓN PREDICTIVO DE DESFIBRADORA			
TÁNDEM:	FECHA:	REGISTRO:	
NÚMERO	ACTIVIDAD	ESTADO (%)	OBSERVACIONES
<b>ACOPLAMIENTO</b>			
1	INSPECCIÓN VISUAL		
2	LUBRICACIÓN		
<b>ESTRUCTURA</b>			
3	INSPECCIÓN DE VIGAS DE CARGA		
4	INSPECCIÓN DE LA CUBIERTA		
5	INSPECCIÓN DE FALDONES LATERALES		
6	REVISIÓN DE LÁMINA		
<b>RODAMIENTOS</b>			
7	INSPECCIÓN VISUAL		
8	LUBRICACIÓN		
<b>CHUMACERAS</b>			
9	INSPECCIÓN VISUAL		
10	INSPECCIÓN TORNILLERÍA DE ANCLAJE		
11	LUBRICACIÓN		
<b>MARTILLOS</b>			
12	CAMBIO DE JUEGO DE MARTILLOS		
13	INSPECCIÓN VISUAL		
14	RECUPERACIÓN DE MARTILLOS		
15	REPARACIÓN DE INSERTOS		
16	INSPECCIÓN DE BARRA		
<b>DESFIBRADORA</b>			
17	INSPECCIÓN VISUAL DE DISCOS LATERALES		
18	INSPECCIÓN DE COJINETES		
<b>CIMENTACIÓN</b>			
19	INSPECCIÓN VISUAL		
<b>RODO ALIMENTADOR</b>			
20	INSPECCIÓN VISUAL		
21	LIMPIEZA GENERAL		
<b>YUNQUE</b>			
22	LUBRICACIÓN		
23	CALIBRACIÓN DEL YUNQUE		
REALIZADO POR:			
REVISADO POR:			

*Nota.* Hoja de verificación de mantenimiento predictivo de la desfibradora. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **2.3.6. Insumos, herramientas y materiales**

Los elementos principales que se necesitan en los trabajos de mantenimiento se agrupan en tres grandes clasificaciones: soldadura, lubricantes y herramientas.

#### **2.3.6.1. Soldadura**

Este es el proceso más utilizado para realizar las distintas reparaciones y adecuaciones del equipo para su funcionamiento. Hay varios tipos de soldadura que se emplean en el departamento, que se definen de la siguiente manera:

- Soldadura autógena: que consta de la mezcla de oxígeno y acetileno a altas presiones principalmente para realizar corte de láminas de distintos grosores y la unión de tuberías, se producen tres tipos de llamas:
  - Carburante
  - Neutra
  - Oxidante
- MIG (*Metal Inert Gas*) o MAG (*Metal Active Gas*) que son definidas por el tipo de gas que utilicen.
- Soldadura por plasma que sirve principalmente para el corte de elementos de mayor grosor.
- Soldadura por arco eléctrico, que es el tipo de soldadura más empleada por varios electrodos para distintos fines entre los cuales destacan los siguientes:

- Electrodo 4 004 N utilizado normalmente para situaciones que es necesario combatir la abrasión general esperada por impactos, es por ella que predomina en las cuchillas de la picadora y martillos de la desfibradora. Esta resistencia se debe a la alta concentración de carburos de cromo y su fácil aleación con varios aceros.
- Electrodo Al 308-16 utilizados para aceros de alta resistencia a la oxidación y la corrosión al ser un recubrimiento inoxidable por poseer un núcleo sólido tipo austenítico de la familia de inoxidables Cromo-Níquel.
- Electrodo 7 018 es resistente a la humedad y se utiliza en aceros que requieren severos controles radiográficos en toda posición, es utilizado mayormente en la unión de materiales.
- Ferronilox 70 es utilizado para la reparación de piezas de hierro maleable como las bases de los motores, bombas o cajas de engranajes.

### **2.3.6.2. Lubricantes**

En lubricantes se implementará la estandarización de insumos, utilizando grasas o aceites en los equipos similares, siguiendo el plan de lubricación cíclico para toda el área, que se aplica de forma manual o por medio de bombas con telemetría de niveles de lubricación. Dentro de los insumos de mayor uso están:

- Grasa Shell Alvania EP2 Gadus S3

Es una grasa de consistencia media y está diseñada para lubricación industrial general, se puede emplear en cojinetes planos y rodamientos operando bajo condiciones severas incluyendo cargas de impacto en ambientes húmedos.

- Grasa Copal OGL

Presenta consistencia media y está diseñada para lubricación industrial general. Es ideal para sistemas de lubricación centralizados a temperaturas normales. Mantiene su consistencia por largos periodos de tiempo y posee la propiedad de la reversibilidad. Tiene buena estabilidad mecánica y gran protección contra la corrosión.

- Aceite ISO VG

Es un aceite hidráulico empleado en cilindros de levante y unidades hidráulicas que asisten a las mazas cañeras en molinos. Tiene alto nivel de propiedades anti-desgaste y su película es muy resistente, está compuesto por un sistema que neutraliza la formación de materiales corrosivos.

- Grasa Castrol Molub-Alloy 6 040

Es una grasa de sulfonato de calcio de trabajo pesado en aplicaciones industriales. Pueden ser utilizados en cojinetes antifricción en aplicaciones de condiciones ambientales extremas. Es ideal para procesos agresivos donde hay agua presente.

- Aceite Castrol Molub-Alloy

Se utiliza en cadenas de transmisión operando a altas temperaturas, este aceite resiste a la acumulación de contaminación y materia abrasiva.

- Lubricante transparente S20CLEAR

Se caracteriza por tener aditivos de extrema presión para engranajes. Esta formulado con aceites minerales que ayudan a reducir la formación de lodos y prolongar la vida útil del aceite. Presenta muy buena demulsibilidad para facilitar la eliminación de agua.

### **2.3.6.3. Herramientas**

Entre las principales herramientas disponibles para mecánicos dentro de la preparación de caña, contamos con estas cuatro principales para el desarrollo de sus actividades.

- Pulidoras rotativas

Son herramientas principalmente utilizadas para el pulido de las mazas y otros elementos, este pulido se logra por la rotación de un disco de material abrasivo a altas velocidades, requieren gran destreza y experiencia por parte del personal que las opera.

- Polipasto

Son arreglos mecánicos que constan de dos o más poleas en las que circula una cadena y permite elevar pesos de manera sencilla, gracias al apoyo de las poleas, ejerciendo una menor fuerza al peso del elemento que se desea elevar, en el departamento se utiliza para el montaje y desmontaje de gran variedad de equipos.

- Taladro

Esta herramienta genera agujeros cilíndricos y el mecanizado de estos generando dos movimientos: el rotativo que realiza la broca y el de avance que se puede realizar manualmente.

- Pistola de impacto

Sirven para el ajuste y desajuste de tornillos y tuercas, pueden ser accionadas de forma eléctrica o neumática. Son utilizados principalmente para ajustar tornillería de forma óptima y segura para evitar concentraciones de esfuerzos. Todo el equipo debe estar ajustado de forma segura ya que su operación es pesada y crítica dentro del proceso de producción de azúcar.



### **3. GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS CRÍTICOS (FASE DE INVESTIGACIÓN)**

Bajo los lineamientos de un proceso administrativo, se emplean las distintas herramientas de ingeniería para mostrar los pasos a tomar en la mejora de gestión del inventario. La principal finalidad es evitar los tiempos perdidos por falta de stock, así como los costos generados por almacenamiento de materiales obsoletos al proceso, garantizando la continuidad de operaciones y sobre todo en los equipos de mayor criticidad.

#### **3.1. Inventarios**

Son los bienes tangibles que se utilizan para la fabricación o en este caso mantenimiento y servicio de los equipos y maquinaria encargada de la producción de azúcar. Es todo repuesto o bien que posee la empresa que le permite el cambio o mejora de equipos y maquinaria en funcionamiento en un periodo económico determinado.

##### **3.1.1. Tipos**

Según el tipo de industria así será el inventario que se aplique o según su necesidad. Este activo dispone de gran variedad de artículos por lo que se puede definir de la siguiente manera para el área industrial.

- Inventario de materia prima: principalmente conformado por materiales o insumos necesarios para el funcionamiento de las líneas de producción, ya

se para cambio por necesidad o mantenimiento. Son los elementos intercambiables de las estructuras que conforman el proceso de producción.

- Inventario de prescindibles: está conformado por materiales de una sola utilización, tal como los lubricantes, gases industriales y grasas. Los cuales llevan controles estrictos por su necesidad diaria para los distintos procesos de mantenimiento.
- Inventario de equipos: en este inventario se tiene a detalle las maquinarias y equipos cargados al funcionamiento de cada departamento, consta de los equipos implicados en el proceso tanto como los de reserva por necesidad de cambio.

### **3.1.2. Funciones de los inventarios**

La principal función de los inventarios es lograr la gestión y control de lo que entra, y sale para mantenimiento o consumo para producción. Así mismo permite controlar los tiempos necesarios para solicitar repuestos o materia prima para el abastecimiento.

Un buen inventario también cumple la función de eliminar las irregularidades en la oferta o producción, además de organizar materiales obsoletos o que no cumplieron con las especificaciones necesarias para el departamento.

### **3.1.3. Clasificación de inventarios**

Dada la operación que se tiene en el departamento los dos métodos más asertivos para clasificar los inventarios constan del análisis ABC y el método PEPS, ya que nos dan la pauta de la criticidad de cada material, así como el aprovechamiento de este en sus óptimas condiciones de operación. Hoy en día

molienda cuenta con la cantidad de 341 materiales asignados a su inventario, cuya rotación, criticidad y costo son las principales características para evaluar.

### **3.1.3.1. Análisis ABC**

Es un método que clasifica las existencias en función de criticidad, y consta de tres categorías.

- Clase A: son los artículos que garantizan la continuidad de operaciones, debe existir siempre un material de repuesto en stock para poder realizar cualquier mantenimiento o cambio. En su defecto también son insumos necesarios para las tareas diarias. Estos artículos físicamente son el número más bajo, pero representan aproximadamente un 60 % de la importancia de los materiales.
- Clase B: su criticidad es menor, normalmente están los materiales que su costo y disponibilidad no son factores que afecten de gran manera la operación ya que son precios accesibles y proveedores locales. Tienen un mayor número de materiales y representa un 30 % de la importancia del inventario.
- Clase C: esta clase cuenta con el mayor número de materiales físicamente, sin embargo, representan un 10 % de la criticidad del inventario ya que son materiales que no afectan la operación o se han quedado acumulados con el transcurso del tiempo.

**Tabla 4.**

*Clasificación de materiales según análisis ABC*

<b>Clase</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Cantidad (%)</b>	<b>Criticidad %</b>
A	38	11,14	60,00
B	95	27,68	30,00
C	208	61,00	10,00
TOTAL	341	100,00	100,00

*Nota.* Clasificación de materiales según análisis ABC. Elaboración propia, realizado con Word.

La distribución de materiales de la Tabla No. 3, está basada en la experiencia de los coordinadores y supervisores del área. Por ejemplo, dentro de la clase A, tenemos distintos motores, bombas o reductores que su rotación es baja pero el impacto de no tener el repuesto significa para la línea de producción. En contraste la clase C, que consta de insumos, tales como tornillos, electrodos, gases, herramientas, que son funcionales, sin embargo, no afectarían la operación del departamento.

### **3.1.3.2. Metodología PEPS**

Esta metodología tiene su base en las entradas y salidas de los materiales al almacén, las siglas definen “primero en entrar, primero en salir”, ya que en función al arribo del material se despachará el mismo para garantizar las óptimas condiciones de este y sus propiedades no sean una causa de atrasos o fallos en los distintos trabajos de mantenimiento.

Entre las mayores ventajas de esta metodología esta la mejora en calidad de producto y reducir los materiales obsoletos o que representen un costo de

almacenamiento porque ya no se utilizarán. Esta clasificación dentro del departamento se propuso aplicar en los consumibles tales como electrodos, gases industriales, lubricantes y filtros. Los principales pasos para poder efectuar esta metodología son:

- Organizar el almacén: tener las áreas específicas de recepción y despacho de materiales, para que según ingreso por pedido de compra se tenga más cerca del despacho el pedido más antiguo.
- Capacitar al personal: es vital darle a entender al equipo de bodega la importancia de la metodología y como nos ayudara en evitar costos innecesarios.
- Integrar con sistemas de gestión: principalmente con contabilidad, para realizar un seguimiento preciso de los costos de inventarios.
- Monitorear y ajustar: programar evaluaciones cíclicas para verificar la efectividad que tiene y si es necesario reajustar para poder mejorar el modelo.

El mayor reto de esta propuesta está a nivel sistema, por la trazabilidad de los materiales, con sus respectivos números de lotes y fabricación para poder tener un anclaje de los materiales y su despacho ordenadamente en base a la compra y recepción de estos. Lo cual implica una estandarización de marcas y materiales para evitar cualquier inconveniente.

#### **3.1.4. Control de inventarios**

El principal efecto de tanto orden y revisión en los inventarios es lograr un control adecuado del mismo, así como un almacenaje optimo, de tal forma que el nivel de existencia se mantenga en óptimas condiciones, logrando atender en todo momento la necesidad del departamento.

Dentro de los campos de mejora, está la propuesta de un proceso administrativo dentro del área para lograr una gestión automatizada y confiable del inventario, creando mejoras en el sistema computarizado garantizando el cumplimiento del mantenimiento predictivo.

Se plantea identificar por fases la programación de inventarios, definidas a continuación:

- Definir parámetros básicos, tales como: moneda, costo, centro, almacén y tipo de material.
- Asignación de los niveles de inventario, especificando unidades de medida y las unidades que han sido contabilizadas.
- Generar una estratificación, para reducir al mínimo el número de unidades que deben contarse.

#### **3.1.4.1. Métodos computarizados**

Es un deber como empresa líder en Guatemala la constante busca de la mejora, y por ende está la actualización en métodos de gestión de inventario. Estas mejoras permiten incurrir en menos gastos, registros exactos y puntuales para hacer una logística muy asertiva y competente extendiendo a toda la empresa.

##### **3.1.4.1.1. Microsoft Excel**

Una herramienta bastante útil es Microsoft Excel ahora complementada con Power BI, tiene una capacidad inmensa de funciones sin embargo es una forma de tener un inventario manual, ya que es casi imposible automatizarlo. Sin embargo, es una herramienta útil para los conteos cíclicos llevados a cabo

semanalmente para tener una referencia de la existencia de materiales en bodega.

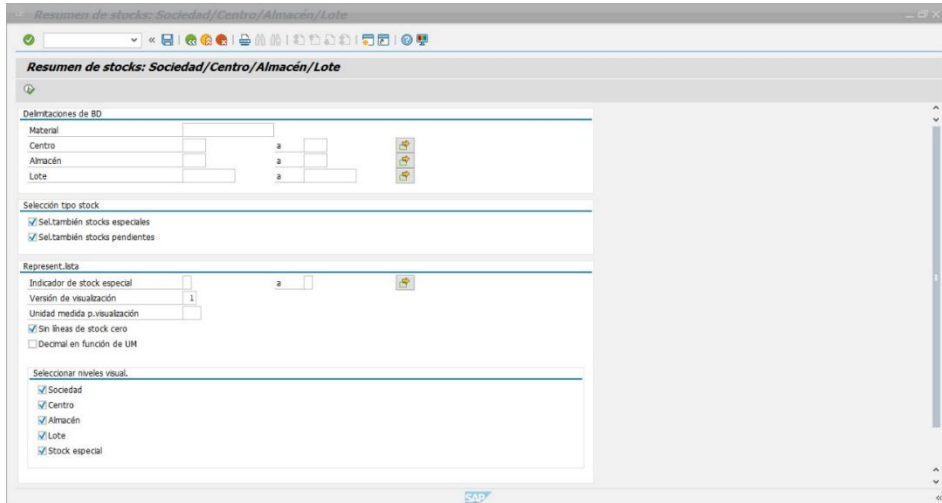
#### **3.1.4.1.2. SAP PM**

Durante el año 2016, se presentó la implementación del sistema *SAP Business*, en todas sus categorías empresariales para el control interno del Ingenio. Anteriormente se utilizaba el sistema *Oracle* que, si bien era eficiente no tenía la capacidad que posee *SAP*, ya que *SAP* tiene alcance a todos los procesos internos de la organización, dando resultados preliminares del proceso y una interfaz amigable para el usuario.

Tras haber sido aprobado, se implementó este sistema en el año 2017 en todos los departamentos del Ingenio, teniendo transacciones que permiten manejar el flujo de productos, determinando *stocks* de almacenes y sus costos asociados. En el camino surgieron muchas deficiencias para el manejo del sistema, sin embargo, tras constante capacitación el sistema es dominado en su totalidad y en constante mejora en transacciones o ingresos que serán de beneficio para las operaciones. A continuación, se definen las transacciones con más impacto dentro de las actividades operativas de almacenes y gestión de materiales.

**Figura 40.**

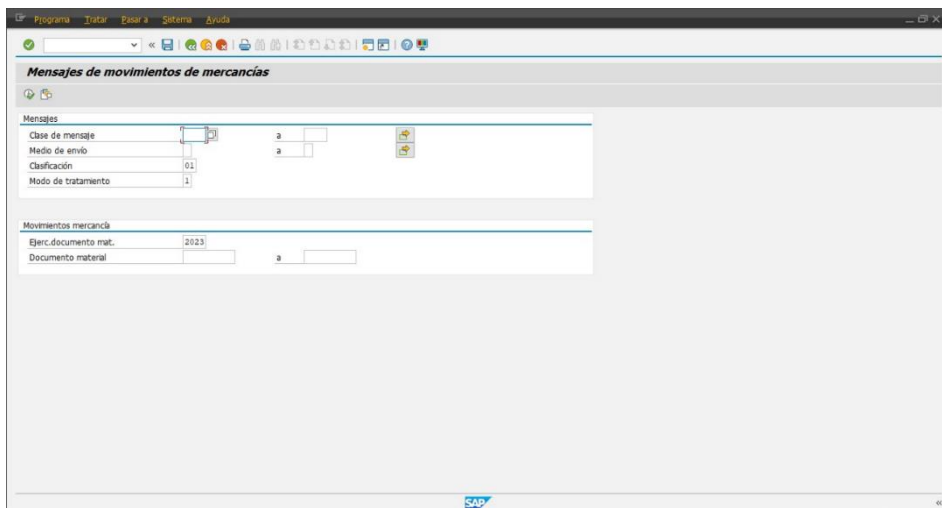
*Transacción MMBE - Stock de materiales*



*Nota.* Transacción de stock de materiales. Elaboración propia.

**Figura 41.**

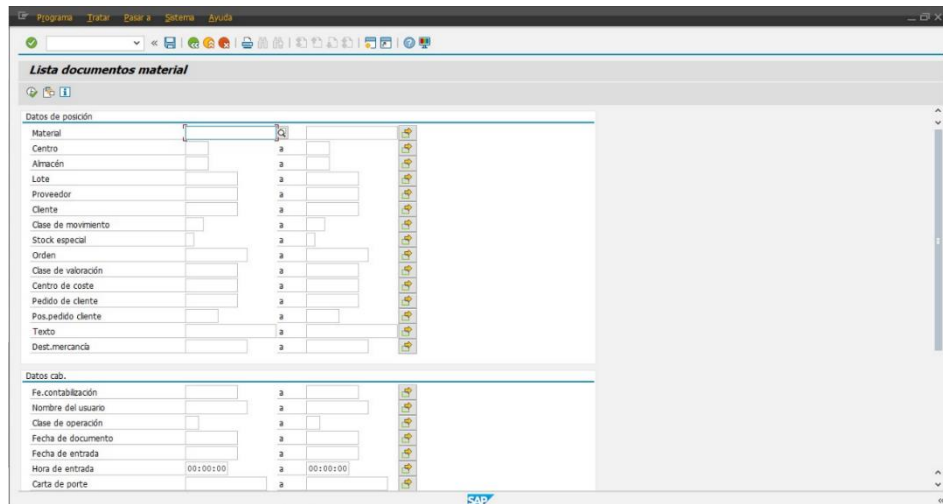
*Transacción MB90 - Ingreso de material*



*Nota.* Transacción de ingreso de materiales. Elaboración propia.

**Figura 42.**

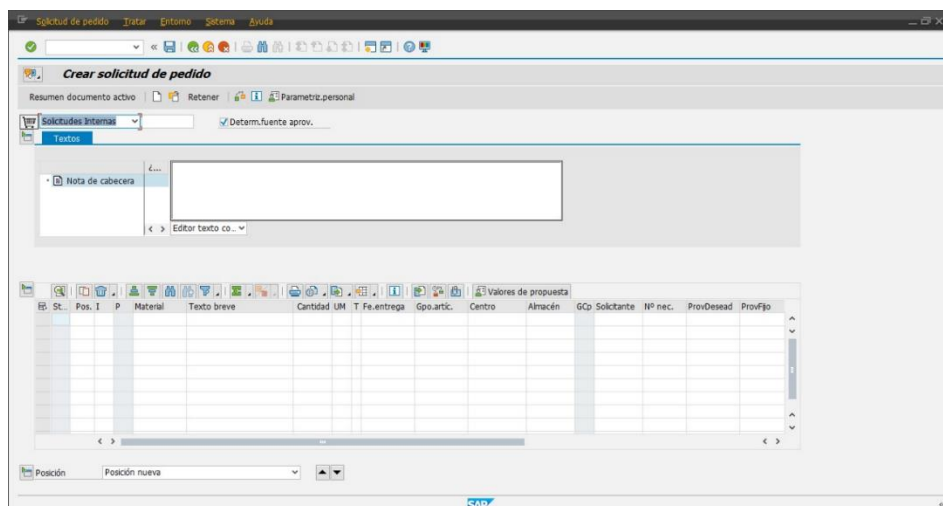
*Transacción MB51 - Movimientos de materiales*



*Nota.* Transacción de movimientos de materiales. Elaboración propia.

**Figura 43.**

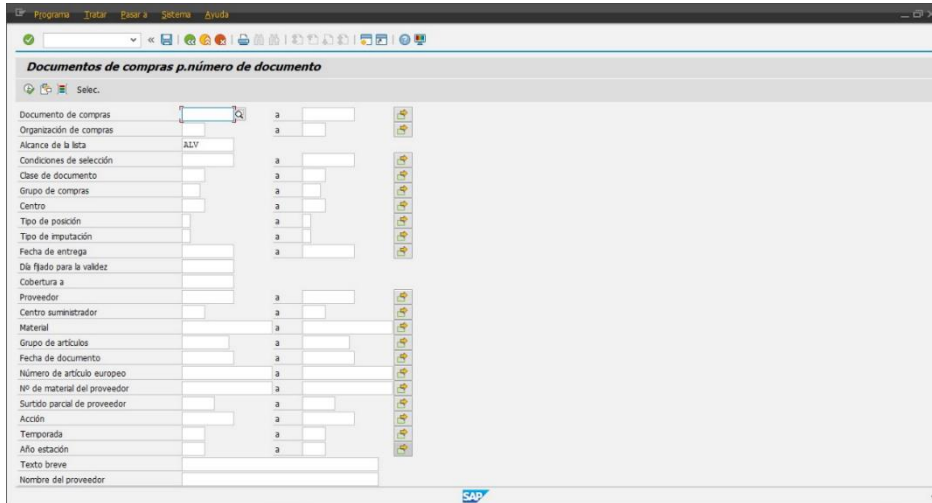
*Transacción ME51N - Solicitudes de materiales*



*Nota.* Transacción de solicitudes de materiales. Elaboración propia.

**Figura 44.**

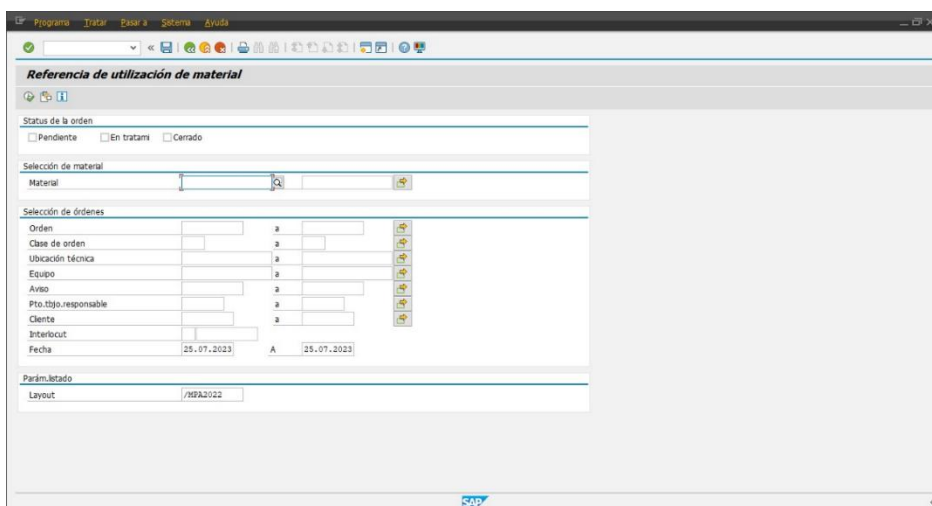
*Transacción ME2N – Orden de compra para trabajo*



*Nota.* Transacción orden de compra para trabajo. Elaboración propia.

**Figura 45.**

*Transacción IW31 – Referencia utilización de materiales*



*Nota.* Transacción de utilización de materiales. Elaboración propia.

#### **3.1.4.1.3. Capacitación**

El mayor desafío dentro de la empresa es el constante crecimiento que existe, siempre hay un gran potencial de mejora continua y gracias a ello todo el enfoque debe concentrarse en la fuerza laboral. Todo aporte de los trabajadores implica un acercamiento al cumplimiento de las metas organizacionales. Y por eso mismo es importante que los trabajadores sean escuchados y aporten ideas, dándoles una constante capacitación de los procesos establecidos.

Para lograr esta mejora, se plantea programar reuniones semanales para la detección de necesidades y oportunidades de crecimiento. Estas reuniones son de doble vía, ya que, así como los trabajadores dan sus propuestas, reciben una capacitación en procesos que estén siendo complejos o mostrando debilidades.

#### **3.1.5. Clasificación de zonas de almacenaje**

El costo por almacenamiento depende directamente de la facilidad con que puedan realizar la recepción de materiales hasta su utilización para algún mantenimiento o remplazo dentro de la línea de producción. Y dentro de este campo existe la posibilidad de una mejora en logística dentro de las bodegas. Por lo tanto, es necesario adecuar las zonas respectivas de las bodegas para cada una de las operaciones.

##### **3.1.5.1. Zona de recepción y control**

Posiblemente el área más importante es la recepción ya que es donde se da el visto bueno de la calidad y estado del material para su uso. Hay hangares específicos para cada tipo de material, así como centros distribuidos por área de

la empresa. Cada centro cuenta sus propios almacenes donde cada categoría de materiales está distribuida en el ingenio. El deber del bodeguero consta en el conteo de la mercadería recibida, cargar el dato dentro de SAP-PM a la orden de compra correspondiente y despachar a los usuarios solicitantes.

Por la complejidad de las labores dentro del ingenio, al ser una carga de trabajo bastante grande y extensa, se delega la recepción a un solo bodeguero, teniendo su puesto de control delimitada al inicio de las entradas de bodega, en un área donde los camiones puedan descargar y salir de las instalaciones sin complicaciones.

#### **3.1.5.2. Zona de preparación**

En esta zona se debe tener el traslado de los materiales al despacho correspondiente, al recibir la notificación de reserva en bodega del uso del material, se coordina dentro del almacén el material necesitado y se ubica en el hangar de entrega que está ubicado en la parte más cercana a la planta industrial. Para esta tarea se tienen dos ayudantes, encargados de la movilización de los materiales ya sea cargados o con montacargas.

Esta área es la de mayor tamaño dentro de la bodega ya que en ella se almacena todos los materiales y se tiene un espacio para la preparación de las reservas, esto permitirá disminuir la complicación de las operaciones de clasificación de los pedidos de materiales.

#### **3.1.5.3. Zona de salida y verificación**

Está ubicada en el hangar de despacho, donde los ayudantes de la preparación dejaron el material requerido, dependiendo del tipo de material se

puede coordinar el uso de un montacarga o un cargador frontal para el movimiento del material. Hay otro bodeguero encargado del despacho de material, que tiene la labor de contar físicamente el material y cargar los datos a SAP-PM para terminar de contabilizar los gastos del producto y de almacenamiento.

La importancia de esta área es que el despacho sea inmediato y sin complicaciones para los usuarios, que las tareas de mantenimiento no se vean interrumpidas y eso provoque atrasos en todas las actividades programadas para la época de reparación o en las actividades de corrección o prevención durante zafra.

### **3.2. Definición de equipos críticos**

El proceso que ocurre dentro de los ingenios azucareros incluye una gran cantidad de equipos con distintos niveles de criticidad. Hay varios criterios para determinar la criticidad de un equipo, pero el mayor aspecto es cuanto menos puede ser obviada del proceso. Otros aspectos son; el costo, complejidad de manipulación y mantenimiento, costo en reparación y pérdidas, así como los daños que puede causar a otros equipos.

#### **3.2.1. Clasificación de equipos críticos**

Dentro del proceso de preparación de caña intervienen bastantes equipos de los cuales algunos tienen una mayor repercusión en el proceso general, ya que es más sencillo suplir algunos equipos antes que otros que demoran días en cambiar. Es por ello que se necesita definir la criticidad de los mismos de acuerdo a varios factores, y a estos equipos se le dará seguimiento con técnicas de

mantenimiento predictivo ya mencionadas. Dentro del Ingenio Magdalena se clasifica la criticidad de la siguiente manera:

**Tabla 5.**

*Determinación de criticidad para equipos*

<b>Equipo</b>	<b>Complejidad</b>	<b>Frecuencia de fallo</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Categoría</b>
Conductor de Tablillas	Media	Baja	Baja	Baja criticidad
Picadora	Alta	Media	Media	Criticidad media
Desfibradora	Alta	Alta	Media	Alta criticidad

*Nota.* Determinación de criticidad para equipos. Elaboración propia, realizado con Word.

### **3.3. Planificación**

Para tener una buena base en la gestión es importante contar con la planificación adecuada de las operaciones. Hay que prever todo problema que genere incertidumbre en los procesos, y tener planes de contingencia para los posibles escenarios. Es por ello que se planifica con antelación todas las mejoras o correcciones dentro de la línea, y para cumplir con los tiempos establecidos se propone tener los modelos de mantenimiento por lo menos con un año de holgura.

#### **3.3.1. Situación actual**

A pesar de ser procesos de mantenimiento muy repetitivos, en la mayoría de los casos no hay una planificación adecuada de los materiales, sin embargo, cabe a mencionar que predecir en su totalidad todo el consumo de materiales e

insumos es prácticamente imposible. No obstante, la mayoría de los equipos dan señales cuando su fallo está cerca, es por ello que con la implementación de rutas de ensayos no destructivos se espera eliminar esa brecha de mala gestión dentro del departamento.

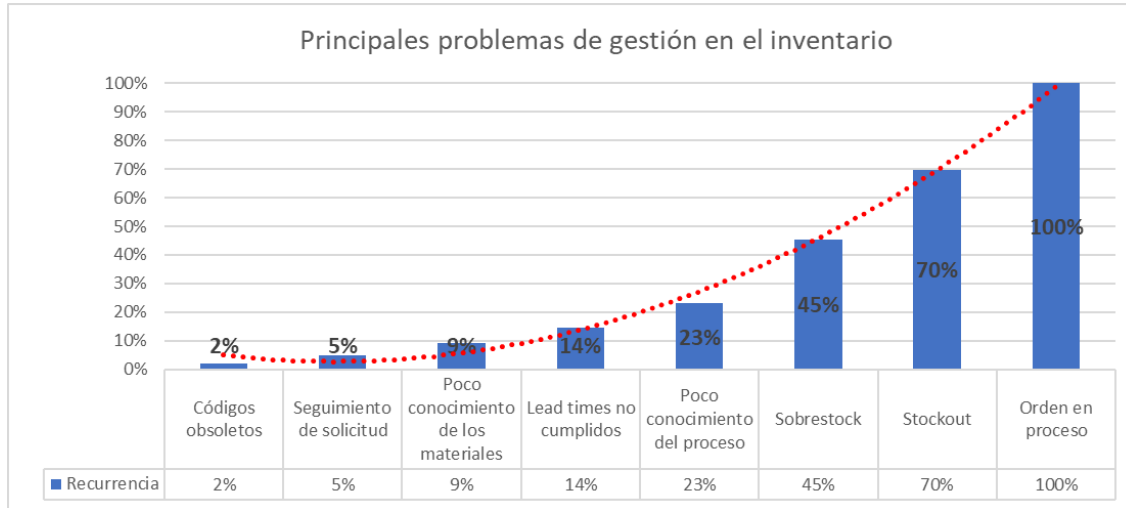
En el área industrial ocurre la particularidad que la planificación de los departamentos no es de manera sincrónica, por lo que hay materiales que varios departamentos usan y no todos planifican el consumo de este, ocasionando en muchas ocasiones escasez en materiales que da como resultado los paros con tiempos perdidos indefinidos y costos más elevados en compras por la necesidad de obtener el material. Por lo tanto, con la propuesta de las siguientes herramientas se espera disminuir la incidencia de problemas por una mala gestión de inventario.

#### **3.3.1.1. Diagrama de Pareto**

A continuación, se presentan la recurrencia de los principales problemas en cuanto a la gestión de inventario. Del cual este diagrama de Pareto nos indicara los principales puntos a fortalecer. Se entrevisto al personal encargado de preparación de caña para poder tomar las conclusiones pertinentes.

**Figura 46.**

*Recurrencia de problemas en gestión de inventario*



*Nota.* Recurrencia de problemas en gestión de inventario. Elaboración propia, realizado con Excel.

Como se puede apreciar, los tres principales problemas tienen correlación entre ellos, al ser una mala planificación de necesidades. Ya sea por tener el repuesto o material de más o por no contar con existencias del mismo, que claramente es carecer de un orden en el proceso. Estos tres problemas representan el 77 % de los puntos a fortalecer en el proceso de abastecimiento del área para poder garantizar operaciones, teniendo como resultado una mejor gestión del inventario.

### **3.3.2. Presupuesto**

El primer paso dentro de la gestión del inventario es manejar un presupuesto creíble y que refleje la realidad de la operación. Muchas veces se trabaja un presupuesto anticipando fallos sin evidencias de que este sea habitual



### **3.3.3. Solicitudes**

Dentro de la plataforma SAP-PM se realizan las solicitudes de materiales que pasan al departamento de Cadena de Suministro, encargados de realizar las compras, gestionar servicios y planificar el abastecimiento de materiales. Estas solicitudes generan una orden de compra, cuyo registro es importante para tener historial de precios, tiempos y calidad de los proveedores.

Un ingenio al tener equipos con procesos muy específicos cuenta con proveedores designados para el abastecimiento de repuestos, sin embargo, para el área de preparación de caña, hay una gran cantidad de propuestas para los materiales. Es por ello que en las solicitudes hay que ser lo más detallista y cauteloso posible para poder recibir el material necesario y no incurrir en pérdidas de tiempo o costos por reasignar materiales.

Estas solicitudes son la base de los registros de mantenimiento ya que en ellas tenemos los datos del material necesario para cada labor realizado. Sin embargo, dentro de estas solicitudes son mantenimientos muy puntuales y que no abarcan las actividades que ocurren con mayor frecuencia. Es por esto que se propone trabajar con órdenes de trabajo para cada operación realizada, ya que con esta transacción se tiene un mejor registro de lo utilizado y en que se utilizó, y ya no solo el dato del total del material egresado de bodega, todo con el fin de tener un mejor control de los costos de mantenimiento, mejora en procesos de solicitud de material, teniendo lo justo siempre a tiempo.

### **3.3.4. Órdenes de trabajo**

Se debe llevar un registro de toda actividad de mantenimiento realizada en el departamento, para tener una mejor planificación de los recursos utilizados.

Durante zafra se planificará tener órdenes de trabajo semanales para poder abarcar el comportamiento de las líneas conforme el avance de producción. Sin embargo, durante reparación serán órdenes de trabajo individuales amarradas a procesos previos de mejora o evaluación. Tal como pruebas de ensayos no destructivos que darán el indicador para realizar el cambio o mantenimiento de cierto equipo en el momento justo evitando el paro en producción.

Con esto se busca tener historiales de cambios o reparaciones en equipos específicos, estimar tiempos de vida útil e indicadores para realizar los trabajos. Con esto se espera tener una mejor visión de los materiales necesarios para el momento necesario, tomando en cuenta *lead times* por importaciones. Así mismo verificar la criticidad de ciertas herramientas o materiales para todas las reparaciones al ser utilizados cíclicamente. Y con ello tener una base para la siguiente época lograr cubrir todas las necesidades sin atrasos y sin incurrir en gastos de almacenamiento.

### **3.4. Organización**

Se debe tener una buena relación con el departamento de Cadena de Suministro, en específico con las áreas de Compras y Almacenamiento. La necesidad de tener una buena comunicación con ellos garantizara cumplir con los tiempos establecidos de mantenimiento al haber mejorado la forma de almacenaje y tener con tiempo de antelación todos los insumos necesarios para las actividades dentro del departamento.

Con Almacenamiento se comparte la relación al ellos ser directamente los encargados de las bodegas ubicadas dentro del ingenio, en específico la ubicada en el área industrial de donde el departamento depende de todos sus insumos para poder trabajar. Con el nuevo modelo de zonas compartido con el área, se

propone un rediseño de su planta actual para poder ofrecer un mejor servicio y respuesta ante las necesidades que puede tener el departamento. Otro pilar clave de trabajo es compartir la información que posee almacenamiento, tales como rotación de los materiales, el ciclo que cumplen y cantidad utilizada. Es importante resaltar que habrá equipos con bastante tiempo almacenados, sin embargo, son equipos puntuales que por su criticidad se debe tener uno en stock por cualquier cambio de emergencia en equipos que condicionan la operación.

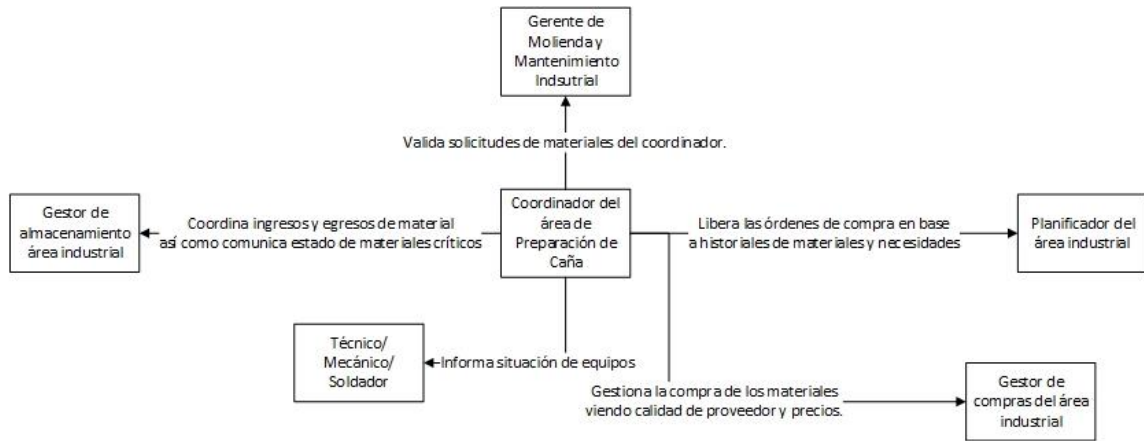
Con compras la relación es crítica, se debe poseer una buena planificación de los insumos para garantizar el cumplimiento de producción, así como de reparación. Es por ello que en base de historiales y registros se hará la toma de decisiones para poder programar y planificar todos los insumos dentro del departamento. Como se planteó, la planificación ira por lo menos con una antelación de seis meses dentro del presupuesto para brindar un panorama completo al área de Compras en cuanto a sus tiempos de importaciones y planificación de compras locales para no tener inconvenientes en los repuestos críticos de operación.

#### **3.4.1. Organigrama**

Para garantizar el adecuado funcionamiento y continuidad de operaciones dentro de la línea de preparación del Tándem C, se presenta a continuación el organigrama involucrado en todo el proceso de evaluación, planificación, gestión de compras y almacenamiento del departamento para todos sus repuestos de alta criticidad, así mismo se tiene las distintas relaciones directas interdepartamentales necesarias para asegurar el cumplimiento del plan y las actividades que conjuntamente deben coordinar entre ambos.

**Figura 47.**

*Mapa conceptual de interrelación para la gestión de repuestos críticos*



*Nota.* Mapa conceptual de interrelación para la gestión de repuestos críticos. Elaboración propia, realizado con Visio Drawing.

Cabe a resaltar que, en una gran proporción de insumos, no todos los involucrados tienen participación tal como en el organigrama. Hay insumos que son únicamente gestionados por el coordinador del área, el planificador y el gestor de compras ya que, por su uso cíclico, son repuestos considerados de máximos y mínimos por lo que periódicamente se hacen las solicitudes de compras sin tener que recibir un informe o validar estas solicitudes. Para estos materiales el gestor de almacenamiento tendrá un área designada por su alta rotación y brindar un fácil acceso a los mismo.

### **3.4.2. Tareas**

Cada miembro involucrado en la gestión del inventario tiene su propio proceso del cual depende la optimización del estado actual. En el inciso 3.4.1. se propuso las distintas interacciones que ocurren entre los miembros, para que el

coordinador del área lleve sus tareas a cabo sin complicaciones. Ahora se da a detalle el impacto y función de cada uno de los mismos al cumplir sus tareas de las cuales fueron designados y el orden adecuado del proceso para una mejora en la gestión del inventario.

**Tabla 7.**

*Tareas de involucrados en la gestión de inventario*

No. Tarea	Responsable	Función
1	Analista del área de Preparación de Caña	Lleva el registro de las solicitudes y órdenes de trabajo realizadas en el área. Reporta los costos que tienen las órdenes de trabajo, así como el consumo de los materiales designadas para cada trabajo.
2	Coordinador del área de Preparación de Caña	Programa las actividades de mantenimiento del área según necesidad de prevención o corrección según sea el caso. Evalúa las distintas oportunidades de mejora dentro del área. Elabora el presupuesto para el área.
3	Gerente de Molienda y Mantenimiento Industrial	Valida la programación de mantenimiento propuesta por el coordinador y delimita la totalidad de gastos aceptables.
4	Planificador del área Industrial	Analiza los movimientos de los materiales, así como el presupuesto planteado para la planificación de abastecimiento.
5	Gestor de compras del área Industrial	Coordina la compra de los materiales necesarios para las actividades. Gestiona con proveedores mejoras en precios y calidad de equipos y materiales.
6	Gestor de almacenamiento del área Industrial	Estructura el almacenamiento de materiales según criticidad planteada. Coordina la entrega de materiales a coordinadores. Controla la rotación para no tener sobrecostos en almacenamiento.

*Nota.* Tareas de miembros involucrados en la gestión de inventario. Elaboración propia, realizado con Word.

### **3.5. Ejecución**

Como parte del proceso de gestión, la ejecución debe ser ordenada y asertiva bajo los lineamientos e indicaciones que el coordinador de área indique. La importancia del orden en este proceso es para llevar un control y registro de todas las actividades que forman parte del proceso, todas estas actividades estratificadas en fases guiaran al área y sus componentes por el camino de mejora y optimización de herramientas.

Parte del reto es lograr que todos los involucrados cumplan su labor y tareas designadas, sin tener errores operativos y utilizando adecuadamente los recursos. Se estima que esta reestructuración tome alrededor dos meses para poder capacitar al personal en la nueva forma de cumplir sus actividades.

#### **3.5.1. Objetivo**

Mantener un orden en los trabajos de mantenimiento y sus componentes para poder cumplir con la gestión del inventario, así como guiar a las partes involucradas en el proceso con una comunicación asertiva verificando el uso adecuado de recursos.

#### **3.5.2. Estrategia**

Se desarrollará un plan de ordenamiento, el cual consta de implementar códigos a los diferentes equipos, así como el diagrama de flujo del proceso de cada material desde su solicitud hasta su fin. Parte de plan consta en verificar que los involucrados en el proceso mantengan su motivación en las labores para poder hacer su trabajo de la mejor manera.

Con el soporte de un reporte semanal en *Power BI* cuyo fin es evidenciar el uso de los materiales conforme el avance de la reparación, así como costos y tiempos perdidos durante zafra, con esta implementación se espera gestionar mejor los recursos de tal manera en no tener inventario muerto, y cumplir de manera adecuada con fechas de entrega en base a presupuestos bien diseñados. Con esta implementación el área de almacenamiento puede tener un mejor control de los materiales disponibles y entrantes de la semana para el uso de los operarios.

Y como ultima estrategia se tendrán reuniones semanales con las partes involucradas para tener una discusión de necesidades y puntos de mejora en el proceso. La meta general de la dirección es gestionar el inventario de tal manera que, en tres años, baje el costo de almacenamiento y los activos no funcionales para la empresa. Se logrará cumplir con la demanda de los usuarios obteniendo mejoras en los proveedores seleccionados al otorgar una herramienta de planificación a los mismos, que por medio de convenios siempre podrán abastecernos.

### **3.5.3. Plan de contingencia**

Al implementar cualquier tipo de mejora en cualquier tipo de industria es indispensable contar con herramientas y planes de emergencia ante el fallo de la implementación. En este caso particular, la falla principal es de tipo operativo, al depender de recurso humano cumpla la parte de su función para garantizar la mejora en gestión de inventario. Sin embargo, ante este factor un plan de contingencia en sí es complejo de definir ante la incertidumbre de las partes del proceso.

### 3.5.4. Riesgos

Ante la propuesta de mejora siempre se tienen factores tanto internos como externos que pueden provocar que la estrategia falle dentro de los cuales los principales son:

- Mala manipulación de datos.
- No se cargan todas las acciones realizadas.
- Poca cooperación de las partes involucradas.
- Agentes externos provoquen una catástrofe.
- Fallo en servidores.

### 3.5.5. Evaluación de riesgos

Se evaluaron los cinco riesgos bajo cuatro puntos críticos a medir que son: preparación, frecuencia, impacto y complejidad de solución.

**Tabla 8.**

*Evaluación de riesgos a estrategia de gestión de inventario*

Riesgo	Preparación	Frecuencia	Impacto	Complejidad	Resultado
Manipulación de datos	Bajo	Alto	Alto	Medio	Alto
Carga de información	Bajo	Alto	Alto	Medio	Alto
Cooperación	Bajo	Alto	Medio	Medio	Medio
Catástrofes	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Medio
Servidores	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo

*Nota.* Evaluación de riesgos a estrategia de gestión de inventario. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **3.5.6. Medidas**

El factor que más puede impactar en esta gestión es el factor humano al no tener el personal capacitado o en su defecto motivado a realizar bien sus labores, ya que una mala carga de información, así como su mala manipulación pueden reflejar resultados erróneos del mantenimiento.

Es por lo que, como parte de la mejora, se recomienda la implementación de liberaciones dentro del proceso. Es decir, un operario/digitador cuyo propósito es verificar el orden y cumplimiento de cada proceso definido en la Figura 45, y al notar que se haya realizado el paso de manera correcta se proceda a la liberación de esa fase para el siguiente involucrado, dejando en la plataforma *SAP* todo registro de insumos, materiales, tiempos y mano de obra relacionados a los distintos trabajos de mantenimiento.

Esta estrategia de liberación garantiza que a partir del momento de la implementación se trabaje con respaldos confiables acerca de la toma de decisiones en trabajos futuros, ya que los datos percibidos son verídicos. Esta estrategia dará pauta a muchas mejoras dentro de la gestión de inventario, sobre todo al poco control que existe en las solicitudes, ya que se generan por exceso en materiales, así como materiales incorrectos que generan costos a la empresa, también ayudara a la mejora en rotación de inventarios al cumplir de manera correcta los ciclos de cada material dependiendo de la época del año en la que estemos.

### **3.5.7. Divulgación**

Este proceso será compartido con los involucrados en una capacitación detallada en el capítulo 4 del presente trabajo de EPS. En esta capacitación se les indicará la importancia de la gestión de inventarios y el impacto que este genera en la empresa. También se tendrán talleres de 30 minutos para poder resolver dudas cada mes y seguir mejorando el proceso.

### **3.5.8. Supervisión**

Trimestralmente se tiene una nueva evaluación de los factores para determinar su nivel de criticidad y con esto poder mejorar el proceso que se lleva. Con el apoyo del departamento de Buenas Prácticas de Manufactura se harán auditorías internas a todas las partes involucradas, para medir el cumplimiento del plan, así como determinar los campos de mejora.

## **3.6. Controles**

Para garantizar el funcionamiento de la gestión de inventario se llevarán controles cíclicos de las órdenes de trabajo realizadas, dando seguimiento a las que estén activas y cierre técnico a las que han concluido. El coordinador del área es el encargado de juntar la retroalimentación de todas las partes involucradas en el proceso.

Estos controles permitirán mantener un orden en el inventario, al obtener datos acerca de utilización de materiales, necesidad de materiales o costos en los trabajos que no estén presupuestados. Al tener el análisis de estos controles se puede corregir los campos en los que la propuesta de gestión este fallando.

### **3.6.1. Objetivos**

- Establecer los lineamientos y estrategias de control de inventario para poder garantizar la continuidad de operaciones por los materiales de impacto crítico.
- Definir los materiales que aplican a máximos y mínimos, de alta y baja rotación, así como los obsoletos.
- Coordinar con el área de almacenes las políticas a nivel operacional y en la estrategia comercial de la empresa.
- Verificar las normas bajo las que se va a regir el área de almacenes.

### **3.6.2. Estrategias**

- Se van a clasificar los inventarios a nivel sistema en SAP, para poder organizar existencias de forma ágil, se hará el conteo físicamente para validar los datos del inventario inicial.
- Se hará un sistema de etiquetado para clasificar los materiales bajo un código único y ser reconocidos fácilmente.
- Está definido trimestralmente hacer una revisión de inventario para ver materiales dañados o vencidos para darle rotación al inventario.
- Bajo datos históricos se definirán los materiales que aplican a máximos y mínimos, para conocer el lead *time*, y así conocer cuanto debe de haber en existencia para cumplir con la demanda.
- Analizar las distintas épocas de operación de la empresa para ver los picos de demanda de material, así como el comportamiento del mercado para solicitar los materiales con antelación.
- Realizar auditorías periódicas para verificar la precisión de los registros de inventario.
- Establecer políticas claras para los procesos involucrados, así como capacitar al personal para que su trabajo sea eficiente.

### **3.6.3. Alcance**

El impacto de esta gestión afectara implícitamente en general al departamento de Molienda y Mantenimiento Industrial, al hacer esta prueba piloto en el área de preparación de caña, reflejado en los resultados obtenidos por una mejor toma de decisiones. Se espera que, al analizar todos estos procesos con el modelo propuestos, se apliquen a nivel industrial. Esta propuesta está diseñada para que todas las partes involucradas del proceso se involucren en la mejora del departamento, dando espacio a mejoras en costos y tiempos por una mejor preparación.

### **3.6.4. Evaluación cíclica**

Uno de los principales problemas detectados en el diagrama de Pareto en la Figura 46, es el poco orden que existe al llevar todos los trabajos de mantenimiento, ocasionando una poca trazabilidad de acciones, así como fiabilidad de los datos. Por ende, es necesario designar un encargado a llevar control de datos que hará semanalmente una evaluación. Con este paso extra de revisión se puede concretar el orden deseado en los trabajos y un mayor control acerca de los materiales necesarios en cada trabajo.

Semanalmente se le dará cierre técnico a los trabajos que hayan concluido y los pendientes seguirán bajo la misma orden de trabajo. Los que tengan cierre técnico se contabilizaran por dos motivos, hallar el equipo con mayor tiempo perdido y problemas, así como para tener los registros de trabajos para gestionar el inventario, ya que la mayoría de los problemas suelen ser repetitivos por la operación, por lo cual contar con stock de esos repuestos ayudara a no perder tiempo y se evitará tener repuestos o materiales obsoletos que influyen en los activos de la empresa.

### 3.6.5. Resultados

Dentro de los resultados esperados, se tiene solucionar los tres principales problemas del área con respecto a inventario. Al evaluar los equipos que son los de mayor recurrencia a fallar y tener desperfectos se pueda considerar los cambios pertinentes en la línea que ayude a controlar el equipo. Con los registros de trabajo se tendrá una mejor visibilidad de los materiales realmente necesarios y que roten frecuentemente, para poder asignarlos a máximos y mínimos que son materiales propuestos a ser comprados de manera cíclica automáticamente.

Con la ayuda de la evaluación cíclica mencionado anteriormente se espera poder contrarrestar los problemas de falta de materiales a tiempo, con la herramienta de teoría de inventario se puede mejorar el abastecimiento de los materiales críticos ya que se tendría un mejor control de *lead times* porque las peticiones de materiales se logran realizar con bastante tiempo de antelación logrando evitar problemas por *stockout*, que afectan las operaciones del área.

También se logra mejorar la eficiencia en un mejor control de inventario tanto en registros del área, así como para el departamento de almacenamiento. Se logra contar con una mejor gestión principalmente en los repuestos críticos para operación sin tener que incurrir en un sobre *stock* de materiales que afectan directamente al costo de almacenamiento. Y principalmente si se implementa el nuevo sistema de gestión se logra un mejor control de gastos que representan un corte notorio al presupuesto del área en campos no necesarios, ampliando su disponibilidad de recursos para nuevos proyectos y mejoras.

Con las mejoras propuestas se puede observar la siguiente tabla haciendo la comparativa en gastos realizados por el área y el gasto que proyectado con el método propuesto en trabajos de mantenimiento realizado.

**Tabla 9.**

*Comparativo de gastos con propuesta de gestión*

<b>Trabajo realizado</b>	<b>Método actual</b>	<b>Método propuesto</b>
Mantenimiento desfibrador tándem C	Q 304 261.35	Q 227 589.64
Mantenimiento picadora tándem C	Q 97 536.22	Q 70 890.58
Mantenimiento conductor de tablillas tándem C	Q 54 827.09	Q 47 634.90
Material para área de mantenimiento predictivo	Q 57 000.00	Q 49 000.00
Servicio conductor de tablillas	Q 64 034.27	Q 56 394.27

*Nota.* Comparativo de gastos con propuesta de gestión. Obtenido de Ingenio Magdalena S.A. (2022).

### **3.7. Seguimiento y mejora continua**

La estrategia para continuar evaluando la propuesta es brindar un seguimiento con reuniones tanto mensuales como semanales con todas las partes involucradas en el proceso. Las reuniones semanales son para delimitar las prioridades de trabajo y abastecimiento, así como las necesidades que tiene cada integrante del equipo. Con estas reuniones se dará también la retroalimentación del digitador a cargo de gestionar las ordenes de trabajo para poder tratarlas o darles cierre.

Las reuniones mensuales son para compartir estrategias de mejora, tanto en la producción como en la gestión del inventario. Al lograr tener un recorte de gastos en inventario, este beneficio da la pauta para proponer mejoras en los

equipos. Uno de los principales campos a mejora es en la desfibradora, ya que esta por la potencia que tiene, es capaz de aumentar su número de martillos. Y todos estos nuevos gastos en implementaciones serán logrados a través de una mejor gestión de inventario.

Para el modelo propuesto aún existen campos de mejora posibles, tanto en la parte digital en SAP-PM como en la parte física en almacenamiento, sin embargo, es necesario decir que como prueba piloto las propuestas son con la intención de una rápida adaptación para los miembros involucrados. Sin tener que influir en cambios grandes que siempre han sido conflicto para los operarios por la insistencia de mantener sus procesos tal como los han hecho.

### **3.7.1. Evaluación**

Al concluir cualquiera de las dos épocas del ingenio, se hará una presentación de resultados, en la cual contendrá todos los registros de trabajos realizados documentando el tiempo que tomo hacerlo, la mano de obra y los materiales utilizados. Con esta reunión de resultados se llevará un análisis de campos y oportunidades de mejora, en los cuales se evaluará el desempeño de los trabajos, así como el de los operarios. Dicha evaluación determinara la competencia del encargado del puesto para poder brindar capacitación en los campos que falla.

### **3.7.1.1. Evaluación de trabajo**

Se medirá bajo tres campos de importancia:

- Mano de obra
- Tiempo
- Recursos

Cada campo tendrá su ponderación de importancia al evaluar, y esta evaluación tiene el fin de confirmar si la forma de realizar el mantenimiento fue el adecuado o se deben buscar alternativas. Con esta evaluación se logrará gestionar aún más el inventario ya que se harán notorios los componentes que no fueron optimizados, tal como fuera un exceso de material para trabajar o haber tomado demasiado tiempo al designar poca mano de obra para el trabajo.

El resultado de esta evaluación será porcentual, ya que gracias a los historiales de trabajos se tienen factores para poder evaluar. Dentro de estos factores se ponderará según la eficiencia y eficacia de cada campo de evaluación. Se da la calificación según el intervalo donde este el resultado. A continuación, se presenta el formato de evaluación de trabajo:

**Tabla 10.***Evaluación de trabajos realizados*

08/04/2 022	Trabajo realizado	Mantenimiento tablillas de arrastre	
Mano de Obra (20%) - Cantidad de operarios designados al trabajo:			
Parámetros	<3	3-5	>5
Resultado	2		
Tiempo (35%) - Horas hábiles que ha tomado completar el trabajo:			
Parámetros	<24	24-32	>32
Resultado		29	
Recursos (45%) - Costo del trabajo (Q):			
Parámetros	<64 034.27	64 034.27 – 89 227.32	>89 227.32
Resultado		72 089.21	
Ponderación final:		82 %	

*Nota.* Evaluación de trabajos realizados. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los parámetros son definidos por el historial del trabajo realizado, siendo el parámetro en verde la meta de cada trabajo, y al mejorar ese parámetro se vuelve el nuevo valor de aceptación para futuros trabajos. Este ejemplo tuvo de ponderación final 82 %, ya que en mano de obra logro el 20 %, tiempo el 26 % y recursos el 34 %, dando una brecha a seguir mejorando los procesos ya que se ha demostrado en trabajos anteriores que los resultados pueden mejorar.

Esta pequeña evaluación tiene el fin de ver en el campo de recursos donde se encuentra el excedente, para poder evaluar si este fue por reproceso o son materiales solicitados que no tienen ningún fin dentro del trabajo. Con esta evaluación se pretende recortar lo que los operarios por costumbre piden sin que

este material sea realmente necesario para la operación o trabajo, dando un mejor control de órdenes y gestión del inventario para contar siempre con los repuestos críticos.

#### **3.7.1.1.1. Evaluación del operario**

Cada operario que tiene parte del proceso de abastecimiento será evaluado según métricas del departamento. No hay forma posible de estandarizar esta evaluación más que tener métricas relacionadas al abastecimiento del área. Por ejemplo, al gestor de compras se le medirá el tiempo en adjudicar compras y abastecer el material adquirido. Al planificador se le evaluará el tiempo tomado para liberar solicitudes y la rotación de materiales en máximos y mínimos. Y al coordinar el tiempo tomado desde que el material está en bodega hasta que lo reservan y sacan de la misma para cumplir sus actividades.

#### **3.7.1.2. Inspección de almacenamiento**

Se designará un equipo especialmente para poder inspeccionar el estado de las bodegas y almacenamiento. En que todos los materiales estén en perfecto estado para su uso. La importancia de esta inspección también influye en tener conocimiento de la existencia de los materiales en el momento adecuado. Y comprobar que lo que está en la plataforma SAP-PM sea acorde a lo que hay en bodegas. Así mismo otro punto importante es evaluar que los materiales y repuestos sean almacenados de la mejor manera para que estos no se oxiden o dañen y al ser requeridos siempre se pueda contar que estén en perfectas condiciones.

**Figura 48.**

*Inspección de almacenamiento*



*Nota.* Inspección de almacenamiento. Obtenido de Ingenio Magdalena S.A. (2022).

**3.7.1.3. Inspección de inventario**

Se debe inspeccionar la cantidad de materiales que se tienen disponibles para operación, así como los que están por agotarse. Se coordinará con bodegas para que los ingresos de los materiales se mantengan actualizados y poder contar con datos en la plataforma que representen la realidad de lo que se encuentra físicamente en las distintas bodegas del área industrial que pueden

suministrar materiales al área. Existen dos formas para poder inspeccionar el inventario con el que cuenta el área definida a continuación:

- Formato digital: a través de la transacción MMBE de SAP-PM identificada en la Figura 40, dentro de la cual se pueden delimitar las especificaciones necesarias tales como centro, área, material o almacén.
- Formato visual: se realizará con visitas cíclicas a las bodegas para poder dar visto bueno a la creación de orden de trabajo, así mismo verificar que los materiales solicitados para el área estén en el área que corresponde para que no los tome otro departamento.



## **4. CAPACITACIÓN AL PERSONAL (FASE DOCENCIA)**

El principal reto para esta fase es el cambio de mentalidad del personal, sobre todo el operativo, que en muchos casos ven el cambio como sinónimo de algo malo, y se resisten ya que las técnicas que utilizan según su experiencia son las mejores. Sin embargo, es necesario adaptarse al cambio para mejorarse por lo que se debe tener el apoyo de las coordinaciones del área para motivar al personal a cargo, explicando el por qué es bueno y no en beneficio de la empresa solamente, sino que su propio beneficio para hacer un trabajo más eficiente sin tanta dificultad.

### **4.1. Importancia de la implementación del mantenimiento predictivo en la industria azucarera**

La mayoría de los equipos tienden a fallar debido al poco control que se tiene sobre estos, un ejemplo claro es el cambio de *idlers* o rodamientos sin saber exactamente a que se debe el cambio, sino que se hace por inicio de zafra sin saber si estos ya cumplieron con su vida útil. Por ende, es de gran importancia el mantenimiento predictivo para maximizar estas vidas útiles de los equipos. Esto indica que cumplirá la mayor parte del tiempo posible en óptimas condiciones.

El análisis de los equipos resulta ser eficiente cuando se dispone de documentación que analiza el comportamiento o tendencias, y para lograr este objetivo es necesario realizar mediciones periódicas para la determinación del estado de los equipos. Los registro e historiales que meramente son mediciones en el equipo realizados en zafra son importantes para implementar un mantenimiento predictivo. En esta documentación se puede observar el

comportamiento de los equipos y lo más importante predecir la falla para tomar decisiones del mantenimiento antes de un daño mayor.

#### **4.2. Programación de actividades**

Toda actividad para esta fase se tendrá programada de dos formas, una en campo y otra en sala de capacitaciones, pero de primero se divulgará el plan de mantenimiento predictivo para el departamento. Este programa incluye tanto evaluación de las capacitaciones como la capacitación en sí, ya que es necesario saber las debilidades del equipo para poder reforzarlas.

Para las capacitaciones en campo se tendrá un uno a uno con los técnicos de mantenimiento predictivo mientras realizan sus actividades de ensayos, tocando temas de operación como de salud e higiene industrial, medio ambiente, seguridad industrial, entre otros. Mientras que las charlas en salas de capacitación o áreas de trabajo son para la gestión de inventario que deben llevar en optimizar el uso de sus materiales y herramientas, generando mejores condiciones de trabajo y orden dentro de sus actividades al llevar registro de sus trabajos.

Para las charlas de capacitación se dispones de mayor orden y tiempo para poder realizarlas por lo que se diseñó un cronograma de la siguiente forma:

**Tabla 11.**

*Programación de capacitaciones*

<b>Fecha</b>	<b>Horario</b>	<b>Lugar</b>
Lunes, 30 de mayo.	14:00	Sala de cambio de turno
Miércoles, 22 de junio.	7:00	Patio del tándem “C”
Jueves, 14 de julio.	7:00	Patio del tándem “C”
Lunes, 15 de agosto.	14:00	Sala de cambio de turno
Viernes, 16 de septiembre	7:00	Patio del tándem “C”
Jueves, 13 de octubre.	14:00	Sala de cambio de turno

*Nota.* Programación de capacitaciones. Elaboración propia, realizado con Word.

### **4.3. Evaluación de capacitaciones**

Se ha realizado un sondeo con todo el personal encargado del área de preparación de caña del tándem C para poder determinar los temas necesarios a capacitar. Teniendo en cuenta el nivel de estudios, experiencia y conocimiento del área donde desempeña sus labores. Con este sondeo previo se puede dar el soporte de dinámicas diseñadas específicamente para los campos que muestren debilidad de conocimiento y calificar si tiene el nivel de competencias necesarios.

A continuación, se muestra la identificación de brechas de conocimientos técnicos a nivel operativo, los cuales evidencian los campos de deficiencia del personal operativo y la necesidad de brindar conocimiento acerca de técnicas predictivas y gestión de recursos.

**Tabla 12.***Brechas de conocimiento*

No.	Nombre	Estudios	Puesto	Experiencia	Técnicas Predictivas	Gestión de recursos	Seguridad Industrial
1	Esteban Juárez	Primaria	Soldador	22	Verde	Rojo	Verde
2	Luis Chávez	Primaria	Soldador	18	Verde	Rojo	Verde
3	Miguel Ponce	Básicos	Soldador	7	Rojo	Rojo	Rojo
4	Amílcar Xoj	Diversificado	Soldador	4	Verde	Verde	Rojo
5	Ervin López	Primaria	Soldador	16	Verde	Rojo	Rojo
6	Justo Chil	Técnico	Mecánico	6	Verde	Verde	Verde
7	Mario Fuentes	Básicos	Mecánico	9	Rojo	Verde	Rojo
8	Luis Orellana	Diversificado	Mecánico	3	Rojo	Verde	Rojo
9	Lester Paz	Primaria	Mecánico	21	Verde	Verde	Rojo
10	Aroldo Segura	Técnico	Mecánico	4	Rojo	Verde	Verde
11	Elfido Martínez	Diversificado	Mecánico	8	Verde	Verde	Verde
12	Julian To	Básicos	Vigilante	9	Rojo	Rojo	Rojo
13	Axel Moran	Primaria	Limpiador	1	Rojo	Rojo	Rojo
14	José Santiago	Técnico	Auxiliar	28	Verde	Verde	Verde
15	Brandon López	Técnico	Caporal	26	Verde	Verde	Verde
16	Jordan Blanco	Básicos	Limpiador	2	Rojo	Rojo	Rojo
17	Brian Pérez	Básicos	Engrasador	5	Verde	Rojo	Rojo
18	Flavio Alvarez	Diversificado	Gruero	23	Verde	Rojo	Verde

*Nota.* Brechas de conocimiento. Elaboración propia, realizado con Word.

#### **4.4. Capacitación**

Con el conocimiento de las áreas a fortalecer el conocimiento del personal, se procede al desarrollo de los temas necesarios a evaluar. Apoyado de distintas dinámicas y capacitaciones, se espera que al momento de la evaluación los operarios tengan las herramientas necesarias para poder mejorar sus condiciones laborales. Se coordina en el encargado del área poder tener acercamientos individuales en campo y juntar a todo el personal en la sala de cambio de turno para poder compartir los temas necesarios.

##### **4.4.1. Dinámicas**

Las dinámicas se realizarán bajo la supervisión del coordinador del área en los espacios designados para las capacitaciones. Las instrucciones al personal en el campo de acción serán con poco personal y las instrucciones por medio de charlas en las salas de cambio de turno con colaboración del coordinador y supervisor de mantenimiento predictivo.

Es necesario resaltar que las charlas en las salas de cambio de turno son realizadas para profundizar los temas de una forma más detallada. Los temas que se ven en el campo de trabajo y respaldados con las hojas de programación y verificación de mantenimiento. En estas charlas se expone la importancia de llevar el mantenimiento de forma ordenada y programada, explicando cómo se emplean los formatos y los encargados del mismo. También se aprovechará a explicar la mejora en la gestión del inventario para la optimización de recursos.

Con base en el cronograma presentado en la Tabla No. 7, se da detalle de los temas y tipo de dinámica que se realizara en las capacitaciones en base a la necesidad de fortalecer sus conocimientos,

**Tabla 13.***Temas para capacitaciones*

No.	Tema	Importancia	Dinámica
1	Mantenimiento Predictivo	Informar el fin del mantenimiento predictivo y su importancia dentro de la industria azucarera.	Charla con todo el personal del área de preparación de caña.
2	Ensayos no destructivos	Estructurar y definir las distintas técnicas de mantenimiento predictivo con los ensayos no destructivos, que pretende cada una y posibles resultados.	Realizar ensayos no destructivos a distintos equipos de preparación de caña.
3	Preparación de caña	Evidenciar la importancia del proceso de preparación de caña.	Charla con personal encargado de abastecimiento y almacenamiento de materiales para preparación de caña.
4	Equipo de protección personal	Demostrar la necesidad de EPP para mantenerse seguros y sanos.	Ruta con equipo de seguridad industrial por el área de preparación de caña.
5	Gestión de inventario	Informar nuevas acciones de mejora en el proceso de inventario, solicitud, abastecimiento y almacenamiento.	Charla con el personal de preparación de caña.
6	Capacitación SAP-PM	Mejorar manera en la manipulación de la plataforma SAP-PM para poder tener mejores registros e historiales.	Taller con personal que forma parte del proceso de solicitud, abastecimiento y almacenamiento de preparación de caña.

*Nota.* Temas para capacitaciones. Elaboración propia, realizado con Word.


#### 4.4.2. Evaluación

La forma de evaluar las capacitaciones de campo no se puede realizar de forma estructurada y/o documentada dado que la mayoría del personal tiene un conocimiento amplio en cuanto a los equipos que tiene a cargo. Sin embargo, se pueden evaluar las técnicas de mantenimiento predictivo, así como el equipo de protección personal adecuado. También es necesario resaltar que para ellos la evaluación de gestión de inventario no puede ser tan detallada ya que no manipulan equipo de cómputo en lo absoluto.

En lo que respecta a la evaluación de las charlas, se diseñó una prueba que consta de 10 *ítems* para verificar el nivel de entendimiento del personal al finalizar las charlas, teniendo en cuenta aspectos técnicos como rendimientos, capacidad de preparación de caña, entre otros.

**Figura 49.**

*Criterios de evaluación de charlas*

 MAGDALENA <i>Tierra dulce!</i>	Criterios de evaluación de charlas	
Colaborador:		
Criterio	Porcentaje	Resultado
Asistencia	10%	
Participación	20%	
Evaluación	70%	

*Nota.* Criterios de evaluación de charlas. Elaboración propia, realizado con Word.

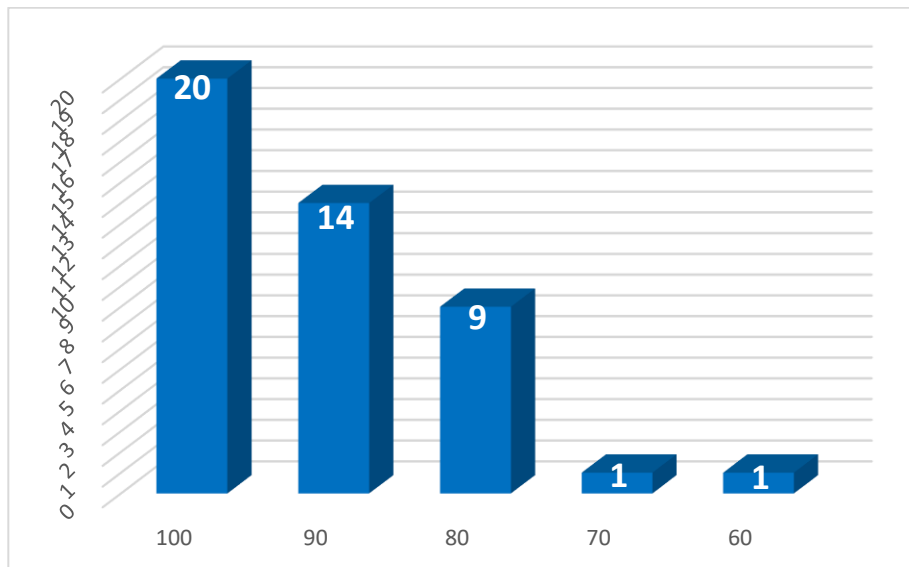
#### 4.5. Resultados

Se realizaron las charlas y dinámicas con cuarenta y cinco personas encargadas del funcionamiento y mantenimiento de la línea de preparación de caña del tándem C. El personal fue dividido en tres grupos para las charlas teniendo asistencias de quince personas por cada grupo.

Los resultados obtenidos reflejan que el personal coopera y se informó con las charlas acerca de los distintos temas compartidos, reflejado en las notas de evaluación, con un 44 % del personal obteniendo la mejor nota posible de evaluación y siendo un 95 % del personal aprobando la evaluación mientras que dos personas por debajo de la meta esperada de evaluación que eran ochenta puntos en adelante.

**Figura 50.**

*Resultados de evaluaciones*



*Nota.* Resultados de evaluaciones. Elaboración propia, realizado con Excel.

También al finalizar cada charla de capacitación se da oportunidad a un foro con cuestionamientos técnicos que son solventados por el personal del área. Se presenta a continuación ambas dinámicas de capacitación, trasladando la información al personal. Toda capacitación fue presentada con la colaboración de ingenieros y supervisores del área.

**Figura 51.**

*Capacitaciones*



*Nota.* Capacitaciones. Obtenido de Ingenio Magdalena S.A. (2022).



## CONCLUSIONES

1. Se propuso un plan de mantenimiento predictivo para el área, estructurado en base al análisis los ensayos no destructivos. Utilizando herramientas, conocimientos y experiencias de ingeniería mecánica industrial tal como montaje y mantenimiento de equipos, procesos de manufactura, controles industriales, seguridad e higiene industrial, administración de empresa y administración de personal.
2. La mayor problemática del área es la poca planificación y programación de actividades que generan una mala realización de las tareas de mantenimiento. La programación propuesta definirá un programa de mantenimiento en base a producción y la planificación es la propuesta como tal, definiendo actividades de mantenimiento y procedimientos, así como registros de trabajos y verificación de tareas.
3. Se diseñó dos procedimientos administrativos para actividades involucradas en las tareas de mantenimiento, también un registro de inconvenientes tratados durante los turnos de operación empleado por los coordinadores y hojas de verificación que serán empleados por los operarios.
4. Se definió 3 equipos críticos para el área de preparación de caña que son: conductor de tablillas, picadora y desfibradora, cada uno con un sistema diferente y subequipos. A estos equipos críticos se les generó hojas de programación de actividades y de verificación como herramientas complementarios y útiles para el control del equipo.

5. Se realizó un estudio sobre el espacio de almacenamiento en el cual se propuso una delimitación de áreas para un mayor control de los insumos. Esto generará espacios adecuados para materiales de la misma área con zonas de salida más accesibles.
6. Apoyado por todos los miembros involucrados en el proceso de abastecimiento, se propuso una nueva estrategia para la gestión de inventario. La cual está basada en metodologías tales como OTIF que mejora la entrega de productos y optimiza los gastos por almacenamiento dando un mejor servicio a los clientes internos.
7. Al tener un mejor control de inventario, a través de la metodología propuesta y con una mayor frecuencia de revisión se puede mejorar la gestión del inventario con un control de la mercancía almacenada y disminución de inconvenientes por materiales tales como *stockout* y sobre *stock*. Dando una mejor visibilidad y certeza a los planificadores de abastecimiento.
8. Se identificó las debilidades dentro del área de abastecimiento que generan un crecimiento desmedido del inventario el cual representa un costo innecesario. Dichas debilidades fueron presentadas a los gestores y planificadores para que tengan un mejor control de inventario, así como un mejor análisis para evitar tiempos perdidos por abastecimiento.
9. Se coordinó con el área para poder capacitar al personal involucrado en todo proceso de mantenimiento y gestión de inventario, teniendo un mayor énfasis en las áreas que carecen de conocimiento o experiencia. Estas charlas también fueron practicas al tener acercamientos a sus áreas de trabajo de se corrigieron malas prácticas o manipulación de herramientas.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar y mantener un registro total de datos acerca de todo el equipo involucrado en el área, así como sus insumos, materiales, repuestos y actividades de mantenimiento realizadas para un mejor control y toma de decisiones en base a historiales de fiabilidad.
2. Analizar la documentación de los equipos acerca de propiedades mecánicas para comparar los datos obtenidos en operación acerca de cargas máximas, vida útil y especificaciones de operación para evitar roturas o fallos que afecten con tiempos perdidos.
3. Implementar indicadores de gestión, los cuales deben tener un enfoque en el producto, no en el almacenamiento. Se debe evaluar tener entregas puntuales y completas, rotación de inventarios y el cumplimiento de utilización de materiales.
4. Realizar inventarios confiables y adecuados de los repuestos, materiales y equipos con los que se cuentan en el área. Y realizar un catálogo de síntomas, causas, partes, actividades de mantenimiento para cada equipo y divulgarlo con el área para tener conocimiento del comportamiento de estos y saber que decisiones tomar y acciones a tomar en los fallos.
5. Evaluar constante el estado de los instrumentos para análisis de ensayos no destructivos para una mejor planificación de mantenimiento predictivo que generará ahorros en consumos y tiempos.

6. Monitorear los equipos de preparación de caña de manera cíclica, creando una rutina para el seguimiento de ensayos no destructivos realizados en los mismo. Evaluar el comportamiento para diagnosticar fallas con antelación.
7. Fomentar la capacitación constante y adiestramiento de todo el personal en sus labores correspondientes, ya que los resultados de ellos impactan en la gestión del inventario, esto permitirá que al momento de baja de una persona esta pueda ser reemplazada por alguien interno en formación.
8. Definir y registrar todas las actividades realizadas en mantenimientos programados que se desarrollen en el área, con el fin de estandarizar y estructurar los procesos.
9. Informar a los operarios que tengan una buena comunicación y desarrollo de actividades para evitar problemas operativos como sobrecargas, atoros o mala lubricación que afectan en tiempos perdidos.

## REFERENCIAS

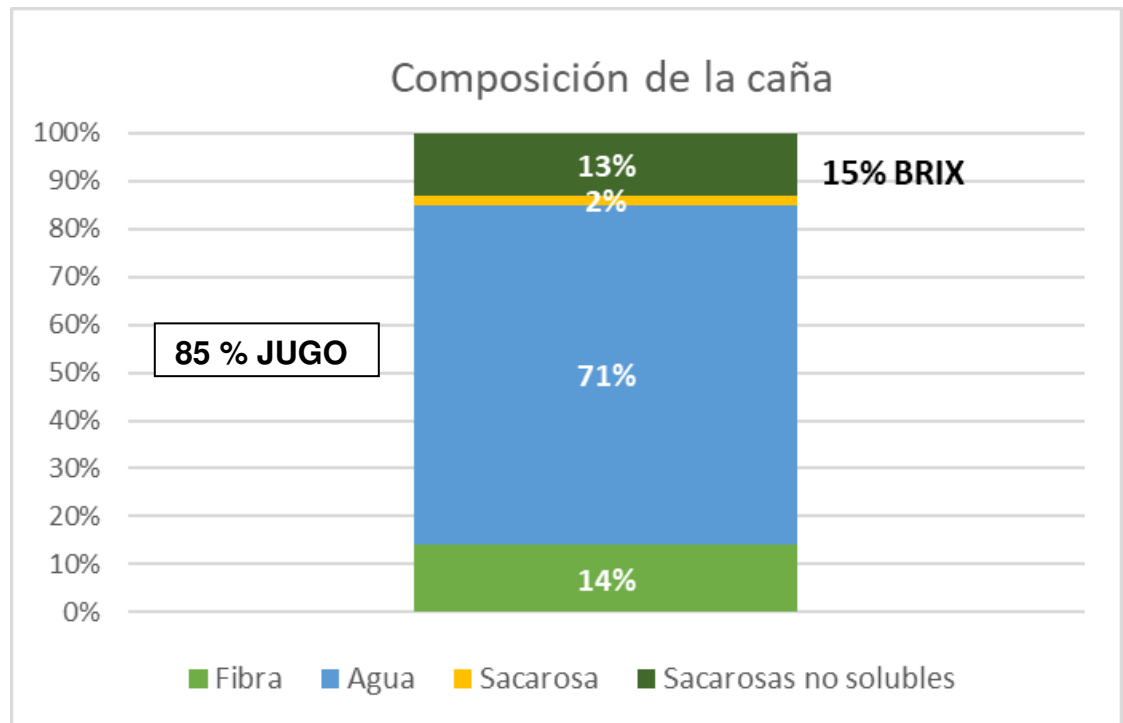
- Carrasco, G. (2009) Curso sobre mantenimiento predictivo y sus distintas técnicas de aplicación. *Predictive Ingenieros* 1(1), 8-12.
- Fernández, M. (2017) *Propuesta de plan de mantenimiento preventivo en área de recepción, preparación y extracción de caña de azúcar en Ingenio Magdalena S.A.* [Trabajo de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital.  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0861\\_MI.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0861_MI.pdf)
- Hugot, E. (1986) *Manual para ingenieros azucareros*. Continental.
- Lara, N. (2014) *Sistema de gestión para el control y manejo de inventarios en bodega de producto terminado en la industria de tuberías*. [Trabajo de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital.  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2981\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2981_IN.pdf)
- Manríquez, V. (2013) Implementación de un programa de mantenimiento predictivo. *Revista Mantenimiento en Latinoamérica* 5(1), 8-24.
- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Bartens
- Robbins, S. (2001) *Administración teoría y práctica*. Prentice-Hall Hispanoamérica S.A.



## APÉNDICES

### Apéndice 1.

*Composición de la caña de azúcar.*



*Nota.* Composición de la caña de azúcar. Elaboración propia, realizado con Excel.

## Apéndice 2.

### Evaluación al personal

	Evaluación de capacitación al personal operativo	Fecha:
		Versión: 1
Nombre:		Carné:

IMSA agradece tu participación en esta capacitación. Para evaluar el nivel de competencias adquiridos después de esta participación te agradeceremos respondas el siguiente cuestionario. Marcar una respuesta acorde a tus conocimientos.

1. ¿Qué equipo no pertenece al área de preparación de caña?
  - a. Desfibradora
  - b. Conductor de bagazo
  - c. Conductor de tablillas
2. ¿Qué parte no pertenece a la desfibradora?
  - a. Yunque
  - b. Martillos
  - c. Maza
3. ¿Cuál es un ensayo no destructivo?
  - a. Líquidos penetrantes
  - b. Flexión
  - c. Torsión
4. ¿Qué ensayo no destructivo toma tres puntos de medición en un motor?
  - a. Partículas magnéticas
  - b. Radiografía
  - c. Análisis de vibraciones
5. ¿Cuál es el fin de un ultrasonido?
  - a. Ver si el eje esta pandeado
  - b. Hallar discontinuidades
  - c. Evaluar la soldadura
6. ¿Primer paso en la solicitud de material?
  - a. Verificar existencias
  - b. Avisar al supervisor
  - c. Cotizar material
7. ¿Cuál no es un equipo de protección personal?
  - a. Lentes de sol
  - b. Casco
  - c. Botas industriales
8. ¿Cada cuanto es el periodo de evaluación de los equipos?
  - a. Diario
  - b. Semanal
  - c. Anual
9. Mencione como puede aportar en el mejoramiento de la gestión de inventario:  

---

---

---

*Nota.* Evaluación al personal. Elaboración propia, realizado con Word.