



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

**DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA DEL ÁREA DE FABRICACIÓN,  
PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE EDULCORANTE**

**Wolfgang Javier Solis Cooseman**

Asesorado por el Ing. Edson Haroldo Chocooj Pacay

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA DEL ÁREA DE FABRICACIÓN,  
PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE EDULCORANTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**WOLFGANG JAVIER SOLIS COOSEMAN**

ASESORADO POR EL ING. EDSON HAROLDO CHOCOOJ PACAY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderon de León
EXAMINADOR	Ing. Víctor Hugo García Roque
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA DEL ÁREA DE FABRICACIÓN,  
PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE EDULCORANTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 19 de septiembre de 2016.

**Wolfgang Javier Solis Cooseman**

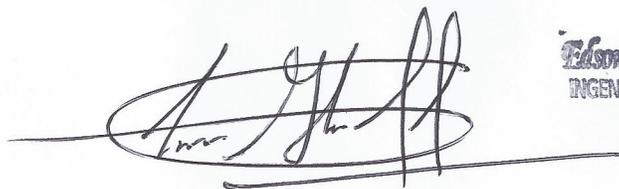
Guatemala, 24 de Agosto de 2,017

Ingeniero  
José Francisco Gómez Rivera  
Director de Escuela  
Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente

Por este medio me permito informarle que he procedido a la revisión del trabajo de graduación titulado "DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA DEL AREA DE FABRICACION, PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPO DE PRODUCCION EN UNA PLANTA DE EDULCORANTE", elaborado por el estudiante Wolfgang Javier Solís Cooseman, por lo cual después de haber corroborado las ampliaciones pertinentes, considero que el mismo cumple con los objetivos propuestos y apruebo su publicación.

Sin otro particular,

Atentamente,



*Edson Haroldo Chocooj Pacay*  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
COLEGIADO NO. 9590

Edson Haroldo Chocooj Pacay  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 9590  
ASESOR



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA DEL ÁREA DE FABRICACIÓN, PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE EDULCORANTE**, presentado por el estudiante universitario **Wolfgang Javier Solís Cooseman**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

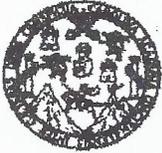
Ing. Sergio Antonio Torres Méndez  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2017.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.150.017

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 Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA DEL ÁREA DE FABRICACIÓN PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE EDULCORANTE**, presentado por el estudiante universitario **Wolfgang Javier Solis Cooseman**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

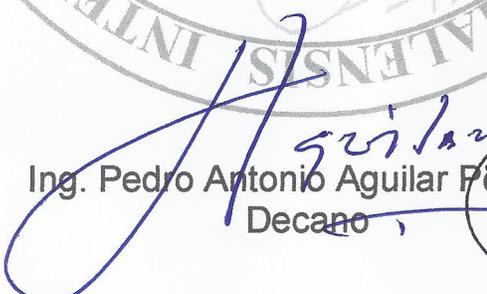


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.464-2017

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: **DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA DEL ÁREA DE FABRICACIÓN, PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA DE EDULCORANTE**, presentado por el estudiante universitario: **Wolfgang Javier Solis Cooseman**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, octubre de 2017

/c c

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mis padres</b>	Por su esfuerzo, su apoyo incondicional; gracias padre por tu valioso ejemplo; gracias madre por todo lo recibido.
<b>Mis hermanos</b>	Por su cariño y ejemplo.
<b>Mi tía</b>	Por su cariño y apoyo.
<b>Mi prometida</b>	Por su amor y consejos.
<b>Mi tío</b>	Por su ejemplo académico.
<b>Mi sobrino</b>	Por su cariño incomparable.
<b>Mi familia en general</b>	Por su aprecio.
<b>Mis amigos</b>	Por su amistad sincera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitirme un crecimiento intelectual y profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por inculcarme el valor de los retos.
<b>Ingenio Santa Teresa</b>	Por abrirme sus puertas. Al Sr. Jacobo Esquite Pelen por su apoyo.
<b>Ing. Edson Chocooj</b>	Por su tiempo y asesoría profesional.
<b>Ing. Sergio Torres</b>	Por su valiosa colaboración.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	1
1.1. Evolución de la industria en Guatemala .....	1
1.2. Historia de la fábrica .....	2
1.3. Localización.....	2
1.4. Estructura organizacional .....	3
1.5. Misión y visión .....	4
1.6. Principales productos .....	5
1.6.1. Mercado objetivo .....	6
1.7. Control de calidad.....	6
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	9
2.1. Descripción del proceso .....	9
2.1.1. Principales etapas .....	9
2.1.1.1. Preparación de materia prima.....	9
2.1.1.2. Proceso fabril.....	11
2.1.1.3. Envasado y distribución.....	22
2.2. Situación actual de tiempo perdido para producción en fábrica.....	23

2.2.1.	Distribución por área .....	23
2.2.2.	Análisis gráfico .....	26
2.3.	Tipos de controles aplicados durante el proceso .....	31
2.4.	Mantenimiento preventivo y correctivo .....	33
2.4.1.	Ventajas y desventajas.....	34
2.5.	Departamento de mantenimiento y producción.....	35
2.5.1.	Personal .....	35
2.5.2.	Funciones.....	36
2.6.	Clasificación de equipos con mayor incidencia en la operación .....	37
2.6.1.	Equipos de bombeo .....	37
2.6.2.	Motores eléctricos .....	41
2.6.3.	Reductores .....	42
3.	ANÁLISIS DEL PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA .....	45
3.1.	Análisis de los factores que afectan la productividad .....	45
3.1.1.	Materia prima .....	45
3.1.2.	Paros por reparaciones no programados .....	46
3.1.3.	Otros factores.....	47
3.2.	Herramientas administrativas aplicables .....	48
3.2.1.	Diagrama Ishikawa.....	48
3.2.2.	Análisis de Pareto .....	49
3.2.3.	Gráficos de disponibilidad .....	50
3.3.	Estructura del sistema de monitoreo en operación .....	53
3.3.1.	Lubricación de equipos .....	54
3.3.1.1.	Tipos de lubricantes y grasas.....	55
3.3.1.2.	Puntos de lubricación .....	57
3.3.2.	Revisión mecánica .....	57
3.3.3.	Revisión eléctrica .....	58

3.4.	Estudio de tiempos para actividades de conservación de maquinaria.....	61
3.4.1.	Revisión mecánica de equipos .....	66
3.4.2.	Lubricación de equipos .....	70
3.4.3.	Revisión de funcionamiento de motores eléctricos.....	73
3.5.	Productividad.....	76
3.5.1.	Análisis de tiempos actuales.....	76
3.5.1.1.	Tiempos disponibles para producción .....	76
3.5.1.1.1.	Tiempos perdidos .....	77
3.5.1.2.	Eficiencia de la maquinaria .....	77
4.	DESARROLLO DEL PLAN.....	81
4.1.	Rutinas de inspección.....	81
4.1.1.	Rutina de revisión de bombas .....	93
4.1.2.	Rutina de revisión de funcionamiento de motores eléctricos.....	95
4.1.3.	Rutina de revisión de reductores .....	97
4.1.4.	Otras rutinas de mantenimiento.....	98
4.2.	Periodicidad de ejecución.....	99
4.3.	Diagramas de flujo y recorrido de inspecciones de monitoreo.....	100
4.3.1.	Diagrama de flujo.....	100
4.3.2.	Diagrama de recorrido de rutina de inspección de equipo.....	102
4.4.	Desarrollo de tiempos optimizados.....	102
4.4.1.	Análisis comparativo de tiempos .....	103

4.4.1.1.	Mejora porcentual de disponibilidad para producción.....	103
4.4.1.2.	Disminución de tiempos perdidos por área .....	104
4.4.2.	Eficiencia de la maquinaria con el plan de monitoreo .....	104
5.	SEGUIMIENTO AL PLAN .....	107
5.1.	Actualización periódica de equipos .....	107
5.2.	Base de datos para el análisis de costos e indicadores .....	108
5.3.	Indicadores de gestión de disponibilidad de equipos .....	109
5.3.1.	Disponibilidad de equipos.....	109
5.3.2.	Tiempo medio entre fallas .....	110
5.3.3.	Tiempo medio de reparaciones .....	110
5.4.	Definición de equipos críticos.....	111
5.5.	Análisis gráfico .....	112
5.6.	Capacitación y evaluación de personal .....	112
	CONCLUSIONES.....	115
	RECOMENDACIONES .....	117
	BIBLIOGRAFÍA.....	119
	ANEXOS.....	121

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Localización de Ingenio Santa Teresa .....	3
2.	Estructura organizacional .....	4
3.	Desfibradora de caña .....	10
4.	Vista lateral de molino de caña .....	11
5.	Compresión de caña .....	12
6.	Mazas de molinos .....	13
7.	Motorización de molinos.....	13
8.	Esquema de un filtro rotativo al vacío de cachaza .....	16
9.	Filtro rotativo de cachaza .....	16
10.	Sistema básico de tachos .....	18
11.	Tacho al vacío .....	19
12.	Corte de una centrífuga Batch .....	20
13.	Secadora de azúcar .....	21
14.	Diagrama de proceso .....	22
15.	Distribución de paros de producción por área .....	25
16.	Intervenciones de mantenimiento preventivo .....	26
17.	Distribución de tiempo perdido en horas por tipo de falla.....	28
18.	Distribución de paros por día .....	30
19.	Distribución de tiempo perdido por causal .....	31
20.	Bomba centrífuga .....	38
21.	Bomba de desplazamiento positivo.....	39
22.	Equipos de bombeo .....	40
23.	Reductor de velocidad.....	43

24.	Reductor de velocidad <i>folk</i> de molinos .....	43
25.	Diagrama Ishikawa para el problema de paros de producción .....	48
26.	Diagrama de Pareto del número de paros por causal.....	50
27.	Gráfico de disponibilidad de equipos en horas cada mes.....	52
28.	Estructura del sistema de monitoreo de equipos .....	53
29.	Sistema automático de lubricación Lincoln .....	55
30.	Chumaceras de picadoras de caña .....	56
31.	Gráfico de eficiencia de la maquinaria .....	79
32.	Diagrama de recorrido para realizar rutina de inspección.....	102
33.	Gráfico de horas productivas vs pérdidas por zafra.....	104
34.	Gráfico de incremento de capacidad de molienda .....	106

## TABLAS

I.	Listado de paros de producción por área.....	24
II.	Horas perdidas según tipo de actividad .....	27
III.	Número de paros por día .....	29
IV.	Horas disponibles vs horas utilizadas zafra 2015/2016 .....	51
V.	Consumo de motores.....	60
VI.	Calificación del desempeño Westinghouse .....	63
VII.	Tiempos cronometrados preliminares (bombas).....	66
VIII.	Calificación del desempeño por mecánico.....	68
IX.	Tiempos cronometrados de revisión de bombas .....	69
X.	Tiempos cronometrados preliminares (lubricación) .....	70
XI.	Calificación del desempeño del lubricador.....	71
XII.	Tiempos cronometrados de lubricación por punto .....	72
XIII.	Tiempos cronometrados preliminares (motores) .....	73
XIV.	Calificación del desempeño por electricista .....	74
XV.	Tiempos cronometrados de revisión de motores .....	75

XVI.	Tiempos de mantenimiento programado.....	76
XVII.	Resumen de tiempos productivos .....	78
XVIII.	Rutina de lubricación de frecuencia diaria.....	81
XIX.	Rutina de lubricación semanal .....	89
XX.	Rutina de lubricación de frecuencia quincenal .....	90
XXI.	Rutina de lubricación de sistema Lincoln .....	92
XXII.	Rutina de bombas .....	93
XXIII.	Rutina de motores eléctricos.....	95
XXIV.	Rutina de reductores .....	97
XXV.	Rutina de paneles eléctricos .....	98
XXVI.	Frecuencias de rutinas .....	99
XXVII.	Diagrama de flujo para realizar una rutina de inspección.....	101
XXVIII.	Tabla comparativa de tiempos entre zafras .....	103
XXIX.	Resumen de tiempos productivos entre zafras .....	105
XXX.	Hoja de cálculo para recopilar la información del plan .....	108
XXXI.	Equipos críticos.....	111
XXXII.	Hoja de capacitación .....	113



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
	Almacenar
Amp.	Amperios
°Bx	Grados Brix
°C	Grados centígrados
	Inspección
kg	Kilogramo
kw	Kilowatt
m	Metro
$\bar{x}$	Media aritmética
pH	Medición de acidez o alcalinidad
	Operación
%	Porcentaje
HP	Potencia en caballos de fuerza
qq	Quintales
T	Temperatura
t	Tiempo
	Transporte



## GLOSARIO

<b>Alcalizado</b>	Jugo compuesto de jugo mezclado de los molinos y jugo filtrado.
<b>Agua de imbibición</b>	Condensados de los evaporadores que se aplican a la maceración para mayor extracción de jugo en el bagazo.
<b>Amperios</b>	Unidad de la intensidad de la corriente eléctrica.
<b>Bagazo</b>	Residuo de la molienda de la caña, de consistencia fibrosa.
<b>Bagacillo</b>	Partículas de bagazo para propósitos de filtrado.
<b>Brix</b>	Medición de la concentración de sólidos en una solución azucarada, porcentaje de sacarosa.
<b>Cachaza</b>	Sedimento extraído durante el proceso de clarificación, para ser utilizado en procesos del campo por sus componentes orgánicos.
<b>Ceniza</b>	Constituyentes totales de los productos inorgánicos solubles, en las distintas fases del proceso.

<b>Cristalización</b>	Proceso de concentración en los tachos de meladura, miel licor o jarabe, donde por saturación se forman cristales de azúcar.
<b>Cush cush</b>	Equipo de filtración para el jugo de los molinos.
<b>Edulcorante</b>	Se llama edulcorante a cualquier sustancia natural o química que sirve para dotar de sabor dulce a un alimento o producto.
<b>Efecto higroscópico</b>	Capacidad de alguna sustancia de absorber agua en forma líquida o de vapor.
<b>Gramínea</b>	Familia de plantas herbáceas; ocupa el cuarto puesto en especies después de las compuestas, orquídeas y leguminosas, con la mayor importancia económica mundial (caña de azúcar, trigo, maíz, avena, cebada, bambú).
<b>Icumsa</b>	International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (Comisión Internacional para la Estandarización de Métodos de Análisis del Azúcar).
<b>Imbibición</b>	Aplicación de agua caliente proveniente de condensados, para macerar y obtener mayor extracción de jugo del bagazo.
<b>Jugo primario</b>	Es el obtenido por la extracción del primer molino.

<b>Jugo crudo</b>	Jugo sin tratamiento térmico y sin aditivos.
<b>Jugo alcalizado</b>	Jugo tratado con hidróxido de calcio (cal) para nivelar su pH.
<b>Magma</b>	Mezcla de cristales y licor de azúcar obtenida.
<b>Masa</b>	Mezcla de cristales y licor descargados por un tacho, clasificadas de acuerdo a su pureza.
<b>Maza</b>	Rodillos maquinados acanalados con bordes filosos usados en los molinos para la extracción.
<b>Meladura</b>	Concentración de jugo claro, con grados brix entre [60-70].
<b>Melaza</b>	Miel final o miel de tercera, destinada para otros subproductos.
<b>Miel A</b>	Producto de la purga del primer tacho, sirve de material de cocción al segundo tacho.
<b>Miel B</b>	Subproducto del segundo tacho, sirve de material de cocción para el tercer tacho.
<b>Pol</b>	Contenido aparente de sacarosa de azúcar, expresada como porcentaje de masa.

<b>Purga</b>	Licor diluido extraído por las centrifugas durante el lavado.
<b>Sacarosa</b>	Disacárido conocido como azúcar.
<b>Setting</b>	Parámetros de calibración de las partes de molinos.
<b>Sinergia</b>	Acción conjunta de varios órganos en la realización de una función.
<b>Tacho</b>	Aparato diseñado para cocimiento de meladura a base de vapor y vacío.
<b>Templa</b>	Cada una de las cargas de masa cocida de los tachos.
<b>Trapiche</b>	Mecanismo diseñado para la extracción del jugo de caña a base de rodillos.
<b>Zafra</b>	Periodo de tiempo en el cual se cosecha y procesa la caña de azúcar.

## RESUMEN

La presente investigación contiene una descripción general de la operación en fábrica del Ingenio Santa Teresa, con el objetivo de realizar un diagnóstico de la situación actual y generar alternativas en métodos de trabajo que mejoren significativamente los parámetros operacionales alcanzados a la fecha.

Uno de los factores fundamentales para garantizar el buen funcionamiento de una fábrica es el aprovechamiento óptimo del tiempo disponible para cada una de sus actividades, principalmente, en las áreas de producción, mantenimiento y calidad. En el presente trabajo se analizarán las razones por las cuales el tiempo destinado a producción se ve afectado.

Un correcto análisis de tiempos perdidos es una herramienta de gran alcance en la búsqueda de los objetivos de la empresa, los cuales apuntan a una producción que supere los índices del ciclo anterior con productos que cumplan los parámetros de calidad esperados por los clientes y una disminución en los costos al final de la zafra. Para lo cual se utilizarán algunas técnicas de la ingeniería que ayudarán a focalizar los puntos débiles del proceso que ocasionan paros de producción recurrentes y paralelamente implementar planes de mejora.

Un enfoque generalmente aceptado a nivel industrial es que para producir continuamente en niveles altos, se debe contar con la maquinaria en buen estado y un plan de monitoreo constante. Por lo tanto, se propone una estructuración de un plan de monitoreo de equipos, con lo que se espera

mejorar los índices de disponibilidad de equipos y maquinaria y la reducción de paros por mantenimientos correctivos.

Esta propuesta incide directamente en una disminución de los costos ociosos derivados de la continua interrupción del proceso y ayuda a implementar una cultura de administración del mantenimiento en todo el personal involucrado.

# OBJETIVOS

## General

Diseñar un plan de monitoreo de condiciones de maquinaria para garantizar la continuidad del proceso productivo del área de fabricación que ayude a disminuir los tiempos perdidos.

## Específicos

1. Generar una plataforma que permita recolectar datos históricos de los puntos de lubricación para su análisis comparativo posterior.
2. Desarrollar las capacidades del personal enfocadas hacia la conservación de la maquinaria.
3. Definir líneas base de funcionamiento de los diferentes equipos para generar parámetros de operación aceptables que mantengan el proceso productivo estable.
4. Diseñar la secuencia de actividades a realizar en cada ruta de inspección de maquinaria.
5. Implementar indicadores de disponibilidad de equipos para producción, tiempo promedio entre fallas y tiempo promedio entre reparaciones.

6. Establecer los elementos necesarios para generar una base de datos que permita visualizar la relación entre el tiempo perdido por fallas y la productividad.
7. Determinar los equipos críticos del proceso, sus principales fallas y consecuencias directas en la continuidad de la producción.

## INTRODUCCIÓN

Guatemala como país eminentemente agrícola depende en gran medida de la industrialización y comercialización de sus cultivos para sostener la economía nacional. Dentro de sus cultivos más importantes se encuentra la caña de azúcar.

Las industrias dedicadas a la cosecha y el procesamiento de la caña en Guatemala conocidos generalmente como ingenios, radican en su mayoría en la Costa Sur, sin embargo, uno de los primeros ingenios se ubica en el departamento de Guatemala, municipio de Villa Canales, en la carretera a San José el Tablón.

La industria azucarera nacional ha invertido a lo largo de los últimos años en varias organizaciones dedicadas a la investigación y la mejora de sus procesos, con vistas a ser más competitivos a nivel nacional e internacional, lo que repercute en una serie de mejoras principalmente a nivel agrícola, en pruebas de diferentes variedades de caña, que se adaptan a cada región, mejoras en investigación y aplicación de químicos, manejos de cultivo y cosecha, etc.

De la misma manera, cada ingenio busca hacer mejoras dentro de sus respectivos procesos, dependiendo de sus propias capacidades e instalaciones, optimizar recursos y disminuir pérdidas; por lo tanto; el presente trabajo se basa justamente en la implementación de mejoras que permitan una mejor utilización del tiempo disponible.

En el primer capítulo se habla de las generalidades de la empresa y su historia; en el segundo se describe el proceso y se analiza la situación actual específicamente en tiempos perdidos de producción; en el tercer capítulo se busca determinar sus causas y se estudian métodos alternos para hacer más eficientes las labores del personal; en el capítulo cuarto se detallan los planes a implementarse debidamente gestionados; el capítulo quinto se refiere al seguimiento que se requiere para que dichos planes se mantengan y algunas directrices para su continua actualización, además, la capacitación del personal y la implementación de indicadores de gestión.

# 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

## 1.1. Evolución de la industria en Guatemala

*Saccharum officinarum* es el nombre científico con el que de acuerdo a la taxonomía se designa a la planta usualmente conocida como caña de azúcar, especie de planta perteneciente a la familia de las gramíneas.

Sus primeros indicios datan alrededor del año 3 000 A.C. en la región que hoy se conoce como Nueva Guinea, desde donde se extendió a la India, parte de África y sur de Europa; con el descubrimiento de América, finalmente, llega al nuevo continente.

En Guatemala este cultivo se rastrea hasta 1536 en lo que hoy se conoce como Amatitlán y Salamá; hacia 1587 ya había un considerable número de trapiches en muchas regiones del reino de Guatemala; el situado en la hacienda San Jerónimo, Baja Verapaz, el que se conoce como el primero en exportar azúcar morena a Centroamérica. No fue hasta mediados del siglo XIX, que por ingenio se entendía el complejo de tierras, construcciones fabriles, de servicios, vivienda, maquinarias e implementos destinados a la fabricación de azúcar de caña.

Para mediados del siglo XX la industria azucarera se concentraba geográficamente en el área sur del país, en los departamentos de Escuintla (80 %), Suchitepéquez (14 %), Retalhuleu (3 %) y Guatemala (3 %).

En 1957 se constituyó la Asociación de azucareros de Guatemala, también conocida como ASAZGUA, encargada de orientar las estrategias de la agroindustria azucarera. Otras entidades asociadas que se han desarrollado son la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala, denominada ATAGUA, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar CENGICAÑA y una fundación encargada de los programas sociales FUNDAZUCAR.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> ASAZGUA, Asociación de Azucareros de Guatemala. *Nuestra historia*. <http://www.azucar.com.gt/historia.html>. Consulta: 4 de diciembre de 2015.

## 1.2. Historia de la fábrica

Ingenio Santa Teresa S.A., fue fundado en 1864 en el valle de Villa Canales por el licenciado José María Escamilla.

Es el más antiguo de todos los que operan actualmente en Guatemala, al inicio se contaba con trapiches (molinos a base de rodillos para extracción del jugo de la caña) con lo que se elaboraba panela (azúcar cruda solidificada).

En 1914 se adquirió maquinaria proveniente de un ingenio ubicado en Chiapas, México; para la producción de vapor se contaba con dos calderas cuyo combustible era leña; los rodillos extractores de los molinos (llamados comúnmente mazas) eran movidos por una máquina de vapor marca John Gordon que darían paso más adelante a turbinas de vapor. El jugo se enviaba a la zona de sulfitación por medio de tuberías tipo serpentín. La capacidad de producción era el equivalente a 120 quintales al día en turnos de nueve horas.

Para la década de 1950 se dejó de producir panela para dedicarse a producir solamente azúcar blanca sulfitada, se inició a trabajar las 24 horas del día y los niveles de molienda llegaban a 300 toneladas por día, con lo cual al final de la zafra se producían entre 20 000 y 30 000 quintales de azúcar.

En 1978 se adquieren dos molinos adicionales los cuales eran accionados por turbinas de vapor, con lo cual la capacidad diaria se incrementó a 500 toneladas de caña al día y aproximadamente 70 000 quintales por zafra.

Actualmente, se utilizan turbogeneradores Caterpillar de 3.2 MW para convertir la energía cinética y calorífica del vapor en energía eléctrica requerida por el proceso; los molinos son accionados por motores eléctricos y la capacidad es de 800 toneladas de caña al día.<sup>2</sup>

## 1.3. Localización

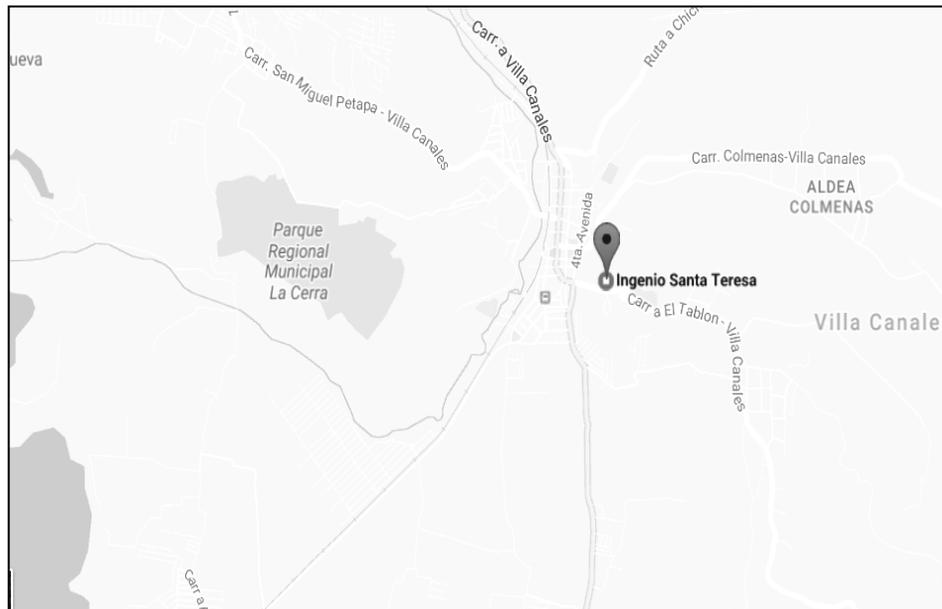
“El Ingenio Santa Teresa S.A., se encuentra ubicado en el casco urbano del municipio de Villa Canales, en la carretera que conduce a San José el Tablón.”<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Ingenio Santa Teresa. *Historia*. <http://webstrategy.com/portfolio/ingenio-santa-teresa/>. Consulta: 4 de diciembre de 2015.

<sup>3</sup> *Ibíd.*

Figura 1. **Localización de Ingenio Santa Teresa**



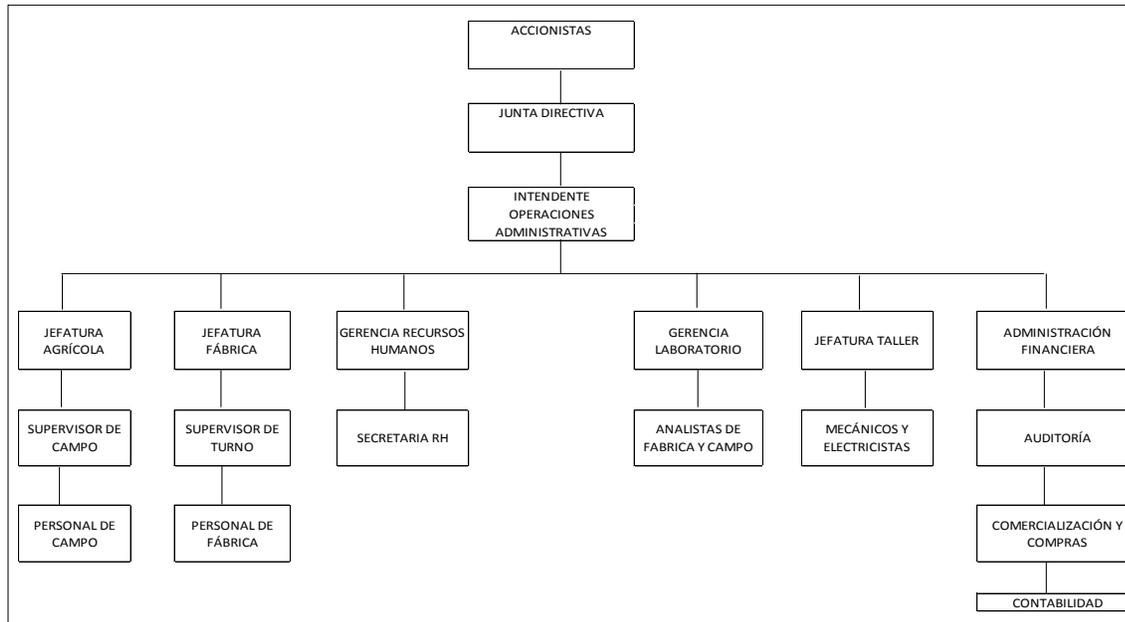
Fuente: Google Maps. <https://www.google.com.gt/maps>. Consulta: 4 de diciembre de 2015.

#### **1.4. Estructura organizacional**

La estructura organizacional está diseñada predominantemente de forma vertical, desglosa los niveles de jerarquía y asigna responsabilidades por áreas y su interrelación con las demás para generar la sinergia necesaria en las operaciones de la empresa.

Como en la mayoría de empresas del medio, los niveles más altos están representados por los accionistas y la junta directiva; posteriormente, se muestran las relaciones según la responsabilidad del cargo y las relaciones con subalternos como se muestra en el siguiente organigrama.

Figura 2. Estructura organizacional



Fuente: elaboración propia.

## 1.5. Misión y visión

“Misión: incorporar paulatinamente las energías limpias en los procesos de producción para competir en el mercado mundial con la solvencia de ser un ingenio compatible con el medio ambiente.

Visión: contar con una industria desarrollada económica, social y científica, donde el aprovechamiento racional de los recursos naturales constituya un elemento importante y determinante de su sostenibilidad.”<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Ingenio Santa Teresa. *Historia*. <http://webstrategy.com/portfolio/ingenio-santa-teresa/>. Consulta: 4 de diciembre de 2015.

## **1.6. Principales productos**

Los principales productos obtenidos en Ingenio Santa Teresa se detallan a continuación.

- **Azúcar cruda**

Producto sólido cristalizado de color marrón, obtenido directamente del cocimiento del jugo de la caña de azúcar, constituido por cristales de sacarosa cubiertos de su miel madre original, también conocida comercialmente como azúcar morena. Este tipo de azúcar es producida bajo pedido o por contratos ya establecidos, por lo regular se fija la cantidad requerida; mas no la fecha exacta en que se requerirá, por lo que se debe mantener en condiciones favorables de almacenaje.

Por lo general su manejo y traslado es a granel, las cantidades se manejan en toneladas métricas la cual equivale a 20 quintales.

- **Azúcar blanca estándar**

Es el producto cristalizado obtenido del cocimiento del jugo de la caña de azúcar, constituido principalmente por cristales sueltos de sacarosa, obtenidos mediante procedimientos industriales apropiados y que no han sido sometidos a procesos de refinación.

Es el azúcar producida para comercializar a nivel nacional; de acuerdo al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de la República de Guatemala, en su Acuerdo 021-2000, artículo segundo, establece que el azúcar debe contener vitamina A, durante toda su vida de comercialización.

- Melaza

La miel final obtenida del proceso de elaboración de azúcar está compuesta por azúcares que ya no pueden ser cristalizables por medios físicos. Este subproducto tiene varias aplicaciones como la elaboración de rones o para consumo de ganado.

#### **1.6.1. Mercado objetivo**

En el caso del azúcar, principalmente, está destinada para el mercado local o para consumo de la población a nivel nacional, empackado bajo las diferentes marcas de comercialización y regidos por las normas vigentes de dosificación de vitamina A.

La melaza es comercializada para los diferentes sectores: s alcoholes, o destilerías, ganadero y exportaciones.

#### **1.7. Control de calidad**

Los controles de calidad inician en el área agrícola, continúan en el proceso industrial y finalizan en la etapa de envasado.

En el campo se evalúan varios factores: punto óptimo de madurez, determinación de niveles de acidez y alcalinidad (pH), determinación de azúcares reductores y pol (medida aparente de sacarosa presente).

Durante el proceso, los controles se centran en el porcentaje másico de sólidos solubles en una solución de sacarosa (Brix) y pol en los jugos, masas, mieles y cachaza, en el azúcar principalmente el pol, el grado de humedad,

porcentaje de cenizas y el índice de color en unidades ICUMSA y dosificación de vitamina A. También, se monitorean otros parámetros propios del proceso: índice de humedad del bagazo, minerales presentes en el agua de la caldera (dureza), las partes por millón ppm de los químicos utilizados.

En la etapa de empaque, principalmente, se monitorean los pesos en gramos, libras o quintales según sea la presentación para cumplir con los requisitos del cliente.

Otro factor importante en esta etapa es el color que varía según el tipo de producto, está determinado en una escala ascendente establecida por la Comisión Internacional para la Uniformidad en los Métodos de Análisis del Azúcar, por sus siglas en inglés ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis); mientras más bajo es este valor indica que el azúcar es más blanca, por ejemplo, el azúcar refinada maneja valores entre 25 UI y 45 UI (unidades ICUMSA), azúcar blanco estándar entre 150 UI y 350 UI; finalmente, el crudo alcanza valores hasta de 4 000 UI.

A pesar de ser un producto de alto consumo y rotación, posee un tiempo de vida prolongado mayor a la gran parte de productos alimenticios. Desde la fecha de producción se tienen tres años para que el producto caduque. Esto se debe en gran parte por su contenido de agua, prácticamente despreciable, lo cual minimiza el crecimiento bacteriano.

En lo concerniente a la dosificación de vitamina A, en el Acuerdo Gubernativo 021-2000, artículo 15, se establece el nivel de fortificación con retinol (vitamina A), el cual deberá ser de 15 ppm (mg/kg) con una tolerancia de  $\pm 5$  ppm.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA**

### **2.1. Descripción del proceso**

Para describir de mejor manera el proceso, se hace referencia a sus tres secciones, en su orden: la preparación de la caña, su transformación en el proceso fabril y finalmente el envasado.

#### **2.1.1. Principales etapas**

##### **2.1.1.1. Preparación de materia prima**

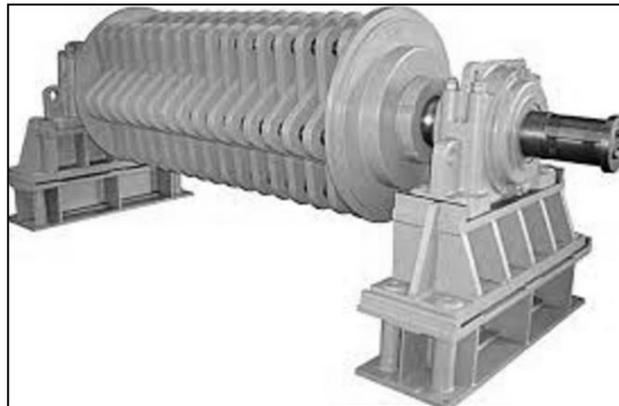
El primer paso antes de la descarga de la caña para su manejo a granel es su lavado con agua caliente, con la finalidad de eliminar los restos de tierra y cenizas provenientes de la quema, que durante su carga con maquinaria de alce se arrastran.

Posteriormente, los camiones se dirigen a la báscula de entrada, se registra el peso total, luego se descarga la caña en el patio, por último el camión pasa a un segundo pesaje o destare con lo cual el sistema registra la diferencia como peso neto en toneladas.

Una vez descargada la caña por medio del malacate (mecanismo que hace virar las jaulas de los camiones) esta se manipula y moviliza con maquinaria pesada.

La caña es empujada hacia la caída del conductor inclinado cuya función es elevarla hasta el nivel de los otros conductores horizontales y que sea alcanzada: por ejes giratorios con cuchillas llamadas picadoras y desfibradoras, las primeras fragmentan el tallo entre 5 y 10 centímetros y las segundas rompen los tallos para dejar la fibra expuesta, con esta operación la caña queda preparada para su ingreso a los molinos.

Figura 3. **Desfibradora de caña**



Fuente: USI Corporation. *Diseño Pernambuco Corporation*. p.10.

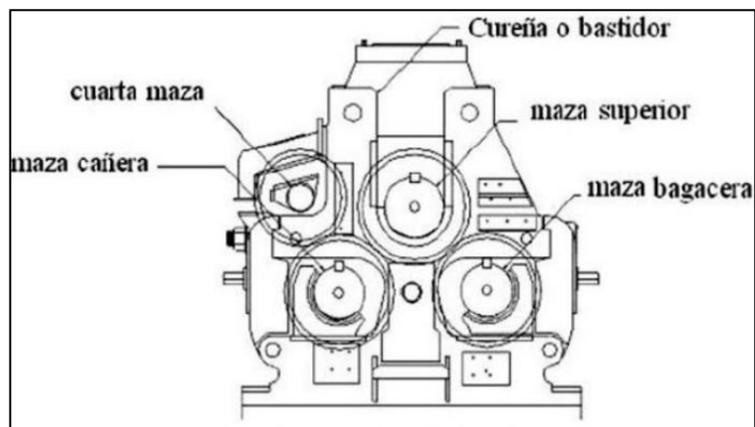
Para evitar que posibles restos metálicos ingresen a la maquinaria de molinos se hace una separación por medio de un electroimán que hace la función de filtro, a través de fuerzas electromagnéticas crea una fuerza de atracción en su superficie en donde quedan adheridos los restos de cualquier metal arrastrado en la caña.

### 2.1.1.2. Proceso fabril

- Extracción de jugo

Los molinos de caña de azúcar cuentan por lo regular con tres rodillos maquinados en forma de canales con bordes filosos denominados mazas, las cuales por su posición y función reciben el nombre de maza superior, cañera y bagacera; en algunos molinos modernos ya se cuenta con una cuarta maza que hace más eficiente la extracción. Todas están montadas sobre una estructura sólida de hierro fundido que soporta la interacción de las fuerzas y permite el ajuste del *setting* o calibraciones de espacios entre los elementos del molino.

Figura 4. Vista lateral de molino de caña

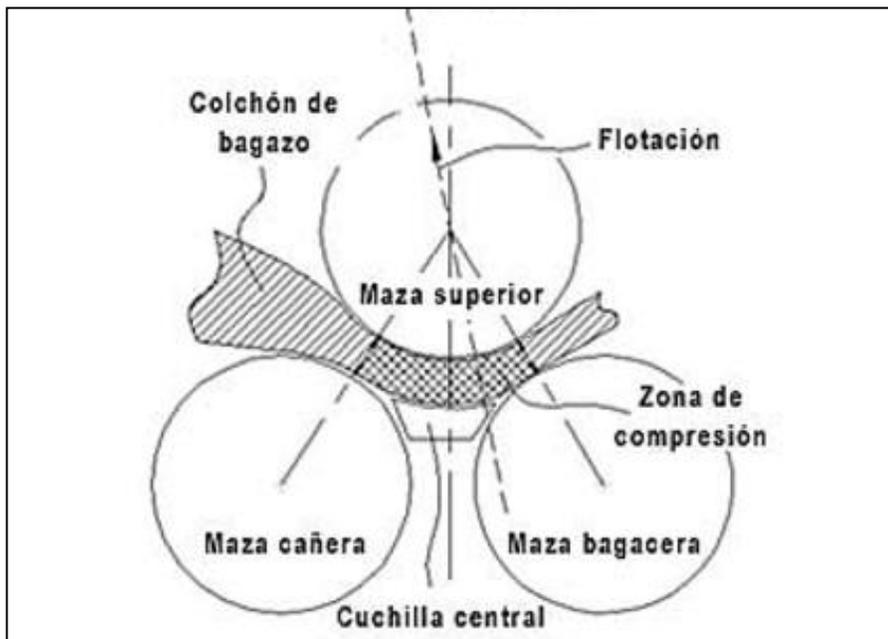


Fuente: Molinos Fletcher. *Ingeniería cañera*. p. 34.

La finalidad principal de los cuatro molinos que conforman el tándem es conseguir la mayor separación posible del jugo y la fibra de la caña. En condiciones normales de operación y sin paros se tiene la capacidad de moler 33 toneladas de caña por hora.

La abertura entre las mazas va disminuyendo 0,5 pulg, de una a otra, por lo cual la caña va sufriendo diferentes compresiones, debido al peso de la maza superior y a presión adicional hidráulica aplicada de 1 500 psi.

Figura 5. **Compresión de caña**



Fuente: Agrocolombia. *Manual de molienda*. p. 18.

En la siguiente figura se aprecian las mazas: cañera, bagacera, cuchilla central y chumaceras de bronce.

Figura 6. **Mazas de molinos**



Fuente: elaboración propia.

Al inicio de su funcionamiento, el accionamiento de los molinos era a base de turbinas de vapor, pero hoy en día es a base de molinos eléctricos para el aprovechamiento de la generación propia y mejor distribución del circuito de vapor en áreas de cocimiento.

Figura 7. **Motorización de molinos**



Fuente: elaboración propia.

Para hacer más eficiente la extracción se emplea maceración; por medio de aspersores se aplica agua caliente y jugo sobre las capas de bagazo en la entrada de cada molino, este proceso comúnmente se le llama imbibición. En el momento cuando que los molinos extraen el jugo de la caña preparada, este es conducido a un filtro giratorio para eliminar bagacillo (proveniente principalmente de las hojas). Posteriormente, el jugo es devuelto al tanque de extracción para luego trasladarlo al tanque de alcalizado.

En las prácticas de molienda eficientes, más del 95 % del azúcar contenido en la caña pasa al jugo, este porcentaje se conoce como extracción de sacarosa o simplemente extracción. El resto fibroso llamado bagazo pasa a conductores que lo transfieren al área de calderas para ser utilizado como combustible.

- Clarificación

El jugo extraído de los molinos es ácido y turbio por lo cual se necesita clarificarlo, para ello se realiza la separación de impurezas solubles e insolubles.

El jugo ya sin fibra pasa a una torre de sulfitación donde recibe una corriente de gas (anhídrido sulfuroso  $\text{SO}_2$ ), obtenido mediante la combustión de azufre en quemadores especiales que actúa como agente decolorante.

El jugo sulfitado se torna de naturaleza ácida por lo que pasa a un tanque de neutralización para obtener valores de ph en el rango de [7,2 - 8], esto se logra a base de agregar cal hidratada; este tratamiento permite también neutralizar la acidez natural contenida en el jugo de la caña de azúcar: el ácido cítrico.

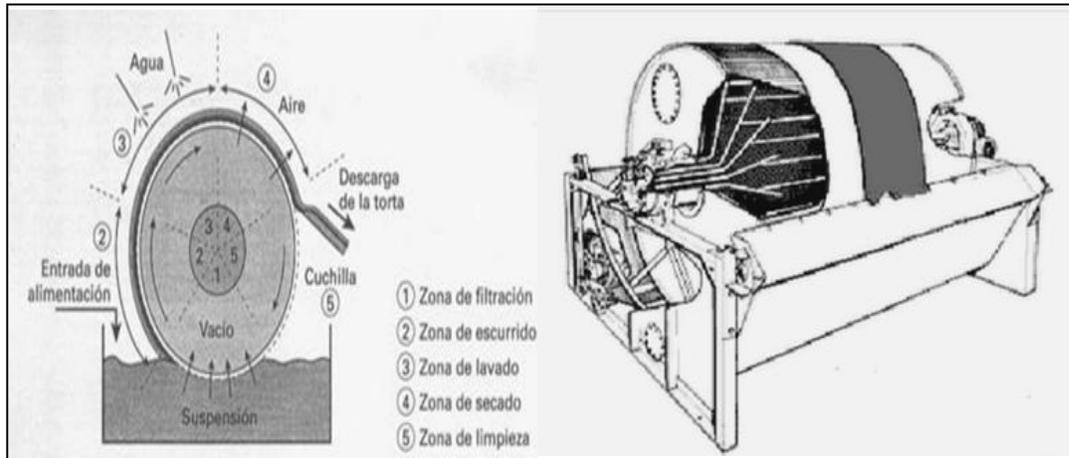
Una vez tratado el jugo se pasa a los calentadores que elevan la temperatura a base de vapor cerca del punto de ebullición, aproximadamente a 100 °C.

En el clarificador se le adiciona floculante que es un coagulante para ayudar a la sedimentación de impurezas, las cuales por el efecto de la temperatura sufren el efecto de precipitación; con lo cual se garantiza la separación de sólidos en la parte inferior de las bandejas del tanque y en la superior el jugo completamente clarificado, listo para pasar a la etapa de evaporación.

La cachaza se destina a un último proceso llamado lavado, el cual se realiza en un filtro rotativo al vacío cuyo objetivo es extraer el remanente de azúcar, después del lavado la cachaza por medio de conductores se transporta hacia tolvas que son llevadas a los campos de cultivo para usarse como abono orgánico.

En este tipo de filtros la cachaza llega a un depósito inferior en el cual se sumerge parcialmente un cilindro giratorio, el cual a medida que gira la cachaza es succionada por efecto de vacío y forma una capa sobre la superficie filtrante; luego, es rociada con agua caliente lo cual se conoce como lavado, con el fin de extraer el jugo y sacarosa que aún contiene y pasa a la tubería de retorno hacia el tanque de filtrado; posteriormente, se aplica aire para secar la torta y finalmente es desprendida por un raspador y depositada al conductor.

Figura 8. **Esquema de un filtro rotativo al vacío de cachaza**



Fuente: Procesosbio. *Operaciones unitarias*. [www.procesosbio.com/filtración](http://www.procesosbio.com/filtración). Consulta: 4 de diciembre de 2015.

Para el correcto funcionamiento del filtro de cachaza se designa a una persona encargada por turno.

Figura 9. **Filtro rotativo de cachaza**



Fuente: elaboración propia.

- Evaporación

El jugo clarificado se envía a los evaporadores a fin de eliminar dos terceras partes del agua que contiene y aumentar la concentración del jugo.

El jugo atraviesa una serie de evaporadores conectados en serie (llamados de efecto múltiple) que trabajan al vacío para facilitar la ebullición a una menor temperatura. El primer evaporador posee una temperatura de 98 °C y es alimentado por el circuito de vapor principal; este descarga hacia el segundo, el cual utiliza el vapor generado por el primer aparato llamado vapor vegetal; este descarga al tercero para llegar al último llamado melador debido a que el material obtenido es de alta concentración, con alta viscosidad y llamado meladura.

Durante este proceso se incrementa la concentración de sólidos, de 15° brix en el jugo clarificado de entrada a 60° brix en la meladura. El agua condensada en los evaporadores se reutiliza en algunos puntos de la fábrica donde se requiere agua caliente, como aguas de lavado de centrifugas, filtro de cachaza e intercambiadores de calor. En este tipo de procesos por lo regular la meladura pasa por un tanque reactor donde se le agregan químicos decolorantes; posteriormente, se le agrega floculante y aire para formar coágulos, los cuales flotan arrastrando impurezas en forma de espuma, que es retirada de la superficie del tanque de clarificación de meladura.

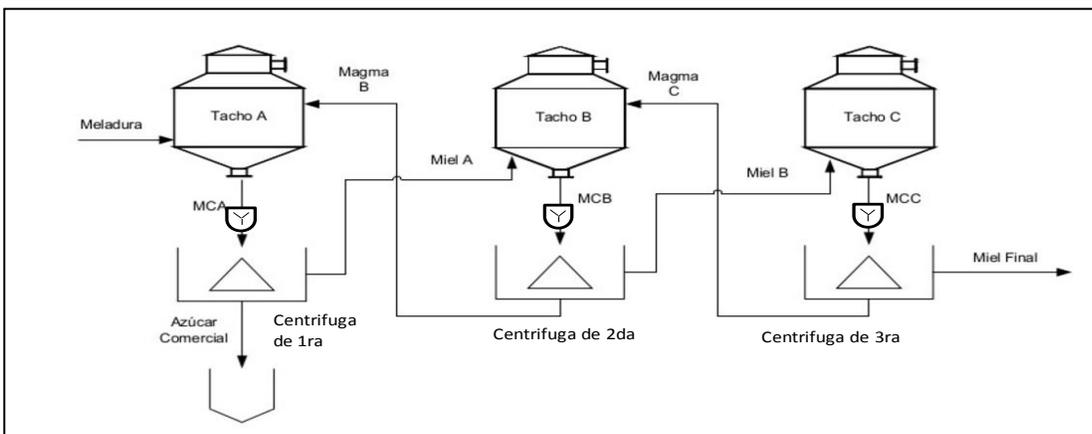
- Tachos

La meladura proveniente de evaporación pasa al área de tachos, en donde continúa la evaporación del agua por lo que la concentración de azúcar se eleva y da inicio la cristalización con la ayuda de granos de polvillo de azúcar

denominado semilla que sirven de núcleos para el crecimiento de los cristales de forma uniforme hasta llenar el tacho.

La masa cocida resultante se le conoce como templa, la cual del primer tacho se descarga por una válvula de pie a un tanque de mezclado con aspas giratorias llamado cristalizador y pasa a las centrifugas de primera, de donde se obtiene azúcar y su purga produce miel A, la cual se bombea al segundo tacho y le sirve de material para cocción; nuevamente al producirse en este caso la masa cocida B pasa por un cristalizador y se descarga en las centrifugas de segunda, de las cuales se obtiene magma B que se envía al primer tacho como material y su purga produce miel B que servirá de material de cocción en el tercer tacho; este produce una masa cocida C que se descarga en las centrifugas de tercera de donde se obtiene magma C que se recircula hacia el segundo tacho como material de cocción y al purgar finalmente se obtiene la melaza. En resumen, de este ciclo de recirculaciones y agotamiento se obtiene azúcar y melaza. La siguiente figura representa un esquema básico de este sistema.

Figura 10. **Sistema básico de tachos**

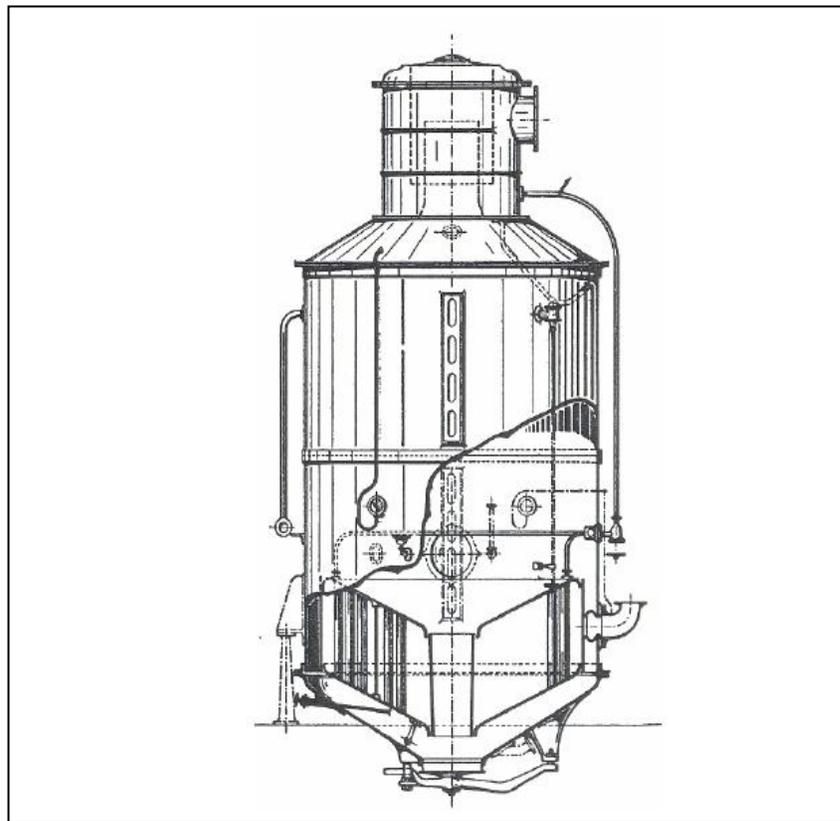


Fuente: ALTAMIRANO, Maxwell. *Elaboración de azúcar*. p. 315.

La melaza o miel final se bombea a tanques que la almacenan, hasta su despacho; principalmente, tiene usos en las destilerías de rones, fabricación de alcohol y como alimento de ganado.

La capacidad de los tachos es de 235 pies cúbicos, se les suministra vapor vegetal de 10 psi producido en los aparatos de evaporación y sistema de vacío.

Figura 11. **Tacho al vacío**

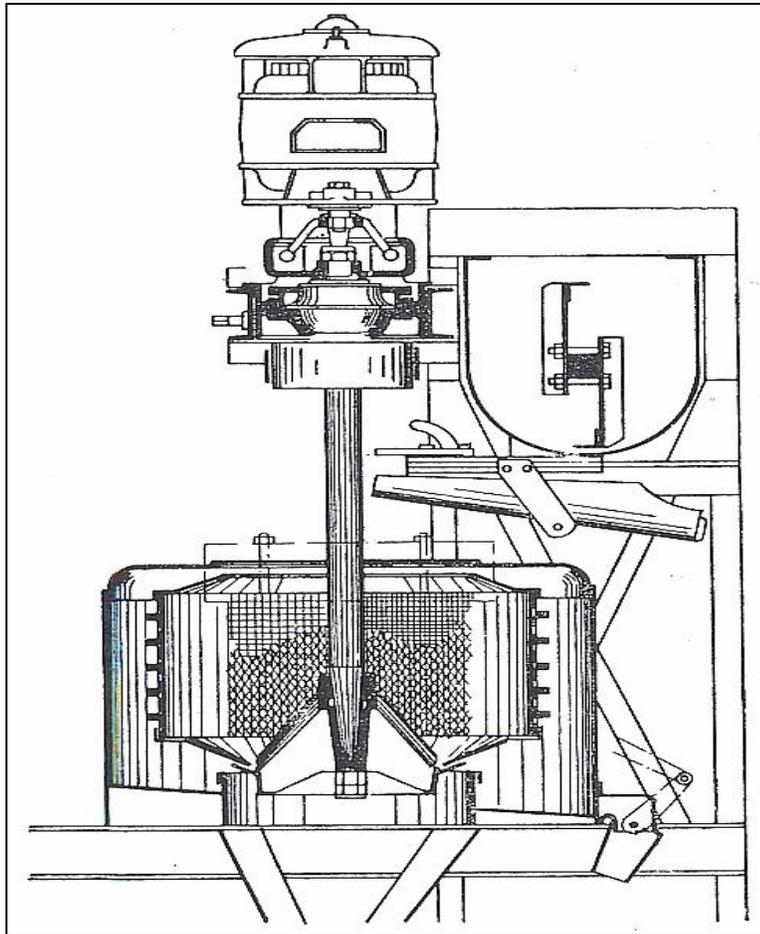


Fuente: Hugot. *Manual para ingenieros azucareros*. p. 441.

- Centrifugado

Estas máquinas giratorias utilizan la fuerza centrífuga para provocar la separación de los cristales de la miel restante, a través de una tela metálica, las mieles vuelven a los tachos o se destinan para melaza.

Figura 12. **Corte de una centrifuga Batch**



Fuente: Hugot. *Manual para ingenieros azucareros*. p. 509.

Existen dos tipos de centrifugas: las cíclicas llamadas batch y las continuas, utilizadas para las masas B y C.

Al finalizar los ciclos de temple en las batch se lava con agua para desprender lo último de mieles residuales, se descarga el azúcar y se reinicia el ciclo. A partir de este punto se puede agregar la dosificación de vitamina según lo requerimientos vigentes.

El azúcar descargada de las centrifugas pasa a un secador a base de aire calentado por vapor, el cual tiene forma de cilindro horizontal. Posteriormente, otro aparato similar enfría el azúcar antes de su envase, con lo cual se evita que por efecto higroscópico absorba humedad del ambiente y se solidifique en los sacos.

Figura 13. **Secadora de azúcar**



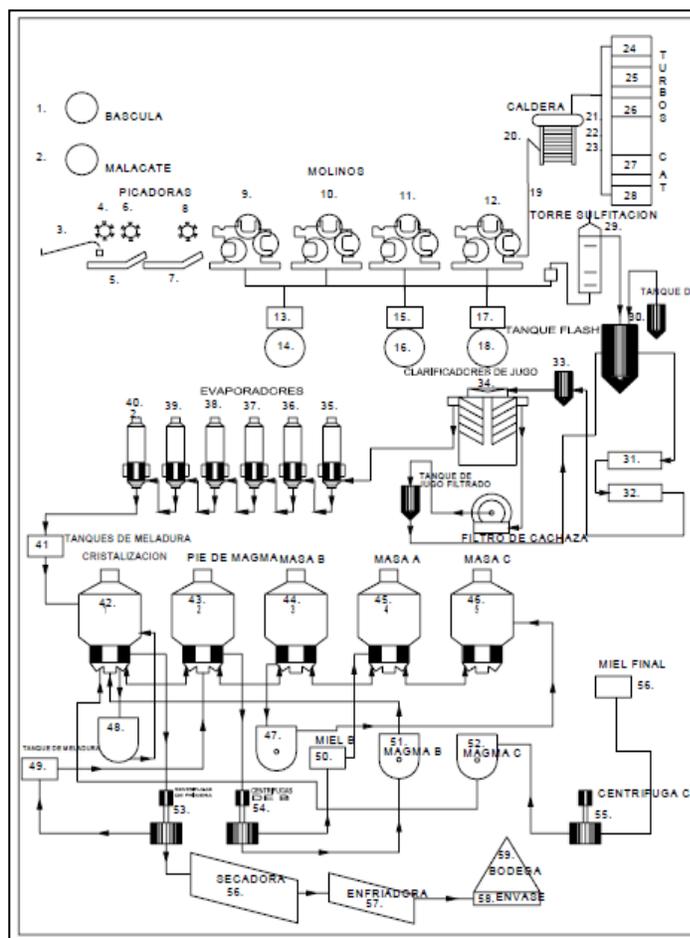
Fuente: elaboración propia.

### 2.1.1.3. Envasado y distribución

En esta área se cuenta con máquinas cosedoras de sacos y básculas digitales que garantizan el peso correcto; los quintales son trasladados por medio de conductores a las bodegas para su distribución.

La siguiente figura muestra la interacción de los procesos mencionados

Figura 14. Diagrama de proceso



Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Situación actual de tiempo perdido para producción en fábrica**

En toda empresa se busca maximizar los resultados a través de los recursos disponibles dentro de los cuales está el factor tiempo, por lo tanto, una producción ininterrumpida es un objetivo importante; sin embargo, para llegar a estas condiciones operacionales, se hace necesario analizar las causas por las cuales dicho alcance se ve afectado.

El análisis de la distribución del tiempo designado a la producción y lo requerido para el mantenimiento de los equipos es una base fundamental para optimizar los periodos laborables y el rendimiento de la maquinaria.

Los datos recopilados indican que durante la zafra 2015/2016 los paros de producción sumaron 460 horas, lo cual es un número bastante significativo pues equivale a 19 días, en una zafra que por lo regular dura entre 70 a 75 días.

### **2.2.1. Distribución por área**

Para iniciar la evaluación de cómo los paros de producción debido, principalmente, a fallas en los equipos y su respectiva reparación afectan el tiempo de producción, se deben identificar, en primer lugar, las áreas más afectadas.

Para tal efecto se tabulan los datos obtenidos, dando como resultado la siguiente tabla.

Tabla I. **Listado de paros de producción por área**

ÁREA	NÚMERO DE PAROS	HORAS	TIEMPO PROMEDIO x (Hrs) PARO
PREPARACIÓN	63	100,25	1,59
MOLINOS	60	95,62	1,59
EVAPORACIÓN	56	36,63	0,65
CALDERAS	56	57,77	1,03
ELÉCTRICO	40	92,07	2,30
VARIOS	13	60,58	4,66
CLARIFICACIÓN	7	8,17	1,17
ALCALIZADO	2	2,38	1,19
ENVASE	2	5,75	2,88
<b>TOTAL</b>	<b>299</b>	<b>460,10</b>	<b>1,54</b>

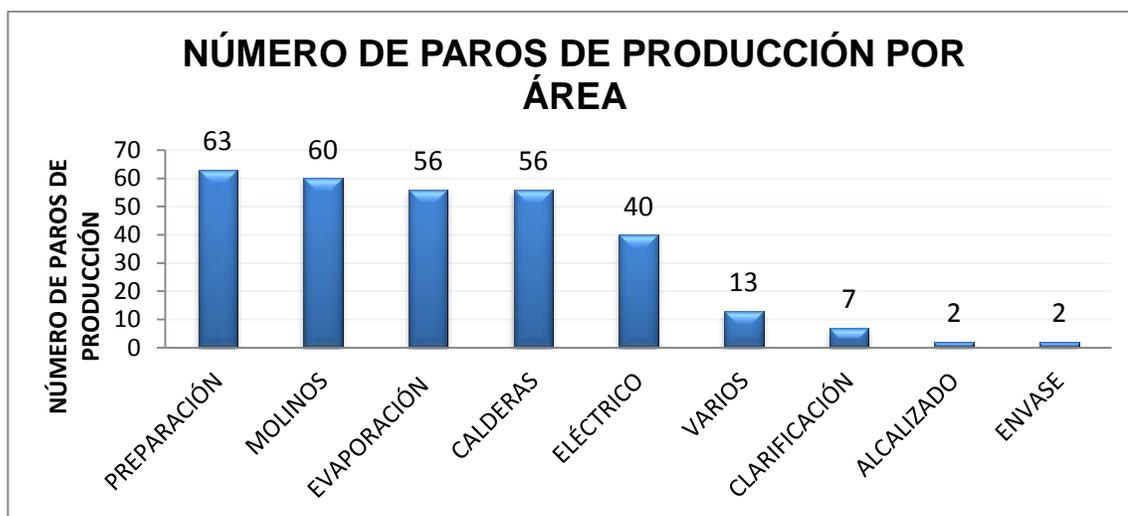
Fuente: elaboración propia.

Se debe tomar en cuenta el número de interrupciones como un indicador de recurrencia en las áreas; de igual manera, la cantidad de horas utilizadas en las intervenciones por parte del personal de mantenimiento.

Debido a que pueden presentarse varios escenarios, por ejemplo, pocos paros con periodos cortos, pocos paros con intervalos largos, muchos paros con lapsos breves o extendidos, un promedio que relacione el número de paros y la cantidad de horas brinda un dato útil.

En ese sentido, en la tabla anterior se puede observar que hay relación directa entre el número de paros y la cantidad de horas, principalmente de las dos primeras áreas, ambas con las mayores magnitudes en sus respectivos valores, por lo que sus promedios reflejan dicha tendencia. Al representar gráficamente la tabla anterior se observa una similitud en la cantidad de paros de producción entre las cuatro áreas más afectadas (preparación, molinos, calderas y evaporación), pues se ubican en un rango de 60 a 63 intervenciones.

Figura 15. **Distribución de paros de producción por área**



Fuente: elaboración propia.

Esto en gran medida se debe a que muchos de los equipos de preparación y molienda son expuestos al máximo régimen de funcionamiento, que ponen a prueba su capacidad, ocasionado entre otras cosas por el contacto directo con la materia prima, pues la caña es por naturaleza una planta dura, resistente y que manejada a granel representa varias toneladas que soportan directamente los conductores lo cual conlleva exigencia a los motores que generan su movimiento, llevados en ocasiones al límite de su capacidad nominal.

Altas temperaturas en las chumaceras de picadoras y desfibradoras producidas por la velocidad de sus ejes, esfuerzos de tensión y compresión en los elementos de los molinos y las sobrecargas de amperaje en los motores en los momentos de atoramientos de bagazo entre sus rodillos o mazas, entre otros.

La caldera principal de la cual depende actualmente todo el flujo de vapor para el proceso refleja, también, un comportamiento intermitente, por lo que hay que se hace necesario revisar detalladamente en que componentes específicos o equipos auxiliares se presentan las fallas con más frecuencia al igual que en el área de evaporación.

### 2.2.2. Análisis gráfico

A través del uso de gráficos de diferente tipo se puede agilizar la comprensión de cómo se agrupan los datos obtenidos, cómo se relacionan y la tendencia que generan. A continuación, se visualiza la distribución por tipo de mantenimiento.

Figura 16. **Intervenciones de mantenimiento preventivo**



Fuente: elaboración propia.

El número total de paros de producción reportados durante la zafra 2015/2016 fue de 299; la primera observación es que el número de intervenciones es demasiado alto, debido a que los días de producción fueron

69: esto significa que, por día en promedio, por lo menos, se detiene el proceso 4 veces.

El 97 % corresponde a mantenimientos correctivos y solo el 3 % a preventivos (dentro del cual se contemplan principalmente calibraciones, ajustes y limpieza).

La diferencia tan grande entre estos valores indica que predomina la reparación repetitiva de equipos. El valor de los mantenimientos preventivos está dentro de los rangos que se manejan en este tipo de industrias: una programación de mantenimientos preventivos semanales (la cantidad de horas asignadas depende de la cantidad de equipos y la cantidad de personal de mantenimiento).

Una clasificación de los datos en cuanto a las principales causas, tipo de falla y su respectiva reparación correctiva complementa la gráfica anterior.

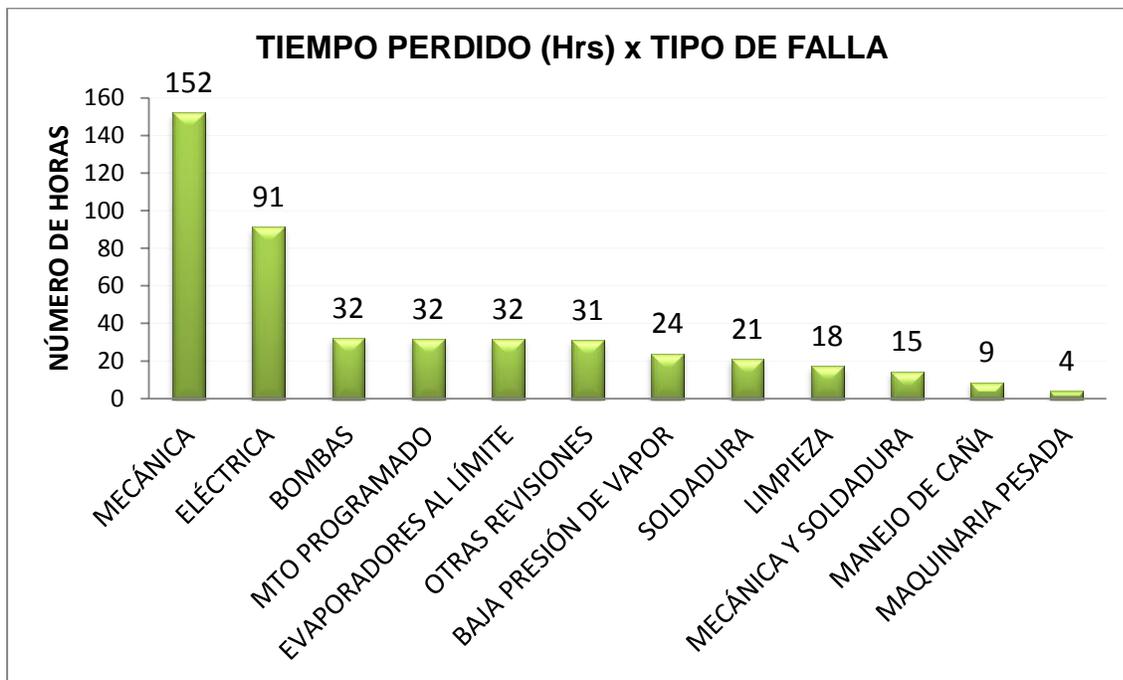
**Tabla II. Horas perdidas según tipo de actividad**

Clasificación	# de horas
Reparación mecánica	152
Reparación eléctrica	91
Reparación de bombas	32
Mto programado	32
Evaporadores al límite	32
Otras revisiones	31
Baja presión de vapor	24
Soldadura	21
Limpieza	18
Mecánica y soldadura	15
Manejo de caña	9
Maquinaria pesada	4
Total	460

Fuente: elaboración propia.

La mayor parte de intervenciones están catalogadas como reparaciones mecánicas, revisiones eléctricas y funcionamiento de bombas.

Figura 17. **Distribución de tiempo perdido en horas por tipo de falla**



Fuente: elaboración propia.

Debido a la capacidad de molienda de la fábrica y las zonas de cultivo, la época productiva no supera los tres meses; la fecha de inicio depende de varios factores y las decisiones gerenciales, por lo regular, se inicia en los últimos días de noviembre o principios de diciembre para finalizar a finales de febrero o inicios de marzo respectivamente.

Por lo cual una perspectiva de la ocurrencia de los paros de producción por día puede brindar una visualización de temporalidad o tendencia en los datos; a continuación, se muestra la tabulación de dicha información.

Tabla III. **Número de paros por día**

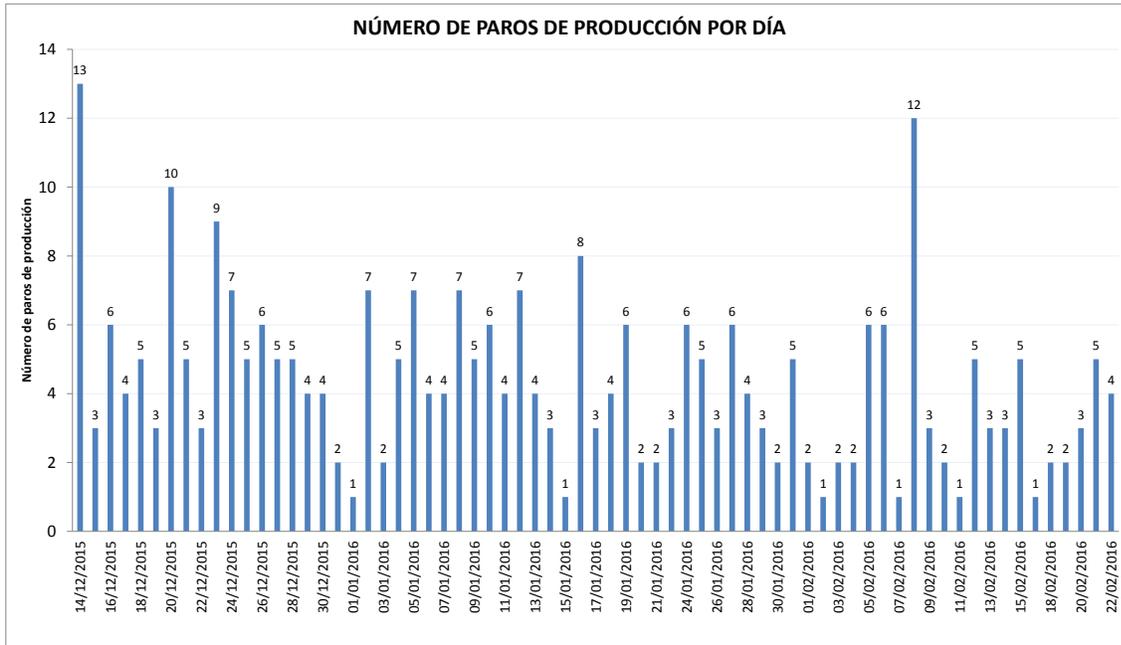
FECHA	PAROS	FECHA	PAROS	FECHA	PAROS
14/12/2015	13	08/01/2016	7	03/02/2016	2
15/12/2015	3	09/01/2016	5	04/02/2016	2
16/12/2015	6	10/01/2016	6	05/02/2016	6
17/12/2015	4	11/01/2016	4	06/02/2016	6
18/12/2015	5	12/01/2016	7	07/02/2016	1
19/12/2015	3	13/01/2016	4	08/02/2016	12
20/12/2015	10	14/01/2016	3	09/02/2016	3
21/12/2015	5	15/01/2016	1	10/02/2016	2
22/12/2015	3	16/01/2016	8	11/02/2016	1
23/12/2015	9	17/01/2016	3	12/02/2016	5
24/12/2015	7	18/01/2016	4	13/02/2016	3
25/12/2015	5	19/01/2016	6	14/02/2016	3
26/12/2015	6	20/01/2016	2	15/02/2016	5
27/12/2015	5	21/01/2016	2	16/02/2016	1
28/12/2015	5	22/01/2016	3	18/02/2016	2
29/12/2015	4	24/01/2016	6	19/02/2016	2
30/12/2015	4	25/01/2016	5	20/02/2016	3
31/12/2015	2	26/01/2016	3	21/02/2016	5
01/01/2016	1	27/01/2016	6	22/02/2016	4
02/01/2016	7	28/01/2016	4		
03/01/2016	2	29/01/2016	3		
04/01/2016	5	30/01/2016	2		
05/01/2016	7	31/01/2016	5		
06/01/2016	4	01/02/2016	2		
07/01/2016	4	02/02/2016	1		
				TOTAL	299

Fuente: elaboración propia.

La gráfica permite visualizar los picos y valles en cuanto a la cantidad de paros por día.

La mayoría de los datos en los días con paros, se ubican entre los 2 y 8 paros por día; cinco días sobrepasan los ocho paros diarios y muy pocos están por debajo de los dos paros al día.

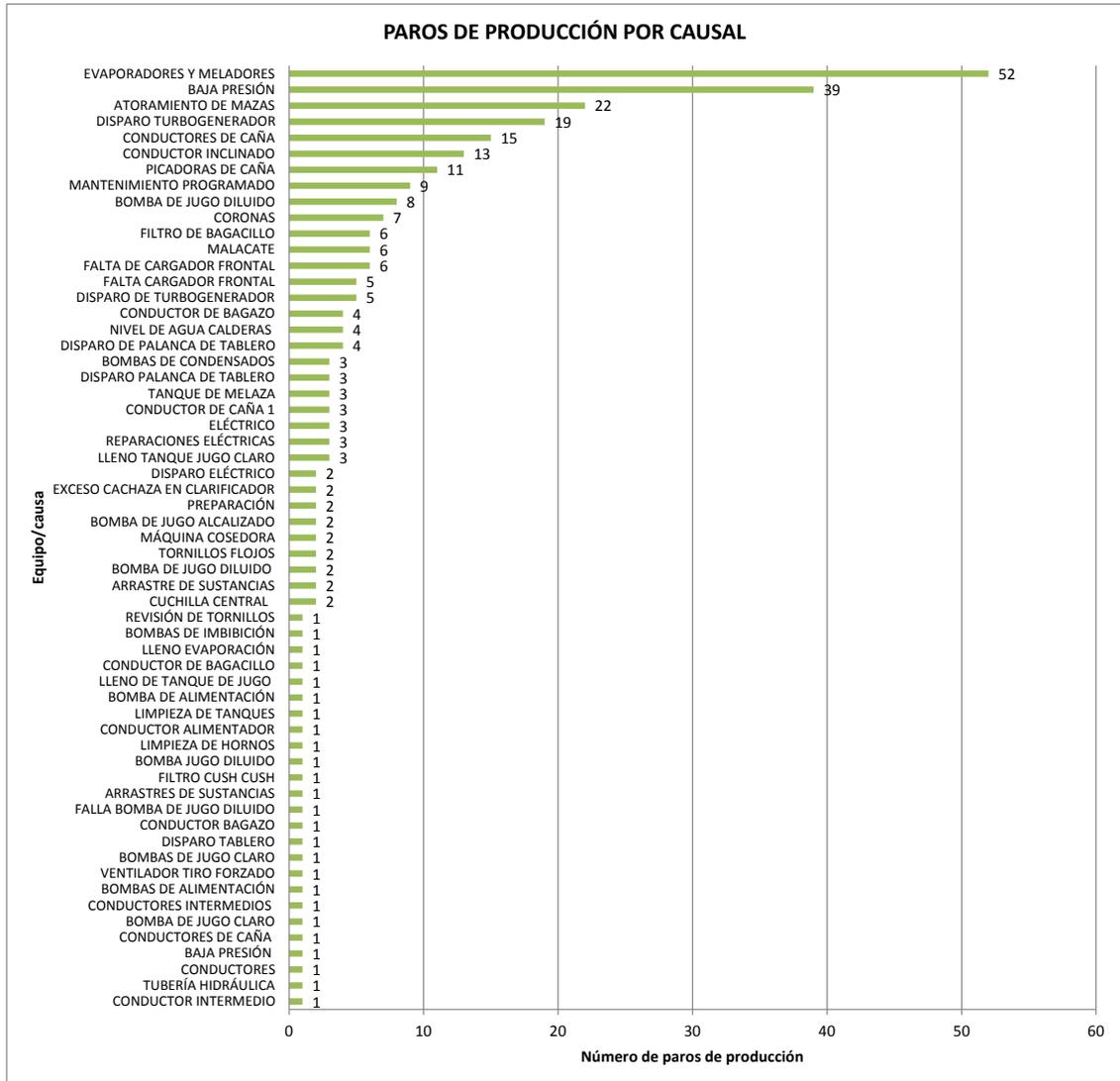
Figura 18. Distribución de paros por día



Fuente: elaboración propia.

Para completar este despliegue de datos es importante conocer las razones puntuales que generan interrupciones al proceso. En resumen, los equipos y causas más frecuentes se muestran a continuación.

Figura 19. Distribución de tiempo perdido por causal



Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Tipos de controles aplicados durante el proceso

- Bitácora: es un control que detalla lo más relevante de cada turno: principales incidentes, reparaciones, anomalías y puntos de especial

interés, que puedan servir de base y guía para el personal del siguiente turno; se debe anotar puntualmente los horarios de inicio y fin de cada actividad; debe ser firmada por el supervisor correspondiente cada fin de turno.

- Hojas de control: son formatos establecidos para que el personal en el caso de producción anote cada cierto periodo, valores propios del proceso; temperaturas, niveles de acidez (pH), grados brix, velocidades de los molinos, cantidad de toneladas por hora, niveles de tanques, etc. En el caso del personal de mantenimiento, debe llenar el formato correspondiente al finalizar cada reparación, indicando el equipo, su código de activo, área, tiempo de reparación y descripción del trabajo realizado.
- Control del personal: el personal debe cumplir estrictamente con los horarios de entrada, principalmente, ya los cambios de turno, debido a que ninguna área puede quedar sin el operario designado, lo cual afectaría directamente el proceso.
- Seguridad industrial: en muchas ocasiones, la realización de trabajos operativos o de mantenimiento sin respetar los debidos procedimientos puede derivar en accidentes laborales que fuerza a un paro de la operación, por lo tanto, se debe cumplir con la normativa interna existente; esto abarca, principalmente, el uso de equipo de protección personal (casco con franja reflectiva, chaleco en áreas expuestas, calzado industrial, lentes y protectores auditivos).

## **2.4. Mantenimientos preventivo y correctivo**

Históricamente, el mantenimiento a nivel industrial inicia con el mantenimiento correctivo, dado que en muchas ocasiones se desconocía la vida útil de partes como empaques, rodamientos, piezas en general y dependía también de las condiciones de las áreas de trabajo y exigencias a los equipos; de esta manera una máquina se reparaba únicamente al momento de presentarse la falla.

Esto implicaba costos asociados a la espera de la reparación, (costo del personal sin operar una línea de producción o costo de ocio), más aún si no se contaba con un *stock* de bodega.

A medida que la revolución industrial entra en pleno auge, ingenieros ven la necesidad de anticiparse al fallo de la maquinaria y se inicia el mantenimiento de prevención o mantenimiento preventivo, en el cual se toman en consideración las recomendaciones de los fabricantes y se implementan revisiones periódicas, sistemas de lubricación y mediciones para evaluar el estado de los equipos y la asignación de tiempo para realizar cambios de piezas antes de que llegasen a la falla o rotura; este tipo de mantenimiento ha evolucionado hasta convertirse en planes muy completos de revisiones.

Este tipo de mantenimiento dio origen a nuevas formas de administrar el mantenimiento, como el mantenimiento predictivo, que utiliza técnicas y procedimientos muy exactos con el soporte que brinda la tecnología actual.

### **2.4.1. Ventajas y desventajas**

Las principales ventajas de un plan de mantenimiento preventivo son:

- Reducción de la probabilidad de paros imprevistos
- Bajo costo comparado con las últimas técnicas de mantenimiento
- Se prolonga la vida útil de los equipos
- Mejor distribución de la carga laboral con el personal de mantenimiento
- Aumenta de la disponibilidad de equipos
- Se generan datos para implementar estadísticas de fallas
- El inventario de repuestos se controla de mejor manera
- Para realizar el presupuesto de materiales e insumos

Sin embargo, debe tenerse certeza de que el análisis y la implementación de este sistema sea realizado por personal altamente capacitado; de lo contrario, se incurrirá en costos que no necesariamente reflejarán mejoras sustanciales. Puede mencionarse como desventajas lo siguiente:

- Se requiere mano de obra tecnicada
- No se tiene exactitud del desgaste de las piezas de los equipos
- Se debe destinar tiempo para su realización, aunque el departamento de producción trabaje continuamente.

## **2.5. Departamento de mantenimiento y producción**

### **2.5.1. Personal**

El departamento de mantenimiento está integrado por personal altamente tecnificado, principalmente, en las áreas de electricidad, mecánica industrial y soldadura.

Debido a que, durante la época de producción, se trabaja con dos turnos de doce horas cada uno, cada turno tiene el personal siguiente:

- 1 mecánico industrial
- 1 ayudante de mecánica
- 1 mecánico tornero especializado
- 1 soldador industrial
- 1 ayudante de soldador
- 1 electricista industrial

La mayoría del personal de producción por su amplia experiencia, cuando se presenta un paro por falla en la maquinaria, sirve de apoyo o pasan a la función de ayudantes secundarios a disposición del supervisor de turno quien asigna tareas de acuerdo a su capacidad para reanudar a la brevedad posible el proceso.

El departamento de producción tiene un encargado de área, quien a su vez posee personal operativo a su cargo; este personal está dividido en personal capacitado para su sección y por ayudantes.

Ambos departamentos están subordinados a la supervisión del jefe de turno, quien aprueba las decisiones operativas y de reparación.

### **2.5.2. Funciones**

Actualmente, el personal de mantenimiento se dedica principalmente a reparaciones de tipo correctivo y en modificaciones necesarias que combinan trabajos de mecánica y soldadura. Por el tipo de reparaciones que realizan, sus funciones se pueden catalogar de la siguiente manera:

- Personal de mecánica: encargados del desmontaje de equipos, revisión de funcionamiento de máquinas, cambio de partes, cambio de aceites, calibración de equipos, trabajo conjunto con el personal del taller de tornos para maquinado de piezas, lubricación de equipos y montajes.
- Personal de electricidad: revisión eléctrica de equipos, toma de mediciones de caída de voltaje y corriente en los diferentes circuitos, revisión del turbogenerador, revisión de variadores, limpieza y mantenimiento de tableros de distribución, resolución de cortocircuitos, ampliación de circuitos para alimentación de nuevos puntos de conexión, embobinado de motores y operación de la planta de emergencia.
- Soldadura: corte de tuberías, fabricación de estructuras, modificaciones por ampliaciones, eliminación de fugas en tuberías, fabricación de bases para motores eléctricos, andamios y estructuras con fines de seguridad industrial.

En el caso del departamento de producción cada área tiene un encargado el cual a su vez lidera personal operativo a su cargo y debido al conocimiento

del proceso y la maquinaria están autorizados para detener en cualquier momento el proceso y realizar la comunicación correspondiente a fin de salvaguardar la integridad física del personal, el estado de la maquinaria ó el producto en proceso, según sea el caso.

La función principal del personal de producción es monitorear que el producto en su respectiva etapa sea procesado conforme los procedimientos establecidos y regidos por los parámetros del proceso y de control de calidad.

## **2.6. Clasificación de equipos con mayor incidencia en la operación**

En este tipo de industria hay equipos indispensables, por lo tanto, se debe estar preparado con un amplio *stock* de repuestos para solucionar rápidamente cualquier inconveniente. Idealmente se debe contar con un plan de monitoreo de estos equipos o plan de mantenimiento preventivo debidamente detallado que permita la revisión periódica adecuada para evitar el desgaste prematuro y las fallas que generan cuantiosas pérdidas.

La clasificación de los equipos con mayor relevancia se detalla a continuación.

### **2.6.1. Equipos de bombeo**

Un equipo de bombeo es un transformador de energía mecánica en energía cinética e hidráulica, aprovechadas para transmitir fluidos en fase líquida o gaseosa con cierta presión y velocidad, de acuerdo a la necesidad del proceso.

Cabe recordar que a partir de la molienda de la caña se extrae jugo (guarapo), a partir de esta etapa la utilización de las bombas toma mayor relevancia para trasladar el jugo que más adelante, en las etapas de cocción, toman consistencia viscosa.

Existen muchos tipos de bombas y formas de clasificarlas; sin embargo, por el tipo de proceso que se analiza, se describe una clasificación básica, pero no por tal menos importante, y se refiere a la forma como se desplaza el líquido dentro de los componentes de la bomba. Si el fluido es desplazado en forma circular por un impulsor con alabe, se les denomina bombas centrífugas.

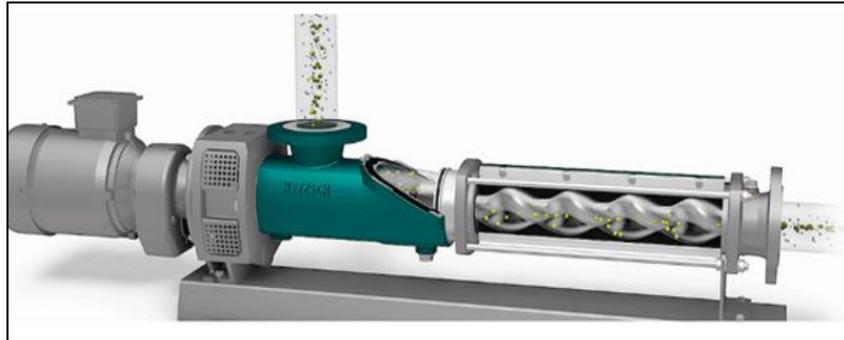
Figura 20. **Bomba centrífuga**



Fuente: *Industrial Machinery*. <https://www.discogs.com/Various-Machinery-Vol-1/release/3709777>. Consulta: 4 de diciembre de 2015.

Si el fluido se desplaza mediante un desequilibrio de presiones dentro de una carcasa, como resultado del movimiento de un pistón o embolo se les denomina de desplazamiento o desplazamiento positivo.

Figura 21. **Bomba de desplazamiento positivo**



Fuente: Netzsch *Manual de bombas*. <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/es/productos-soluciones/calorimetria-diferencial-de-barrido/dsc-214-polyma/>. Consulta: 4 de diciembre de 2015.

Por el tipo de aplicaciones dentro del proceso de elaboración de azúcar se pueden detallar de la siguiente forma:

- Bombas de trasiego de jugo

Bomba de jugo crudo, bombas de jugo alcalizado, bombas de maceración, bombas de jugo clarificado, bombas de jugo filtrado.

- Bombas de agua

Bombas de alimentación de la caldera, bombas de retorno de agua de calderas, bombas de tratamiento de agua de calderas, bomba de agua para chimeneas, bombas para agua del proceso.

- Bombas de mieles

Bombas de meladura, bombas de magma, bombas de mieles, bombas de melaza.

- Bombas de vacío

Bombas de vacío.

- Bombas de condensados

Bombas de condensados de aparatos de evaporación.

Figura 22. **Equipos de bombeo**



Fuente: elaboración propia.

## 2.6.2. Motores eléctricos

Los motores eléctricos tienen muchas aplicaciones dentro del proceso de elaboración de azúcar; se utilizan principalmente motores trifásicos de corriente alterna. Dentro de los principales usos y funciones dentro del ingenio están:

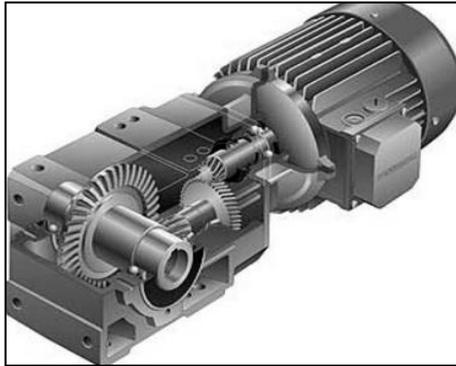
- Movimiento de conductores
  - Conductores para caña
  - Conductores de faja para bagazo
  - Conductores de tablillas para bagazo
  - Conductores para cachaza
  - Conductores para sacos
  
- Movimiento de molinos
  - Movimiento de mazas
  
- Ventiladores de calderas
  - Ventiladores de tiro forzado
  - Ventiladores de tiro inducido
  
- Motores de centrifugas
  - Centrifugas continuas
  - Centrifugas batch
  
- Motores de bombas

- De vacío
- De melaza
- De agua
- De jugo
  
- De movimiento de material
  - Movimiento de clarificador
  - Filtro de cachaza
  - Movimiento de masas y cristalizadores
  - Movimiento de secadora de azúcar
  - Movimiento de enfriadora de azúcar
  
- Generación
  - Motores de sala de generación
  - compresores

### **2.6.3. Reductores**

Un reductor es un mecanismo que con base en la relación de engranajes es capaz de disminuir la velocidad de entrada de un eje y proporcionar una velocidad de giro más lenta según se requiera.

Figura 23. **Reductor de velocidad**



Fuente: Wesson. *Manual de reductores*. p. 20.

En el proceso de elaboración de azúcar tienen muchas aplicaciones: área de molinos para el movimiento de las mazas, en clarificación para la velocidad de giro del aspa en el clarificador, en los tanques de meladura, tanques de mieles, tanques de magma, en los elevadores de canjilones, para el movimiento de la secadora y enfriadora, entre otros.

Figura 24. **Reductor de velocidad falk de molinos**



Fuente: elaboración propia.



### **3. ANÁLISIS DEL PLAN DE MONITOREO DE MAQUINARIA**

#### **3.1. Análisis de los factores que afectan la productividad**

Dentro de los factores que pueden afectar la productividad de la fábrica existen internos y externos, que afectan directa o indirectamente al proceso.

##### **3.1.1. Materia prima**

Uno de los principales factores es el tipo de caña que dependiendo de su potencial genético, las aplicaciones químicas recibidas, riego, capacidad de resistir ataques de plagas y tiempo de cosecha y de traslado, responde en cuanto a la cantidad y calidad de jugo presente en los tallos.

Si la planta no tuvo un buen crecimiento repercute en la extracción, puede presentarse caña demasiado dura o con demasiada densidad de fibra en deterioro de la cantidad de jugo. Esto implica la operación normal y el desgaste de los equipos sin garantizar que el rendimiento del jugo sea el esperado.

Constantemente se realizan pruebas en relación a dos aspectos importantes en la planta: la curva de maduración natural y el índice de floración ya que como cualquier planta en dicha etapa destinan lo mejor de sus propiedades hacia la flor que, en este caso, disminuye la cantidad de sacarosa en los tallos.

### **3.1.2. Paros por reparaciones no programados**

Este es uno de los principales factores en contra de la productividad de la fábrica; la realización de mantenimientos correctivos imprevistos afecta desde su punto de ocurrencia toda la secuencia del proceso, en ambas direcciones.

Por ejemplo, un paro provocado por una falla en el área de molinos afecta el manejo de la caña en el patio que se acumula y a medida que avanza el tiempo degrada las cantidades de azúcares cristalizables; a su vez, se presenta un problema logístico de traslado pues los camiones llegan al punto de quedar cargados y se debe interrumpir el corte en las plantaciones también; hacia adelante se debe buscar mantener la temperatura de ciertos procesos, por lo que la caldera debe seguir funcionando pero sin el suministro de bagazo de los molinos debe alimentarse del bagazo en reserva, si el tiempo es demasiado, los equipos llegan a un nivel mínimo de producto, por lo que al reanudar las operaciones habrá un tiempo de espera para alcanzar la normalidad y aprovechar la capacidad instalada.

Por lo que se presentan pérdidas debido a la degradación del jugo, tiempos de ocio del personal que debe esperar la reanudación del proceso, tiempo extra que deberá pagarse al final para compensar la cantidad de horas perdidas, además del costo de los materiales para las reparaciones correctivas. Los paros de producción representan costos elevados.

Por lo que el diseño y la estructuración de un plan de monitoreo de equipos, basado en los principios del mantenimiento preventivo, con la finalidad de mantener la maquinaria en condiciones de operación, se vuelve un pilar esencial para reducir las pérdidas ocasionadas por los paros de producción.

### **3.1.3. Otros factores**

- Climáticos

En caso de presentarse lluvias, el suministro de caña se ve disminuido, debido a la dificultad de los camiones en movilizarse en las áreas de cultivo.

- Personal

El personal debe estar debidamente capacitado en puestos claves debido a dos razones principales: primero, es el cuidado de la maquinaria ya que una mala manipulación puede repercutir en averías o incluso en daños a la integridad física de los trabajadores; segundo, una mala operación de los equipos repercute en un bajo aprovechamiento de sus capacidades que retarda los procesos.

Otro punto a considerar es la rotación de personal, debido a que el área por su cercanía a la ciudad capital y sus salidas a puertos del pacifico, está en crecimiento industrial y la demanda de personal especializado aumenta.

- Plagas:

Existe un gran número de plagas que afectan a los cultivos de caña: gusano barrenador, chinche salivosa, termitas, polillas y algunas especies de escarabajos; por lo tanto, la correcta aplicación de insecticidas es fundamental.

### 3.2. Herramientas administrativas aplicables

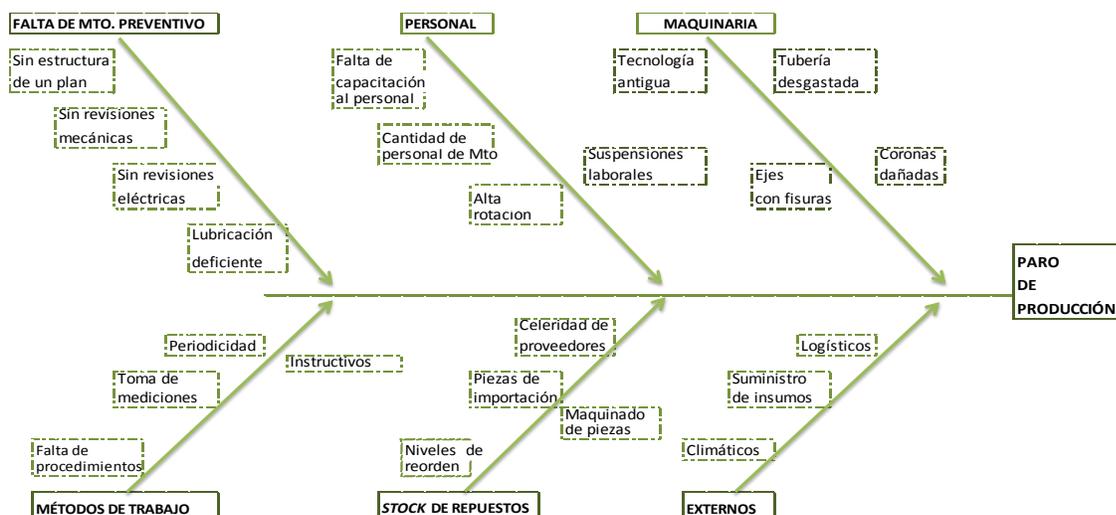
En busca de desarrollar un plan de monitoreo de equipos basado en principios técnicos y administrativos se debe hacer uso de las herramientas existentes en este tipo de análisis.

#### 3.2.1. Diagrama Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es una representación gráfica de un problema y sus posibles causas; en este caso se utilizará para visualizar el problema de los paros de producción y sus causas principales y secundarias.

La principal ventaja del diagrama es que, al mostrar las causas de forma directa y sus componentes, automáticamente, se inicia con la consideración de posibles soluciones que abarquen una o varias causales simultáneamente.

Figura 25. Diagrama Ishikawa para el problema de paros de producción



Fuente: elaboración propia.

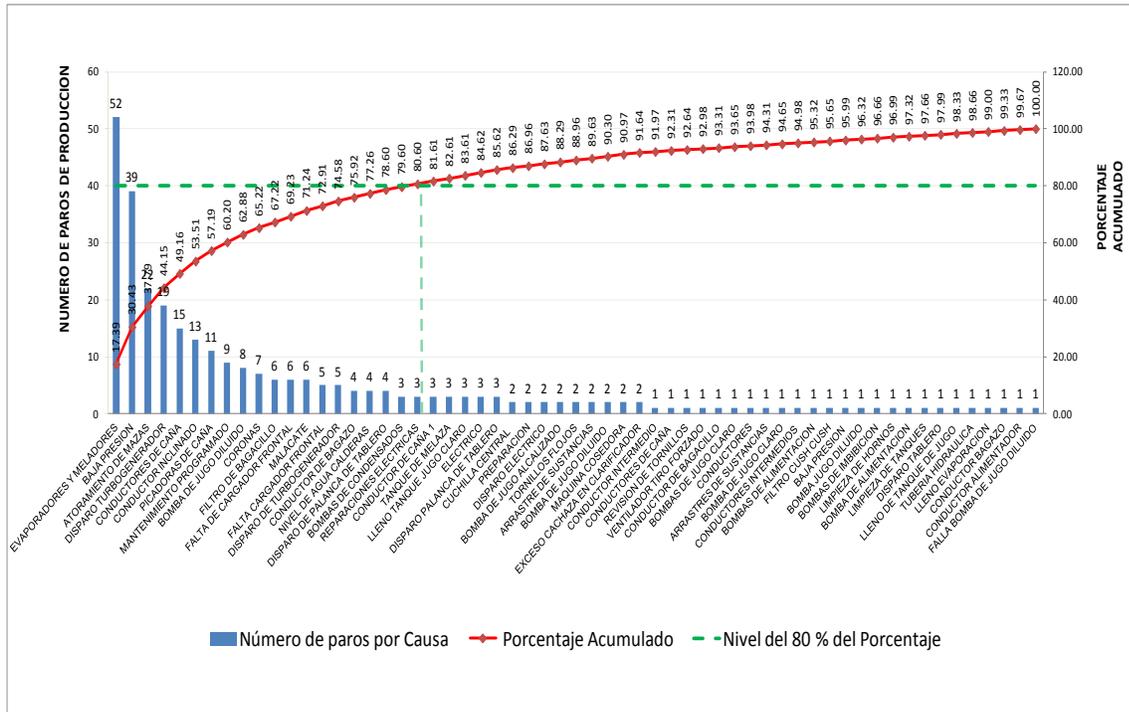
las principales causas son: la falta de un plan de mantenimiento preventivo, el personal involucrado en el mantenimiento, el estado de la maquinaria, los métodos de trabajo, el manejo de materiales y factores externos; cada una relacionada con las subcausas como muestra el diagrama siguiente.

Es evidente que la mayoría de las causas tienen relación con el sistema de mantenimiento, específicamente, la falta de mantenimiento preventivo que permita monitorear el estado de la maquinaria.

### **3.2.2. Análisis de Pareto**

El principio de Pareto, conocido también como regla 80-20 o ley de los pocos vitales, se basa en la relación y distribución mayoritario del número de eventos (aproximadamente el 80 %) en algunas causas vitales; gráficamente se representa en la intersección de las curvas del porcentaje acumulado y la línea que marca el 80 % del mismo; a la izquierda de dicho punto se encuentran las causas con mayor peso y en las cuales se deben enfocar las mejoras.

Figura 26. Diagrama de Pareto del número de paros por causal



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a este gráfico, las principales causas que elevan el número de paros de producción son provocadas por los aparatos de evaporación, baja presión de vapor brindado por la caldera, atoramiento de caña en las mazas de los molinos, disparos del turbogenerador, fallas en conductores de caña, calentamiento de motores de picadoras y fallas en equipos de bombeo y reparaciones eléctricas.

### 3.2.3. Gráficos de disponibilidad

Este gráfico permite visualizar el margen de diferencia entre las horas disponibles y las utilizadas. Se tabula primero, por ser un proceso continuo se

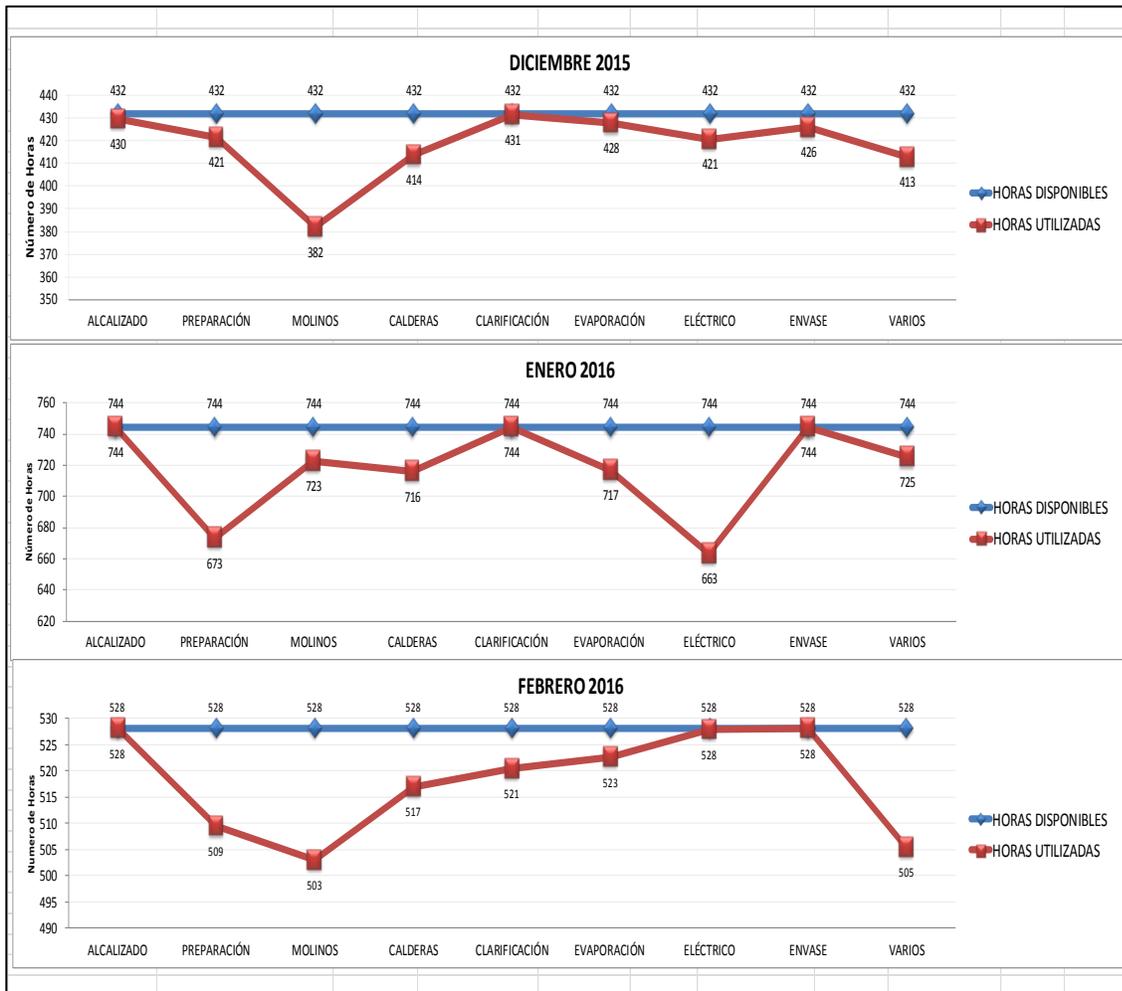
toman en cuenta las 24 horas del día: a los datos de horas utilizadas se les han restado previamente las horas de paro en cada área.

Tabla IV. **Horas disponibles vs horas utilizadas zafra 2015/2016**

	PREPARACIÓN	MOLINOS	CALDERAS	CLARIFICACIÓN	ALCALIZADO	EVAPORACIÓN	ELÉCTRICO	ENVASE	VARIOS
<b>DISPONIBLES DICIEMBRE</b>	432	432	432	432	432	432	432	432	432
<b>UTILIZADAS DICIEMBRE</b>	421	382	414	431	430	428	421	426	413
<b>DISPONIBLE ENERO</b>	744	744	744	744	744	744	744	744	744
<b>UTILIZADAS ENERO</b>	673	723	716	744	744	717	663	744	725
<b>DISPONIBLES FEBRERO</b>	528	528	528	528	528	528	528	528	528
<b>UTILIZADAS FEBRERO</b>	509	503	517	521	528	523	528	528	505

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Gráfico de disponibilidad de equipos en horas cada mes



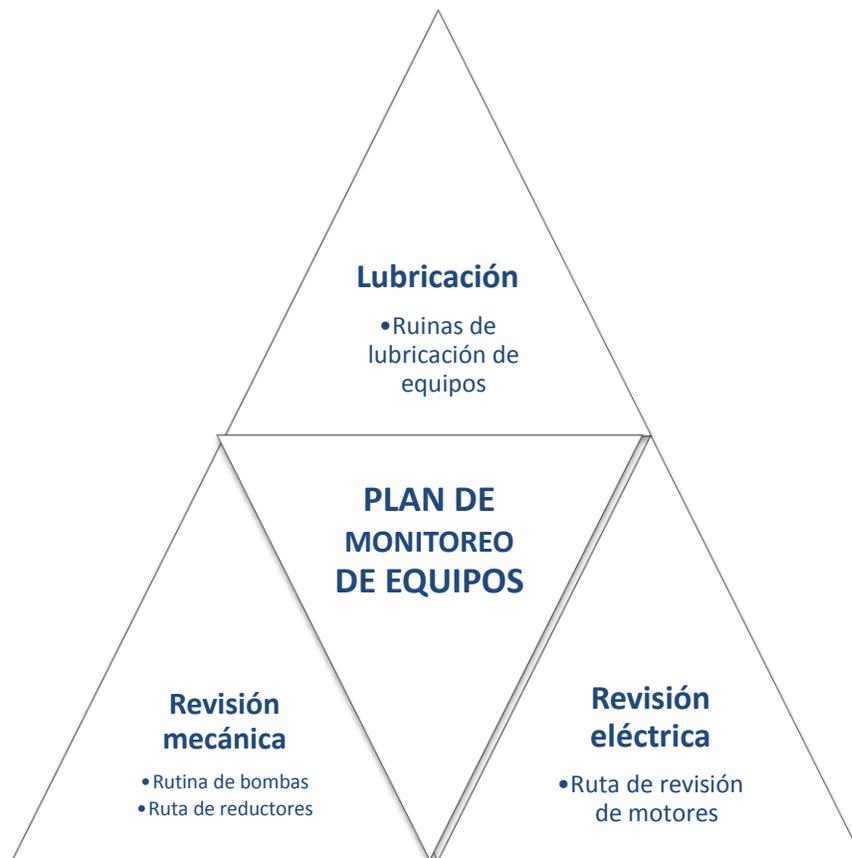
Fuente: elaboración propia.

Durante el mes de diciembre, la mayor cantidad de horas perdidas se ubican en el área de molinos; en el mes de enero, el área de preparación y los problemas eléctricos aumentan; por último, en febrero, la preparación de caña, molinos y problemas varios son los más representativos.

### 3.3. Estructura del sistema de monitoreo en operación

El sistema de monitoreo de maquinaria gira en tres grandes ejes: revisiones mecánicas, revisiones eléctricas y lubricación de equipos; estos son complementarios, pues la mayoría de los equipos mecánicos son accionados por corriente eléctrica y tienen partes móviles que necesitan lubricación, un equipo con esta distribución; de revisiones es mucho menos propenso a la falla por rotura de piezas, desgaste y cortocircuito.

Figura 28. Estructura del sistema de monitoreo de equipos



Fuente: elaboración propia.

### **3.3.1. Lubricación de equipos**

Este es uno de los ejes del plan debido a que la maquinaria trabaja continuamente, lo cual implica rozamiento entre superficies de la mayoría de equipos; por lo tanto, se aplicará lubricante con el fin que la sustancia aplicada soporte la presión generada entre las superficies y minimice la fricción.

Una adecuada lubricación permite un funcionamiento continuo y suave de los equipos mecánicos con un ligero desgaste y se protegen principalmente las partes móviles como los cojinetes y engranajes.

Los resultados esperados con la aplicación del lubricante son:

- Proteger las piezas contra el desgaste.
- Prevenir la oxidación y corrosión en los equipos.
- Contribuir a la refrigeración de las partes que generan calor.
- Facilitar el arrastre de impurezas.
- Contribuir a la estanqueidad (capacidad de impedir la entrada de partículas externas).

La aplicación de la lubricación en un 95 % será realizada de forma manual por personal de mantenimiento en los diferentes puntos de engrase: chumaceras, acoples, graseras de motores, rodos, cadenas y reductores.

En el caso de molinos debido al difícil acceso y alto grado de riesgo por la cercanía de las coronas se aprovechará un sistema automático Lincoln, que igualmente debe ser monitoreado e integrado al plan. Este sistema presenta la ventaja de ser programable y trabaja con un sistema auxiliar de aire comprimido.

Este tipo de equipos se utiliza principalmente en puntos de difícil acceso como las chumaceras de bronce de las mazas de los molinos.

Figura 29. **Sistema automático de lubricación Lincoln**



Fuente: elaboración propia.

### **3.3.1.1. Tipos de lubricantes y grasas**

El tipo de lubricante podrá ser un líquido, un semisólido o un sólido.

- Líquidos: aceites sintéticos, aceites minerales y naturales
- Semisólidos: grasas
- Sólidos: grafito o teflón

En el caso de los lubricantes líquidos se aplican principalmente en los reductores, también, en algunos engranajes expuestos y coronas caso en el

cual el aceite debe tener una viscosidad alta para evitar su desprendimiento en la rotación.

Las grasas deben ser aplicadas en forma manual con una graseras industrial en los puntos de inyección de las chumaceras.

Figura 30. **Chumaceras de picadoras de caña**



Fuente: elaboración propia.

Se recurrirá a la lubricación sólida cuando se presente alguna de las condiciones siguientes:

- Altas temperaturas
- Dificil acceso del lubricante líquido
- Cargas extremas con vibraciones
- Presencia de gases, disolventes o ácidos

### **3.3.1.2. Puntos de lubricación**

Los principales puntos de lubricación del plan son:

- Graseras de motores
- Rodamientos en chumaceras
- Acoples entre ejes
- Lubricación de *sprokets* expuestos
- Niveles de aceite de reductores
- Lubricación de gusanos sin fin
- Lubricación de cadenas
- Lubricación de rodos

### **3.3.2. Revisión mecánica**

En muchas de las máquinas con elementos rotativos utilizadas en el proceso interaccionan fuerzas, presiones, cargas, temperaturas y otros factores, que siempre estarán presentes y deben mantenerse en rangos normales durante su funcionamiento.

Sin embargo, si no se cuenta con una rutina de inspección la alteración de estas condiciones normales pueden pasar desapercibidas, ocasionar daños mayores a la máquina y al final devenir en un paro.

De acuerdo al análisis gráfico, los equipos de bombeo son de los principales causantes de los paros de producción, por lo que se les prestará especial atención dentro del plan de monitoreo; en este tipo de equipos los aspectos más relevantes son:

- Revisión de nivel de aceite en mirilla
- Temperatura cojinete de lado del acople
- Temperatura cojinete de lado del estopero
- Inspección visual de fugas
- Ruido excesivo
- Vibración excesiva

### **3.3.3. Revisión eléctrica**

Otro de los ejes del plan de monitoreo de equipos es la parte eléctrica, principalmente, sus motores; una técnica a usar es el análisis VOSO, basado en el uso de los sentidos de la persona encargada de realizar el mantenimiento; se basa en ver, oír, sentir y oler.

- Ver

En la mayoría de los motores se logra detectar si hay humo, es señal de cortocircuito, daños en el embobinado o en otro elemento propio del motor; también, se logra visualizar si las rejillas de ventilación están obstruidas lo cual no permitiría la correcta ventilación.

- Oír

Si se escucha algún tipo de ruido anormal puede ser indicativo de mal estado en los rodamientos.

- Sentir

Tomando en cuenta los principios básicos de seguridad industrial, la puesta a tierra del motor, muchas veces se puede percibir una emanación de calor fuera de lo normal, es señal de calentamiento excesivo; el motor puede estar funcionando bajo condiciones no adecuadas.

- Oler

El olor a componentes quemados es detectable y muy característico, puede indicar daños internos y cortocircuito.

La principal ventaja de este método es que no representa ningún tipo de inversión.

Después de realizar este análisis primario, se pasa a la toma de mediciones propias de los motores; en primera instancia, se debe verificar la tensión, verificar si no hay caída de voltaje en su línea de alimentación ya que al igual que una alimentación por arriba de su valor nominal; operar con una alimentación por debajo de lo requerido puede dañar los motores.

La otra medición indispensable es la del amperaje que indica la carga a la que está siendo sometido el motor, para lo cual se puede utilizar una tabla que relaciona la potencia, generalmente, en caballos de fuerza HP con el rango de amperaje permitido. Cuando se ha iniciado el plan de monitoreo y se recolectan datos de operación, se puede crear una línea base de este parámetro e identificar cuando ha tenido una variación considerable.

Tabla V. Consumo de motores

POTENCIA		CORRIENTE MONOFASICA									CORRIENTE TRIFASICA								
		115V			208V			230V			208V			230V			460V		
H.P.	KW	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER
1/6	0.12	4.4	8	16	2.4	4	6	2.2	4	6									
1/4	0.19	5.8	10	16	3.2	6	8	2.9	6	10									
1/3	0.25	7.2	16	20	4	8	10	3.6	8	10									
1/2	0.37	9.8	20	25	5.4	10	16	4.9	10	16	2.4	4	6	2.2	4	6	1.1	2	4
3/4	0.56	13.8	25	40	7.6	16	20	6.9	16	20	3.5	6	10	3.2	6	10	1.6	4	4
1	0.75	16	32	40	8.8	16	25	8	16	20	4.6	8	16	4.2	8	10	2.1	4	6
1.5	1.12	20	40	50	11	20	32	10	20	25	6.6	16	16	6	10	16	3	6	10
2	1.49	24	50	63	13.2	25	32	12	25	32	7.5	16	20	6.8	16	20	3.4	6	10
3	2.24	34	63	82	18.7	32	50	17	32	40	10.6	20	25	9.6	20	25	4.8	8	16
5	3.73	56	100	150	30.8	63	82	28	50	82	16.7	32	40	15.2	32	40	7.6	16	20
7.5	5.60	80	160	200	44	80	125	40	80	100	24.2	40	63	22	40	63	11	20	32
10	7.46	100	200	250	55	100	150	50	100	125	30.8	50	80	28	50	80	14	25	40
15	11.2	131	250	350	72	125	200	65.7	125	175	46.2	80	125	42	80	125	21	40	63
20	14.9										59.4	100	150	54	100	150	27	50	82
25	18.7										74.8	160	200	68	125	175	34	63	100
30	22.4										88	160	225	80	160	200	40	80	100
40	29.8										114	200	300	104	200	300	52	100	150
50	37.3										143	250	400	130	250	300	65	125	175
60	44.8										169	315	500	154	315	400	77	160	200
75	56.0										211	400	630	192	400	500	96	200	250
100	74.6										273	500	800	248	500	630	124	250	300
125	93.3										343	600	1000	312	630	800	156	315	400
150	112										396	800	1000	360	630	1000	180	315	500
200	149										528	1000	1500	480	1000	1200	240	500	600
250	187																302	630	800
300	224																361	630	1000
350	261																414	800	1000
400	298																477	1000	1200
450	336																515	1000	1600
500	373																590	1000	1600

Fuente: HARPER ENRÍQUEZ, Gilberto. *Fundamentos de motores eléctricos en la industria*. p. 301.

### **3.4. Estudio de tiempos para actividades de conservación de maquinaria**

Para desarrollar una revisión de maquinaria de manera eficiente es necesario determinar los tiempos estándar para cada revisión y sobre estos parámetros deberá registrarse el personal de mantenimiento. Sin embargo, hay variabilidad en la velocidad y forma de trabajar de una persona a otra; por lo tanto, se tomarán mediciones cronometradas en varios trabajadores y se someterá esta información a las técnicas del estudio de tiempos.

“Un operario calificado se define como un operario con amplia experiencia que trabaja en condiciones normales acostumbradas en la estación de trabajo, a un paso no demasiado rápido y no demasiado lento, sino representativo de uno que puede mantener a lo largo del día”.<sup>5</sup>

El principio para calificar el desempeño es ajustar el tiempo medio observado (TO) para cada elemento ejecutado durante el estudio, al tiempo normal (TN) que requeriría el operario calificado para realizar el mismo trabajo, según la siguiente relación:

$$TN = TO \times \frac{C}{100}$$

Donde C es la calificación del desempeño del operario expresada como porcentaje, con el 100 % correspondiente al desempeño estándar de un operario calificado.

---

<sup>5</sup> NIEBEL, Benjamín; FREIVALDS, Andris. *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 395.

El método para calificar el desempeño será el de Westinghouse, el cual considera cuatro factores: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

- Habilidad: la habilidad de un operario es el resultado de la experiencia y las aptitudes inherentes de coordinación natural y ritmo. Hay seis grados de habilidad, en orden de mayor a menor, superior, excelente, bueno, promedio aceptable y malo.
- Esfuerzo: es una demostración de la voluntad para trabajar con efectividad; se clasifica en: excesivo, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo.
- Condiciones: las condiciones de trabajo se refieren al medio y consideran: iluminación, nivel de ruido, temperatura ambiente y ventilación, clasificadas en ideal, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo
- Consistencia: se refiere a la distribución de los datos obtenidos del operario, si mantienen su tendencia o son muy variados; se clasifican en perfecta, excelente, buena, promedio, aceptable y mala.

Tabla VI. **Calificación del desempeño Westinghouse**

SISTEMA DE CALIFICACION WESTINGHOUSE					
<b>CALIFICACIÓN DE HABILIDADES</b>			<b>CALIFICACIÓN DE ESFUERZO</b>		
+ 0,15	A1	Superior	+ 0,13	A1	Excesivo
+ 0,13	A2	Superior	+ 0,12	A2	Excesivo
+ 0,11	B1	Excelente	+ 0,10	B1	Excelente
+ 0,08	B2	Excelente	+ 0,08	B2	Excelente
+ 0,06	C1	Bueno	+ 0,05	C1	Bueno
+ 0,03	C2	Bueno	+ 0,02	C2	Bueno
0,00	D	Promedio	0,00	D	Promedio
- 0,05	E1	Aceptable	- 0,04	E1	Aceptable
- 0,10	E2	Aceptable	- 0,18	E2	Aceptable
- 0,16	F1	Malo	- 0,12	F1	Malo
- 0,22	F2	Malo	- 0,17	F2	Malo
<b>CALIFICACION DE CONDICIONES</b>			<b>CALIFICACION DE CONSISTENCIA</b>		
+ 0,06	A	Ideal	+ 0,04	A	Perfecta
+ 0,04	B	Excelente	+ 0,03	B	Excelente
+ 0,02	C	Bueno	+ 0,01	C	Bueno
0	D	Promedio	0	D	Promedio
- 0,03	E	Aceptable	- 0,02	E	Aceptable
- 0,07	F	Malo	- 0,04	F	Malo

Fuente: NIEBEL, Benjamín; FREIVALS, Andris. *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 417.

- Asignación de suplementos

Ningún mecánico puede mantener un paso estándar todos los minutos del turno de trabajo, pueden tener lugar dos tipos de interrupciones para las que debe asignarse tiempo adicional: la primera son denominados suplementos constantes: viajes al baño, beber agua y la fatiga (por lo general, estos combinados toman un valor entre el 2 % y el 9 %) y los suplementos variables que consideran postura de trabajo, monotonía, iluminación, entre otros. Los cuales pueden sumar dependiendo de las valoraciones desde 2 % hasta 25 %.

Por lo que en este caso en suplementos constantes se asigna el 9 % y en los variables se adicionan 2 % por postura incomoda, 2 % por iluminación débil, 2 % por nivel de ruido fuerte y 1 % por monotonía, para obtener un valor de 16 %. Ver en anexos, tabla de la *International Labour Office* ILO.

“El tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a paso normal y realizando un esfuerzo promedio para ejecutar la operación se llama tiempo estándar (TS)”.<sup>6</sup>

Por lo general, el suplemento se da como un porcentaje.

$$TS = TN + TN \times \text{SUPLEMENTO}$$

$$TS = TN \times (1 + \text{SUPLEMENTO})$$

Es necesario establecer el número de ciclos de medición a realizar, lo cual se determinará por métodos estadísticos; como el estudio de tiempos es un procedimiento de muestreo, se puede suponer que las observaciones tienen distribución normal alrededor de la media desconocida de la población con varianza desconocida.

Debido a que en este tipo de análisis cuando las muestras son menores a 30 ( $n < 30$ ) se debe usar una distribución de  $t$ . Entonces, la fórmula del intervalo de confianza es:

$$\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

---

<sup>6</sup> NIEBEL, Benjamín; FREIVALS, Andris. *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 396.

Donde:

- s: desviación estándar
- t: probabilidad obtenida de la tabla t (anexo 1)
- n: número de mediciones
- $\bar{x}$ : media aritmética

El término  $\pm$  se puede considerar un término de error expresado como una fracción de la media  $\bar{x}$ .

$$k \bar{x} = \frac{t s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

k = una fracción aceptable de  $\bar{x}$

Al despejar n se obtiene:

$$n = \left[ \frac{t s}{k \bar{x}} \right]^2$$

Una muestra preliminar de 10 mediciones servirá de base para:

- Asignar valores del desempeño personal (suplementos).
- Para determinar con base en estadística el número de observaciones a realizar.

### 3.4.1. Revisión mecánica de equipos

Se procede a tabular los datos preliminares obtenidos de las revisiones de equipos de bombeo, para determinar el número de ciclos a realizar.

Tabla VII. **Tiempos cronometrados preliminares (bombas)**

Núm.	t (s)
1	2,90
2	3,05
3	3,25
4	3,22
5	2,75
6	2,95
7	2,90
8	3,15
9	2,90
10	3,00

Fuente: elaboración propia.

De donde se obtiene la media aritmética y la desviación estándar. La media aritmética se define como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{(2,90 + 3,05 + 3,25 + 3,22 + 2,75 + 2,95 + 2,90 + 3,15 + 2,90 + 3,00)}{10}$$

$$\bar{x} = 3,01$$

La desviación estándar está dada por:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{((-0,11)^2 + (0,04)^2 + (0,24)^2 + (0,21)^2 + (-0,26)^2 + (-0,06)^2 + (-0,11)^2 + (0,14)^2 + (-0,11)^2 + (-0,01)^2)}{9}}$$

$$s = 0,1600$$

Al aplicar la fórmula para determinar el número de ciclos, con una probabilidad de error del 5 % para 9 grados de libertad (10 menos 1 grado de libertad para estimar un parámetro), conduce a  $t = 2,262$  (ver los valores de  $t$  en la tabla de distribución  $t$  de probabilidades del anexo 1) se tiene:

$$n = \left[ \frac{t s}{k \bar{x}} \right]^2$$

$$n = \left[ \frac{0,1600 ( 2,262 )}{0,05 ( 3,01 )} \right]^2 = 5,79 = 6$$

Para asegurar la confianza requerida, se redondea hacia arriba, por lo que:

$$n = 6$$

Por lo cual serán necesarios seis ciclos de medición.

Una vez determinado el número mínimo de ciclos de medición, se procede a asignar las calificaciones por medio del sistema Westinghouse.

A continuación, se muestran los valores obtenidos para el personal del departamento de mantenimiento.

Tabla VIII. **Calificación del desempeño por mecánico**

	<b>Mecánico turno A</b>		<b>Mecánico turno B</b>	
	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Habilidad	C3	+ 0,03	B2	+ 0,08
Esfuerzo	C2	+ 0,02	D	+ 0,00
Condiciones	F	- 0,07	F	- 0,07
Consistencia	B	+0,03	B	+ 0,03
Suma		+0,01		+ 0,04
Factor de desempeño		+1,01		+ 1,04

Fuente: elaboración propia.

Con los factores del desempeño determinados se procede a encontrar el tiempo estándar para la revisión de equipos de bombeo.

Se ha definido el porcentaje de suplementos como 16 % (tomando en consideración los suplementos constantes y variables).

Con esta información, se procede a realizar los cálculos para encontrar el tiempo estándar de la actividad de revisión de bombas, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Tiempos cronometrados de revisión de bombas**

ACTIVIDAD	MECÁNICO 1						MECÁNICO 2						
		CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3			TIEMPO PROMEDIO (s)	TIEMPO PROMEDIO (Min)	CICLO 4	CICLO 5	CICLO 6	TIEMPO PROMEDIO (s)	TIEMPO PROMEDIO (Min)
Revisión de nivel [1/2 a 3/4 de la mirilla]	TO	15,00	55,00	25,00					25,00	30,00	50,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01					1,04	1,04	1,04		
	TN	15,15	55,55	25,25					26,00	31,20	52,00		
	Sup	1,16	1,16	1,16					1,16	1,16	1,16		
	TS	17,57	64,44	29,29			37,10	0,62	30,16	36,19	60,32	42,22	0,70
Temperatura cojinete lado coupling [*T< 80°C]	TO	20,00	30,00	40,00					20,00	40,00	40,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01					1,04	1,04	1,04		
	TN	20,20	30,30	40,40					20,80	41,60	41,60		
	Sup	1,16	1,16	1,16					1,16	1,16	1,16		
	TS	23,43	35,15	46,86			35,15	0,59	24,13	48,26	48,26	40,21	0,67
Temperatura cojinete lado estopero [*T< 80°C]	TO	25,00	25,00	35,00					30,00	35,00	35,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01					1,04	1,04	1,04		
	TN	25,25	25,25	35,35					31,20	36,40	36,40		
	Sup	1,16	1,16	1,16					1,16	1,16	1,16		
	TS	29,29	29,29	41,01			33,20	0,55	36,19	42,22	42,22	40,21	0,67
Inspección visual para detectar fugas en tubería	TO	15,00	20,00	15,00					20,00	20,00	20,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01					1,04	1,04	1,04		
	TN	15,15	20,20	15,15					20,80	20,80	20,80		
	Sup	1,16	1,16	1,16					1,16	1,16	1,16		
	TS	17,57	23,43	17,57			19,53	0,33	24,13	24,13	24,13	24,13	0,40
Inspección de ruidos excesivos	TO	20,00	20,00	20,00					25,00	30,00	20,00		
	% Cal	1,15	1,15	1,15					1,04	1,04	1,04		
	TN	23,00	23,00	23,00					26,00	31,20	20,80		
	Sup	1,16	1,16	1,16					1,16	1,16	1,16		
	TS	26,68	26,68	26,68			26,68	0,44	30,16	36,19	24,13	30,16	0,50
Inspección de vibraciones excesivas	TO	30,00	40,00	45,00					35,00	42,00	45,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01					1,04	1,04	1,04		
	TN	30,30	40,40	45,45					36,40	43,68	46,80		
	Sup	1,16	1,16	1,16					1,16	1,16	1,16		
	TS	35,15	46,86	52,72			44,91	0,75	42,22	50,67	54,29	49,06	0,82
<b>TOTAL</b>								196,56	<b>3,28</b>			226,00	<b>3,77</b>
<b>TIEMPO ESTÁNDAR</b>													<b>3,52</b>

Fuente: elaboración propia.

Se ha logrado determinar que el tiempo estándar para revisar una bomba de manera preventiva es de 3,52 minutos; si se toma en consideración que se

cuenta con 35 bombas, el tiempo total será el tiempo estándar multiplicado por el número de bombas.

$$T_{\text{total}} = TS \times \text{número de bombas}$$

$$T_{\text{total}} = 3,52 \text{ Min.} \times 35 = 123,20 \text{ Min} = 2,05 \text{ horas/rutina}$$

### 3.4.2. Lubricación de equipos

Se inicia nuevamente el proceso, en este caso, se aplicará a los ayudantes de mecánicos, quienes realizarán la tarea de lubricación.

Tabla X. **Tiempos cronometrados preliminares (lubricación)**

Núm.	t (s)
1	1,35
2	1,36
3	1,30
4	1,27
5	1,25
6	1,20
7	1,29
8	1,28
9	1,35
10	1,31

Fuente: elaboración propia.

La media aritmética se define como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 1,30$$

La desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 0,049$$

El número de ciclos se define como:

$$n = \left[ \frac{t s}{k \bar{x}} \right]^2 = \left[ \frac{0,1600 (2,262)}{0,05 (3,01)} \right]^2 2,52 = 3$$

A continuación, se muestran los valores de calificaciones del desempeño para el lubricador.

Tabla XI. **Calificación del desempeño del lubricador**

	Lubricador	
	Calificación	Valor
Habilidad	E2	-0,10
Esfuerzo	D	0
Condiciones	F	- 0,07
Consistencia	D	0
Suma (suplemento)		- 0,5
Factor de desempeño		+ 0,85

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Tiempos cronometrados de lubricación por punto

ACTIVIDAD		LUBRICADOR				
		CICLO	CICLO 2	CICLO 3	TIEMPO PROMEDIO (s)	TIEMPO PROMEDIO (Min)
Grasera de motores	TO	70,00	55,00	40,00		
	% Cal	0,85	0,85	0,85		
	TN	59,50	46,75	34,00		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	69,02	54,23	39,44	54,23	0,90
Lubricar chumacera	TO	50,00	55,00	60,00		
	% Cal	0,85	0,85	0,85		
	TN	42,50	46,75	51,00		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	49,30	54,23	59,16	54,23	0,90
Puntos en acoples	TO	110,00	120,00	60,00		
	% Cal	0,85	0,85	0,85		
	TN	93,50	102,00	51,00		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	108,46	118,32	59,16	95,31	1,59
lubricar sproket expuesto	TO	110,00	120,00	185,00		
	% Cal	1,04	1,04	1,04		
	TN	114,40	124,80	192,40		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	132,70	144,77	223,18	166,89	2,78
Nivel de aceite en reductores	TO	60,00	75,00	55,00		
	% Cal	0,85	0,85	0,85		
	TN	51,00	63,75	46,75		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	59,16	73,95	54,23	62,45	1,04
Lubricar gusanos sin fin	TO	80,00	95,00	100,00		
	% Cal	0,85	0,85	0,85		
	TN	68,00	80,75	85,00		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	78,88	93,67	98,60	90,38	1,51
Lubricar cadenas	TO	70,00	85,00	65,00		
	% Cal	0,85	0,85	0,85		
	TN	59,50	72,25	55,25		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	69,02	83,81	64,09	72,31	1,21
Lubricar rodos	TO	65,00	75,00	90,00		
	% Cal	0,85	0,85	0,85		
	TN	55,25	63,75	76,50		
	Sup	1,16	1,16	1,16		
	TS	64,09	73,95	88,74	75,59	1,26
TOTAL PROMEDIO						1,40
TIEMPO ESTANDAR						1,40

Fuente: elaboración propia.

$$T_{\text{total}} = T_{\text{estándar}} \times \text{número de puntos}$$

$$T_{\text{total}} = 1,40 \text{ min} \times 221 = 309 \text{ min} = 5,15 \text{ hrs (ruta diaria)}$$

$$T_{\text{total}} = 1,40 \text{ min} \times 18 = 25 \text{ min} = 0,41 \text{ hrs (ruta semanal)}$$

$$T_{\text{total}} = 1,40 \text{ min} \times 17 = 23 \text{ min} = 0,39 \text{ hrs (ruta quincenal)}$$

### 3.4.3. Revisión de funcionamiento de motores eléctricos

Tabla XIII. Tiempos cronometrados preliminares (motores)

Núm.	t (s)
1	3,31
2	3,37
3	3,20
4	3,50
5	3,15
6	2,70
7	3,45
8	3,30
9	3,20
10	3,15

Fuente: elaboración propia.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 3,230$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 0,2230$$

Y con una probabilidad de error del 5 % con 9 (n-1) grados de libertad, conduce a  $t = 2,662$

$$n = \left[ \frac{0,2230 ( 2,262 )}{0,050 ( 3,230 )} \right]^2 = 10$$

Por lo tanto, serán necesarios 10 ciclos de medición.

A continuación, se califica según el sistema Westinghouse el desempeño de los electricistas del turno A y B.

Tabla XIV. **Calificación del desempeño por electricista**

	Electricista turno A		Electricista turno B	
	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Habilidad	C2	+ 0,03	C1	+ 0,06
Esfuerzo	C2	+ 0,02	C1	+ 0,05
Condiciones	F	- 0,07	F	- 0,07
Consistencia	B	+0,03	D	0,00
Suma (suplemento)		+0,01		+ 0,04
Factor de desempeño		+ 1,01		+ 1,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Tiempos cronometrados de revisión de motores

ACTIVIDAD		ELECTRICISTA 1					ELECTRICISTA 2						
		CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 4	CICLO 5	TIEMPO PROMEDIO (s)	TIEMPO PROMEDIO (Min)	CICLO 6	CICLO 7	CICLO 8	TIEMPO PROMEDIO (s)	TIEMPO PROMEDIO (Min)
Análisis VOSO	TO	35,00	40,00	37,00	30,00	33,00			35,00	35,00	40,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01			1,04	1,04	1,04		
	TN	35,35	40,40	37,37	30,30	33,33			36,40	36,40	41,60		
	Sup	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16			1,16	1,16	1,16		
	TS	41,01	46,86	43,35	35,15	38,66	41,01	0,68	42,22	42,22	48,26	39,33	0,66
Limpieza	TO	40,00	0,00	35,00	0,00	30,00			1,04	1,04	1,04		
	% Cal	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01			0,90	0,90	0,90		
	TN	40,40	0,00	35,35	0,00	30,30			0,94	0,94	0,94		
	Sup	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16			1,16	1,16	1,16		
	TS	46,86	0,00	41,01	0,00	35,15	24,60	0,41	1,09	1,09	1,09	11,47	0,19
Lubricación	TO	50,00	0,00	30,00	35,00	33,00			50,00	0,00	30,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01			1,04	1,04	1,04		
	TN	50,50	0,00	30,30	35,35	33,33			52,00	0,00	31,20		
	Sup	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16			1,16	1,16	1,16		
	TS	58,58	0,00	35,15	41,01	38,66	34,68	0,58	60,32	0,00	36,19	26,54	0,44
Medición de voltaje	TO	50,00	40,00	45,00	40,00	30,00			55,00	30,00	40,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01			1,04	1,04	1,04		
	TN	50,50	40,40	45,45	40,40	30,30			57,20	31,20	41,60		
	Sup	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16			1,16	1,16	1,16		
	TS	58,58	46,86	52,72	46,86	35,15	48,04	0,80	66,35	36,19	48,26	50,27	0,84
Medición de amperaje	TO	40,00	30,00	55,00	45,00	40,00			30,00	55,00	25,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01			1,04	1,04	1,04		
	TN	40,40	30,30	55,55	45,45	40,40			31,20	57,20	26,00		
	Sup	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16			1,16	1,16	1,16		
	TS	46,86	35,15	64,44	52,72	46,86	49,21	0,82	36,19	66,35	30,16	38,60	0,64
Temperatura de cojinetes	TO	45,00	35,00	22,00	20,00	21,00			25,00	20,00	27,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01			1,04	1,04	1,04		
	TN	45,45	35,35	22,22	20,20	21,21			26,00	20,80	28,08		
	Sup	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16			1,16	1,16	1,16		
	TS	52,72	41,01	25,78	23,43	24,60	33,51	0,56	30,16	24,13	32,57	22,41	0,37
Temperatura de motor	TO	50,00	33,00	23,00	22,00	22,00			30,00	25,00	20,00		
	% Cal	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01			1,04	1,04	1,04		
	TN	50,50	33,33	23,23	23,23	22,22			31,20	26,00	20,80		
	Sup	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16			1,16	1,16	1,16		
	TS	58,58	38,66	26,95	26,95	25,78	35,38	0,59	36,19	30,16	24,13	28,95	0,48
TOTAL								4,44					3,63
<b>TIEMPO ESTANDAR</b>													<b>4,03</b>

Fuente: elaboración propia.

$$T_{\text{total}} = T_{\text{estándar}} \times \text{número de motores}$$

$$T_{\text{total}} = 4,03 \text{ Min.} \times 80 = 322 \text{ Min} = 5,37 \text{ horas}$$

Esto significa que para realizar una rutina de inspección de motores un electricista tarda 4,42 horas; por lo tanto, se puede dividir entre los dos turnos

para utilizar 2,60 horas por turno para la revisión de funcionamiento de los motores.

### **3.5. Productividad**

La productividad es la relación entra la cantidad producida y los recursos utilizados para obtenerla, en este caso, específicamente el tiempo.

#### **3.5.1. Análisis de tiempos actuales**

##### **3.5.1.1. Tiempos disponibles para producción**

Al iniciar el 14 de diciembre de 2015, se tienen 18 días hábiles hasta finalizar el año; posteriormente se contabilizan 31 días de enero y 22 de febrero, por lo cual se tendrían 71 días continuos de no ser por los mantenimientos programados según la siguiente tabla.

Tabla XVI. **Tiempos de mantenimiento programado**

FECHA	HORA INICIO	HORA FIN	HORAS MTO PROGRAMADO
26/12/2015	13:50	18:00	04:10
27/12/2015	06:00	21:00	15:00
16/01/2016	13:20	18:00	04:40
17/01/2016	06:00	18:50	12:50
13/02/2016	22:00	24:00:00	02:00
14/02/2016	00:00	11:00	11:00
<b>TOTAL</b>			<b>49:40:00</b>

Fuente: elaboración propia.

Por lo que se han utilizado 49 horas y cuarenta minutos para mantenimientos previstos o paros programados, lo que equivale a dos días, una hora y cuarenta minutos.

Dejando disponibles 68 días, 22 horas y 20 minutos; pero al inicio del primer día se inició a las seis de la mañana por lo que son 68 días, 16 horas y 20 minutos; nuevamente, hay que tomar en cuenta el extremo final pues en el último día no se utilizaron las 24 horas sino solo hasta las 14:40 horas, entonces la totalidad quedaría en 68 días, una hora y 20 minutos. Lo que suma 1633 horas.

#### **3.5.1.1.1. Tiempos perdidos**

De las tablas anteriores se contabilizan 460 horas invertidas en mantenimientos, pero se incluyen los mantenimientos preventivos por los que al restarlos y centrarse únicamente en las horas invertidas para realizar correctivos se tienen 411 horas destinadas a correcciones.

#### **3.5.1.2. Eficiencia de la maquinaria**

Al considerar el tiempo productivo como el tiempo disponible de la maquinaria en condiciones de funcionamiento y una capacidad nominal de 800 toneladas de caña al día, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla XVII. **Resumen de tiempos productivos**

	TIEMPO PRODUCTIVO	TIEMPO PERDIDO	TIEMPO TOTAL
Horas	1 173	460	1 633
Capacidad de toneladas por hora	33,33	33,33	33,33
Toneladas de caña molida	39 100 (Obtenidas)	15 333 (dejadas de producir)	54 433 (Lo que se obtendría sin paros)

Fuente: elaboración propia.

Se observa que efectivamente se obtienen 39 100 toneladas de caña molida, pero para tal fin se utilizaron 1 633 horas; por lo cual la productividad como una relación de lo obtenido y lo invertido en función del tiempo específicamente, queda así:

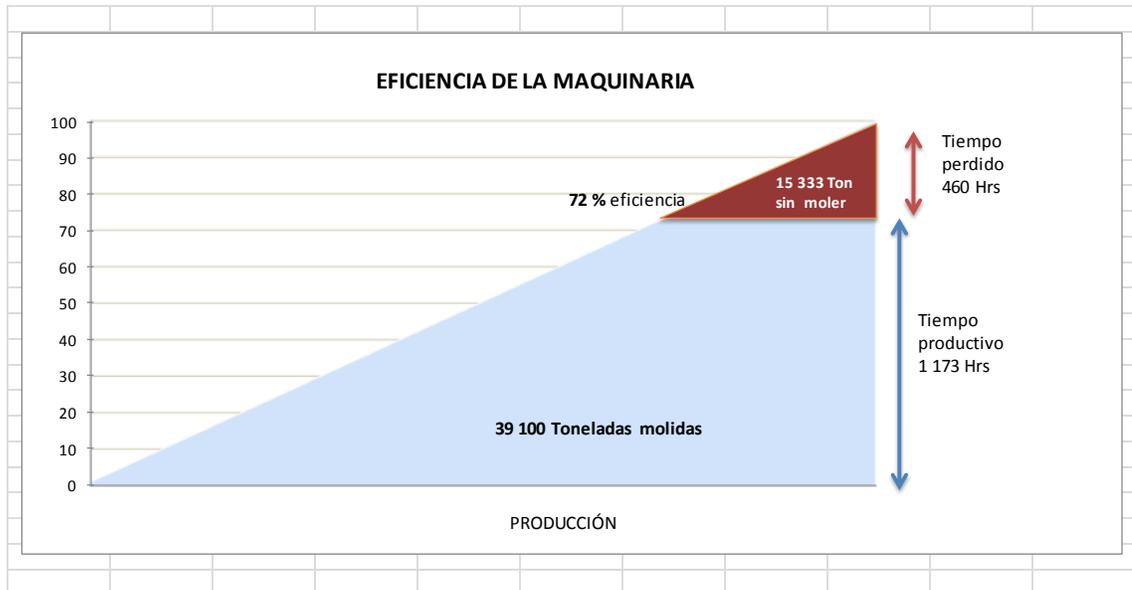
$$PRODUCTIVIDAD = \frac{OBTENIDO}{INVERTIDO} = \frac{39\ 100\ Ton\ Caña}{1\ 633\ horas} = 23,94 \frac{Ton}{Hora}$$

Lo que significa una capacidad de 574 toneladas de caña al día, muy por debajo de las 800 ton/día que se tiene de capacidad instalada. En una relación de tiempos según la tabla anterior se observa que:

$$\frac{TIEMPO\ PRODUCTIVO}{TIEMPO\ TOTAL} = \frac{1\ 173}{1\ 633} = 0,72$$

Se está aprovechando un 72 % del tiempo eficientemente.

Figura 31. Gráfico de eficiencia de la maquinaria



Fuente: elaboración propia.



## 4. DESARROLLO DEL PLAN

El plan de monitoreo de equipos estará compuesto por rutinas de revisión debidamente detalladas, que incluirán todos los puntos recabados durante la elaboración de este estudio. Se inicia con las rutinas de lubricación, se continua con las de equipos de bombeo y por último la de motores.

### 4.1. Rutinas de inspección

Tabla XVIII. Rutina de lubricación de frecuencia diaria

Ruta de lubricación		RI-001																					
Frecuencia: diaria																							
I	Patio	A	Observaciones:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tipo de lubricante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grasa</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Aceite de uso expuesto</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Aceite gadus 20000</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Aceite omala 220</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Aceite para cadena</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Aceite terestic 220</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Aceite turbo 68</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>				Tipo de lubricante		Grasa	1	Aceite de uso expuesto	2	Aceite gadus 20000	3	Aceite omala 220	4	Aceite para cadena	5	Aceite terestic 220	6	Aceite turbo 68	7
Tipo de lubricante																							
Grasa	1																						
Aceite de uso expuesto	2																						
Aceite gadus 20000	3																						
Aceite omala 220	4																						
Aceite para cadena	5																						
Aceite terestic 220	6																						
Aceite turbo 68	7																						
II	Preparación																						
III	Molinos																						
IV	Calderas	B																					
V	Alcalizado																						
VI	Clarificación																						
VII	Evaporación		Fecha:																				
VIII	Manejo magma																						
IX	Cristalizadores		Realiza:																				
X	Centrifugas																						
XI	Manejo de azúcar		Código:																				
A	Aplicación	Núm.	Descripción	i p o	Rango t(°c)	T (°c)																	
I	Malacate	1	Engrase 1 motor de movimiento vertical		[20-30]	25																	
I	Malacate	2	Engrase 2 motor de movimiento vertical		[20-30]	25																	
I	Malacate	3	Engrase 3 motor de movimiento vertical		[20-30]	25																	
I	Malacate	4	Lubricar motor de movimiento horizontal		N/a	N/a																	
I	Malacate	5	Lubricar cadena		N/a	N/a																	
II	Pre picadora	1	Chumacera lado motor		[50-70]	55																	

Continuación de la tabla XVIII.

II	Pre picadora	2	Chumacera lado exterior	[50-70]	55		
II	Picadora 1	1	Chumacera lado motor	[40-60]	50		
II	Picadora 1	2	Chumacera lado exterior	[40-60]	50		
II	Picadora 2	1	Chumacera lado motor	[40-60]	50		
II	Picadora 2	2	Chumacera lado exterior	[40-60]	50		
II	Conductor inclinado mesa de caña	1	Chumacera lado motor eje inferior	[20-40]	30		
II	Conductor inclinado mesa de caña	2	Chumacera lado exterior eje inferior	[20-40]	20		
II	Conductor inclinado mesa de caña	3	Chumacera lado motor eje superior	[20-40]	30		
II	Conductor inclinado mesa de caña	4	Chumacera lado exterior eje superior	[20-40]	20		
II	Conductor inclinado mesa de caña	5	Chumacera interna eje <i>sproket</i> salida reductor	[20-40]	30		
II	Conductor inclinado mesa de caña	6	Chumacera externa eje <i>sproket</i> salida reductor	[20-40]	30		
II	Conductor inclinado mesa de caña	9	Lubricar cadena reductor a <i>sproket</i>	N/a	N/a		
II	Conductor inclinado mesa de caña	10	Lubricar cadena <i>sproket</i> reducido a <i>sproket</i> eje superior	N/a	N/a		
II	Conductor principal de caña	1	Chumacera lado motor eje superior	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	2	Chumacera lado exterior eje superior	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	3	Chumacera lado motor eje horizontal	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	4	Chumacera lado exterior eje horizontal	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	5	Chumacera lado motor eje intermedio	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	6	Chumacera lado exterior eje intermedio	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	7	Chumacera lado motor eje medio	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	8	Chumacera lado exterior eje medio	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	9	Chumacera lado motor eje final	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	10	Chumacera lado exterior eje final	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	11	Chumacera superior eje motor	[20-40]	30		
II	Conductor principal de caña	12	Lubricar cadena sección media del conductor	N/a	N/a		
III	Molino 1	1	Chumacera interior eje rodillo conductor	N/a	N/a		
III	Molino 1	2	Chumacera exterior eje rodillo conductor	N/a	N/a		
III	Molino 1	3	Lubricar corona bagacera	N/a	N/a		
III	Molino 1	4	Lubricar corona superior	N/a	N/a		

Continuación de la tabla XVIII.

III	Molino 1	5	Lubricar corona cañera	N/a	N/a		
III	Molino 2	1	Chumacera interior eje rodillo conductor	N/a	N/a		
III	Molino 2	2	Chumacera exterior eje rodillo conductor	N/a	N/a		
III	Molino 2	3	Lubricar corona bagacera	N/a	N/a		
III	Molino 2	4	Lubricar corona superior	N/a	N/a		
III	Molino 2	5	Lubricar corona cañera	N/a	N/a		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	3	Chumacera lado motor eje polea reducida de faja	[30-50]	50		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	4	Chumacera lado exterior eje polea reducida de faja	[30-50]	40		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	5	Chumacera lado reductor eje polea aumentada de faja	[30-50]	50		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	6	Chumacera lado exterior eje polea aumentada de faja	[30-50]	40		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	11	Lubricar corona primaria	N/a	N/a		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	12	Lubricar corona secundaria	N/a	N/a		
III	Molino 3	1	Grasera de motor	[30-40]	30		
III	Molino 3	2	Acople de eje de motor	[50-60]	50		
III	Molino 3	3	Chumacera interior reducida eje de faja	[50-60]	45		
III	Molino 3	4	Chumacera exterior reducida eje de faja	[50-60]	45		
III	Molino 3	5	Chumacera interior aumentada eje de faja superior	[50-60]	45		
III	Molino 3	6	Chumacera exterior aumentada eje de faja superior	[50-60]	45		
III	Molino 3	8	Acople eje salida de reductor a sproket de transmisión	[30-40]	35		
III	Molino 3	9	Chumacera interior sproket de transmisión	[50-60]	50		
III	Molino 3	10	Chumacera exterior sproket de transmisión	[50-60]	50		
III	Molino 3	11	Chumacera interior sproket de transmisión de alta	[50-60]	50		
III	Molino 3	12	Chumacera exterior sproket de transmisión de alta	[50-60]	50		
III	Molino 3	13	Lubricar corona bagacera	N/a	N/a		
III	Molino 3	14	Lubricar corona superior	N/a	N/a		
III	Molino 3	15	Lubricar corona cañera	N/a	N/a		
II	Molino 3	16	Lubricar sprokets lado interior de molino	N/a	N/a		

Continuación de la tabla XVIII.

III	Molino 3	17	Lubricar cadenas lado interior de molino	N/a	N/a		
III	Molino 3	18	Lubricar eje nivelador	N/a	N/a		
III	Molino 4	1	Grasera de motor	[30-40]	30		
III	Molino 4	2	Acople de eje de motor	[50-60]	50		
III	Molino 4	3	Chumacera interior reducida eje de faja	[50-60]	45		
III	Molino 4	4	Chumacera exterior reducida eje de faja	[50-60]	45		
III	Molino 4	5	Chumacera interior aumentada eje de faja superior	[50-60]	45		
III	Molino 4	6	Chumacera exterior aumentada eje de faja superior	[50-60]	45		
III	Molino 4	8	Chumacera interior <i>sproket</i> de transmisión	[50-60]	50		
III	Molino 4	9	Chumacera exterior <i>sproket</i> de transmisión	[50-60]	50		
III	Molino 4	10	Chumacera interior <i>sproket</i> de transmisión de alta	[50-60]	50		
III	Molino 4	11	Chumacera exterior <i>sproket</i> de transmisión de alta	[50-60]	50		
III	Molino 4	12	Lubricar corona bagacera	N/a	N/a		
III	Molino 4	13	Lubricar corona superior	N/a	N/a		
III	Molino 4	14	Lubricar corona cañera	N/a	N/a		
III	Molino 4	15	Lubricar <i>sprokets</i> lado interior de molino	N/a	N/a		
III	Molino 4	16	Lubricar cadenas lado interior de molino	N/a	N/a		
III	Molino 4	17	Lubricar eje nivelador	N/a	N/a		
III	Sistema cush-cush	2	Chumacera 1 eje inferior de retorno	[20-30]	25		
III	Sistema cush-cush	3	Chumacera 2 eje inferior de retorno	[20-30]	25		
III	Sistema cush-cush	4	Chumacera 1 eje inferior	[20-30]	25		
III	Sistema cush-cush	5	Chumacera 2 eje inferior	[20-30]	25		
III	Sistema cush-cush	6	Chumacera 1 eje superior	[20-30]	25		
III	Sistema cush-cush	7	Chumacera 2 eje superior	[20-30]	25		
III	Sistema cush-cush	8	Lubricación de cadenas	N/a	N/a		
III	Sistema cush-cush	9	Chumacera interior eje gusano de colador de bagacillo	[20-30]	25		
III	Sistema cush-cush	10	Chumacera exterior eje gusano de colador de bagacillo	[20-30]	25		
IV	Conductor inclinado molinos-calderas	1	Chumacera interior eje superior	[20-30]	25		
IV	Conductor inclinado molinos-calderas	2	Chumacera exterior eje superior	[20-30]	25		
IV	Conductor inclinado molinos-calderas	3	Chumacera interior eje inferior	[20-30]	25		
IV	Conductor inclinado molinos-calderas	4	Chumacera exterior eje inferior	[20-30]	25		

Continuación de la tabla XVIII.

IV	Conductor inclinado molinos-calderas	5	Acople motor a reductor	[20-30]	25		
IV	Conductor inclinado molinos-calderas	6	Acople motor a reductor	[20-30]	25		
IV	Conductor inclinado molinos-calderas	7	Lubricar cadena reductor a <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IV	Conductor principal horno 2 y 3	1	Chumacera eje de retorno	[20-30]	25		
IV	Conductor principal horno 2 y 3	2	Chumacera interna lado molinos	[20-30]	28		
IV	Conductor principal horno 2 y 3	3	Chumacera externa lado molinos	[20-30]	28		
IV	Conductor principal horno 2 y 3	4	Lubricar cadena interior movimiento de conductor	N/a	N/a		
IV	Conductor principal horno 2 y 3	5	Lubricar cadena exterior movimiento de conductor	N/a	N/a		
IV	Conductor lateral horno 1	1	Chumacera interna eje de retorno	[20-30]	25		
IV	Conductor lateral horno 1	2	Chumacera externa eje de retorno	[20-30]	25		
IV	Ventilador inducido	1	Chumacera interna eje del ventilador	[50-70]	60		
IV	Ventilador inducido	2	Chumacera externa eje del ventilador	[50-70]	60		
IV	Conductor lateral horno 1	3	Chumacera interna eje principal	[20-30]	20		
IV	Conductor lateral horno 1	4	Chumacera externa eje principal	[20-30]	20		
IV	Conductor lateral horno 4	1	Chumacera interna eje de retorno	[20-40]	30		
IV	Conductor lateral horno 4	2	Chumacera externa eje de retorno	[20-40]	30		
IV	Conductor lateral horno 4	3	Chumacera interna eje principal	[20-40]	30		
IV	Conductor lateral horno 4	4	Chumacera externa eje principal	[20-40]	30		
IV	Conductor de retorno de bagazo	1	Chumacera interna eje de retorno inferior	[20-30]	20		
IV	Conductor de retorno de bagazo	2	Chumacera externa eje de retorno inferior	[20-30]	20		
IV	Conductor de retorno de bagazo	3	Chumacera eje intermedio	[20-30]	20		
IV	Conductor de retorno de bagazo	4	Chumacera interna eje superior	[20-30]	25		
IV	Conductor de retorno de bagazo	5	Chumacera externa eje superior	[20-30]	25		
IV	Conductor de retorno de bagazo	6	Lubricar cadena de reductor a <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IV	Bomba de alimentación de agua no.1	1	Chumacera de cojinete lado interior eje de la bomba	[40-50]	45		

Continuación de la tabla XVIII.

IV	Bomba de alimentación de agua no.1	2	Chumacera de cojinete lado exterior eje de la bomba	[40-50]	45		
IV	Conductor de ceniza	1	Chumacera interior eje inferior	[20-40]	30		
IV	Conductor de ceniza	2	Chumacera exterior eje inferior	[20-40]	30		
IV	Conductor de ceniza	3	Chumacera interior eje intermedio	[20-40]	25		
IV	Conductor de ceniza	4	Chumacera exterior eje intermedio	[20-40]	25		
IV	Conductor de ceniza	5	Chumacera interior eje superior	[20-40]	25		
IV	Conductor de ceniza	6	Chumacera exterior eje superior	[20-40]	25		
IV	Conductor de ceniza	7	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a			
V	Alcalizado	1	Acople de motor a bomba 1	[40-50]	45		
V	Alcalizado	2	Acople de motor a bomba 2	[40-50]	45		
VI	Clarificador	1	<i>Sproket</i> de giro del movimiento del clarificador	N/a	N/a		
VI	Clarificador	2	Chumacera 1 gusano sin fin movimiento de clarificador	[30-50]	40		
VI	Clarificador	3	Chumacera 2 gusano sin fin movimiento de clarificador	[30-50]	40		
VI	Clarificador	5	Acople eje salida del reductor	[30-40]	35		
VI	Ventilador de bagacillo	1	Chumacera interior	[40-50]	45		
VI	Ventilador de bagacillo	2	Chumacera exterior	[40-50]	45		
VI	Conductor de tablillas	2	Chumacera interior inferior de conductor	[20-30]	25		
VI	Conductor de tablillas	3	Chumacera exterior inferior de conductor	[20-30]	25		
VI	Conductor de tablillas	4	Chumacera interior media de conductor	[20-30]	25		
VI	Conductor de tablillas	5	Chumacera exterior media de conductor	[20-30]	25		
VI	Conductor de tablillas	6	Chumacera interior superior de conductor	[20-30]	25		
VI	Conductor de tablillas	7	Chumacera exterior superior de conductor	[20-30]	25		
VIII	Tanque magma b	2	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
VIII	Tanque magma b	3	Engrase 1 de acople	[20-30]	25		
VIII	Tanque magma b	4	Engrase 2 de acople	[20-30]	25		
VIII	Tanque magma c	2	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
VIII	Tanque magma c	3	Engrase 1 de acople	[20-30]	25		
VIII	Tanque magma c	4	Engrase 2 de acople	[20-30]	25		
IX	Cristalizador de semilla	2	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IX	Cristalizador de semilla	3	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador de semilla	4	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de primera	2	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		

Continuación de la tabla XVIII.

IX	Cristalizador masa de primera	3	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de primera	4	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 1	2	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 1	3	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 1	4	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 1	5	Engrase de gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 2	1	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 2	2	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 2	3	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de segunda tanque 2	4	Engrase de gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 1	1	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 1	2	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 1	3	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 1	4	Engrase de gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 2	1	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 2	2	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 2	3	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 2	4	Engrase de gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 3	1	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 3	2	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 3	3	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 3	4	Engrase de gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 4	1	Lubricar cadena de <i>sproket</i>	N/a	N/a		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 4	2	Chumacera 1 eje gusano sin fin	[20-30]	25		
IX	Cristalizador masa de tercera tanque 4	3	Chumacera 2 eje gusano sin fin	[20-30]	25		

Continuación de la tabla XVIII.

IX	Cristalizador masa de tercera tanque 4	4	Engrase de gusano sin fin	[20-30]	25		
X	Centrifugas de primera	2	Engrase 1 de acople de eje común	N/a	N/a		
X	Centrifugas de primera	3	Engrase 2 de acople de eje común	N/a	N/a		
X	Centrifugas de primera	4	Lubricar cadena	N/a	N/a		
XI	Elevador de azúcar	2	Engrase chumacera 1 de eje inferior de elevador	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar	3	Engrase chumacera 2 de eje inferior de elevador	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar	4	Engrase chumacera 1 de eje superior de elevador	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar	5	Engrase chumacera 2 de eje superior de elevador	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar	6	Lubricar cadena	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	2	Engrase 1 chumacera eje superior	[20-30]	25		
XI	Secadora de azúcar	3	Engrase 2 chumacera eje superior	[20-30]	25		
XI	Secadora de azúcar	4	Lubricar cadena	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	5	Lubricar rodo 1 frontal	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	6	Lubricar rodo 2 frontal	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	7	Lubricar rodo 3 frontal	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	8	Lubricar rodo 4 frontal	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	9	Lubricar rodo 1 posterior	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	10	Lubricar rodo 2 posterior	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	11	Lubricar rodo 3 posterior	N/a	N/a		
XI	Secadora de azúcar	12	Lubricar rodo 4 posterior	N/a	N/a		
XI	Enfriadora de azúcar	1	Engrase 1 chumacera de ventilador	[20-30]	25		
XI	Enfriadora de azúcar	2	Engrase 2 chumacera de ventilador	[20-30]	25		
XI	Enfriadora de azúcar	3	Lubricar cadena	N/a	N/a		
XI	Enfriadora de azúcar	4	Lubricar rodo 1	N/a	N/a		
XI	Enfriadora de azúcar	5	Lubricar rodo 2	N/a	N/a		
XI	Enfriadora de azúcar	6	Lubricar rodo 3	N/a	N/a		
XI	Enfriadora de azúcar	7	Lubricar rodo 4	N/a	N/a		
XI	Enfriadora de azúcar	8	Engrase 1 de chumacera 1	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	9	Engrase 2 de chumacera 1	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	10	Engrase 1 de chumacera 2	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	11	Engrase 2 de chumacera 2	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	12	Engrase 1 de chumacera 3	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	13	Engrase 2 de chumacera 3	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	14	Engrase 1 de chumacera 4	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	15	Engrase 2 de chumacera 4	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	16	Engrase 1 chumacera eje primario	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	17	Engrase 2 chumacera eje primario	[30-40]	35		

Continuación de la tabla XVIII.

XI	Enfriadora de azúcar	18	Engrase 1 chumacera de sproket primario	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	19	Engrase 2 chumacera de sproket primario	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	20	Engrase 1 chumacera eje secundario	[30-40]	35		
XI	Enfriadora de azúcar	21	Engrase 2 chumacera eje secundario	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar a envasado	2	Lubricar cadena	N/a	N/a		
XI	Elevador de azúcar a envasado	3	Engrase 1 chumacera eje inferior	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar a envasado	4	Engrase 2 chumacera eje inferior	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar a envasado	5	Engrase 1 chumacera eje superior	[30-40]	35		
XI	Elevador de azúcar a envasado	6	Engrase 2 chumacera eje superior	[30-40]	35		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Rutina de lubricación semanal

Ruta de lubricación		RL-002							
Frecuencia: semanal									
I	Patio	A	Observaciones:		Tipo de lubricante				
II	Preparación				Grasa	1			
III	Molinos				Aceite de uso expuesto	2			
IV	Calderas	B			Aceite Gadus 20000	3			
V	Alcalizado		Fecha:		Aceite Omala 220	4			
VI	Clarificación		Realiza:		Aceite para cadena	5			
VII	Evaporación		Código:		Aceite Terestic 220	6			
VIII	Manejo magma				Aceite Turbo 68	7			
IX	Cristalizadores								
X	Centrifugas								
XI	Manejo de azúcar								
A	Aplicación	Núm.	DESCRIPCION	Tipo	RANGO T(°C)	T (°C)	S	N	
VI	Filtro de cachaza	1	Chumaceras bombas oscilantes	1	N/A	N/A			
VI	Filtro de cachaza	2	Pistón 1 bombas oscilantes	1	N/A	N/A			
VI	Filtro de cachaza	3	Pistón 2 bombas oscilantes	1	N/A	N/A			
VI	Filtro de cachaza	4	Pistón 3 bombas oscilantes	1	N/A	N/A			

Continuación de la tabla XIX.

VI	Filtro de cachaza	5	Pistón 4 bomba oscilantes	1	N/A	N/A		
X	Centrifugas de primera	5	Engrase 1 de cabezales	1	[40-50]	45		
X	Centrifugas de primera	6	Engrase 2 de cabezales	1	[40-50]	45		
X	Centrifugas de primera	7	Engrase 3 de cabezales	1	[40-50]	45		
X	Centrifugas de primera	8	Engrase 4 de cabezales	1	[40-50]	45		
X	Centrifugas de primera	9	Engrase 1 de rodos	1	[40-50]	40		
X	Centrifugas de primera	10	Engrase 2 de rodos	1	[40-50]	40		
X	Centrifugas de primera	11	Engrase 3 de rodos	1	[40-50]	40		
X	Centrifugas de primera	12	Engrase 4 de rodos	1	[40-50]	40		
X	Centrifugas de primera	13	Lubricación eje de poleas principal	7	N/A	N/A		
X	Centrifugas de primera	14	Engrase chumaceras de clutch	1	[40-50]	40		
X	Centrifugas de primera	15	Engrase chumaceras de clutch	2	[40-50]	40		
X	Centrifugas de primera	16	Engrase chumaceras de clutch	3	[40-50]	40		
X	Centrifugas de primera	17	Engrase chumaceras de clutch	4	[40-50]	40		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Rutina de lubricación de frecuencia quincenal

RUTA DE LUBRICACION		RL-003							
FRECUENCIA: QUINCENAL									
I	Patio	A	Observaciones:		TIPO DE LUBRICANTE				
II	Preparación				Grasa		1		
III	Molinos	B			Aceite de uso expuesto		2		
IV	Calderas				Aceite Gadus 20000		3		
V	Alcalizado				Aceite Omala 220		4		
VI	Clarificación				Aceite para cadena		5		
VII	Evaporación	Fecha:		Aceite Terestic 220		6			
VIII	Manejo magma			Aceite Turbo 68		7			
IX	Cristalizadores	Realiza:							
X	Centrifugas								
XI	Manejo de azúcar	Código:							
A	Aplicación	Núm.	DESCRIPCION	T	RANGO T(°C)	T (°C)	S	N	

Continuación de la tabla XX.

II	Conductor inclinado mesa de caña	7	Acople motor a reductor	1	[20-40]	30		
II	Conductor inclinado mesa de caña	8	Acople motor a reductor	1	[20-40]	30		
II	Picadora 2	3	Acople motor a eje picadora	1	[40-60]	50		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	1	Acople motor a polea reducida de faja	1	[30-50]	35		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	2	Acople motor a polea reducida de faja	1	[30-50]	35		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	7	Acople eje polea aumentada a entrada reductor	1	[30-50]	35		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	8	Acople eje polea aumentada a entrada reductor	1	[30-50]	35		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	9	Acople salida de reductor a eje de corona primaria	1	[30-50]	35		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	10	Acople salida de reductor a eje de corona primaria	1	[30-50]	35		
IV	Ventilador inducido	1	Chumacera interna eje del ventilador	1	[50-70]	60		
IV	Ventilador inducido	2	Chumacera externa eje del ventilador	1	[50-70]	60		
IV	Ventilador forzado	3	Engrase de acople motor-eje ventilador	1	[40-50]	45		
IV	Ventilador forzado	4	Engrase de acople motor-eje ventilador	1	[40-50]	45		
IV	Bomba de alimentación de agua no.1	3	Acople de eje motor-bomba	1	[40-50]	45		
IV	Bomba de alimentación de agua núm.1	4	Acople de eje motor-bomba	1	[40-50]	50		
IV	Bomba de alimentación de agua núm.2	1	Acople de eje motor-bomba	1	[40-50]	50		
IV	Bomba de alimentación de agua núm.2	2	Acople de eje motor-bomba	1	[40-50]	50		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Rutina de lubricación de sistema Lincoln

RUTA DE LUBRICACION		RL-004																																					
FRECUENCIA: SEMANAL																																							
I	Patio	A	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">TIPO DE LUBRICANTE</th> </tr> <tr> <td>Grasa</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceite de uso expuesto</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceite Gadus 20000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceite Omala 220</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceite para cadena</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceite Terestic 220</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceite Turbo 68</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					TIPO DE LUBRICANTE				Grasa				Aceite de uso expuesto				Aceite Gadus 20000				Aceite Omala 220				Aceite para cadena				Aceite Terestic 220				Aceite Turbo 68			
TIPO DE LUBRICANTE																																							
Grasa																																							
Aceite de uso expuesto																																							
Aceite Gadus 20000																																							
Aceite Omala 220																																							
Aceite para cadena																																							
Aceite Terestic 220																																							
Aceite Turbo 68																																							
II	Preparación																																						
III	Molinos																																						
IV	Calderas	B																																					
V	Alcalizado																																						
VI	Clarificación	Fecha:																																					
VII	Evaporación	Realiza:																																					
VIII	Manejo magma	Código:																																					
IX	Cristalizadores																																						
X	Centrifugas																																						
XI	Manejo de azúcar																																						
A	Aplicación	Núm.	Descripción	Tipo	RANGO T(°C)	T (°C)	S	N																															
III	Sistema automático Lincoln	1	Chumacera acople eje principal movimiento molinos 1 y 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	2	Chumacera 1 sistema de coronas movimiento molinos 1 y 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	3	Chumacera 2 sistema de coronas movimiento molinos 1 y 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	4	Chumacera 3 sistema de coronas movimiento molinos 1 y 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	5	Chumacera 4 sistema de coronas movimiento molinos 1 y 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	6	Chumacera 5 sistema de coronas movimiento molinos 1 y 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	7	Chumacera acople eje a entre dos a molino 1	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	8	Chumacera de bronce interna masa superior molino 1	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	9	Chumacera de bronce externa masa superior molino 1	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	10	Chumacera de bronce interna masa cañera molino 1	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	11	Chumacera de bronce externa masa cañera molino 1	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	12	Chumacera de bronce interna masa bagacera molino 1	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	13	Chumacera de bronce externa masa bagacera molino 1	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	14	Chumacera acople eje a entre dos a molino 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	15	Chumacera de bronce interna masa superior molino 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	16	Chumacera de bronce externa masa superior molino 2	3	N/A	N/A																																	
III	Sistema automático Lincoln	17	Chumacera de bronce interna masa cañera molino 2	3	N/A	N/A																																	

Continuación de la tabla XXI.

III	Sistema automático Lincoln	18	Chumacera de bronce externa masa cañera molino 2	3	N/A	N/A		
III	Sistema automático Lincoln	19	Chumacera de bronce interna masa bagacera molino 2	3	N/A	N/A		
III	Sistema automático Lincoln	20	Chumacera de bronce externa masa bagacera molino 2	3	N/A	N/A		

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1. Rutina de revisión de bombas

Tabla XXII. Rutina de bombas

RUTA DE REVISIÓN DE BOMBAS		RB - 001																						
FRECUENCIA SEMANAL		Observaciones:																						
I	Patio	A	Observaciones:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPO DE LUBRICANTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grasa</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Aceite de uso expuesto</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Aceite Gadus 20000</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Aceite Omala 220</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Aceite para cadena</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Aceite Terestic 220</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Aceite Turbo 68</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>					TIPO DE LUBRICANTE		Grasa	1	Aceite de uso expuesto	2	Aceite Gadus 20000	3	Aceite Omala 220	4	Aceite para cadena	5	Aceite Terestic 220	6	Aceite Turbo 68	7
TIPO DE LUBRICANTE																								
Grasa	1																							
Aceite de uso expuesto	2																							
Aceite Gadus 20000	3																							
Aceite Omala 220	4																							
Aceite para cadena	5																							
Aceite Terestic 220	6																							
Aceite Turbo 68	7																							
II	Preparación																							
III	Molinos																							
IV	Calderas	B																						
V	Alcalizado																							
VI	Clarificación	Fecha																						
VII	Evaporación	Realiza																						
VIII	Manejo magma	Código																						
IX	Cristalizadores																							
X	Centrifugas																							
XI	Manejo de azúcar																							
XII	Bombas																							
Área	Aplicación	Descripción	Nivel de aceite	°T de cojinete lado coupling	°T de cojinete lado estopero	Fugas en tubería	Ruido excesivo	Vibración excesiva																
III	Bombeo de jugo	Bomba de jugo crudo 1																						
III	Bombeo de jugo	Bomba de jugo crudo 2																						
III	Bombeo de jugo	Bomba de maceración 1																						
III	Bombeo de jugo	Bomba de maceración 2																						
III	Bombeo de jugo	Bomba de jugo filtrado																						
V	Bombeo de jugo	Bomba de jugo alcalizado																						
IV	Circulación de agua	Bomba de retorno de agua																						
IV	Circulación de agua	Bomba de alimentación No. 1 de agua																						
IV	Circulación de agua	Bomba de alimentación No. 2 de agua																						

Continuación de la tabla XXII.

IV	Circulación de agua	Bomba de tratamiento de agua						
IV	Tratamiento	Bomba de agua para chimenea						
VI	Bombeo de jugo	Bomba de jugo clarificado						
VI	Filtración de cachaza	Bombas de cachaza						
VII	Manejo de condensados	Bomba condensados vaso 3						
VII	Manejo de condensados	Bomba condensados vaso 4						
XII	Agua de proceso	Retorno agua pila enfriamiento 1						
XII	Agua de proceso	Retorno agua pila enfriamiento 2						
XII	Agua de proceso	Retorno agua pila enfriamiento 3						
XII	Vacío	Bomba de vacío 1						
XII	Vacío	Bomba de vacío 2						
XII	Bombas de purga	Purga de primera 1						
XII	Bombas de purga	Purga de primera 2						
XII	Bombas de purga	Bomba purga de segunda						
XII	Bombas de purga	Bomba purga de tercera 1						
XII	Bombas de purga	Bomba purga de tercera 2						
XII	Bombas de magma	Bomba magma de segunda						
XII	Bombas de magma	Bomba magma tercera y mezclador						
XII	Bombas de magma	Magma de tercera 2						
XII	Bombas de magma	Tanque de magma segunda y tercera						
XII	Traslado de meladura	Bomba meladura 1						
XII	Traslado de meladura	Bomba meladura 2						
XII	Bombeo de melaza	Bomba de melaza 1						
XII	Bombeo de melaza	Bomba de melaza 2						
XII	Manejo de condensados	Bomba retorno de condensados						

Fuente: elaboración propia.

### 4.1.2. Rutina de revisión de funcionamiento de motores eléctricos

Tabla XXIII. Rutina de motores eléctricos

Ruta de revisión de motores		RM-001					
FRECUENCIA: DIARIA							
I	Patio	A	Observaciones:  Fecha:  Realiza:  Código:				
II	Preparación						
III	Molinos						
IV	Calderas	B					
V	Alcalizado						
VI	Clarificación						
VII	Evaporación						
VIII	Manejo magma						
IX	Cristalizadores						
X	Centrifugas						
XI	Manejo de azúcar						
XII	Bombas						
XIII	Bodega pt						
A	Aplicación	Descripción	Análisis VOSO cumple		Voltaje	Amperaje	T (°C)
			SI	NO			
I	Malacate	motor de movimiento vertical					
I	Malacate	motor de movimiento horizontal					
II	Conductores	conductor inclinado mesa alimentadora					
II	Conductores	conductor principal de caña					
II	Picadoras	motor de pre-picadora					
II	Picadoras	motor de picadora 1					
II	Picadoras	motor de picadora 2					
III	Molino 1 y 2	motor de movimiento de molino 1 y 2					
III	Molino 3	motor de movimiento de molino 3					
III	Molino 4	motor de movimiento de molino 4					
III	Bombeo de jugo	motor de bomba de jugo crudo 1					
III	Bombeo de jugo	motor de bomba de jugo crudo 2					
III	Bombeo de jugo	motor de bomba maceración 1					
III	Bombeo de jugo	motor de bomba maceración 2					
III	Bombeo de jugo	motor de bomba jugo filtrado					
III	Filtración de bagacillo	motor de cush-cush					
III	Filtración de bagacillo	motor de movimiento de filtro rotativo					
IV	Bombeo de jugo	bomba jugo alcalizado					
IV	Ventiladores	motor del tiro forzado					
IV	Ventiladores	motor del tiro inducido					
IV	Circulación de agua	motor de bomba de retorno de agua					
IV	Circulación de agua	bomba de alimentación 1 de agua					
IV	Circulación de agua	bomba de alimentación 2 de agua					
IV	Circulación de agua	bomba de tratamiento de agua					

Continuación de la tabla XXIII.

IV	Tratamiento	bomba de agua para chimenea					
IV	Conductores	conductor alimentación horno 1					
IV	Conductores	conductor de alimentación horno 2					
IV	Conductores	conductor de alimentación principal 3y 4					
IV	Conductores	conductor retorno de alimentación					
IV	Conductores	conductor inclinado salida molino 4					
V	Conductores	motor conductor de ceniza					
VI	Clarificador	movimiento de clarificador					
VI	Bombeo de jugo	bomba de jugo clarificado					
VI	Filtración de cachaza	soplador de bagacillo					
VI	Filtración de cachaza	rotación filtro de cachaza					
VI	Filtración de cachaza	mezclador de bagacillo y cachaza					
VI	Filtración de cachaza	zaranda filtro de cachaza					
VI	Filtración de cachaza	bombas de cachaza					
VI	Filtración de cachaza	motor conductor de tablillas inclinado					
VI	Filtración de cachaza	motor de conductor de tablillas					
VII	Manejo de condensados	motor de bomba condensados vaso 3					
VII	Manejo de condensados	motor de bomba condensados vaso 4					
IX	Centrifugas	centrifugas de primera					
IX	Centrifugas continuas	centrifuga continua segunda					
IX	Centrifugas continuas	centrifuga continua tercera					
IX	Centrifugas continuas	centrifuga continua tercera 2					
X	Tanques de cristalización	mezclador cristizador de primera					
X	Tanques de cristalización	motor cristizador de segunda					
X	Tanques de cristalización	motor cristizador de tercera					
X	Tanques de cristalización	mezclador de semillero					
XI	Zaranda	motor zaranda azúcar blanco					
XI	Secadoras	secadora 1					
XI	Secadoras	secadora 2					
XI	Secadoras	motor gusano enfriadora					
XI	Secadoras	ventilador secadora 1					
XI	Secadoras	gusano secadora 1					
XI	Elevadores	elevador azúcar humeda					
XI	Elevadores	elevador azúcar para envase					
XII	Conductores	conductor de sacos 1					
XII	Conductores	conductor de sacos 2					
XII	Conductores	conductor inclinado					
XII	Agua de proceso	retorno agua pila enfriamiento 1					
XII	Agua de proceso	retorno agua pila enfriamiento 2					
XII	Agua de proceso	retorno agua pila enfriamiento 3					
XII	Vacío	bomba de vacío 1					
XII	Vacío	bomba de vacío 2					
XII	Bombas de purga	bomba purga de tercera 1					
XII	Bombas de purga	bomba purga de tercera 2					
XII	Bombas de purga	bomba purga de segunda refundido					
XII	Bombas de purga	purga de primera 1					
XII	Bombas de purga	purga de primera 2					
XII	Bombas de magma	bomba magma tercera y mezclador					
XII	Bombas de magma	magma de tercera 2					
XII	Bombas de magma	bomba magma de segunda					
XII	Bombas de magma	tanque de magma segunda y tercera					
XII	Traslado de meladura	bomba meladura 1					
XII	Traslado de meladura	bomba meladura 2					
XIII	Manejo de condensados	bomba retorno de condensados					
XIII	Bombeo de melaza	bomba de melaza 1					
XIII	Bombeo de melaza	bomba de melaza 2					

Fuente: elaboración propia.

### 4.1.3. Rutina de revisión de reductores

Tabla XXIV. Rutina de reductores

Ruta de lubricación		RL-005						
FRECUENCIA: DIARIA								
I	Patio	A	TIPO DE LUBRICANTE Grasa 1 Aceite de uso expuesto 2 Aceite Gadus 20000 3 Aceite Omala 220 4 Aceite para cadena 5 Aceite Terestic 220 6 Aceite Turbo 68 7					
II	Preparación							
III	Molinos							
IV	Calderas	B						
V	Alcalizado							
VI	Clarificación	Fecha:						
VII	Evaporación	Realiza:						
VIII	Manejo magma	Código:						
IX	Cristalizadores							
X	Centrifugas							
XI	Manejo de azúcar							
A	Aplicación	Núm.	Descripción	LUB	RANGO T(°C)	T (°C)	S	N
II	Conductor inclinado mesa de caña	11	Revisar nivel de aceite de reductor	6	N/A	N/A		
III	Mecanismo de movimiento molino 1 y 2	13	Revisar nivel de aceite de reductor	6	N/A	N/A		
III	Molino 3	7	Nivel de aceite de reductor Falk	6	N/A	N/A		
III	Molino 4	7	Nivel de aceite de reductor Falk	6	N/A	N/A		
III	Sistema cush-cush	1	Revisar nivel de aceite de reductor	6	N/A	N/A		
IV	Conductor inclinado molinos-calderas	8	Revisar nivel de aceite de reductor	6	N/A	N/A		
IV	Conductor principal horno 2 y 3	6	Revisar nivel de aceite de reductor	6	N/A	N/A		
IV	Conductor de retorno de bagazo	7	Revisar nivel de aceite de reductor	6	N/A	N/A		
IV	Conductor de ceniza	8	Revisar nivel de aceite de reductor	6	N/A	N/A		
VI	Clarificador	4	Nivel de aceite del reductor	4	N/A	N/A		
VI	Filtro de cachaza	6	Nivel de aceite de reductor de bombas oscilantes	4	N/A	N/A		
VI	Conductor de tablillas	1	Revisar nivel de aceite de reductor	4	N/A	N/A		
X	Centrifugas de primera	1	Revisar nivel de aceite de reductor	4	N/A	N/A		
IX	Cristalizador de semilla	1	Nivel de aceite del reductor	4	N/A	N/A		
IX	Cristalizador masa de primera	1	Nivel de aceite del reductor	4	N/A	N/A		
IX	Cristalizador masa de segunda	1	Nivel de aceite del reductor	4	N/A	N/A		
VIII	Tanque magma b	1	Nivel de aceite del reductor	4	N/A	N/A		

Continuación de la tabla XXIV.

VIII	Tanque magma c	1	Nivel de aceite del reductor	4	N/A	N/A		
XI	Elevador de azúcar	1	Revisar nivel de aceite de reductor	4	N/A			
XI	Secadora de azúcar	1	Revisar nivel de aceite de reductor	4	N/A	N/A		
XI	Elevador de azúcar a envasado	1	Revisar nivel de aceite de reductor	4	N/A	N/A		

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.4. Otras rutinas de mantenimiento

Existen revisiones que pueden complementar las anteriormente descritas, en el caso de los motores se evalúa la caída del voltaje, la carga; es importante, también, revisar el origen de la distribución, las condiciones de los tableros, los contactores, *breakers* y elementos eléctricos que soportan los circuitos.

Tabla XXV. Rutina de paneles eléctricos

Ruta de revisión de paneles			RP-001				
FRECUENCIA: QUINCENAL							
I	Patio	A	Observaciones:				
II	Preparación						
III	Molinos						
IV	Calderas	B					
V	Alcalizado						
VI	Clarificación						
VII	Evaporación			Fecha:			
VIII	Manejo magma						
IX	Cristalizadores			Realiza:			
X	Centrifugas						
XI	Manejo de azúcar			Código:			
Área	Aplicación	Limpieza	Medición amperajes	Voltaje	Apriete de bornes	T (°C) operación	
NA	Panel de iluminación exterior						
NA	Panel de iluminación de fabrica						
NA	Panel de circuito principal						
NA	Panel de sala de generación						

Continuación de la tabla XXV.

NA	Tablero de picadoras					
NA	Tablero de molinos					
NA	Tablero 1 de fabrica					
NA	Tablero 2 de fabrica					
NA	Panel de bodegas					
NA	Panel de laboratorio					
NA	Tablero de bombas					
NA	Tablero de motores					

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Periodicidad de ejecución

Este tipo de asignación basado en principios técnicos se entrelaza también con la naturaleza, restricciones y tipo de proceso. A partir de la recolección de datos que se genera paralelamente a la ejecución de las rutinas de revisión, se crea una base de datos que posteriormente se podrán utilizar para crear modelos estadísticos.

La periodicidad para la realización de las rutinas toma en cuenta las recomendaciones del fabricante y la experiencia del personal en el proceso podrá ser diaria, semanal o quincenal dependiendo del tipo de revisión y de la accesibilidad del punto de revisión, entre otros criterios descritos a continuación.

Tabla XXVI. **Frecuencias de rutinas**

<b>frecuencia</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Diaria	Lubricación	Puntos de lubricación que debido a la tendencia al calentamiento provocada por las velocidades de rotación de los ejes, específicamente las chumaceras, deben lubricarse a diario.
	Reductores	El nivel de aceite puede descender rápidamente por fugas por lo cual se debe mantener monitoreado.
	Motores	Debido a su continuo funcionamiento y tendencia al calentamiento, puede variar sus parámetros en periodos cortos.

Continuación de la tabla XXVI.

Semanal	<b>Lubricación</b>	A diferencia de las chumaceras que son puntos fijos y accesibles en todo momento, los acoples se mantienen en constante movimiento por lo que no es práctico asignarle frecuencia diaria.
Quincenal	Lubricación	Los equipos que mantienen más sus condiciones y los que al detenerse hay que darles tiempo de espera para su enfriamiento y que su acceso y revisión no representen riesgos como en las calderas tienen esta frecuencia.

Fuente: elaboración propia.

### **4.3. Diagramas de flujo y recorrido de inspecciones de monitoreo**

Se muestra el diagrama de flujo para la operación de lubricación desde el inicio hasta que finaliza el primer punto, en el siguiente diagrama el recorrido por área.

#### **4.3.1. Diagrama de flujo**

El diagrama de flujo permite observar la secuencia de las operaciones, inspecciones, transporte, almacenajes y demoras existentes en la ruta de lubricación.

Tabla XXVII. Diagrama de flujo para realizar una rutina de inspección

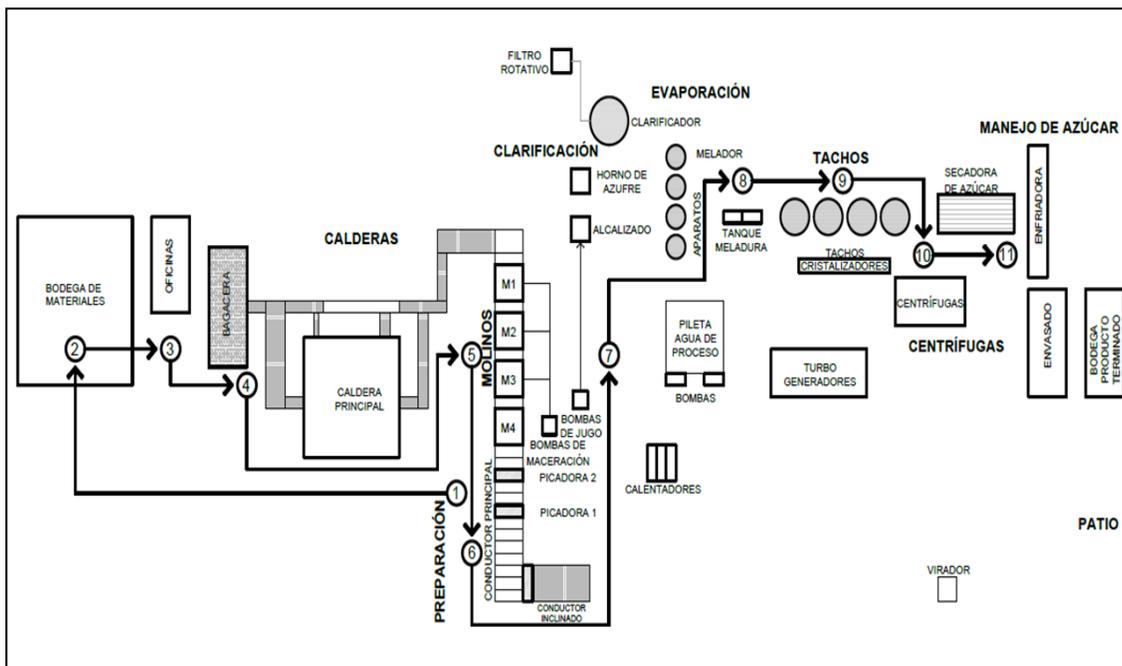
		RESUMEN					
PROCESO: rutina de monitoreo de equipos	VERSION: 001	OPERACIÓN	○	5			
DEPARTAMENTO: mantenimiento		INSPECCIÓN	□	4			
VIGENCIA: sí		TRANSPORTE	➡	4			
RESPONSABLE: supervisor	METODO: Actual	DEMORA	D	1			
		ALMACENAJE	▽	1			
		TIEMPO		16,28			
		DISTANCIA		160			
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	SÍMBOLO					TIEMPO (Minutos)	DISTANCIA (Metros)
Verificar equipo de protección personal	○	➡	D	■	▽	1,00	
Preparación de herramientas y equipo de trabajo	●	➡	D	□	▽	2,00	
Ir a bodega de repuestos y lubricantes	○	➡	D	□	▽	2,00	100,00
Hacer solicitud de materiales	○	➡	D	□	▽	1,00	
Esperar entrega de materiales	○	➡	●	□	▽	1,00	
Ir a oficina para imprimir hoja de ruta	○	➡	D	□	▽	1,00	50,00
Imprimir hoja de ruta	●	➡	D	□	▽	1,00	
Dar aviso al supervisor que se inicia la rutina de inspección	○	➡	D	■	▽	0,50	
llenar datos iniciales de hoja de ruta	●	➡	D	□	▽	1,50	
Dirigirse al punto de revisión	○	➡	D	□	▽	0,50	10,00
Verificar ambiente seguro	○	➡	D	■	▽	0,50	
Ejecutar la actividad de la inspección	●	➡	D	□	▽	2,53	
Revisar estado satisfactorio	○	➡	D	■	▽	0,50	
Chequear revisión de punto en hoja de ruta	●	➡	D	□	▽	0,25	
Trasladarse al siguiente punto	○	➡	D	□	▽	1,00	

Fuente: elaboración propia.

Para el dato de la realización de la actividad se promedian los valores correspondientes a la revisión de bombas, lubricación y revisión de motor (3,00, 1,27, 3,32) y da como resultado 2,53 min.

#### 4.3.2. Diagrama de recorrido de rutina de inspección de equipo

Figura 32. Diagrama de recorrido para realizar rutina de inspección



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

#### 4.4. Desarrollo de tiempos optimizados

Se realiza una comparación de datos entre la zafra 2015-2016 y la siguiente para analizar los resultados obtenidos.

#### 4.4.1. Análisis comparativo de tiempos

Tabla XXVIII. Tabla comparativa de tiempos entre zafras

Área	ZAFRA ANTERIOR							ZAFRA ACTUAL						
	Numero de paros	Horas	Tiempo promedio por paro	Horas totales	Horas productivas	% de perdida	% aprovechado	Numero de paros	Horas	Tiempo promedio por paro	Horas totales	Horas productivas	% de perdida	% aprovechado
Patio	0	0,00	0,00	1633	1633,00	0,00	1,00	0	0,00	0,00	1556	1556,00	0,00	1,00
Preparación	63	100,25	1,59	1633	1532,75	0,06	0,94	50	80,00	1,60	1556	1476,00	0,05	0,95
Molinos	60	95,62	1,59	1633	1537,38	0,06	0,94	45	85,00	1,89	1556	1471,00	0,05	0,95
Calderas	56	57,77	1,03	1633	1575,23	0,04	0,96	35	50,00	1,43	1556	1506,00	0,03	0,97
Alcalizado	2	2,38	1,19	1633	1630,62	0,00	1,00	0	0,00	0,00	1556	1556,00	0,00	1,00
Clarificación	7	8,77	1,25	1633	1624,23	0,01	0,99	3	6,00	2,00	1556	1550,00	0,00	1,00
Evaporación	56	36,63	0,65	1633	1596,37	0,02	0,98	40	33,50	0,84	1556	1523,50	0,02	0,98
Manejo de magma	0	0,00	0,00	1633	1633,00	0,00	1,00	0	0,00	0,00	1556	1556,00	0,00	1,00
Cristalizadores	0	0,00	0,00	1633	1633,00	0,00	1,00	0	0,00	0,00	1556	1556,00	0,00	1,00
Centrifugas	0	0,00	0,00	1633	1633,00	0,00	1,00	0	0,00	0,00	1556	1556,00	0,00	1,00
Manejo de azúcar	0	0,00	0,00	1633	1633,00	0,00	1,00	0	0,00	0,00	1556	1556,00	0,00	1,00
Envase	2	5,75	2,88	1633	1627,25	0,00	1,00	1	2,00	2,00	1556	1554,00	0,00	1,00
Eléctrico	40	92,87	2,32	1633	1540,13	0,06	0,94	25	75,00	3,00	1556	1481,00	0,05	0,95
Varios	13	60,58	4,66	1633	1572,42	0,04	0,96	10	50,00	5,00	1556	1506,00	0,03	0,97
Σ Y promedios	299	460	1,23	22862	22401	0,28	0,72	209	381	1,27	21770	21403	0,25	0,75

Fuente: elaboración propia.

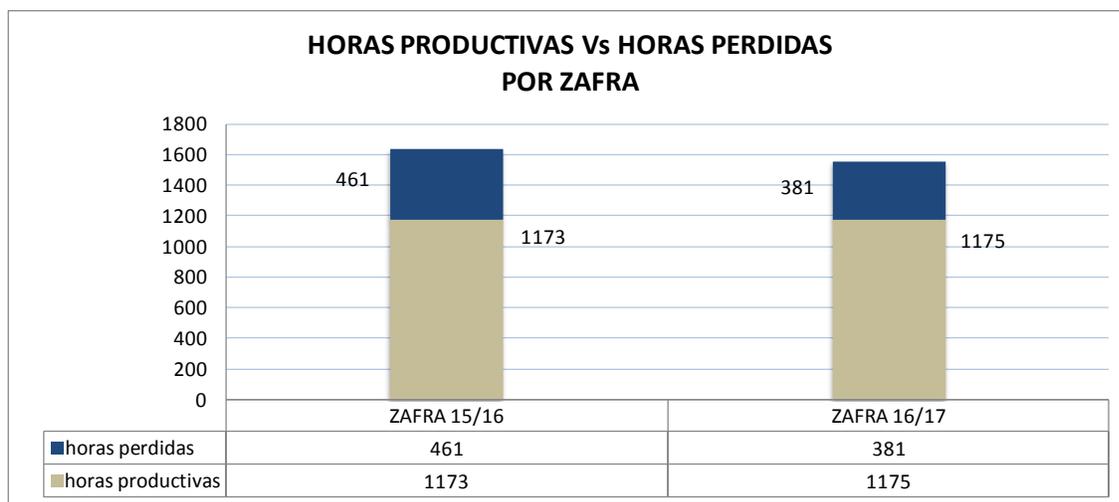
##### 4.4.1.1. Mejora porcentual de disponibilidad para producción

De la tabla anterior se puede visualizar el aumento de horas disponibles para la producción ya que en la zafra 15/16 se destinaron para solucionar problemas de diversos tipos 460 horas, mientras que en la 16/17 la cifra fue de 381 horas, con una diferencia de 79 horas o su equivalente a 3,26 días.

De la tabla se puede observar que el aumento porcentual de disponibilidad de la maquinaria fue del 3 %.

#### 4.4.1.2. Disminución de tiempos perdidos por área

Figura 33. Gráfico de horas productivas vs pérdidas por zafra



Fuente: elaboración propia.

Se logra apreciar la disminución de horas pérdidas por paros tras el plan de monitoreo de equipos.

#### 4.4.2. Eficiencia de la maquinaria con el plan de monitoreo

Se evaluará de la misma forma que en el capítulo anterior, por lo que los datos muestran que la cantidad de horas productivas necesarias fue menor en la zafra 15/16, baja la cantidad de tiempo perdido y se aumenta el índice de toneladas por hora.

Tabla XXIX. **Resumen de tiempos productivos entre zafras**

		Tiempo productivo	Tiempo perdido	Tiempo total
<b>Zafra 15/16</b>	Horas	1 173	460	1 633
	Capacidad nominal (toneladas/hora)	33,33	33,33	33,33
	Obtenido/equivalente métricas (toneladas)	39 100	15 333	54 433
		Tiempo productivo	Tiempo perdido	Tiempo total
<b>Zafra 16/17</b>	Horas	1 175	381	1 556
	Capacidad nominal (toneladas/hora)	33,33	33,33	33,33
	Obtenido/equivalente métricas (toneladas)	39 162 (obtenidas)	12 698 (dejadas de moler)	51 861
				Capacidad total (sin paros)

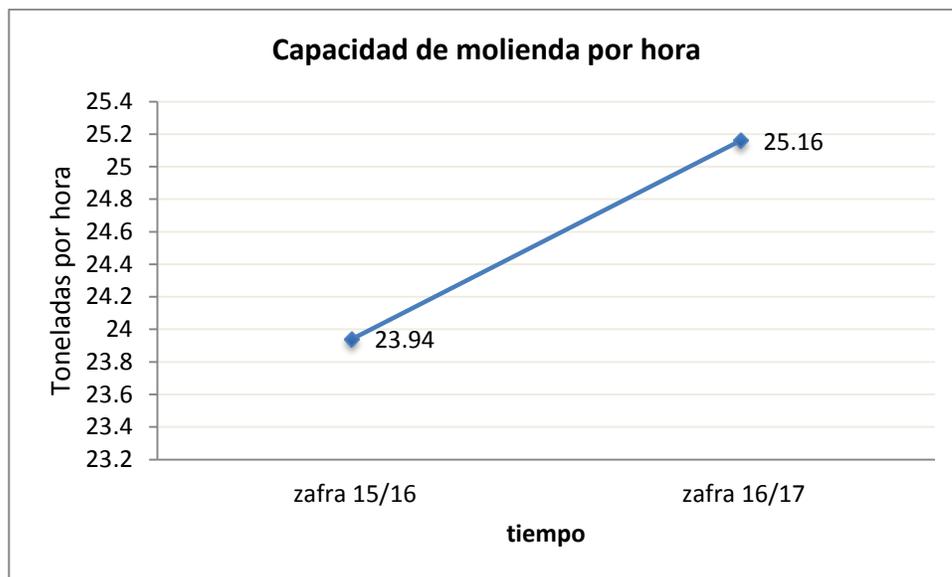
Fuente: elaboración propia.

Se observa que efectivamente se obtienen 39 162,75 toneladas de caña molida y se utilizaron 1 556 horas; por lo cual, la productividad como una relación de lo obtenido y lo invertido en función del tiempo específicamente:

$$PRODUCTIVIDAD = \frac{OBTENIDO}{INVERTIDO} = \frac{39\ 162\ 75\ TON\ CAÑA}{1\ 556\ HORAS} = 25,16 \frac{Ton}{Hora}$$

Por lo que la capacidad de molienda aumentó de 23,94 a 25.16 toneladas por hora, un aumento de 1,22 %, lo que equivale a 2 634 toneladas de caña más durante la zafra o lo que es igual a 3,34 días menos comparada con la anterior.

Figura 34. **Gráfico de incremento de capacidad de molienda**



Fuente: elaboración propia.

## **5. SEGUIMIENTO AL PLAN**

### **5.1. Actualización periódica de equipos**

En este tipo de industrias el inventario de activos fijos se mantiene en constante crecimiento; por lo cual, se debe actualizar el listado de equipos y puntos de revisión cada cierto tiempo, entre las razones principales se encuentran:

- Adquisición de equipos de tecnología actual
- Modificación en estructuras de proceso
- Automatización de procesos
- Reemplazo de equipos
- Sistemas de seguridad industrial
- Ampliación de la capacidad instalada
- Cambios derivados de recomendaciones en certificaciones
- Implementación de técnicas de reproceso
- Modificaciones requeridas en términos de calidad
- Inversiones

En general, estos cambios obedecen a incrementar la eficiencia de la fábrica, a cumplimiento de regulaciones, a políticas medioambientales, a proyectos internos y el mejoramiento del proceso y disminución de pérdidas.

La versión inicial presentada de rutas de revisión deberá ser ampliada y fortalecida para mantener índices que mejoren año con año; por lo cual, se recomienda actualizar el listado de equipos y puntos de revisión anualmente.

## 5.2. Base de datos para el análisis de costos e indicadores

Este tipo de planes genera un gran número de datos, los cuales deben ser manejados a través de una hoja de cálculo o un software específico para control de mantenimiento, ya que de esta forma el análisis de la información recopilada será más práctico y se convertirá en una herramienta muy útil para generar estadísticas, tendencias, gráficos y reportes comparativos de costos durante cada zafra y época de reparación.

Dentro de los reportes se debe incluir información esencial: fecha, hora de inicio de la actividad, hora de finalización, área, código de equipo, descripción de la reparación, tipo de avería, listado de materiales utilizados, nombre de la persona que realiza el trabajo y código.

Tabla XXX. Hoja de cálculo para recopilar la información del plan

						PREVENTIVO			CORRECTIVO			REPARACION POR PERSONAL EXTERNO	PREDICTIVO																
FECHA	ORDEN DE TRABAJO	AREA/CENTRO DE COSTO	EQUIPO	CÓDIGO DE EQUIPO	TIPO DE EQUIPO	TEMPERATURA	VOLTAJE	AMPERAJE	NIVELES	DETALLE	CAUSA	AVERIA	DESCRIPCION DE LA REPARACION		VIBRACION	ANALISIS DE ACEITE	ULTRASONIDO	TERMIGRAFIA	OTRO	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO UTILIZADO	TIPO DE MTO.	TEMPORALIDAD	MATERIALES UTILIZADOS	CÓDIGO DE BODEGA	MAQUINADO DE PIEZAS		

Fuente: elaboración propia.

Mientras más detallado sea esta información, mayor será el número de filtros y combinaciones que permitirán hacer inferencias del comportamiento de los equipos en relación al plan de revisiones en curso; podrá servir de base

para aumentar o disminuir las frecuencias de revisión de acuerdo a la interpretación de los datos obtenidos.

### 5.3. Indicadores de gestión de disponibilidad de equipos

Para dar un mejor seguimiento al plan y aprovechar los datos obtenidos, se pueden obtener indicadores usados a nivel global, los cuales serán útiles en las presentaciones del departamento de mantenimiento. Los más importantes se muestran a continuación:

#### 5.3.1. Disponibilidad de equipos

Es el más importante indicador en la gestión de mantenimiento; indica cuanto tiempo ha estado disponible el equipo para producir; resulta del cociente entre el número de horas que ha estado disponible un equipo entre el número de horas totales.

$$DISPONIBILIDAD = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Zafra 2015/2016

zafra 2016/2017

$$Disponibilidad = \frac{1\ 633 - 460}{1\ 633} = 0,72$$

$$Disponibilidad = \frac{1\ 556 - 381}{1\ 556} = 0,75$$

Esto indica que hubo un aumento en la disponibilidad de los equipos del 3 % en la zafra 2016/2017.

### 5.3.2. Tiempo medio entre fallas

Conocido también como MTBF (*mid time between failure*); permite conocer la frecuencia con que ocurren las fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Horas totales}}{\text{Número de fallas}}$$

Zafra 2015/2016

zafra 2016/2017

$$MTBF = \frac{1\ 633}{299} = 5,46$$

$$MTBF = \frac{1\ 556}{209} = 7,44$$

Lo cual indica que en la zafra 2016/2017 la frecuencia con que ocurren las fallas disminuyó, pues se presentaron en promedio cada 7,44 horas en lugar de cada 5,46.

### 5.3.3. Tiempo medio de reparaciones

Conocido también como MTTR (*mid time to repair*), permite conocer la importancia de la avería en un equipo, considerando el tiempo utilizado para solucionarlo.

$$MTTR = \frac{\text{Horas por avería}}{\text{Número de averías}}$$

Zafra 2015/2016

zafra 2016/2017

$$MTTR = \frac{460}{299} = 1,54$$

$$MTTR = \frac{381}{209} = 1,82$$

Lo cual indica que el tiempo medio por reparación se incrementó, esto se debe a que el número de paros disminuyó considerablemente.

#### 5.4. Definición de equipos críticos

En algunos casos se cuenta con líneas alternas que permiten realizar un *by-pass* mientras se realiza el mantenimiento; sin embargo, existen equipos que son fundamentales para la continuidad del proceso y que no poseen un equipo alternativo o auxiliar; por lo tanto, su reparación detiene todo el proceso, estos son los equipos críticos.

Tabla XXXI. Equipos críticos

Área	Equipo crítico	Posible falla	Descripción del efecto
<b>Patio</b>	Virador	El malacate puede fallar en uno de sus dos motores de movimiento vertical y horizontal ó rotura de los cables de acero	No hay forma de descargar los camiones
<b>Preparación</b>	Conductor inclinado (mesa alimentadora)	Descarrilamiento, falla del motor, falla del variador	Se interrumpe el suministro de caña a molinos
	Conductor principal	Descarrilamiento, falla del motor, falla del variador	Se interrumpe el suministro de caña a molinos
<b>Molinos</b>	Molino 1	Problema mecánico, mazas, coronas, atoramiento de caña	No hay conductores intermedios, detiene el flujo
	Molino 2	Problema mecánico, mazas, coronas, atoramiento de caña	No hay conductores intermedios, detiene el flujo
	Molino 3	Problema mecánico, mazas, coronas, atoramiento de caña	No hay conductores intermedios, detiene el flujo
	Molino 4	Problema mecánico, mazas, coronas, atoramiento de caña	No hay conductores intermedios, detiene el flujo
<b>Calderas</b>	Caldera principal	Alimentación de agua, fugas, bagazo húmedo, fallas en sistema de circulación de aire	No hay otra caldera que genere el flujo de vapor requerido
<b>Clarificación</b>	Clarificador roberts	Falla de motor, falta de capacidad	Al ser el único equipo, ya no hay suministro a evaporación
<b>Evaporación</b>	Aparato melador	Fugas, falta de capacidad	Se detiene suministro de meladura
<b>Tachos Centrifugas</b>	Motor de acoplamiento múltiple de centrifugas batch	Falla del motor, clutch o fajas	Todas las centrifugas batch se mueven por este sistema, se detiene el centrifugado
<b>Manejo de azúcar</b>	Elevador de canjilones	Falla del motor o cadena	Se interrumpe el suministro a la secadora
	Secadora de azúcar	Falla del motor, reductor o rodillos	Azúcar con temperatura por encima del parámetro, problemas posteriores en bodega al absorber humedad

Continuación de la tabla XXXI.

	Enfriadora de azúcar	Falla del motor, reductor o rodillos	Azúcar con temperatura por encima del parámetro, problemas posteriores en bodega al absorber humedad
<b>Envase</b>	Cosedora de sacos 001	Falla eléctrica o mecánica	Es la cosedora con más rapidez, se interrumpe el envasado
<b>Generación</b>	Turbo generador cat	Falla eléctrica o mecánica	Se interrumpe la generación para consumo interno, se detiene el proceso

Fuente: elaboración propia.

## 5.5. Análisis gráfico

El análisis grafico en la gestión del mantenimiento es una parte importante pues ayuda a visualizar rápidamente los cambios entre periodos, entre los gráficos más relevantes a desarrollarse para seguimiento del plan están:

- Gráfico de número de paros por zafra
- Gráfico por tipo de intervención
- Gráfico de distribución de tiempo, horas productivas vs horas perdidas
- Gráfico de costos de mantenimiento por centro de costo
- Gráfico de disponibilidad de equipos

## 5.6. Capacitación y evaluación de personal

Es necesario fortalecer la cultura de capacitación al personal, que se logren transmitir los objetivos de los planes de revisión de equipos. Este tipo de evaluaciones puede ser progresiva aumentando el nivel técnico de acuerdo al comportamiento del grupo. A continuación, se muestra la primera evaluación.

Tabla XXXII. Hoja de capacitación

Nombre:	Puntuación:
Código:	
Fecha:	
Jefe inmediato:	
1 ¿Qué tipo de mantenimiento conoce?	
2 ¿Qué entiende por mantenimiento preventivo?	
3 ¿Qué es mantenimiento correctivo?	
4 ¿Qué es una ruta de revisión de equipos?	
5 ¿Qué equipo de protección personal debe utilizar al realizar rutinas de mantenimiento preventivo?	
6 ¿Es necesario informar al supervisor que se encuentra realizando una rutina de mantenimiento?	
7 ¿Qué debe hacer si visualiza que el área no es segura para realizar su trabajo?	
8 ¿Qué es frecuencia de revisión?	
9 ¿Qué es un equipo crítico?	
10 ¿Cómo puede afectar el mantenimiento a la calidad del producto?	

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar un plan de monitoreo de condiciones de maquinaria basado en tres ejes principales: lubricación, revisión mecánica de bombas y revisión de motores eléctricos; debido a que estas tres secciones en el análisis de datos resultaron significativas en la cantidad de tiempo perdido por fallas; con lo cual se ataca directamente el origen del problema y se aumenta la disponibilidad de equipos para producir.
2. Se logró a través de rutinas de inspección establecer los rangos de temperatura de funcionamiento en los diferentes puntos de lubricación.
3. Se ha iniciado una cultura de recolección de datos, análisis e interpretación en todas las actividades relacionadas al mantenimiento.
4. Se lograron definir rangos y parámetros de operación en cada tipo de equipo, dentro de los cuales se considera aceptable su funcionamiento y se ayuda a prolongar su vida útil.
5. Se estableció la secuencia de actividades a realizar en las diferentes rutinas de monitoreo de maquinaria, para que se realice de una forma sistemática y metódica por parte del personal de mantenimiento.
6. Se implementó el uso de indicadores de gestión de mantenimiento generalmente aceptados, dentro de los cuales figura el índice de disponibilidad de la maquinaria el cual registró un aumento del 3 % entre las zafras 2015/2016 y 2016/2017; pues en la primera el 72 % del tiempo

fue aprovechado para producir mientras que la segunda se alcanzó un 75 %. El indicador de tiempo medio entre fallas MTBF pasó de 5,46 horas a 7.44 horas con lo cual se visualiza que la ocurrencia de las fallas sucedió entre intervalos más prolongados; de igual manera el índice de tiempo promedio de reparaciones paso de 1,54 a 1,84 este valor aumentó debido a que el número de paros disminuyó considerablemente.

7. Se estableció la relación directa que existe entre el número y la duración de los paros de producción con la productividad de la fábrica.
8. Se establecieron los equipos críticos de la planta, los cuales se muestran en la tabla XXIX.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar una actualización del plan de monitoreo de maquinaria del área de fabricación por lo menos cada dos años, tiempo en el cual el inventario de equipos se ha renovado parcialmente.
2. Realizar pruebas con nuevos lubricantes; hacer comparaciones con los datos históricos obtenidos y decidir en términos de funcionamiento, calidad y costos, la mejor opción.
3. Brindar capacitaciones al personal de mantenimiento en temas de metodología, análisis de aceites y seguridad industrial enfocados a trabajos eléctricos.
4. Brindar instrucciones al personal de mantenimiento relativas a las acciones a tomar en los casos en que los parámetros de funcionamiento estén fuera de rango normal de operación.
5. Ejecutar una supervisión constante por parte del jefe de mantenimiento en cuanto al cumplimiento de las secuencias de actividades como se han definido.
6. Publicar los valores alcanzados de los indicadores de mantenimiento para motivar al personal respecto a los logros alcanzados.

7. Mantener monitoreado la tendencia de número de fallas durante cada ciclo productivo, pues debe mantener una proyección descendente, lo cual indicará la efectividad del plan de monitoreo de equipos.
8. Buscar alternativas para los equipos críticos para minimizar su número para reducir la probabilidad de paros.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CHEN, James. C.P. *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa, 1991. 1200 p.
2. DESSLER, Gary. *Administración del personal*. 8a. ed. México: Prentice-Hall, 2001. 974 p.
3. GARCÍA CRIOLLO, R. *Estudio del método, ingeniería de métodos y medición del trabajo*. México: McGraw Hill, 2005. 655 p.
4. HUGOT, Émile. *Handbook of sugar cane engineering*. 3a ed. New York: Elsevier, 1986. 1079 p.
5. MEYERS, Freud. *Estudio de tiempos y movimientos, manufactura ágil*. 2a ed. México: Prentice-Hall, 2001. 549 p.
6. NIEBEL, Benjamín. *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño de trabajo. No. 11*. México: Alfaomega, 2004. 752 p.
7. RABELO, Oscar. *Ingeniería del mantenimiento*. México: Nueva Librería, 1997. 286 p.
8. RODRÍGUEZ ROSSELLÓ, Miguel Ángel. *Manual de mantenimiento preventivo, rutinas*. Madrid: Anaya, 1994. 738 p.

9. SPENCER, G.L.; MEADE, G.P. *Manual de azúcar de caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados*. Barcelona: Montaner y Simón. 1968. 940 p.
  
10. TORRES, Leandro. *Mantenimiento su implementación y gestión*. Argentina: Qualitymark, 2005. 910 p.

## ANEXOS

Anexo 1. **Tabla de distribución de probabilidades ‘t de student’ para muestras (n<30)**

n	Probabilidad (P)												
	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.158	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	61.657	636.619
2	0.142	0.289	0.445	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.137	0.277	0.424	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.134	0.271	0.414	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.132	0.267	0.408	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.131	0.265	0.404	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.130	0.263	0.402	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.130	0.262	0.399	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.129	0.261	0.398	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.761
10	0.129	0.260	0.397	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.567
11	0.129	0.260	0.396	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.128	0.259	0.395	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.128	0.259	0.394	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.128	0.258	0.393	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.128	0.258	0.393	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.128	0.258	0.392	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.128	0.257	0.392	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.127	0.257	0.392	0.534	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.127	0.257	0.391	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.127	0.257	0.391	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.127	0.257	0.391	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.127	0.256	0.390	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.127	0.256	0.390	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.768
24	0.127	0.256	0.390	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.127	0.256	0.389	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.689
28	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.660
30	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.126	0.255	0.388	0.529	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.126	0.254	0.387	0.527	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.126	0.254	0.386	0.526	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	0.126	0.253	0.385	0.524	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Reproducido de la Tabla III de R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural, and Medical Research* (Erlinburg: Oliver & Boyd, Ltd.), con permiso de los autores y editores.  
Nota: las probabilidades se refieren a la suma de las dos áreas de cola: para una sola cola, divida la probabilidad entre 2.

Fuente: NIEBEL, Benjamín; FREIVALS, Andris. *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 698.

Anexo 2. **Tabla de suplementos de la International Labour Office**

**Tabla 11-2 Suplementos recomendados por ILO**

<b>A. Suplementos constantes:</b>	
1. Suplemento personal .....	5
2. Suplemento por fatiga básica .....	4
<b>B. Suplementos variables:</b>	
1. Suplemento por estar de pie .....	2
2. Suplemento por posición anormal:	
a. un poco incómoda .....	0
b. incómoda (agachado) .....	2
c. muy incómoda (tendido, estirado) .....	7
3. Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, jalar o empujar):	
Peso levantado, en libras:	
5 .....	0
10 .....	1
15 .....	2
20 .....	3
25 .....	4
30 .....	5
35 .....	7
40 .....	9
45 .....	11
50 .....	13
60 .....	17
70 .....	22
4. Mala iluminación:	
a. un poco abajo de la recomendada .....	0
b. bastante menor que la recomendada .....	2
c. muy inadecuada .....	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad) – variable .....	0-100
6. Atención requerida:	
a. trabajo bastante fino .....	0
b. trabajo fino o preciso .....	2
c. trabajo muy fino y muy preciso .....	5
7. Nivel de ruido:	
a. continuo .....	0
b. intermitente –fuerte .....	2
c. intermitente –muy fuerte .....	5
d. de tono alto –fuerte .....	5
8. Estrés mental:	
a. proceso bastante complejo .....	1
b. atención compleja o amplia .....	4
c. muy compleja .....	8
9. Monotonía:	
a. nivel bajo .....	0
b. nivel medio .....	1
c. nivel alto .....	4
10. Tedio:	
a. algo tedioso .....	0
b. tedioso .....	2
c. muy tedioso .....	5

Fuente: NIEBEL, Benjamín; FREIVALDS, Andris. *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 437.