



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN E  
INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO EN TANDEM DE  
MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE  
ESCUINTLA, GUATEMALA**

**Ing. Gerver Danilo Cárdenas Ruano**  
Asesorado por el Mtro. Ing. Edwin Manolo Tock Amézquita

Guatemala, enero de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN E  
INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO EN TANDEM DE  
MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE  
ESCUINTLA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. GELVER DANILO CÁRDENAS RUANO**  
ASESORADO POR EL MTRO. ING. EDWIN MANOLO TOCK AMÉZQUITA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES DE INGENIERIA DE MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, ENERO DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN E  
INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO EN TANDEM DE  
MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE  
ESCUINTLA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 11 de agosto de 2021.

**Ing. Gelver Danilo Cárdenas Ruano**





Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.076.2022

La Decana 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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO EN TANDEM DE MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por: **Gelver Danilo Cárdenas Ruano**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabeia Cordova Echeverri

Decana



Guatemala, enero de 2022

AACE/gaoc





**Guatemala, enero de 2022**

LNG.EEP.OI.076.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO EN TANDEM DE MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA”**

presentado por **Gelver Danilo Cárdenas Ruano** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería**







Guatemala 30 de octubre 2021.

**M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Presente**

**M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** titulado: **“MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO EN TANDEM DE MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA”** del estudiante **Ing. Gelver Danilo Cárdenas Ruano** quien se identifica con número de carné **100019509** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo**  
**Coordinadora**  
**Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**



**Guatemala, 11 de octubre de 2021**

En mi calidad como Asesor del Ingeniero **Gelver Danilo Cárdenas Ruano** quien se identifica con carné **100019509** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO EN TANDEM DE MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA"** quien se encuentra en el programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

*Edwin Manolo Tock Amézquita  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 9742*

*"Id y Enseñad a Todos"*



**M.A. Ing. Edwin Manolo Tock Amézquita.**

**Asesor**





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Fuente inagotable de sabiduría, paz, fe, fortaleza y amor.
<b>Mi padre</b>	José Cupertino Cárdenas (q. d. e. p.), por todo su amor, esfuerzo entregado para salir adelante en la vida, a quien le debo lo que soy y principalmente la formación de mi carácter.
<b>Mi madre</b>	Ana Floridalma Ruano, por su amor, comprensión y apoyo que me ha brindado durante toda la vida.
<b>Mi esposa</b>	Lourdes Yesenia Girón.
<b>Mis hijos</b>	Stephany Fernanda y Gerver José Cárdenas.
<b>Mis hermanas</b>	Brenda Analy, Astrid Victoria y Flor de María Cárdenas, por su cariño y por todo el tiempo compartido.
<b>Familia en general</b>	Respetuosamente.
<b>Mis amigos</b>	Por su apoyo y comprensión.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser nuestra casa de estudios y haberme dado la oportunidad de dar un paso más en el campo del conocimiento.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme la oportunidad de ampliar los conocimientos necesarios en toda mi formación académica.
<b>Mi asesor</b>	Maestro Ing. Manolo Tock, por todo su apoyo profesional y moral.
<b>Mi coordinadora</b>	Maestra Inga. Rocío Medina, por su apoyo profesional y ayuda brindada para la elaboración del presente trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Generalidades .....	1
1.1.1. Análisis de resultados de investigaciones previas ....	2
1.1.2. Discusión de resultados de investigaciones previas .....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Industria azucarera.....	7
2.2. Extracción de bagazo para la generación de energía .....	9
2.2.1. Calderas de vapor .....	9
2.2.2. Servicios auxiliares .....	10
2.2.3. Mejoramiento de la calidad.....	11
2.3. Estación de extracción.....	12
2.3.1. Descripción del molino de caña.....	12
2.3.2. Molinos accionados por medio de motor de inducción .....	13

2.3.3.	Estrategias llevadas actualmente para el control ....	14
2.3.4.	Relevancia del control en el proceso de extracción de jugo .....	14
2.4.	Elementos primarios de control .....	15
2.4.1.	Variables de medición .....	15
2.4.1.1.	Nivel .....	15
2.4.1.2.	Presión .....	16
2.4.1.3.	Flujo .....	19
2.4.1.4.	Temperatura.....	21
2.4.2.	Transmisores.....	22
2.4.2.1.	Capacitivos.....	22
2.4.2.2.	Resistivos .....	23
2.4.2.3.	Electromagnéticos.....	24
2.4.3.	Sensores .....	27
2.4.3.1.	Inductivos .....	28
2.5.	Mantenimiento.....	29
2.5.1.	Fallas de mantenimiento .....	31
2.5.2.	Tipos de fallas .....	32
2.5.3.	Filosofías de mantenimiento.....	33
2.5.3.1.	Mantenimiento correctivo .....	33
2.5.3.2.	Mantenimiento preventivo .....	34
2.5.3.3.	Mantenimiento predictivo.....	35
2.5.3.4.	Mejoras en el mantenimiento de los sistemas de producción.....	36
2.5.3.5.	Mantenimiento de oportunidad .....	37
2.5.3.6.	Detección de fallas .....	38
2.5.4.	Plan de mantenimiento.....	38
2.5.4.1.	Tareas del plan de mantenimiento .....	38
2.6.	Confiabilidad .....	39

2.6.1.	Calidad y competitividad .....	40
2.6.2.	Gestión de activos .....	40
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	47
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	67
	CONCLUSIONES .....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	REFERENCIAS .....	75
	APÉNDICES .....	81
	ANEXOS .....	83





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sistema de un ingenio azucarero.....	11
2.	Molino de caña maniobrado por motor eléctrico .....	13
3.	Transmisor de presión HART/4-20mA con sensor capacitivo .....	18
4.	Transmisor inteligente capacitivo .....	23
5.	Puente de Wheastone.....	24
6.	Partes del medidor electromagnético .....	25
7.	Relación entre organización, objetivos y el mantenimiento.....	30
8.	Tarea de inspección de válvulas on/off .....	49
9.	Tarea de inspección de válvulas automáticas.....	50
10.	Certificado calibración de un transmisor de temperatura .....	52
11.	Bitácora para el ingreso de falla en forma digital .....	56
12.	Frecuencia de falla durante zafra 2019-2020.....	58
13.	Criticidad de falla en equipo zafra 2019-2020.....	60
14.	Prueba de funcionamiento de equipos parte I.....	62
15.	Prueba de funcionamiento de equipos parte II.....	63
16.	Chequeo de liberación luego de mantenimiento .....	64
17.	Etiqueta de mantenimiento de equipos .....	65

### TABLAS

I.	Principios y tipos de medición de temperatura.....	21
II.	Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.....	35
III.	Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo .....	36

IV. Equipos electrónicos instalados.....48

V. Falla de equipos durante las últimas 3 zafras .....53

VI. Frecuencia de fallas durante la zafra 2019-2020 .....58

VII. Criticidad de fallas durante la zafra 2019-2020.....59

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>h</b>	Altura del chute
<b><math>\eta</math></b>	Eficiencia en equipos eléctricos
<b>%</b>	Porcentaje de tiempo en uso o eficiente del equipo
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b><math>\omega</math></b>	Velocidad angular



## GLOSARIO

<b>Biomasa</b>	Materia prima conocida como bagazo.
<b>BPM</b>	Buenas prácticas de mantenimiento.
<b>Caldera</b>	Máquina mecánica que sirve para generar vapor a través de la transferencia de calor.
<b>Chute</b>	Tolva rectangular que alimenta los molinos de caña.
<b>Cogeneración</b>	Es el proceso mediante el cual se obtiene energía eléctrica y energía térmica útil en el proceso.
<b>Error</b>	Es la diferencia entre la salida real y la salida ideal. El error se puede expresar como un porcentaje de la lectura.
<b>Falla</b>	Son las que aparecen bruscamente y provocan daño en el equipo.
<b>FEM</b>	Fuerza electromotriz.
<b>HART</b>	Protocolo abierto de comunicación de instrumentos.

<b>Indicador</b>	Poseen una escala para expresar la equivalencia de los datos al operario, pueden ser manómetros, tensiómetros, entre otros.
<b>Instrumentación</b>	Es el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales se miden cantidades físicas o químicas para obtener información para su archivo, evaluación o actuación sobre los Sistemas de Control Automático.
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización.
<b>Mantenimiento</b>	Se define mantenimiento como todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.
<b>Medición</b>	Conjunto de elementos que forman un instrumento, capaz de convertir una variable física en una señal.
<b>PID</b>	Lazo de Control Proporcional, Integral y Derivada.
<b>Precisión</b>	Capacidad de un instrumento de entregar el mismo valor para la magnitud medida al realizar varias mediciones y en unas mismas condiciones.
<b>Sensor</b>	Es un dispositivo que, al partir de la energía del medio en el que se mide, proporciona una señal de salida transducible que es función de la magnitud que se pretende medir.

<b>Señal</b>	Es aquella muestra física que puede ser medida ya sea variable o constante en el tiempo.
<b>SIGES</b>	Sistema Integrado de Gestión.
<b>SIN</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>TIZ</b>	Tarea de inspección zafra.
<b>Transmisor</b>	En el campo de la instrumentación y control es un equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio que está conectado al sensor mediante conductores eléctricos.





## RESUMEN

La agroindustrial guatemalteca de la caña azúcar, constantemente busca hacer más eficiente su proceso de producción, con el propósito de ser más productivos y competitivos en los mercados nacionales e internacionales, por lo cual año con año se asigna un presupuesto cada vez mayor para la modernización y automatización de sus procesos. En la actualidad, es inimaginable la existencia de una industria moderna sin instrumentos de medición y control, y si existiera, las necesidades que crea el mercado de obtener productos con estándares de calidad y niveles de producción óptimos para lograr competitividad. Esto por fuerza propiciaría la necesidad de planificar procesos de automatización.

La automatización contribuye a mejores estándares en el control de calidad y en cada una de las etapas que conlleva la producción de azúcar. Estos equipos electrónicos requieren de un monitoreo y mantenimiento constante pues es impredecible el momento en el que puedan fallar. Por esta razón el presente trabajo de investigación abordó, el mantenimiento preventivo para instrumentos y equipos de automatización, con el fin de evitar paradas en el proceso de extracción de jugo, con ello disminuir el tiempo perdido de molienda en el ingenio.

Se espera que este estudio sea significativo para el sector agroindustrial azucarero, y proporcione un aporte para considerar la incorporación de mantenimientos preventivos para los equipos de automatización e instrumentación, ya que podría servir como herramientas para la mejora continua.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La eficiencia en la extracción de jugo de caña de azúcar se ve afectada por la forma del funcionamiento de los equipos tanto electrónicos, eléctrico y mecánicos, por tal razón abordaremos las consecuencias que puede provocar una falla de un instrumento de medición y control, en dicho proceso.

- Descripción general

El Departamento de Automatización e Instrumentación es el encargado de velar por la automatización y eficiencia de los equipos, esto para aprovechar de mejor manera todos los recursos que se ven involucrados en la extracción de la caña de azúcar, el bajo rendimiento de la extracción de jugo en el proceso de molienda de caña de azúcar afecta la rentabilidad en la fábrica de azúcar; debido a que no se tiene un control automatizado en la operación de los molinos, lo cual ocasiona que los equipos motrices sufran alto torque por las variaciones de carga, provocando así una extracción ineficiente y a la vez acortando la vida de operación de los equipos motrices.

El bajo rendimiento del proceso manual y constantes paros para mantenimientos de los molinos afecta no solo la producción de azúcar por la baja eficiencia sino también la producción de energía eléctrica y vapor por extraer bagazo húmedo, esto afecta la combustión de las calderas, el mantenimiento constante por elevados torques hace que los equipos lleguen a su vida útil de manera prematura y por malas prácticas en la operación.

En el ingenio de Risaralda Colombia se hizo comparativa entre la molienda de un tándem automatizado de molienda y en uno que no fue automatizado por inversión, se concluyó que automatizando el tándem se ganó en rendimiento de jugo de azúcar en la caña, la vida útil de los molinos se prolongó, el mantenimiento fue espaciado y por lo tanto con los datos de Risaralda se concluyó que se puede replicar en el ingenio.

- Definición del problema

La falta de mantenimiento preventivo e inspecciones de los equipos involucrados en el proceso de extracción de jugo, lo cual conlleva a un mantenimiento correctivo y a su vez tiempo perdido de producción.

- Especificación del problema

En el proceso de extracción de jugo del ingenio, las fallas de los equipos de automatización e instrumentación, se deben en su mayoría a que los equipos carecen de un control en su mantenimiento, asimismo estos equipos se degradan al estar adaptándose a los cambios que requiere este proceso por las variaciones de caña que ingresa, lo cual conlleva a un desgaste prematuro de los equipos y, que se suma a ello la falta de gestión del mantenimiento basado en desgastes y confiabilidad para que involucre al personal encargado.

Teniendo la certeza que se esté haciendo un mantenimiento adecuado para cada equipo con las medidas de seguridad y con los requisitos mínimos que se deberían de emplear en cada uno, ya que estos provocan fallas que ocasionan pérdidas económicas en el proceso por paradas del proceso que repercuten en la utilización de mano de obra que no estaba destinada para corregir fallas como también gasto en repuestos que puede evitarse o planificarse.

- Delimitación del problema

La formulación del problema se obtiene de la necesidad de hacer eficiente el proceso de extracción de jugo de caña de azúcar, a través de minimizar el tiempo perdido y alargar la vida útil de los equipos involucrados en dicho proceso.

- Pregunta central

¿Cuál es el adecuado mantenimiento preventivo en equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en un tándem de molinos de un ingenio azucarero?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son los mantenimientos preventivos que existen para equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero?
- ¿Cuáles son las principales fallas en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero?
- ¿Cuáles son los principales factores que provocan las fallas en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero?

- ¿Cuáles con las rutinas de inspección y mantenimiento para el mejor desempeño, en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero?

## OBJETIVOS

- **General**

Definir el mantenimiento preventivo en equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.

- **Específicos**

- Determinar cuáles son los mantenimientos preventivos que existen y que se pueden aplicar en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.
- Enumerar cuáles son las principales fallas en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.
- Definir los principales factores que provocan las fallas en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.
- Desarrollar las rutinas de inspección y mantenimiento para el mejor desempeño en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.





## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Después de haber recabado los antecedentes de la investigación y las teorías sobre las cuales se fundamenta el estudio, se establecieron los criterios metodológicos, se seleccionó el método, enfoque y tipo de estudio, considerando las variables e indicadores objeto de estudio, asimismo se determinó las técnicas utilizadas para la recopilación de información.

El presente trabajo fue un diseño no experimental debido a que no se manipularon ensayos de laboratorio para determinar la información utilizada.

La investigación realizada es de tipo mixto y alcance descriptivo, porque se obtuvieron informes, documentos que permitieron evaluar el estado y el funcionamiento de la operación de los equipos acorde a los objetivos planteados, así como los datos tomados en las últimas 3 zafras que se tiene registro con parámetros medibles que permitieron observar las variaciones con respecto al funcionamiento de los equipos.

Se procedió al análisis de los datos obtenido mediante el registro y clasificación de estos aplicando herramientas estadísticas.

Se utilizaron las herramientas de la estadística descriptiva ya que permite tener una cantidad de datos grandes y por medio de la selección de la muestra se puede hacer una porción pequeña que nos arrojó datos más fáciles de manejar y obtener la información que se necesitó para analizar, tanto numéricamente como gráficamente.

Como variable dependiente se manejó el tiempo perdido en proceso de extracción de jugo de caña, por falla en instrumentos de automatización, y para las variables independientes se deben tomar en cuenta las siguientes circunstancias que se pueden presentar para que un instrumento o dispositivo electrónico falle, las cuales se detallan a continuación:

- Temperatura: por estar expuesto arriba del límite superior, de las especificaciones técnicas del fabricante. Al momento de la instalación la temperatura puede incrementar por estar cerca de elementos que irradian calor y la cual se refleja hacia el transmisor.
- Humedad: que pueden estar expuestos a salpicadura de agua.
- Suciedad: por estar en condiciones y ambientes hostiles, se genera suciedad en los componentes.
- Vibración: instalados en un área con extrema vibración.
- Alimentación: fluctuación en las líneas de alimentación por inducción de voltaje.
- Puesta a tierra: falta o mala instalación del cable de puesta a tierra.
- Vida útil del equipo: es el período en que los equipos tienen óptimas propiedades de fabricación con forme el tiempo y la operación estos bajan.

La obtención de datos se basará en recolectar la información por medio de la base de datos que se encuentran en el SIGES (Sistema Integrado de Gestión) propio del ingenio, el cual es alimentado por cada técnico u operador que tiene

en su responsabilidad mantenimiento, seguimiento y atención a alguna falla en el equipo involucrado en el proceso extracción de jugo, estos datos generan una base la cual se puede analizar con estadística descriptiva para su respectivo análisis.

Se mencionan los datos que se van a analizar por medio de estadística descriptiva ya que generan base de datos numérica. Las técnicas utilizadas para la recopilación de información son las siguientes:

- Investigación documental

Obtención de información teórica a base de investigaciones efectuadas previamente, libros de texto con referencia al tema, además consultas de registros gráficos referentes al tema y los datos de estadísticos obtenidos en el funcionamiento de los equipos.

- Análisis estadístico de equipos a intervenir

Con los datos que se encuentren y se puedan analizar, se utilizaran las herramientas de la estadística descriptiva ya que permite tener una cantidad de datos grandes y por medio de la selección de la muestra se puede hacer una muestra pequeña y que nos arroje datos más fáciles de manejar y obtener la información que se necesita para analizar, tanto numéricamente como gráficamente.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en la elaboración del mantenimiento preventivo para equipos de automatización e instrumentación de un tándem de molinos de caña de azúcar, con la cual se pretende mejorar el proceso y optimizar los mantenimientos de equipos electrónicos de dicho tándem de un ingenio azucarero, y con esto se pretende minimizar o prevenir las fallas provocadas a los equipos por falta de mantenimiento o por mantenimientos que no cumplen con los requisitos mínimos de los estándares de calidad para efectuarlos.

Utilizando herramientas como la causa raíz para determinar que ha provocado la falla, el círculo de Deming o ciclo de mejora continua para atacar la causa y hacer planes de acción para implementar los mantenimientos controlados y con requisitos mínimos en su ejecución, verificar que estos se estén cumpliendo con normalidad, y frecuencia según lo determinado para cada equipo, que todos sus ítems sean cumplidos y si hay mejoras en las cuales se puede implementar ejecutarlas, llevando un registro para aplicar en todos los equipos que sean parecidos, esto para evitar pérdidas de tiempo en el proceso de extracción de jugo que se pudieron haber detectado y corregido a tiempo, por medio de un sistema control de calidad en mantenimientos del equipo electrónico.

En la presente investigación se abordan la temática correspondiente descrita de la siguiente manera: capítulo I, marco referencial, tomando como referencia el análisis y discusión de resultados de investigaciones previas; capítulo II, marco teórico; capítulo III, desarrollo de la investigación; capítulo IV, presentación de resultados y capítulo V, discusión de resultados.



# 1. MARCO REFERENCIAL

En la investigación relacionada de acuerdo con la importancia que tiene el proceso de extracción de jugo, en un ingenio azucarero es recomendable implementar un adecuado mantenimiento preventivo para los equipos de instrumentación y automatización para maximizar la eficiencia de este.

## 1.1. Generalidades

El diseño e implementación de mantenimiento de equipos de automatización e instrumentación está influenciado por diferentes necesidades y objetivos, buscando la estrategia de la organización específica y congruente, presentándolo en acciones concretas, se convierte en un plan ya que por cada objetivo debemos de definir un plan de acción para realizarlo, en el tema de mantenimiento preventivo a los equipos de automatización e instrumentación, es utilizada una metodología de recopilación de información por medio de entrevistas y toma de datos de los equipos involucrados en el proceso, en el cual se concluyó que el mantenimiento preventivo es importante para la eficiencia de la misma y mejorar la confiabilidad de los mantenimientos.

- Con base a la investigación citada del mantenimiento preventivo es posible dado que la gerencia está comprometida a alcanzar dichos objetivos, así como la utilización de una herramienta de programación y seguimiento a las variables que se van a controlar y medir para corregir el proceso, el cual será de utilidad para el investigador para poner en marcha el mantenimiento preventivo. En cada familia de equipos utilizando una gestión de activos para seleccionar cada una de ellas y así poder enfocar

la investigación en la solución de la eficiencia de los equipos con base a la automatización.

### **1.1.1. Análisis de resultados de investigaciones previas**

Asimismo, el mantenimiento basado en la confiabilidad operacional del tándem de molida.

Según García (2004) en su investigación dice:

La automatización de procesos con base en los mantenimientos ha evolucionado en el tiempo y las necesidades de hacer eficiente el proceso.

Se ha pasado de lo que podemos llamar procesos manuales de primera generación en donde solo se hacía correctivo de parámetros conforme se observaba hasta nuestros días donde los procesos son totalmente automatizados está basado en la confiabilidad, la cual se puede catalogar como un mantenimiento de cuarta generación el cual es el objetivo de la investigación, para el análisis de la información de falla utiliza métodos estadísticos para evaluar los riesgos que conllevan los tipos de falla a diferentes equipos del proceso concluyendo que si un componente tiene una tasa de riesgo decreciente, ninguna sustitución incrementara la tasa de fallo.

Por el contrario, si la tasa de riesgo es constante la sustitución no presentará ninguna variación en la probabilidad de fallo, pero si tiene una probabilidad de fallo y tiene una tasa creciente, programando la sustitución en el momento adecuado se incrementará teóricamente la fiabilidad del sistema, como también se concluye en este desconocido marco, las



actividades de mantenimiento cobran un protagonismo relevante, ya que son las encargadas de garantizar, al mínimo coste posible, que los elementos productivos desarrollen en todo momento la función para lo que han sido diseñados. (p. 211)

Con la investigación se pudo concluir que es necesario llegar al nivel cuatro del mantenimiento para poder estar con la preservación basada en la confiabilidad.

Con el sistema de control de calidad propuesto para los mantenimientos, los mismos serán aplicables con una base estadística de repetición de fallas en los equipos en los cuales se va a hacer el análisis de la periodicidad de ocurrencia, tanto por desgaste o por falla esporádica y así poder analizarla basados en números la incidencia de las fallas o bien hacer una propuesta de cambio de equipos debido a que ha llegado a cumplir su vida útil.

Esto debido a que, si un equipo ya ha cumplido con su vida útil, el mantenimiento se vuelve costoso por las piezas que no se fabrican y también que se vuelven ineficiente ocasionando gastos innecesarios en la operación estos gastos pudiéndose recuperar con la compra de un equipo nuevo a lo largo del tiempo se utilizara un análisis de valor presente neto y la factibilidad por medio de la tasa de retorno TIR.

Por otra parte, Reyes (2016) en su investigación de plan de mejoramiento de la gestión de mantenimiento define una matriz de evaluación en que se coteja cantidad y variedad de equipos, determinando un modelo estratégico para el mejoramiento continuo de la gestión de mantenimiento basado en la metodología de una matriz de selección de indicadores efectivos,

identificando los parámetros que inciden en el sistema de mantenimiento general concluyen:

Que es importante revisar el programa de mantenimiento preventivo de forma periódica anual, para identificar cualquier desviación surgida en la ejecución de las actividades de este. Los cambios que imponga la revisión deberán de realizarse de inmediato, para la corrección oportuna de cualquier deficiencia. (p. 233)

Asimismo, para un modelo de gestión de mantenimiento Enríquez (2016) expresa lo siguiente:

En su investigación menciona la importancia de los modelos de gestión de mantenimiento:

El modelo de gestión de mantenimiento en los ingenios azucareros nace debido a la necesidad de mantener disponibles y confiables a los equipos de molienda y de fabricación de azúcar, entendiendo el proceso de producción se identifican los equipos principales utilizando métodos disponibles para evaluar la criticidad de cada equipo seleccionando estrategias enfocados a sistemáticas de cantidad para evitar mermas de producción, llegando a concluir que la implementación de una estrategia de mantenimientos debe de ser dinámicos y actualizados periódicamente en función de la nueva información generada o contextos operacionales.

Así como también concluyó que la implementación de una única estrategia de mantenimiento de por si no es la solución a los problemas de mantenimiento, más bien los modelos de gestión de mantenimiento deben de contemplar la combinación de estas diferentes estrategias. (p. 56)

### **1.1.2. Discusión de resultados de investigaciones previas**

El aporte de esta investigación muestra la necesidad de automatizar el sistema en mención para mejorar la eficiencia y así aprovechar el recurso de materia prima y alargar la vida útil de los equipos de automatización e instrumentación.

Por su parte, Ramírez (2014) en su investigación análisis de datos de falla en equipos motrices, eléctricos y de equipo de instrumentación establece que se debe:

Definir el análisis de datos de falla permite encontrar los índices de confiabilidad de un sistema ya que es posible:

- Indicar cómo y cuándo es posible una falla.
- Conocer la acritud y los efectos de dichas fallas.
- Evaluar la calidad de servicio prestado por el sistema.
- Programar con efectividad las inversiones de capital.
- Programar de manera eficiente las labores de mantenimiento.
- Mejorar los diseños de sistemas similares.

Conocer que tan honesto o inequívoco será un sistema durante su futura vida operativa es viable en parte mediante la evaluación de la confiabilidad. (p. 2)

Además, Ramírez (2014):

Define la importancia del análisis de datos de falla: realizando un análisis de datos de falla empleando métodos gráficos y comprobado los resultados

con métodos analíticos de mínimos cuadrados, utilizando una metodología de recopilación de información bibliográficas, recopilación de datos, análisis estadísticos de los datos, esta metodología se centra en la aplicación de la teoría de fallas de Weibull concluyó en su investigación que el proceso de operación y mantenimiento de sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos.

Es importante el estudio de la confiabilidad de estos, por lo cual, es necesario evaluar los índices más representativos que expresan la eficiencia de la operación, también concluye que: todo el análisis realizado, permitirá tomar decisiones sobre los cambios operativos del sistema y sobre el momento de realizar cambios o ejecutar el mantenimiento adecuado, o determinar en qué momento no es rentable, de acuerdo como están operando los equipos. (p. 181)

Con el teorema estadístico de fallas de Weibull podemos encontrar la criticidad de cada una de las fallas que cuenten con datos estadísticos y así determinar la periodicidad de falla y recomendar mantenimientos anticipados o bien el reemplazo por una unidad nueva tomando en cuenta el costo beneficio que esto puede ocasionar.

Acerca de la sistematización de los modelos de mantenimiento se dice que debido a la necesidad de conectar la gestión de mantenimiento con herramientas informáticas que permita planificar, ejecutar y controlar las acciones de una empresa para así lograr ser competitivas e incrementar la calidad de servicio y puntualidad es que se volvió necesario la sistematización de la gestión del mantenimiento en las plantas de producción de toda empresa contemporánea (Ardila, Orozco, Galeano y Medina, 2018).

## **2. MARCO TEÓRICO**

La base teórica es importante en el tema de investigación para poder entender todas las áreas relacionadas con el funcionamiento del tándem de extracción de jugo de caña, así como sus mantenimientos y la importancia en los equipos automatización.

### **2.1. Industria azucarera**

La industria azucarera en Guatemala data desde los comienzos del siglo XVI cuando se implementó el cultivo y la extracción del jugo artesanalmente. Al principio había trapiches en el valle de Guatemala en donde se granulaba el jugo para almacenarlo de una mejor manera. Con el desarrollo de las máquinas a vapor, la producción de azúcar alcanza su máximo apogeo; posteriormente hay necesidad de ser eficientes en el proceso para ser competitivo a nivel nacional e internacional.

Transcurridos cinco siglos desde que se inició la extracción de jugo con los modestos trapiches, hoy en día este proceso se lleva a cabo con modernas fábricas para la producción de azúcar y la generación de energía eléctrica, posicionando al azúcar de Guatemala en el cuarto puesto a nivel mundial.

Lo anteriormente mencionado ha permitido una notable mejora en la eficiencia e innovación en la producción de azúcar en la que la caña aporta biomasa, la cual es el combustible que permite, por medio de su proceso termodinámico del intercambio de en calderas, producir vapor el cual es transportado para poner en movimiento los turbogeneradores. Dicho vapor,

previamente turbinado, es trasladado a la fábrica para continuar trabajando en los evaporadores; por esa razón, la eficiencia y el control de calidad en el mantenimiento de los equipos eléctricos involucrados en los procesos de generación de energía y vapor es relevante para el óptimo funcionamiento del Ingenio.

La extracción del azúcar sucede desde la siembra de la caña y el respectivo proceso para extraer el jugo, en el que se tiene la oportunidad de extraer la mayor cantidad posible de jugo de caña. El bagazo resultante en dicho proceso sirve como combustible para las calderas y así generar el vapor para las máquinas que extraen el cristal del azúcar para el producto final (Rein, 2012).

El consumo de los equipos energéticos para los ingenios azucareros representan una repartición elevada de la moneda o capital; sin embargo, el sistema energético de las industrias azucareras que viene progresando notablemente en los últimos años ha ayudado a reducirlos por medio de la obtención de equipos con mayores capacidades, reduciendo su dependencia del SIN (Sistema Nacional Interconectado) con el fin de vender el excedente de energía, que es un negocio extra de la industria del azúcar (Velásquez, 2015).

La extracción de biomasa de la caña de azúcar es un proceso que depende de la eficiencia de los molinos de extracción de la biomasa o bien conocida como bagazo, los cuales dan su materia prima que es ese, combustible a las calderas y estas producen la energía para convertir el agua en vapor y así poner en marcha todos los equipos necesarios para la producción de azúcar y la obtención de energía eléctrica (Hugot, 1984).

## **2.2. Extracción de bagazo para la generación de energía**

La obtención de energía eléctrica en una planta de cogeneración se logra al convertir el sistema de producción simultáneo de electricidad y vapor, desde un único combustible para los trabajos necesarios.

La producción de energía eléctrica se define como el ciclo convencional (ciclo de combustión turbina generador eléctrico); es el argumento en la generación con base a base de biomasa se aprovechan los gases de escape o el vapor, que resultan de altas temperaturas, para producir calor, los que se utilizan en los procesos industriales (Schallenberg *et al.*, 2008).

El aprovechamiento de estos procesos puede llegar al 70 % de eficacia con una máquina nueva y su mantenimiento basado en la confiabilidad. Debido a que la eficiencia de estas máquinas está limitada por el ciclo de trabajo, hay que tomar en cuenta que los equipos auxiliares para su funcionamiento operen con una alta confiabilidad, y el que se encuentre en espera esté disponible siempre.

### **2.2.1. Calderas de vapor**

Consiste en un intercambiador de calor, el cual es un equipo que aumenta la temperatura del agua hasta transformarla en vapor a tal temperatura que se pueda transformar este calor en energía mecánica para el funcionamiento de la turbina.

La operación eficiente de equipos generadores de vapor siempre ha presentado dificultades para mantener el adecuado funcionamiento del sistema, así como su confiabilidad y disponibilidad. Lo anteriormente mencionado ha mejorado gracias a los avances en el conjunto de técnicas de sensores, software

de control y generador de vapor, así como de hardware. La operación eficiente hoy se traduce en balanceo de masas de energía o el rendimiento del equipo con requisitos de seguridad y mandatos de emisiones (Kitto, 2005).

Según Kitto (2005):

Los procedimientos que se llevan a cabo para ejecutar equipos de generación de vapor son variables, y dependen del tipo de sistema, combustible y aplicación; respecto a los sistemas, pueden ser simples y totalmente automatizados, y requieren un mínimo de atención, tales como pequeñas calderas a gas o vapor, para el complejo. Es necesario requerir la atención y la interacción constante del operador, así como de una gran planta de servicios públicos. Sin embargo, hay un conjunto de operaciones esenciales relativamente comunes, y pautas que protegen al personal y optimizan los procesos. (p. 906)

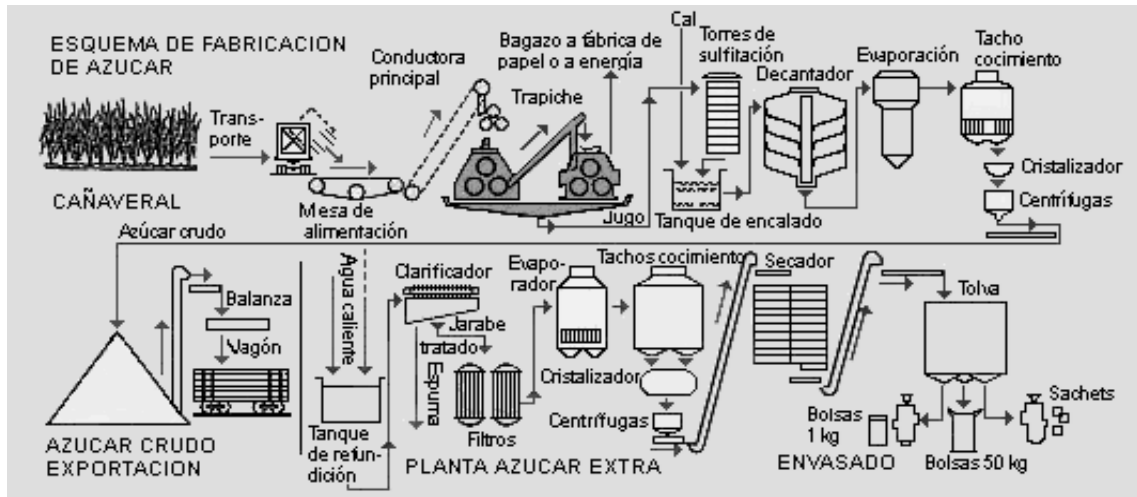
También Kitto (2005), menciona que el “Rendimiento y fiabilidad del equipo: al momento de combinarlas con procedimientos específicos del equipo, estas pautas permiten las mejores operaciones posibles” (p. 906).

### **2.2.2. Servicios auxiliares**

Los equipos auxiliares son los existentes para la operación; solamente hacen posible el funcionamiento adecuado de los molinos, las mesas de transporte, picadoras, básculas, así como también propician toda la comunicación necesaria en cada proceso (González, 2015).



Figura 1. Sistema de un ingenio azucarero



Fuente: Grupo Técnico RIVI. *Sistemas de Lubricación en Plantas de Producción de Azúcar*. Consultado el 17 de julio de 2021. Recuperado de <http://www.rivi.net/aplicaciones/azucar-canya/sistemas-de-lubricacion-plantas-de-produccion-de-azucar.pdf>.

### 2.2.3. Mejoramiento de la calidad

Según la norma ISO 9000:2005, la mejora continua de la calidad consiste en “La actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos” (Norma internacional, 2005, p.18).

Según Miranda, Chamorro y Rubios (2007):

El mejoramiento de la calidad se presenta al llevar a cabo los cambios necesarios para que se logren los máximos niveles de calidad que en períodos anteriores presentan la siguiente secuencia para la resolución de problema en beneficio de la mejora continua

- Intentar la necesidad de mejora.
- Definir los proyectos de mejora.
- Establecer los equipos oportunos para cada proyecto.
- Identificar las causas del problema.
- Brindar una solución y comprobar su efectividad.
- Indagar las renuencias al cambio por parte de los trabajadores.
- Implementar controles para que las mejoras logradas sean constantes. (pp. 37-38).

### **2.3. Estación de extracción**

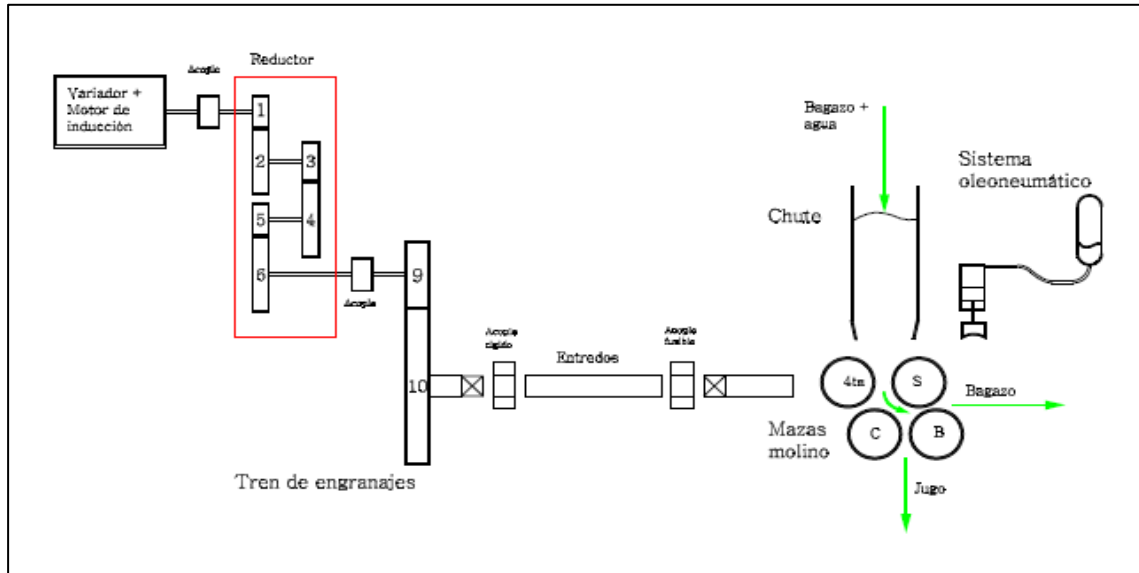
Se le llama estación de extracción al área que constate de 6 y 5 molinos en serie, para la obtención de jugo de caña.

#### **2.3.1. Descripción del molino de caña**

La figura 2 muestra el esquema de un característico molino de caña funcionando. El bagazo es transportado al molino por medio de una banda transportadora que alimenta la tolva, el cual, gracias a la rotación de las mazas y la presión generada por los cabezotes, pasa a través de las mazas del molino, y de esta forma se extrae el jugo posteriormente almacenado en tanques y que será enviado al molino anterior.

Los chutes de los molinos de los ingenios de Guatemala no tienen la capacidad para modificar el volumen de bagazo y la geometría de salida de la tolva. Es probable que se puedan controlar la altura de chute, el torque, la extracción, la velocidad angular. Las variables posibles de modificar son torque, el área de la sección de salida del chute y el flujo de agua de imbibición.

Figura 2. **Molino de caña maniobrado por motor eléctrico**



Fuente: Rosero *et al.* *Evaluación del desempeño dinámico y la eficiencia energética en molinos de caña de azúcar con accionamientos térmicos y eléctricos.* Consultado el 20 de junio de 2021. Recuperado de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/1478/V.16No.2-p.25-32.pdf?sequence=2>.

### 2.3.2. **Molinos accionados por medio de motor de inducción**

En la figura 2 se muestra el molino accionado por un motor eléctrico, el cual funciona con energía eléctrica y la convierte en movimiento rotacional.

El motor de corriente alterna (A.C.), tiene la capacidad de girar a 1800, 1200 ó 900 rpm, y logra una relación de transmisión típica más pequeña 360 a 1, y por ende menos transmisiones mecánicas y menor fricción en vacío y en operación.

### **2.3.3. Estrategias llevadas actualmente para el control**

Regulación de altura de la tolva de alimentación: el molino 1 lleva a cabo una estrategia distinta de control de altura de la tolva a diferencia de otros molinos, la cual gira a velocidad constante fijando la tasa de molienda del tren de molinos; la señal medida de altura de la tolva  $h$ , se compara con la referencia en el controlador  $h$ , que altera la velocidad del conductor de caña destinada para alimentar la tolva. En los molinos del segundo al último, el transmisor de nivel  $h$ , mide el nivel de bagazo y se mide con la referencia en el controlador  $h$ , para modificar la velocidad del motor  $\omega$  y conservar el nivel de bagazo en la referencia deseada  $h$ .

Regulación de torque: se compara con la referencia en el controlador, que modifica la posición de la compuerta de la tolva de alimentación para conservar el torque producido abajo del nivel crítico, debido a que un par sobrante puede poner en riesgo las trasmisiones mecánicas.

### **2.3.4. Relevancia del control en el proceso de extracción de jugo**

Los tándems de molinos con funcionamiento combinado o individual en las mazas exigen distintos abordajes de automatización y control. En los tándems de funcionamiento combinado por el mismo motor eléctrico la diferenciación de la velocidad de cada maza se hace por igual, existiendo la velocidad lineal (tangencial) igual para todas las mazas siempre; mientras tanto, la velocidad angular es distinta para cada una, equitativamente, por medio de una relación (según la estructura mecánica de los reductores).

En ciertos ingenios, se implementa un accionamiento individual de las mazas por motor eléctrico por un sistema conocido como planetarios, manteniendo la velocidad lineal (tangencial) equilibrada para todos, y la velocidad angular diferente equitativamente entre ellos, por medio de una relación.

## **2.4. Elementos primarios de control**

Son los elementos que están en contacto directo con el proceso o materia prima y se encarga de medir los cambios de las propiedades físicas.

### **2.4.1. Variables de medición**

Endress+Hauser (2005), define que: “La generación de la variable de medición en el transmisor es un proceso de tres etapas. El sensor envía su señal al transmisor, que la procesa y la convierte en una señal de salida estandarizada que ya puede ser utilizada con cualquier propósito” (p.191).

#### **2.4.1.1. Nivel**

En la industria, la medida de un nivel es relevante, desde el puesto de perspectiva de la marcha correcto del proceso, y de la atención prestada al balance adecuado de materias primas o de productos finales (Creus, 2010).

El transmisor de nivel inteligente facilita la interpretación del nivel real (que elimina o compensa la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), así como la eliminación de las falsas alarmas (tanque con olas en la superficie causadas por el agitador de paletas para su movimiento), y la factible medición del aparato en todos los puntos de la línea de transmisión.

### **2.4.1.2. Presión**

Entre los diferentes equipos que se utilizan en la industria para medir presión, se destacan los: en primer lugar, el manómetro y segundo lugar el transmisor de presión.

El manómetro se utiliza para lectura de presión y generalmente tiene una conexión con el proceso y un display (cuando es electrónico) o puntero (cuando es mecánico) para que pueda leerse la presión de manera local. Normalmente son dispositivos económicos y son utilizados cuando no necesita transmitir la presión a un sistema de control y además no es necesaria la exactitud. Por ejemplo, presión de bomba, presión estática, entre otros.

El transmisor de presión inteligente puede combinar con su propia electrónica la tecnología de sensor.

Por lo general tiene que reunir las siguientes características:

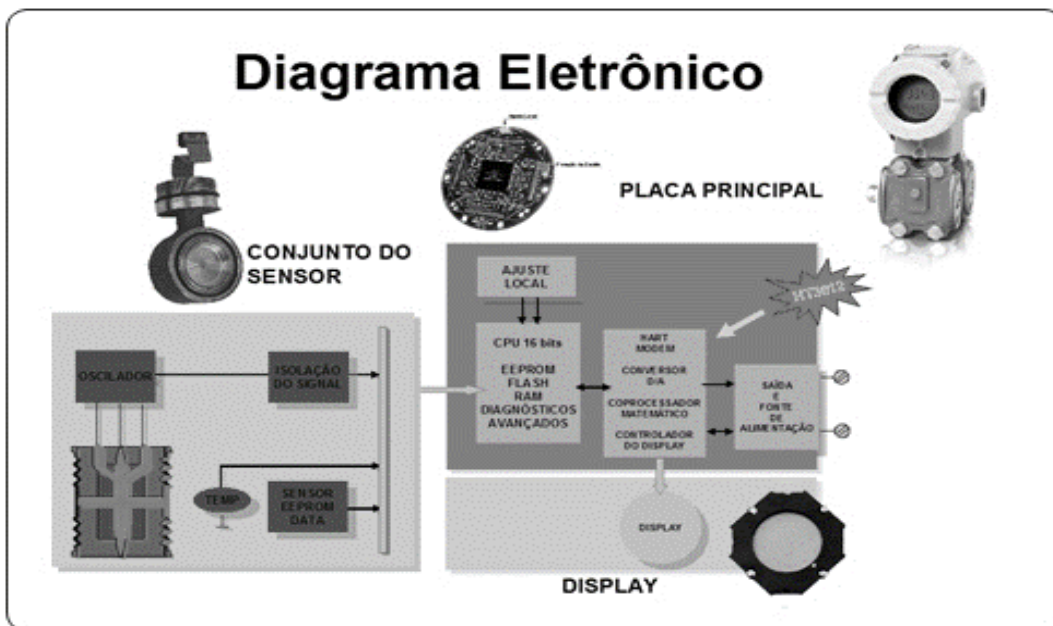
- Carácter puntual medible de salida.
- Interfaz de comunicación digital (HART/4-20mA, Foundation Fieldbus, Profibus-PA).
- Prestación de presión y temperatura.
- Duración o estabilidad.
- Permitir la calibración fácil.
- Autodiagnósticos.
- Práctica instalación y calibración.
- Alta confiabilidad.
- Costos mínimos y el menor tiempo de instalación y mantenimiento.
- Disminución de abuso/agudeza (proceso).

- Ahorro de espacio cuando se instala.
- Propiciar la actualización para la tecnología Foundation Fieldbus y Profibus PA.
- Protector de transientes.

Existen algunos aspectos que deben ser del conocimiento de los usuarios para no pagar más por algo que no van a usar o que su aplicación no necesita, y que se enumeran a continuación:

- Exactitud y variación de rango: si se necesitan equipos con tales requisitos, hay que examinar las fórmulas de exactitud y ver que esta no es ramificada en toda la banda. También es necesario tomar en cuenta otras características, tales como el bloque de PID, el tiempo de respuesta, totalización, entre otros., que pueden dar o ser más funcionales en sus aplicaciones.
- Protección a la inversión: es preciso verificar el precio de los repuestos, y que sean intercambiables entre modelos, así como la simplicidad de especificación, la modernización para otras tecnologías (Fieldbus Foundation, Profibus PA), el suministro de servicios, el soporte técnico, el tiempo de reposición, entre otros. Dichos factores podrían afectar la disponibilidad de la fábrica.

Figura 3. Transmisor de presión HART/4-20mA con sensor capacitivo



Fuente: Smar Technology Company. *Características, Tecnologías y Tendencias*. Consultado el 12 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.smar.com/espanol/articulos-tecnicos/medicion-de-presion-caracteristicas-tecnologias-y-tendencias>.

Los transmisores de presión microprocesados poseen la considerable ventaja de propiciar de una mejor manera la interacción con el usuario, con interfaces de práctico uso. Sumado a esto, sus cualidades de autodiagnos proporcionan la identificación de problemas. Con la llegada de las redes fieldbus, es fácil obtener los beneficios de la tecnología digital de una manera óptima. Estos transmisores tienen mejor exactitud y estabilidad electrónica que superan a los modelos analógicos, además de brindar ajustes y calibraciones. La tecnología digital también facilita que se utilicen poderosos algoritmos que favorecen el desempeño y la exactitud de medición, así como el monitoreo en línea de toda la vida del equipo.



### 2.4.1.3. Flujo

Es un aparato instalado en una tubería, que facilita la definición del flujo volumétrico o caudal que está circulando por la misma, parámetro que es de muchísima importancia en los procesos que tienen que ver con el transporte de un fluido. La mayor parte de los medidores de caudal están fundamentados en un cambio del área de flujo, lo que ocasiona un cambio de presión relacionado con el caudal a través de la ecuación de Bernoulli.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (\text{Ec. 01})$$

- Tipos de medidores de caudal

Las herramientas que llevan a cabo la medida de un caudal se denominan normalmente, caudalímetros o medidores de caudal, en los que se integran dispositivos especiales para medir y calcular el volumen que ha atravesado la conducción.

Es preciso mencionar que la medida de caudal volumétrico en la industria se realiza generalmente con elementos que provocan un diferencial de presión cuando atraviesa el fluido.

Entre dichos elementos se pueden mencionar:

- Placas con agujeros.
- Toberas.
- Representación de tubos Venturi.
- Conductos Pitot.
- Conductos Annubar.

- Medidor de codos.
- Medidores de área inconstante.
- Medidores de placa.

Se calcula que en la actualidad por lo menos un 75 % de los medidores industriales utilizados son dispositivos de presión diferencial, siendo el más usado la placa de orificio.

- Ventajas

- Construcción sencilla que no incluyen partes móviles.
- Funcionamiento fácilmente comprensible.
- Son económicos especialmente si se instalan en tuberías grandes, comparados con otros medidores.
- Se pueden utilizar para la mayoría de los fluidos.
- Existe gran cantidad de publicaciones sobre sus diferentes usos.

- Desventajas

- El tamaño del campo de medida es menor que el del conjunto de otros tipos de medidores.
- Podría ocasionar pérdidas considerables.
- La señal de salida no está alineada con el caudal.
- Deben tomarse en cuenta unos tramos rectos de tubería para adecuar el flujo y sea lo más laminar posible.
- Es probable que se produzcan efectos de envejecimiento, o sea que se genera una acumulación de depósitos o la erosión de las aristas vivas.

#### 2.4.1.4. Temperatura

Hay gran cantidad de dispositivos útiles para medir temperatura, sin embargo, solamente algunos se adaptan a su uso en ambientes industriales. En la tabla siguiente se encuentran los más relevantes:

Tabla I. Principios y tipos de medición de temperatura

PRINCIPIO GENERAL	TIPO	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	ALCANCE (°C)
ELÉCTRICOS	Termocupla	La f.e.m. inducida en dos alambres de distintos metales o aleaciones depende en forma directa de la diferencia de temperaturas entre los dos extremos soldados (juntas).	-200 a 2000
	Termoresistencias	Se infiere la temperatura a partir de la variación en la resistencia eléctrica de un metal, generalmente platino, cobre o níquel.	-200 a 700
	Termistores	Similar al anterior, pero de un semiconductor. La resistencia tiene relación inversa con la temperatura.	< 300
EXPANSIÓN TÉRMICA	Sistemas de dilatación	Son elementos que aprovechan la capacidad de los fluidos (líquidos y gases) de dilatarse con la temperatura. Generalmente se asocian a transmisores neumáticos.	-195 a 760
	Termómetros de vidrio	Similares a los anteriores pero para indicación sobre una escala.	-200 a 350
	Bimetálicos	Consisten en dos piezas de aleaciones de distinto coeficiente de dilatación térmica que producen cambios de forma por efecto de la temperatura.	-50 a 500

Continuación tabla I.

<b>PRINCIPIO GENERAL</b>	<b>TIPO</b>	<b>PRINCIPIO FUNCIONAMIENTO</b>	<b>DE ALCANCE (°C)</b>
RADIACIÓN TÉRMICA	Pirómetros ópticos, de radiación total y de relación	Sistema que mide la temperatura basándose en la radiación que emite la superficie cuya temperatura es censada. El elemento sensible no está en contacto con el cuerpo sobre el que se practica la medición.	-40 a 4000
VISUALES	Indicadores de color	Se trata de compuestos químicos que tienen la propiedad de cambiar su color con la temperatura. Solo sirven de indicación	-50 a 1000

Fuente: elaboracion propia.

## **2.4.2. Transmisores**

Un transmisor es un dispositivo electrónico que envía una señal del sensor hacia el controlador lógico programable. Otros autores afirman lo siguiente:

Se definen como los terminales electrónicos que resuelven la señal que representa la variable física medida por el sensor y la transforma en una señal de salida nivelada para su registro, control o manipulación por el sistema. También puede disponer de un display o indicador local que muestra las lecturas de los valores medidos. (Endress+Hauser, 2005, p.190)

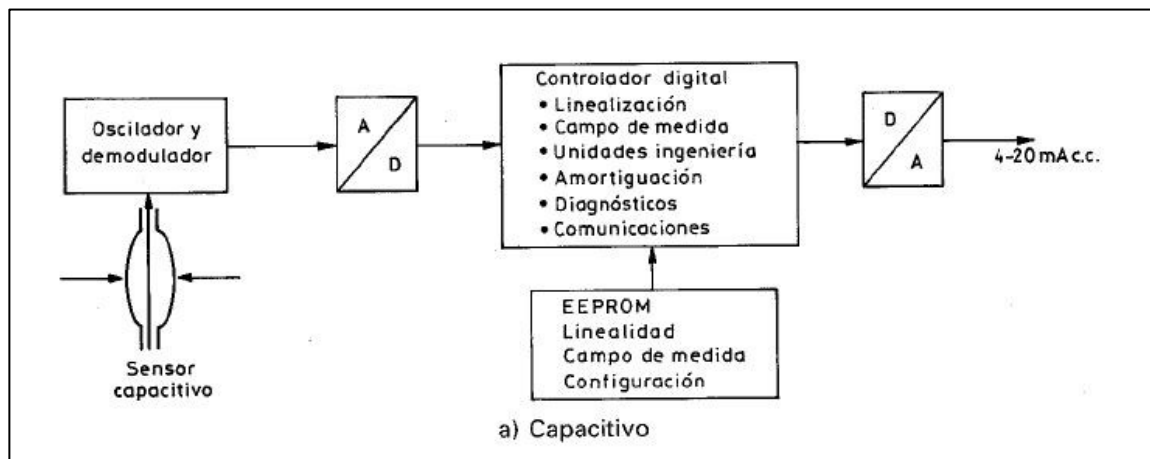
### **2.4.2.1. Capacitivos**

Estos sensores están basados en la variación de capacidad que se genera en un condensador formado por dos placas fijas y una membrana sensible central, unido a una carcasa en la cual se les aplica una presión diferencial a

través de dos diafragmas externos. Por medio de un fluido (aceite) se realiza la transmisión de la presión que rellena el interior del condensador.

El desplazamiento del diafragma sensible es de únicamente 0,1 mm como máximo. Un circuito formado por un oscilador y demodulador modifica la variación de capacidad en señal analógica. Esta, a su vez, es transformada en digital y se traslada a un microprocesador inteligente que la convierte en una señal analógica de 4-20 mA cc y sustenta las comunicaciones digitales.

Figura 4. **Transmisor inteligente capacitivo**



Fuente: Creus. (2010). *Instrumentación Industrial*.

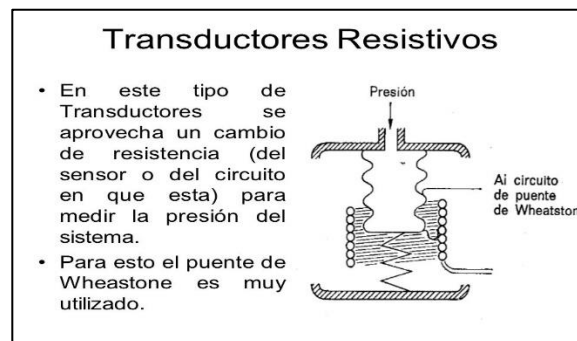
#### 2.4.2.2. Resistivos

Estos transmisores son elementos elásticos que varían la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro adopta la forma un hilo continuo o también puede ser que se enrolle en una bobina siguiendo un valor lineal o de resistencia.

Son muy sencillos, y su señal de salida es bastante potente para brindar una corriente de salida aceptable sin necesidad de amplificación para el funcionamiento de los instrumentos de indicación. A pequeños movimientos son insensible del contacto del cursor, pero con la vibración son muy sensibles; también presentan una estabilidad pobre en el tiempo.

El puente de Wheastone: consiste en una conexión de 4 resistencias y 1 voltímetro conectada a un voltaje a variar 1 de las resistencias; el voltímetro tendrá una variación y así es como se podría medir la presión.

Figura 5. **Puente de Wheastone**



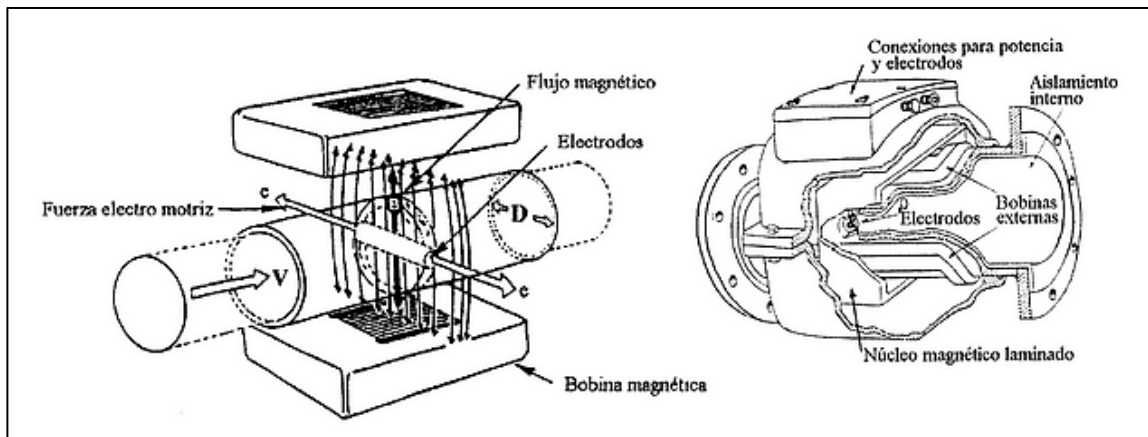
Fuente: Creus. (2010). *Instrumentación Industrial*.

### 2.4.2.3. **Electromagnéticos**

Estos transmisores se utilizan primordialmente para la medición de flujo; su funcionamiento se basa en la ley de Faraday la cual explica que el voltaje inducido de un conductor que se agita perpendicularmente a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad de dicho conductor representado por el líquido. Gracias a la proporcionalidad entre la velocidad del fluido y la Fem inducida es posible medir el caudal.

El medidor consiste en un tubo de caudal, dos bobinas, de dos a tres electrodos y un transmisor que se encarga de convertir los milivoltios en una señal adecuada para los equipos de indicación.

Figura 6. Partes del medidor electromagnético



Fuente: Procesos Industriales. (2021). *Medidor electromagnético*. Consultado el 12 de mayo 2021. Recuperado de: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-medidor-placa-de-impacto>.

Para calcular el caudal se utiliza el registrador magnético de estereotipado alterna, en el cual se dispone una corriente alterna a las bobinas para formar un campo magnético alterno cuyo efecto merma la polarización, los dos electrodos en la superficie interior del tubo son los encargados de captar la señal del líquido que circula entre los mismos. Para generar un carácter que solo estribe de la velocidad, se comparan en el receptor dos señales que se obtienen del mismo campo magnético, y son la señal de salida ( $E_s$ ) con una señal de referencia de línea ( $E_r$ ). El valor  $E_r$  entregado suprime los caracteres de ruido externo a la que está expuesto el medidor.

Con el contador magnético de corriente directa tocada se eliminan las constantes de voltaje de interferencia. Incluyendo un tercer electrodo y conectándolo a la masa, es posible eliminar las señales de ruido generadas por motores y líneas eléctricas de potencia, pues la unidad medida está puesta a tierra con relación a dichas señales de ruido, haciéndolo insensible a las mismas sin necesidad de realizar ajustes a la instalación.

Las medidas de caudal en ambos sentidos se llevan a cabo de dos formas: la primera con un interruptor que invierte la señal del receptor indicando el sentido del caudal de acuerdo con su posición y al calibrarlo permanezca invariable en cualquier sentido. La otra forma consiste en elevar el cero del instrumentó al 50 % de la escala, la indicación oscilará alrededor de este valor de la escala.

La instalación del contador debe incluir 5 radios de tramo recto de tubería aguas arriba y 2 a 3 diámetros aguas abajo. El medidor puede ser instalado en tuberías horizontales, verticales o inclinadas. Lo más importante es mantener los electrodos en un plano horizontal para asegurar un contacto continuo con el fluido.

- Ventajas
  - Se utilizan para líquidos sucios, viscosos y contaminados.
  - Posee precisión:  $\pm 0,25$  a  $\pm 1\%$ .
  - No impide el flujo en la línea.
  - Los requisitos de potencia son reducidos.
  - Se pueden usar bidireccionalmente.



- Desventajas
  - Es poco sensible a los perfiles de velocidad y necesitan conductividad de  $5\mu\Omega/\text{cm}$ .
  - Trabajan solamente trabajan con fluidos conductores.
  - Son algo pesados, en especial cuando se trata de grandes tamaños.
  - Se necesita un cuidado específico en la instalación eléctrica.
  - El campo magnético generado por motores y otros equipos les afecta.
  - El costo es considerablemente alto.
  
- Aplicaciones

Esta clase de instrumento es ideal en aplicaciones para monitoreo y control de caudal de agua y aguas residuales, por ejemplo, para abastecimiento, descarga de lodos y plantas de tratamiento de agua. En las aplicaciones industriales, es útil en el proceso químico de alimentos y bebidas, farmacia, pasta de papel, la minería, la industria del automóvil y químicas. Mide fácilmente fluidos corrosivos.

### **2.4.3. Sensores**

Dispositivo electrónico encargado de medir la variable del proceso a través de una señal eléctrica. Otros autores indican:

Los sensores captan el valor de la variable de proceso y envían una señal de salida predeterminada. El sensor puede formar parte de otro instrumento (por ejemplo, un transmisor), o bien puede estar separado. También se

denomina detector o elemento primario por estar en contacto con la variable, con la que utiliza o absorbe energía del medio controlado para dar, a sistema de medición, una indicación en respuesta a la variación de variable. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, entre otros. (Creus, 2010, p. 23)

#### **2.4.3.1. Inductivos**

Un sensor de proximidad tiene la facilidad de detectar objetos metálicos que se acercan al sensor, sin haber un contacto físico con los mismos. Los sensores de proximidad están clasificados más o menos en los siguientes tres tipos, de acuerdo con su principio de funcionamiento: el tipo de oscilación de alta frecuencia que utiliza la inducción electromagnética; el tipo magnético que emplea un imán; y el tipo de capacitancia que aprovecha los cambios en la capacidad eléctrica.

Un campo magnético de alta frecuencia es obtenido por la bobina L en el circuito de oscilación. Cuando un objeto se aproxima al campo magnético, circula una corriente de inducción (corriente de Foucault) en el elemento, debido a la inducción electromagnética. A medida que el objeto se acerca al sensor, conjuntamente incrementa el flujo de corriente de inducción, lo cual genera una carga en el circuito de oscilación haciendo que crezca. Debido a esto, la oscilación se crece o decrece. El sensor revela este cambio en el estado de oscilación por medio del circuito de detección de amplitud, y genera una señal de detección.

## 2.5. Mantenimiento

El mantenimiento es la combinación de actividades por medio de las cuales los activos o sistemas se preservan o se devuelven a un cambio en el que es posible llevar a cabo las ocupaciones productivas (Duffuaa, Raouf y Dixon, 2007).

Este tiene como objetivo fundamentar la competitividad de la empresa, por lo que es primordial maximizar la seguridad de los equipos, minimizando las fallas que generan paros no programados, cumpliendo así con los requerimientos de operación (Duffuaa *et al.*, 2007).

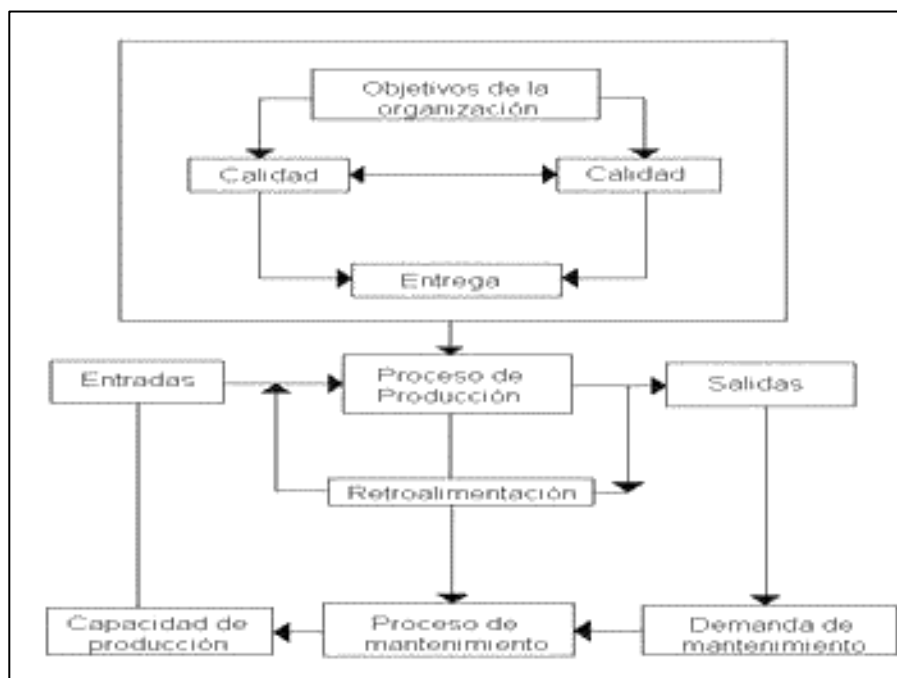
El sistema se define como la agrupación de los componentes que realizan un trabajo de forma coordinada con la misma finalidad o el mismo objetivo, por lo que el mantenimiento es entendido como un método que junta las acciones que se realizan con fabricación. En la siguiente figura se dan a conocer las relaciones dentro de una organización con sus objetivos, incluyendo los procesos de producción y mantenimiento (Duffuaa *et al.*, 2007).

El sistema de producción suele ser la transformación de primas que se incorporan por medio de mano de obra y los procesos productivos en productos finales para satisfacer las necesidades de los clientes, siendo esta su salida principal: los productos terminados, pero también ocurre la demanda de mantenimiento como resultado de estas actividades, que es una salida secundaria del proceso productivo (Duffuaa *et al.*, 2007).

En el sistema de mantenimiento esa petición de servicio que procede del asunto productivo es la entrada, al través de la sensatez, experiencia, mano de obra y repuestos, obtiene como salida de su proceso equipos reparados en buenas condiciones con la capacidad de producción (Duffuaa *et al.*, 2007).

El ecuánime y la conciencia de ser de un proceso de producción es la elaboración de utilidades y, como un objetivo secundario, incluye los aspectos técnicos y económicos del proceso productivo, el sistema de sostenimiento tiene que ver en esos objetivos, reduciendo el tiempo de atajo durante la producción, ayuda a mejorar y a mantener la excelente calidad de los productos, aumenta la productividad y las entregas puntuales a los compradores, se deben estudiar más los procedimientos de sostenimiento como se ha hecho con los de producción (Duffuaa *et al.*, 2007).

Figura 7. **Relación entre organización, objetivos y el mantenimiento**



Fuente: Duffuaa *et al.* (2007). *Sistemas de mantenimiento*.

### **2.5.1. Fallas de mantenimiento**

Es importante comprender cómo son presentadas estas fallas porque ocasionan riesgos potenciales, y esto ayuda a entender cómo fallan los equipos y así se pueden mejorar las tareas de mantenimiento correctivas o preventivas. Se lleva a cabo por medio del análisis de modo de falla, y a cada uno le pertenece una tarea, el modo de falla se logra entender como la forma en que un equipo no funciona. (Aguilar, Torres y Magaña, 2010).

La falla puede darse en dos estados diferentes: en un caso el equipo deja de andar y en el otro el equipo mueve, pero no llena las posibilidades de la operación respecto al estándar de desempeño deseado, esta es la falla funcional (Aguilar et al., 2010).

Las empresas certificadas ISO 14001 quitan en balance la eficiencia energética desde la perspectiva medioambiental, se considera como una falla el aumento del consumo energético y el bajo rendimiento, la eficiencia energética se debe considerar ya que afecta la rentabilidad de las empresas (Altmann, 2021).

Como nuevos modos de falla, la baja eficiencia energética puede ser causada por:

- Desgaste y deterioro.
  - Errores humanos en la ejecución de las tareas de mantenimiento, y en la operación del equipo.
  - Dificultades de diseño (Altmann, 2021).

- La eficiencia energética tiene que ver con:
  - Diseño del equipo.
  - Cómo se opera el equipo.
  - Cómo se conserva el equipo (Altmann, 2021).

### **2.5.2. Tipos de fallas**

Por el principio las fallas se pueden clasificar según, Valbor, S. (2021), en:

- Fallas por boceto incorrecto del equipo: los encargados de diseñar las máquinas no consideran algunas condiciones en las que podrán trabajar los equipos, por lo que se debe cambiar el diseño.
- Fallas por mal uso: consisten cerca del 39 % del total de fallas en un equipo, por utilizarlo para funciones extrínsecamente del diseño o medidas que se establecieron para su buen uso.
- Fallas por deterioro del dispositivo: de los más comunes, se puede mencionar desgaste, fatiga, corrosión, cavitación, representan un 11 % del total de fallas.

Para Valbor, S. (2021) las fallas se clasifican también por el tiempo en que aparecen:

- Fallas tempranas: ocurren al comienzo del ciclo de vida de los equipos, al iniciar la operación de equipos nuevos, al poco tiempo desaparecen, también por ajustes hechos por mantenimiento y producción.

- Fallas adultas: se dan a medio ciclo del tiempo de vida de los equipos, ocasionadas por factores externos como mala operación, accidentes, mala calidad de mantenimiento.
- Fallas tardías: en el final del tiempo de vida de los equipos por el desgaste normal de los componentes debido al uso, se debe considerar la decisión de sustituir estos equipos o hacer overhaul, lo que sea más rentable.

### **2.5.3. Filosofías de mantenimiento**

La filosofía de mantenimiento de una empresa consiste en propiciar la optimización de la producción y disponibilidad, sin dejar de lado la seguridad, con el mínimo de personal posible para llevarlo a cabo (Duffuaa *et al.*, 2007). Para lograrlo, se deben aplicar las siguientes filosofías.

#### **2.5.3.1. Mantenimiento correctivo**

Esta clase de mantenimiento solo se lleva a cabo cuando se afecta la operación y cuando no se justifica el costo de otro tipo de mantenimiento (Duffuaa *et al.*, 2007).

Al momento de presentarse un paro no programado y que afecta la operación de la empresa genera costos e improductividad, si solo se hace este tipo de mantenimiento puede provocar que el mantenimiento preventivo, si se hace, no sea productivo, pero también se puede aprovechar para mejorar el plan de mantenimiento preventivo (Valbor, 2021).

### **2.5.3.2. Mantenimiento preventivo**

Se realiza con la frecuencia establecida, tomando en cuenta la variable con que se controla, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y por medio de los estándares para cada tipo de máquina, se hace de forma programada y presupuestada (Valbor, 2021).

- Mantenimiento preventivo basado en el tiempo o uso: es el mantenimiento planeado que se hace para evitar fallas potenciales (Duffuaa *et al.*, 2007).
- Mantenimiento preventivo basado en la condición: conocido como mantenimiento predictivo, se hace manteniendo bajo control las variables que representan la condición de los equipos (Duffuaa *et al.*, 2007).

Un mantenimiento preventivo consiste fundamentalmente en la elaboración de órdenes que describan las operaciones que se deben realizarse y con la regularidad con la que se debe efectuar. El mantenimiento preventivo en si es un grupo de tareas que son planeadas anticipadamente y que tienen como principal objetivo conservar las instalaciones en estado óptimo, con lo cual se debe anticipar a las fallas.

El mantenimiento preventivo es sistemático, lo que significa que se realizan por horas de funcionamiento de la producción o en lapsos de tiempos. Se registran los datos de los equipos para saber en cuanto tiempo se presentan las fallas.

El fin principal del mantenimiento preventivo es garantizar que los equipos se encuentren disponibles en todo momento, maquinaria, sistemas, e infraestructura en la industria, empresas o instituciones, para el cual se pretende



evitar el máximo de paros los cuales a su vez provocan interrupciones en los procesos y actividades en la empresa o institución.

Tabla II. **Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Evita reparaciones significativamente costosas	Se desperdicia vida útil de los quipos o maquinaria.
Aumenta la disponibilidad de los equipos o maquinaria	Requiere programar modelos para optimizar los procesos
Permite elaborar planes para coordinar actividades y recursos	Es necesario invertir entre 2 a 4 años para implementarlo.

Fuente: elaboración propia.

### **2.5.3.3. Mantenimiento predictivo**

En el mantenimiento predictivo se plantean una serie de pasos o ensayos no destructivo, los cuales son encaminados a cumplir el seguimiento de los equipos y del funcionamiento de estos, con el fin de detectar indicios o advertencia que muestren que los equipos o maquinas o alguna de sus partes, no estén trabajando de manera óptima. El mantenimiento predictivo es una serie de técnicas donde se integran variables químicas, eléctricas o físicas para establecer el estado del equipo o maquinaria. (Olarte, Botero y Cañon, 2010).

Un plan de mantenimiento predictivo consiste en una programación en la que se fundamenta en una medición base y se da un seguimiento con mediciones constantes y periódicas en la cual se definen variables en instalaciones, equipos, maquinarias halladas en la industria, la recopilación e interpretación de datos permite la detección de fallas, esto conlleva a realizar un plan de mantenimiento que contribuya a la toma de decisiones para evitar eventos catastróficos en instalaciones, equipos o maquinaria; por ende, el

mantenimiento predictivo es un procedimiento que facilita el diagnóstico de fallas antes de que ocurran y minimizar los costos por mantenimiento correctivo o preventivo.

El objetivo primordial es determinar el momento en que un componente comenzará a fallar en algún equipo o maquinaria. El fin de esto es conocer los equipos, con el fin de utilizar las técnicas y los instrumentos para realizar el mantenimiento.

Tabla III. **Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite identificar fallas en máquina y equipos de forma rápida y eficaz	No permite una planificación tan buena como el utilizado en el mantenimiento preventivo.
Disminuye significativamente los costos de mantenimiento.	Es necesario instrumentación sofisticada.
La mayoría de las veces no necesitamos sacar de línea el equipo para realizarle mantenimiento predictivo	El mantenimiento depende grandemente de la confiabilidad del diagnóstico
No se aplican planes preventivos innecesarios	Un monitoreo mal realizado puede ocasionar fallas en la maquinaria o equipo
Reducción de pérdidas de materia prima por paros no planificados y arranques innecesarios.	El personal, debe tener una alta cualificación, lo que lleva a que existan muy pocas personas capacitadas
Mejora de la fiabilidad en la producción en forma global	Implementar equipos de muy alta tecnología tiene un costo significativo

Fuente: elaboración propia.

#### **2.5.3.4. Mejoras en el mantenimiento de los sistemas de producción**

Debido a que siempre existe una necesidad de incrementar la disponibilidad de maquinaria, equipos y recursos, se desarrollan técnicas novedosas de mantenimiento que facilitan el uso de los recursos más eficientes,

y un ejemplo de ello es el mantenimiento centrado en la confiabilidad, lo cual lo indica la norma NFPA 70B, las cuales nos recomienda prácticas para el mantenimiento de equipos eléctricos, así como también el mantenimiento productivo total. Las técnicas de mantenimiento se deben encaminar a garantizar el funcionamiento de las acciones que ejecutan los equipos, a un más que a los equipos mismos. Esto significa que se debe buscar siempre tener los equipos como si estuviesen nuevos, o en condiciones óptimas para realizar bien su trabajo (González, 2015).

Hay que tomar en cuenta el conocimiento con precisión para las funciones que ejecutan los equipos, a su vez conocer precisamente las condiciones que dificultan el desempeño o interrumpen su funcionamiento. El óptimo mantenimiento se puede llevar a cabo al actualizar la maquinaria y en condiciones óptimas de operación, pero esto será posible solo con la colaboración con los diferentes departamentos, estableciendo un esquema sobre calidad total, pero enfocado a equipos, procesos y sistemas.

#### **2.5.3.5. Mantenimiento de oportunidad**

Éste se realiza cuando ocurre algún paro general y se pueden hacer tareas de mantenimiento (Duffuaa *et al.*, 2007).

Al aprovechar un paro de producción, se realizan tareas de mantenimiento sin ocasionar más tiempo perdido de producción, o bien paros en otras áreas que anteceden el proceso para poder trabajar en estos espacios.

#### **2.5.3.6. Detección de fallas**

Este tipo de mantenimiento está relacionado con el mantenimiento predictivo y se realiza para demostrar la presencia de fallas (Duffuaa *et al.*, 2007).

#### **2.5.4. Plan de mantenimiento**

Los equipos pueden fallar en los sistemas integrados por componentes que están destinados a cumplir alguna función, estos sistemas regularmente son: seguridad, eléctrico, de lubricación, mecánico, neumático, hidráulico y de control (García, 2004).

Para llevar a cabo el plan de mantenimiento se deberá realizar el listado de equipos, codificar los equipos para identificarlos y definir qué clase de mantenimiento funciona mejor para cada equipo, con el objetivo de mantener el nivel de disponibilidad imprescindible en la planta (García, 2004).

Las etapas necesarias para llevar a cabo un plan de mantenimiento son: determinación de las áreas de la planta, levantamiento de listas de equipos, definición de los sistemas y componentes de cada equipo, codificación de cada elemento a mantener y establecer modelo de mantenimiento. Al finalizar este proceso, se puede realizar una lista de tareas que formará el plan de mantenimiento (García, 2004).

##### **2.5.4.1. Tareas del plan de mantenimiento**

El grupo de las tareas de mantenimiento establecido forma el plan de mantenimiento, y constantemente está cambiando debido a ajustes con base en

los indicadores de desempeño y el análisis de lo que se va a presentar en la planta (García, 2004).

Para definir las tareas que tiene que incluir un plan de mantenimiento se deben seguir los siguientes pasos: análisis de la función, para saber la forma en que se debe realizar la función satisfactoriamente; vincular cada falla con las posibles causas; especificar y jerarquizar las causas, se analizan con el propósito de evitar que se presenten, y enumerar las tareas a partir de las fallas junto con sus especificaciones (Reyes, 2016).

## **2.6. Confiabilidad**

Los pasos necesarios para la evaluación de la confiabilidad en los mantenimientos facilitan el ejercicio de un control total sobre el sistema de mantenimiento y producción en cuanto a operación y sostenibilidad eficiente de los equipos, el tiempo que se logra el uso eficiente de los recursos y productos disponibles para la operación, la frecuencia con la cual ocurren las fallas es la medida de la confiabilidad de un equipo. De lo contrario, el equipo es el 100 % confiable; si la frecuencia es muy baja, la confiabilidad del equipo es aceptable, pero al ser muy alta, el equipo es menos confiable (Mora, 2009).

La confiabilidad se vincula estrechamente con la calidad de un producto y es con continuidad considerada un componente de ella. La calidad se determina cualitativamente como la cantidad de satisfacción respecto a los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se inclina por el tiempo en que el producto continúa en funcionamiento después de entrar en operación. Una baja calidad del producto representa una baja en su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada (Mora, 2009).

### **2.6.1. Calidad y competitividad**

Según Gutiérrez (2009):

El punto de vista de los clientes, el fin principal de las empresas y organizaciones es el de proveer un producto material o inmaterial, un bien o un servicio, ya que ellos necesitan productos con cualidades que llenen sus necesidades y expectativas. Estos productos resultan de un proceso, el cual se define como un conjunto de actividades entrelazadas o interrelacionadas que reciben determinadas materias que se transforman en un resultado o en un producto. Un proceso está constituido por varias etapas o subprocesos, mientras que los insumos contienen sustancias, materiales, productos o equipos. Los resultados posibles son un producto en sí o alguna modificación de las materias, que a su vez será una materia para otro proceso. (p. 4)

### **2.6.2. Gestión de activos**

“La creación de activos fijos es el proceso de adición, que pueden contener la definición del concepto, diseño, fabricación, instalación, puesta en marcha” (UNE –EN 16646, 2015, p. 9).

A este lo influyen el tiempo de vida y el uso adecuado que se le pueda dar en el proceso, desde su concepción hasta su retirada. Las mismas a su vez se ven influenciadas por las condiciones de la operación y que de esta depende la vida útil del mismo.

La gestión de los activos se define como las actividades coordinadas de una organización para crear valor a partir de los activos físicos. Más específicamente

la gestión de los activos físicos es la “Gestión óptima del ciclo de vida de los activos físicos para alcanzar de forma sostenible los objetivos de negocio establecidos” (UNE –EN 16646, 2015, p. 11).





### **3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

En la investigación se desarrollaron cinco fases basadas en un cronograma para cumplir con los objetivos propuestos. Además, se contó con el apoyo de técnicos especialistas en mantenimiento y se indicaron los equipos que se estudiaron. Estos equipos fueron seleccionados por medio de una muestra estadística tomando en cuenta el universo de equipos instalados en el área de extracción de jugo.

En la primera fase investigativa se obtuvo información bibliográfica de cada equipo que se intervino, de los equipos técnicos de monitoreo con los cuales se recolectaron los datos y una capacitación para utilizarlos. Se priorizo como objetivo de estudio el diseño del control de calidad, para el cual los mantenimientos son realizados en el periodo denominado no zafra o bien reparación.

En la segunda fase se recolectó la información de equipos por evaluar. El equipo de confiabilidad recolectó datos de las mediciones y analizó los equipos en rutinas, tomando como base su funcionamiento de operación, puesto que se tuvieron a la vista equipos que, por su posición de importancia en el proceso, puede que sea crítica o no crítica. Además, para seleccionar los equipos se aplicó el criterio de su ubicación, porque algunos permanecen a la intemperie y otros en condiciones extremas de temperatura y suciedad. Por eso, en primer lugar, se privilegió la puesta en marcha luego de haberlos intervenido para garantizar que las condiciones de instalación sean adecuadas y que cumplan con los requisitos de control de calidad.

La recolección de datos del funcionamiento se realizó en el período de producción llamado zafra que comprende seis meses. Para la toma de datos se emplearon rutinas de mantenimiento basadas en la confiabilidad, es decir, se crean instrucciones de mantenimiento fundadas en condición las cuales obtienen datos numéricos e imágenes, haciendo uso de los respectivos instrumentos de recopilación. Estos insumos fueron examinados para predecir fallas futuras o bien corregir las que se existen por medio del método causa raíz. Para analizar los datos obtenidos se utilizó el Ishikawa, con controles de calidad para determinar fallas y mejoramiento de los equipos electrónicos que se intervinieron de acuerdo con las fallas.

Como tercera fase se determinó en principio que todos los equipos electrónicos que corren el riesgo de sufrir daños por cualquier tipo de falla leve o bien crítica. Para esta investigación se estimaron equipos críticos los cuales, al sufrir una falla, pueden entorpecer el proceso de extracción de jugo. Estos equipos se usan 24 horas durante 180 días que tarda el periodo de zafra. El funcionamiento continuo es importante para la eficiencia de la producción. Si surge una falla se analiza con el método de causa raíz y se agrega la lista de chequeo respectivo en control de calidad de los mantenimientos realizados.

En la cuarta fase se analizó el sistema de calidad planteado con los resultados arrojados en los primeros meses de la investigación, con cada indicador planteado de pérdida de tiempo en todo el proceso en general.

La información obtenida en la evaluación de la calidad de los mantenimientos fue apreciada por indisponibilidades que se reflejan en pérdida de tiempo en la operación. En esta fase se analizaron las fallas recurrentes en los equipos y cómo pueden disminuirse. Por ello, se empleó de nuevo los PDCA

que significa: planear, hacer, verificar y actuar o ciclo de Deming para analizar las fallas.

Como quinta fase se establecieron periodos de revisión de procedimientos para garantizar la veracidad de la información y su actualización constante para que evitar la dependencia de lo instalado. De esta manera, se procura la mejora continua en todo lo que se hizo y se propone para su uso.



## 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestra el alcance de los resultados que se generaron en el transcurso de la investigación, acorde a los objetivos, el análisis y la comparación de todos los instrumentos de automatización e instrumentación, permiten generar un informe con los hallazgos que indican el área afectada, evidenciando las carencias a mejorar.

Por lo tanto, de conformidad con los objetivos planteados, se definen aspectos de mejora para la gestión del mantenimiento en el área de extracción de jugo, en el tándem de molinos del ingenio.

- Mantenimientos preventivos que existen para equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.

Un excelente plan de mantenimiento preventivo para los equipos electrónicos críticos reduce el riesgo de falla y con lo cual puede reducir los tiempos muertos en operación, y a su vez aumentar la vida útil de los equipos, evitando altos costos de mantenimiento.

Lo que realmente se desea es mantener en buenas condiciones y capaz de prestar un servicio cuando lo necesitemos con el menor costo posible. Por ello el primer paso desarrollado fue la toma de datos de los instrumentos instalados en el proceso de extracción de jugo.

La cantidad de equipos que se encuentran instalados en el proceso de extracción de jugo se puede observar en la tabla IV, a continuación:

Tabla IV. **Equipos electrónicos instalados**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Válvulas <i>on/off</i>	32
Válvulas reguladoras	10
Transmisores de nivel	22
Transmisores de presión	18
Transmisores de flotación	8
Transmisores de revoluciones	11
Transmisores de temperatura	28
Transmisores de flujo	6

Fuente: elaboración propia.

Con dicha información, se procede a realizar las rutinas de inspección durante la época de operación, es decir zafra como se conoce en la industria azucarera, tomando en cuenta para ello la variable de control, se realiza la ruta de inspección por cada una de ellas.

Con la ayuda del sistema de gestión de mantenimiento SIGES, se realizan las rutinas para cada inspección de los equipos, dejando como evidencia la toma de datos en forma física y digital, para alimentar el sistema indicado anteriormente.

Por lo que en cada turno un instrumentista con las capacidades y conocimientos realiza la revisión de los equipos que se detallan en la TIZ (tarea de inspección zafra). Ver figura. 8 y 9.

Figura 8. Tarea de inspección de válvulas *on/off*

Aviso	589232	TAREAS DE INSPECCION DE ZAFRA		
Código Tiz	04Z002	1/3		
Departamento	MOLINOS TANDEM A			
Fecha de Inspección	20/12/2020			
HORA INSPECCIÓN #1	HORA INSPECCIÓN #2	HORA INSPECCIÓN #3		
Hora Inicio	Cod. Trabajado	TIZ VLV ON/OFF MOLINOS TANDEM A		
Hora Final				
Punto de Control	Aspecto a controlar	Satisfactorio	Deficiente	ESPECIFIQUE
<b>VALVULA ON OFF BY PASS CALENTADOR JUGO C 0776-0596</b>				
1	REVISION LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO	MEDICION PRESION, PURGA	Satisfactorio	Deficiente
2	REVISION CONEXIONES AIRE COMPRIMIDO	FUGAS EN CONECTORES, MANGUERAS Y BRIDAS	Satisfactorio	Deficiente
3	FLOJEDADES EN BRIDAS	RE-APRIETE DE TORNILLOS	Satisfactorio	Deficiente
4	DESFOGUE RAPIDO ( SI EXISTE )		Satisfactorio	Deficiente
5	REVISION DE SEQAL EN CONDUCTOR ELECTRICO	REVISION ESTADO Y AISLAMIENTO DE CABLEADO FINAL DE CARRERA	Satisfactorio	Deficiente
6	FLOJEDADES EN SOPORTE	RE-APRIETE DE TORNILLOS	Satisfactorio	Deficiente
7	FUNCIONAMIENTO DE CONTACTOS	OPERACISN FINAL DE CARRERA	Satisfactorio	Deficiente
<b>VALVULA ON OFF SALIDA RETROLAVADO CALENT 0776-0528</b>				
1	REVISION LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO	MEDICION PRESION, PURGA	Satisfactorio	Deficiente
2	REVISION CONEXIONES AIRE COMPRIMIDO	FUGAS EN CONECTORES, MANGUERAS Y BRIDAS	Satisfactorio	Deficiente
3	FLOJEDADES EN BRIDAS	RE-APRIETE DE TORNILLOS	Satisfactorio	Deficiente
4	DESFOGUE RAPIDO ( SI EXISTE )		Satisfactorio	Deficiente
5	REVISION DE SEQAL EN CONDUCTOR ELECTRICO	REVISION ESTADO Y AISLAMIENTO DE CABLEADO FINAL DE CARRERA	Satisfactorio	Deficiente
6	FLOJEDADES EN SOPORTE	RE-APRIETE DE TORNILLOS	Satisfactorio	Deficiente
7	FUNCIONAMIENTO DE CONTACTOS	OPERACISN FINAL DE	Satisfactorio	Deficiente

Fuente: Ingenio Santa Ana. (2021). *Tarea de inspección zafra válvulas on/off*.

Figura 9. Tarea de inspección de válvulas automáticas

Aviso	589230	<b>TAREAS DE INSPECCIÓN DE ZAFRA</b>		
Código Tiz	05Z001	1/1		
Departamento	MOLINOS TANDEM B			
Fecha de Inspección	20/12/2020			
HORA INSPECCIÓN #1	HORA INSPECCIÓN #2	HORA INSPECCIÓN #3		
Hora Inicio	Cod. Trabajado	TIZ VLV AUTO. MOLINOS TANDEM B		
Hora Final				
Punto de Control	Aspecto a controlar	Satisfactorio	Deficiente	ESPECIFIQUE
<b>VALVULA AUTOMATICA ALIMENTACION AGUA CAL 0776-0243</b>				
1	REVISION LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO	MEDICION DE PRESION, PURGA	Satisfactorio	Deficiente
2	REVISION CONEXIONES AIRE COMPRIMIDO	FUGAS EN CONECTORES, TUBING, BRIDAS Y POSICIONADOR	Satisfactorio	Deficiente
3	FLOJEDADES EN TORNILLOS DE SOPORTE	BRIDA, POSICIONADOR	Satisfactorio	Deficiente
4	REVISION CONVERTIDOR DE CORRIENTE	REVISION DE ESTADO Y AISLAMIENTO CABLE DAQADO	Satisfactorio	Deficiente
5	VERIFICAR CONFIRMACION	REALIMENTACISN POSICISN VALVULA	Satisfactorio	Deficiente
6	VERIFICAR CONFIGURACION DEL EQUIPO	RESTRICISN	Satisfactorio	Deficiente
<b>ON OFF LIMPIEZA GENERAL TACHOS PRIMERA T 0775-0170</b>				
1	REVISION LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO	MEDICION DE PRESION, PURGA	Satisfactorio	Deficiente
2	REVISION CONEXIONES AIRE COMPRIMIDO	FUGAS EN CONECTORES, TUBING, BRIDAS Y POSICIONADOR	Satisfactorio	Deficiente
3	FLOJEDADES EN TORNILLOS DE SOPORTE	BRIDA, POSICIONADOR	Satisfactorio	Deficiente
4	REVISION CONVERTIDOR DE CORRIENTE	REVISION DE ESTADO Y AISLAMIENTO CABLE DAQADO	Satisfactorio	Deficiente
5	VERIFICAR CONFIRMACION	REALIMENTACISN POSICISN VALVULA	Satisfactorio	Deficiente
6	VERIFICAR CONFIGURACION DEL EQUIPO	RESTRICISN	Satisfactorio	Deficiente

Fuente: Ingenio Santa Ana. (2021). *Tarea de inspección zafra válvulas automáticas.*

Se realizó la implementación de rutinas por equipos como lo son: válvulas y transmisores, como se puede observar en cada rutina se detalla el activo fijo del equipo y la descripción de la plaza, como también el desglose de las actividades a realizar o puntos a revisar por el instrumentista a cargo.



El mantenimiento preventivo, permite de manera programada conservar en buen estado y operando todos los equipos electrónicos, a la vez se puede prevenir el cambiar partes a corto o mediano plazo, para garantizar el buen funcionamiento del mismo.

Muchos de los accidentes o fallas que ponen en riesgo el desempeño de los instrumentos, son provocados por la falta de mantenimiento constante en los equipos.

Para identificar fallos en los equipos electrónicos se deben tomar en cuenta distintos aspectos y experiencia previas que permitan anticipar una posible falla.

Durante el período de zafra en lo que corresponde a los transmisores, se implementó una revisión en el laboratorio de metrología para evaluar su estado de calibración, realizando la comparación y verificación con el patrón respectivo a su magnitud, como lo es temperatura y presión.

En el apéndice 1, se puede visualizar el registro de llenado al momento de realizar la verificación de los transmisores antes de ingresarlos al sistema de laboratorio de metrología, con el objetivo de verificar que el instrumento se encuentre en condiciones de operar, que no presente desviaciones fuera de rango, en su variable de medición.

Figura 10. **Certificado calibración de un transmisor de temperatura**

<b>Certificado de Metrología</b>			
No 27015			
<b>Instrumento</b> Transmisor de Temperatura con RTD <b>Rango</b> 0 A 148.89 °C <b>Area</b> Molinos "A" <b>Descripción</b> Temperatura Agua Despues Calentador Tandem "A"	<b>Activo No.</b> 771-2116 <b>Tag</b> TT-12505A <b>Serie</b> U1N302010 <b>Fecha de verificación y ajuste</b> 12/07/2021 <b>Instrucción / Documento utilizado</b> 02-480-04-001		
<b>Declaración de Certificado:</b> Se certifica aquí que el instrumento arriba descrito está conforme a las especificaciones originales del fabricante y ha sido calibrado usando patrones cuyas incertidumbres son trazables al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología o han sido derivadas de valores aceptados o constantes físicas naturales o han sido derivadas de técnicas de autocalibración. Nuestro sistema de calibración satisface ISO-9001-2015.			
<b>Observaciones:</b>		<b>Condiciones ambientales</b>	
Aviso: 627274, Hora Calibración: 07:15 Registro Calculo Incertidumbre: 27015 uT K=2 (95%), Sistema: 0.1183 Criterio Calibración: CONFORME		Temperatura 25.44°C Humedad 46.8 % HR	
<b>Resultados:</b>			
<b>1er. Punto</b>	Mínimo 3.987 Antes del ajuste 3.996 Después del ajuste	Unidades mA Nominal 4.000 Error 0.004 Error	Máximo 4.013 Conforme antes Si Conforme después
<b>Patrón</b>	Calibrador de procesos	<b>Modelo No.</b>	<b>No de certificado</b>
		FLUKE 744	2021210-CD
<b>2do. Punto</b>	Mínimo 11.987 Antes del ajuste 11.996 Después del ajuste	Unidades mA Nominal 12.000 Error 0.004 Error	Máximo 12.013 Conforme antes Si Conforme después

Fuente: Ingenio Santa Ana. (2021). *Certificado calibración de un transmisor.*

- Principales fallas en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.

De conformidad con el historial que se cuenta de las últimas 3 zafras, se toman de base para realizar el análisis de las principales fallas que ha provocado los equipos de automatización e instrumentación en el proceso de extracción de jugo.

Tabla V. **Falla de equipos durante las últimas 3 zafras**

Criterio					
Correlativo	Crítico	Frecuencia	Efecto	Causa	Solución
1	10	1	Quema de Cable TSJ alimentación 110 VAC SAI de Molinos.	Instalación de tubería Conduletas sin Tapaderas acumulación de Bagazo área Caliente por Fuego.	Cambio de Ruta No pasar por lugar Caliente instalación completa, soporte, tapaderas No quede expuesta.
2	5	6	Nivel Chute de molinos A y B.	Agua oxidación Vapor Personas Conectores.	Proteger la Placa con un cajón de lámina Colocar Techo Capacitar a personal de limpieza que hecha agua Cambiar de lugar conector cambiar tipo de conector Cable del sensor más largo
3	5	4	Confirmación de la válvula agua imbibición a intermedio Molino 4 Tándem B se quiebra el indicador.	Apertura muy rápida.	Colocar reguladores de caudal para apertura y cierre de la válvula.
4	2	10	Cámaras de molinos A y B, se queda en negro la pantalla o se queda congelada la imagen.	Baja velocidad de comunicación saturación de Datos Capacidad de dispositivos de la red.	Verificar la velocidad idónea de comunicación de la red ethernet Declarar solo los dispositivos necesarios en cada red Compatibilidad de los dispositivos instalados en la red.
5	8	1	Detector de giro banda de hule hacia calderas, se quiebran los tornillos Tándem B.	Acumulación de Bagazo en eje colero Diseño de la medición.	Revisar sellos de la banda de hule modificar diseño de la medición cambiar de lugar el sensor.

Continuación tabla V.

Criterio					
Correlativo	Crítico	Frecuencia	Efecto	Causa	Solución
6	10	1	Falla comunicación de las mesas, conductores, patio B cuando falla la alimentación de voltaje 24 VDC.	Perdida de voltaje Perdida de <b>dirección IP Switch</b> Switch no declarados en la red.	Garantizar ininterrumpidamente la alimentación de voltaje configurar los <i>switch</i> para guardar IP en la memoria EPROM Declarar todos los switch de la red, incluyendo los de los eléctricos.
7	7	2	Falla en canales de 4-20 mA se debe resetear alimentación del módulo de 24Vdc para resetear.	Módulos de mala calidad mala configuración mal cableados.	Cambiar tipo de modulo revisar configuración del módulo revisar cableado.
8	5	5	Mala medición en lecturas de celdas de carga por empalmes, bascula caña patio A y B.	Agua Empalme Soldaduras del cable.	Cable largo sin unión efectuar empalme en una área adecuada usar materiales y herramienta adecuada para hacer empalmes.
9	10	8	Señales del pozo 4.	Distancia Cables en mal estado empalmes Mala Calidad de cable Alta tensión.	Cambio de Cables Cambiar tecnología, fibra óptica, inalámbrica etc. Cambio de Ruta.
10	10	3	Agregar en sistema botón de Bypass de la señal de la picadora, precuchilla y desfibradora patio B.	Minimizar el tiempo perdido Seguridad del personal gavetas con alta tensión.	Programar en el sistema del patio "A" un botón de "Bypass" para habilitarlo cuando sea necesario.
11	6	6	Falla en válvulas Parker de presurización y despresurización de los cabezotes molinos tándem B.	No se puede presurizar el cabezote Tiempo perdido en el tándem por despresurización por sellos malos final vida útil del equipo cristalización de sellos.	Cambio de kit completo Reemplazo de electroválvula.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la tabla V, varias de las causas detectadas y documentadas son las siguientes:

Perdida de comunicación: en alto porcentaje es a causa del equipo expuesto a altas temperaturas y el alcance del tiempo de la vida útil de los componentes de las tarjetas de los instrumentos, en algunas ocasiones derivados de la mala instalación y otras por falta de empoderamiento del personal a cargo del mantenimiento.

Cada una de estas fallas provoca que el control de proceso se vea interrumpido por paro de equipos, lo que ocasiona la pérdida de tiempo el proceso de extracción de jugo.

Otro porcentaje de las fallas de los equipos de automatización e instrumentación son provocados por el ambiente, por la explosión a la humedad y el polvo, asimismo la vibración que producen los equipos mecánicos.

Otro aspecto que interviene en el desempeño de los equipos es la mala instalación, como por ejemplo la mala conexión del cable de tierra física y la ubicación inadecuada.

Para poder obtener el historial completo de fallas, como se pudo describir anteriormente, se contó con la bitácora de turnos de forma manual. Y con el afán de realizar mejoras se implementó el registro digital de fallas, lo cual permite de manera rápida, técnica y segura, hacer comparaciones de las fallas detectadas, para poder realizar la corrección correspondiente de manera ágil.

Figura 11. Bitácora para el ingreso de falla en forma digital

The screenshot shows a web application window titled "Registro de fallas". At the top left is the logo of "GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA SISTEMA DE CONTROL (FABRICA)" with the user ID "USUARIO: 40595". At the top right, it displays "FECHA: 24/09/2021" and "REF.: CF\_CONTROL\_FALLAS". The main heading is "REGISTRO DE FALLAS". Below this is a form with fields for "Zafra: 2021/2022", "Empleado: 40595 GELVER DANILO CARDENAS RUANO", "Fecha:", "Area:", and "Proceso:". The main part of the interface is a table with the following columns: "Código Equipo", "Descripción equipo", "Cod", "Instrumento o Complemento", "Observaciones", and "Hora". The table contains several empty rows for data entry.

Fuente: Ingenio Santa Ana (2021). *Bitácora de fallas*.

Como se puede observar en la figura 12. El registro digital implementado, facilita y asegura la información de fallas en los instrumentos de automatización y control; derivado de esto es más factible el poder realizar las respectivas correcciones a las fallas detectas.

En el cargado de velar que la información se ingrese al sistema de registro de fallas es el auxiliar de instrumentación, a la vez el supervisor de automatización debe de revisar periódicamente que la información ingresada sea correcta.

Con la ayuda del Departamento de Informática, se puede acceder a esta aplicación con la conexión de escritorio remoto. Como propuesta a futuro seria la

implementación de aplicación móvil que permita ingresar y verificar el proceso de mantenimiento de los equipos y tener constancia de quien realizó el respectivo mantenimiento.

- Principales factores que provocan las fallas en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.

Muchos de los factores que intervienen en el funcionamiento de los equipos según se pudo verificar en el estudio de fallas, descritos en la tabla V, lo cuales son:

- El factor humano: es el que está directamente ligado a la manipulación de los equipos tanto para su mantenimiento como su instalación, realizado por el personal a cargo.
- El factor ambiental: el cual tiene que ver muchas veces con falta de previsión del posible daño que pueda causar al equipo, por las condiciones de la ubicación del mismo.
- El factor instrumento: calidad de los componentes electrónicos de los equipos adquiridos.

Tomando los registros de las bitácoras y con ayuda del sistema de gestión de mantenimiento se pudo realizar el análisis de las causas más recurrentes de fallo de los equipos de automatización e instrumentación se presentaron durante la zafra 2019-2020, la tabla VI.

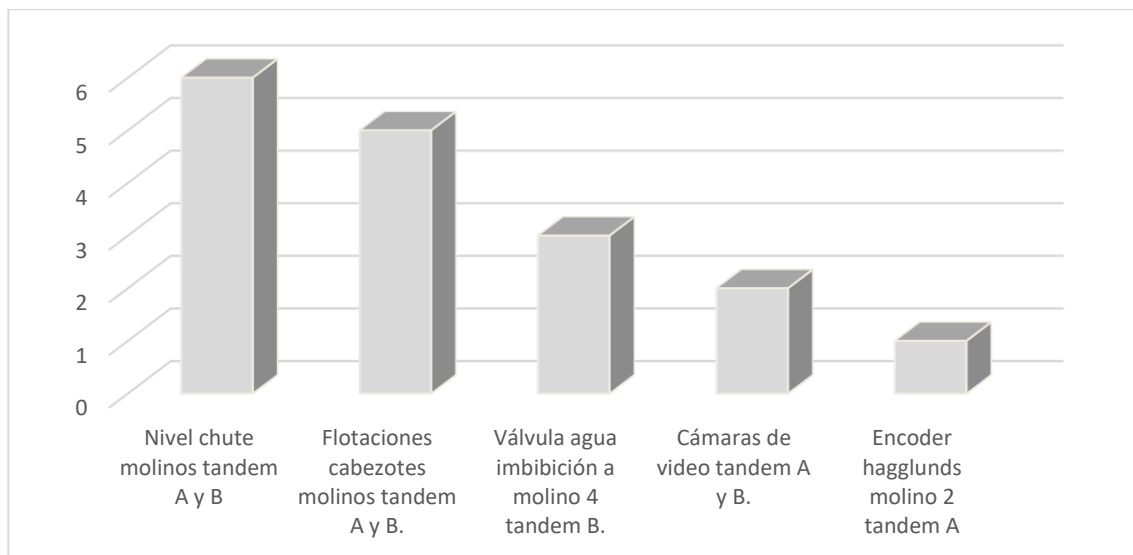
Tabla VI. **Frecuencia de fallas durante la zafra 2019-2020**

<b>Correlativo</b>	<b>Efecto</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Nivel chute molinos tándem A y B	6
2	Flotaciones cabezotes molinos tándem A y B.	5
5	Válvula agua imbibición a molino 4 tándem B.	3
3	Cámaras de video tándem A y B.	2
4	Encoder haggglunds molino 2 tándem A.	1
		17

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI, se muestra la recurrencia de fallas que generaron tiempo perdido en el proceso de extracción de jugo. Por lo que a estas fallas se le presta mayor atención para corregir durante la reparación 2020 y que no se vuelva a presentar en la siguiente zafra.

Figura 12. **Frecuencia de falla durante zafra 2019-2020**



Fuente: elaboración propia.



En la figura 12 se muestra la frecuencia de fallas se presenta en un pictograma estadístico, donde se puede visualizar cual es el fallo que mayor vez se presentó durante el periodo de zafra 2019-2020.

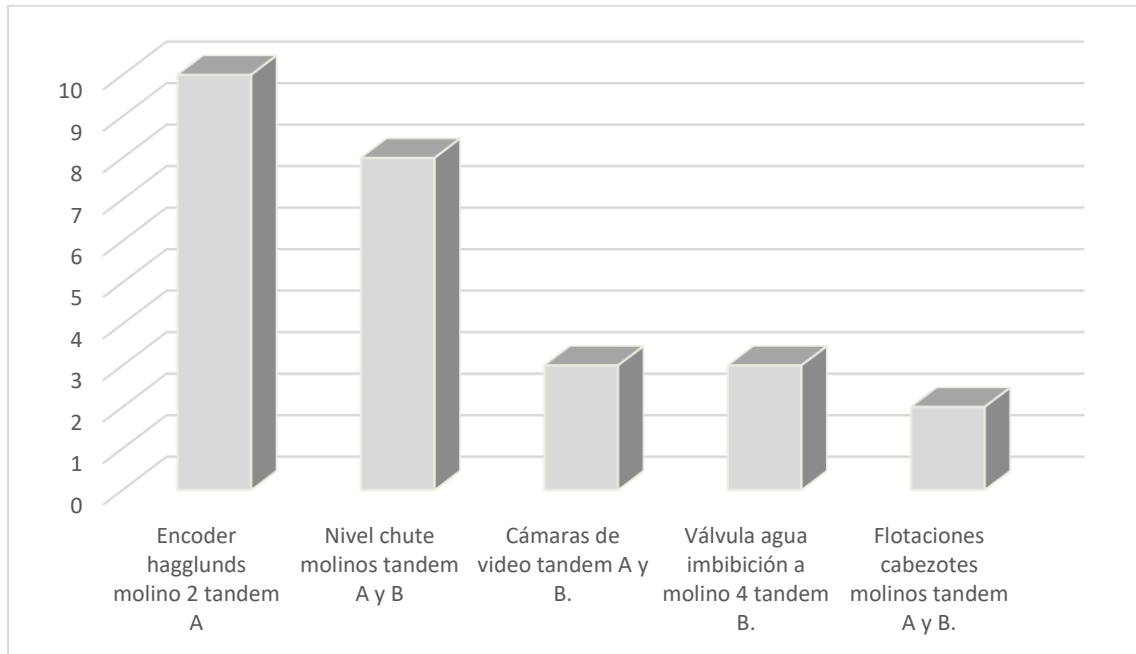
También se realiza el análisis por criticidad de los instrumentos, para establecer la misma se tomó como base la operación de este dentro de proceso de extracción de jugo. Teniendo en cuenta que la criticidad 10 es el más crítico y el 1 el menos crítico.

Tabla VII. **Criticidad de fallas durante la zafra 2019-2020**

<b>Correlativo</b>	<b>Efecto</b>	<b>Crítico</b>
1	Encoder haggglunds molino 2 tándem A	10
2	Nivel chute molinos tándem A y B	8
3	Cámaras de video tándem A y B.	3
4	Válvula agua imbibición a molino 4 tándem B.	3
5	Flotaciones cabezotes molinos tándem A y B.	2
		26

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Criticidad de falla en equipo zafra 2019-2020**



Fuente: elaboración propia.

- Rutinas de inspección y mantenimiento para el mejor desempeño, en los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tándem de molinos de un ingenio azucarero.

En esta etapa de la investigación se realizó la implementación de técnicas de verificación o inspección de los instrumentos antes de la puesta en marcha, esta fase se lleva a cabo después de realizar su mantenimiento preventivo, montaje y conexión tanto al proceso como eléctricamente, para que cumpla con los requisitos mínimos para su buen funcionamiento.

La lista de inspección de los equipos se muestra en las figuras 15 y 16, las cuales se diseñaron para llevar el control de la prueba inicial de funcionamiento,

estas son realizadas por personal capacitado y con experiencia, dado que, en esta inspección se pueden encontrar varias deficiencias que se deben de corregir, para luego proceder con energizar y luego continuar con las pruebas indicadas en lista de chequeo.

Después de la inspección y la verificación de funcionamiento se puede indicar que los equipos están disponibles para el arranque de los molinos, con ello se estará disminuyendo las fallas que se puedan presentar durante la época de operación.

Figura 14. Prueba de funcionamiento de equipos parte I


No.		Tag	Descripción	Montaje	Conexión	Pruebas		Observaciones
						Eléctrica	Neumática	
<b>Valvulas ON/OFF</b>								
1	KV12900		Válvula entrada normal calentador jugo tandem "A"					
2	KV12901		Válvula salida normal calentador jugo tandem "A"					
3	KV12902		Válvula entrada retrolavado calentador jugo tandem "A"					
4	KV12903		Válvula salida retrolavado calentador jugo tandem "A"					
5	KV12904		Válvula bypass calentador jugo tandem "A"					
<b>Válvulas Reguladoras</b>								
1	FCV1251A		Válvula agua de imbibición tandem A					
2	LCV10102		Válvula control nivel tanque agua imbibición					
3	FCV12900		Válvula reguladora reparto condensados calentador Tandem A					
<b>Transmisores</b>								
1	ST12316A		Revoluciones motor molino 1 TA					
2	ST12326A		Revoluciones motor molino 2 TA					
3	ST12336A		Revoluciones motor molino 3 TA					
4	ST12346A		Revoluciones motor molino 4 TA					
5	ST12356A		Revoluciones motor molino 5 TA					
6	ST12366A		Revoluciones motor molino 6 TA					
7	FT1251A		Caudal agua imbibición a tandem "A"					
8	FT12910		Flujo condensados calentador 2 TA					
9	TT12505A		Temp Agua Imb. despues intercambiador					
10	TT12713A		Tem Jugo a Alc. Antes intercambiador					
11	LT12403A		Nivel tanque 1 de maceración Tándem "A"					
12	LT12404A		Nivel tanque 2 de maceración Tándem "A"					
13	LT12405A		Nivel tanque 3 de maceración Tándem "A"					
14	LT12406A		Nivel tanque 4 de maceración Tándem "A"					

Vo.Bo. _____ <p style="text-align: center;">Auxiliar de Instrumentación</p> _____ <p style="text-align: center;">Operador</p>	_____ <p style="text-align: center;">Supervisor</p> _____ <p style="text-align: center;">Jefe de Proceso</p>
Nombre: .....  Fecha: _____	

Fuente: Ingenio Santa Ana. (2021). *Lista de Chequeo de pruebas.*


Figura 15. Prueba de funcionamiento de equipos parte II

 LISTA DE CHEQUEO DE PRUEBAS DE EQUIPO Y SEÑALES DE AUTOMATIZACIÓN Área: Molinos Equipo: Molinos Tándem "A" Responsable:								
No.	Tag	Descripción	Montaje	Conexión	Pruebas		Observaciones	
					Eléctrica	Neumática		
14	LT12406A	Nivel tanque 4 de maceración Tándem "A"						
15	LT12368A	Nivel Molino No. 6 Tándem "A"						
16	TORK125001	Torque retransmitido desde el variador Molino 1 TA						
17	TORK125002	Torque retransmitido desde el variador Molino 2 TA						
18	TORK125005	Torque retransmitido desde el variador Molino 5 TA						
19	TORK125006	Torque retransmitido desde el variador Molino 6 TA						
20	TT12714A	Temp Jugo a Alc Despues Intercambiador						
21	WT1238A	Bascula bagazo salida molino 6 tandem "A"						
22	LT12308A	Nivel Chute Mol 1 TA						
23	FT1271A	Caudal de jugo tandem A						
<b>Motores</b>								
1	C1D125001	Variador motor 1 molinos tandem A, en marcha						
2	C1D125002	Variador motor 2 molinos tandem A, en marcha						
3	C1D125003	Variador motor 3 molinos tandem A, en marcha						
4	C1D125004	Variador motor 4 molinos tandem A, en marcha						
5	C1D125005	Variador motor 5 molinos tandem A, en marcha						
6	C1D125006	Variador motor 6 molinos tandem A, en marcha						
7	LAH12000	Alarma alta temp variador molino 1 tandem A						
8	MDE12403A	Marcha externa Bomba Maceración No. 1 Tándem "A"						
9	MPE12403A	Paro externo Bomba Maceración No. 1 Tándem "A"						
10	MDE12404A	Marcha externa Bomba Maceración No. 2 Tándem "A"						
11	MPE12404A	Paro externo Bomba Maceración No. 2 Tándem "A"						
12	MDE12405A	Marcha externa Bomba Maceración No. 3 Tándem "A"						
13	MPE12405A	Paro externo Bomba Maceración No. 3 Tándem "A"						
14	MDE12406A	Marcha externa Bomba Maceración No. 4 Tándem "A"						
15	MPE12406A	Paro externo Bomba Maceración No. 4 Tándem "A"						
16	MDE12511A	Marcha externa Bomba de Imbibición No. 1 Tándem "A"						
17	MPE12511A	Paro externo Bomba Maceración No. 1 Tándem "A"						
18	MDE12521A	Marcha externa Bomba de Imbibición No. 2 Tándem "A"						
19	MPE12521A	Paro externo Bomba Maceración No. 2 Tándem "A"						
Vo.Bo.			Auxiliar de Instrumentación		Supervisor			
Nombre: .....			Operador		Jefe de Proceso			
			Fecha:					

Fuente: Ingenio Santa Ana. (2021). *Lista de Chequeo de pruebas.*

En la figura 17, se muestra la hoja de revisión de los equipos después de su mantenimiento, como lo son las válvulas *on/off* y las reguladoras, en donde se le realiza prueba hidrostática, tanto inicial como final, para verificar que no presente fuga después de su mantenimiento y un apartado para indicar las partes dañadas y los repuestos que se cambiaron.

Figura 16. **Chequeo de liberación luego de mantenimiento**

	<b>Compañía Agrícola Industrial Santa Ana</b> <b>Departamento Automatización</b> <b>Ficha para Mantenimiento de Válvulas</b>		CODIGO: 02-438-08-40 FECHA: 18 de abril de 2019	
			VERSION <b>1</b>	Pagina 1 de 1
APLICACIÓN _____				
TAG _____ MARCA _____				
UBICACIÓN _____				
<b>PRUEBA</b>				
FECHA DE PRUEBA _____				
<b>PRUEBA HIDROSTATICA</b>				
PRESION SEGÚN NORMA ANSI: _____				
PRESION DE SOPORTE: _____				
<b>MANTENIMIENTO</b>				
PARTES DAÑADAS _____				
_____				
REPUESTOS QUE SE CAMBIARON _____				
_____				
<b>PRUEBA HIDROSTATICA</b>				
PRESION SEGÚN NORMA ANSI: _____				
PRESION DE SOPORTE: _____				
EFECTUADO POR: _____				
REVISADO POR: _____				

Fuente: Ingenio Santa Ana. (2021). *Hoja de pruebas*.

Esta información es guardada en forma física y digital, para poder consultarlos en el futuro si fuera necesario. Los cuales se ordenan por persona que realizo el mantenimiento y fecha, para poder realizar la trazabilidad si hubiese alguna falla o bien tener un historial de las partes que se han cambiado durante el ciclo de vida del instrumento.

También se implementó que cada equipo que se le efectuó mantenimiento, debe contar con su etiqueta para tener la trazabilidad de la persona que lo realizo, la fecha y quien dio el visto bueno, como se puede observar en la figura 18.

Figura 17. **Etiqueta de mantenimiento de equipos**

Compañía Agrícola Industrial Santa Ana S.A.	
Departamento de Automatización	
<b>Activo 0776-1183</b> <b>Tag: KV-12913</b>	Fecha 26/05/2020 Prueba Hidrostática OK
Des. Valvula On-Off salida retrolavado calentador de jugo T/B	
<b>No se cambio kit actuador</b> <b>SI se cambio elastomero</b> <b>Aviso:573157</b>	<b>Realizó: 37798 Andrés Alvizures</b> <b>60217 Carlos Perez</b> <b>Superviso: 3873 BYRON PAREDEZ</b> <b>Vd. Bo. 26579 RENÉ SARAVIA</b>

Fuente: Ingenio Santa Ana. (2021). *Etiqueta de realización de trabajo.*





## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se abordó la evaluación de los resultados tanto interno como externo del trabajo de investigación, como los resultados obtenidos a través de la realización de este.

- Análisis interno

Una de las fortalezas de la investigación consiste en contar con un personal altamente calificado en aspectos técnicos y de uso de los instrumentos básicos, así mismo la metodología de control y registro de información del proceso de extracción de jugo, mismos que son debidamente archivados en la plataforma digital SIGES.

Una de las fortalezas importante, fue la recolección de información de las fallas que han presentado los instrumentos durante los últimos años, cumpliendo con ello al 100 % del total de las fallas detectadas en la operación.

Unas de las debilidades constituyen la falta de empoderamiento de algunos elementos del equipo de trabajo, ya que hay varios miembros que no aceptan fácilmente los cambios organizacionales y los avances tecnológicos, asimismo el descuido del personal al momento de la instalación de los instrumentos, quedando expuestos a malas condiciones ambientales.

Otra debilidad presentada es por la necesidad de ahorro en la adquisición de los transmisores y válvulas, se recae en la compra de equipos de baja calidad.

Para argumentar la validez de la investigación se indica lo siguiente; que la obtención de datos sobre el funcionamiento de los equipos de automatización se ha realizado utilizando los diversos instrumentos como la bitácora física y digital por medio del sistema de registro y mantenimiento SIGES, realizado por el personal técnico, tanto instrumentistas, supervisores y operadores del área de extracción de jugo.

- Análisis externo

En la realización del análisis externo se toma como referencia el estado del arte, basado en la guía y para orientarse en relación con el proceso de investigación sobre el tema en referencia.

La investigación concerniente con el tema de mantenimiento de equipos de automatización e instrumentación, Salguero (2007) indica: “La adopción de un sistema de control de calidad debe ser decisión estratégica de la organización” (p. 25). Para que surjan cambios en los procesos las personas involucradas deben de estar alineadas con los objetivos de la empresa.

Con lo anterior, aplica en la investigación debido a que, si no se cuenta con el apoyo de la gerencia, es casi imposible que el personal involucrado se adapte a los nuevos procedimientos de mantenimiento, por ello es necesarios dicho apoyo para el logro de los objetivos.

“El diseño e implementación mantenimiento de equipos de automatización e instrumentación está influenciado por diferentes necesidades y objetivos” (p.1), con cada objetivo de debe realizar un plan de acción, siempre en búsqueda de la estrategia empresarial, tomando acciones concretas.

En el tema de mantenimiento preventivo a los dispositivos de automatización e instrumentación, es utilizada una metodología de recolección de datos de los instrumentos y entrevistas al personal que intervienen en el proceso, conforme a lo planeado y previamente establecido en los cronogramas de ejecución de las mejoras planteadas y acorde a deficiencias detectadas en la operación de los mismos, por lo cual se concluye que el mantenimiento preventivo es fundamental, para el buen desempeño de los equipos y la confiabilidad del proceso de extracción de jugo.

Por lo que García (2004) indica:

La manera de hacer los mantenimientos ha evolucionado conforme el tiempo y de las necesidades de hacer eficiente el proceso, se ha pasado de lo que podemos llamar mantenimiento de primera generación en donde solo se hacía correctivo hasta nuestros días donde el mantenimiento está basado en la confiabilidad la cual se puede clasificar como un mantenimiento de cuarta generación. (p. 211)

Tomando en consideración que para hacer efectivo este proceso en su totalidad, es necesaria la confiabilidad en su plenitud tanto en los equipos de automatización, como el personal operativo que debe realizar el respectivo mantenimiento.

Con el desarrollo de la investigación se manifiesta el porqué es importante del control de mantenimiento en los dispositivos de automatización e instrumentación, ya que de ellos dependen la operación del proceso y el óptimo funcionamiento, dado que una falla de estos puede provocar un paro en la producción, que ocasiona tiempo perdido en el Área de Extracción de Jugo.

También se demostró que las rutinas de chequeo deben de aplicarse de manera constante a los equipos críticos y llevar el registro para tener una tendencia de su operación y comportamiento durante el período de zafra, para poder detectar cualquier anomalía o posibles fallas y podernos anticipar a su corrección, lo antes posible, para evitar una falla, que pueda provocar el paro de producción.

Como también indica, Reyes (2016): “Revisar el programa de mantenimiento preventivo de forma periódica anual, para identificar cualquier desviación surgida en la ejecución de las actividades del mismo. Los cambios que imponga la revisión deberán de realizarse de inmediato, para la corrección oportuna de cualquier deficiencia” (p. 233); lo cual apoya lo manifestado en el párrafo anterior.

Finalmente, Ramírez (2014) concluye que “Toda la observación realizada, accederá tomar decisiones sobre los canjes operativos del método y tiempo de realizar cambios o elaborar el mantenimiento apropiado, o comprobar en qué momento no es beneficioso, de acuerdo como están funcionando u operando los equipos” (p. 181). Para ello es importante tener la información archivada y al alcance para analizarlos en caso de ser necesario su utilización, haciendo uso de la plataforma de las plataformas con que cuenta en el ingenio como lo es SIGES y otros.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó el énfasis en el arte del mantenimiento preventivo que se pueda realizar a los equipos de automatización y control, en el periodo de producción, con lo que se realizaron rutinas de inspección para verificar el desempeño de los equipos y poder determinar las deficiencias que puedan existir o anticiparse a una posible falla de estos. Con lo cual se estaría disminuyendo el tiempo de parada, en el Área de Extracción de Jugo.
2. Se enumera que la mayoría de las fallas son provocadas por el entorno en que se encuentran instalados los equipos, entre las cuales se puede mencionar, cableado de alimentación, transmisores de nivel de los chutes, confirmaciones de válvulas, cámaras de videos, señales analógicas entre otras.
3. Se estableció que los factores que intervienen en el desempeño de los equipos de automatización e instrumentación son: el factor humano, ambiente y el instrumento. Con respecto al factor humano puede deberse a la desidia del personal al momento de realizar las instalaciones, con el factor ambiente es el lugar donde se encuentra instalado el equipo y con respecto a los instrumentos es por la mala calidad de estos.
4. Al desarrollar las rutinas de inspección antes de puesta en operación de los equipos, se garantiza un mantenimiento eficiente y una instalación adecuada para que el instrumento se desempeñe correctamente y no presente fallas durante su operación.



## RECOMENDACIONES

1. Considerar realizar evaluaciones periódicas con los instrumentistas o personal a cargo de realizar las rutinas de chequeo o TIZ (tarea de inspección zafra) como se nombró en el sistema de gestión de mantenimiento, esto para tener certeza el éxito de las inspecciones y el desempeño de los equipos, como también revisar que se estén archivando en una base de datos accesibles para futuros análisis.
2. Capacitar al personal de mantenimiento para que se empodere de sus equipos a cargo, para el buen desempeño durante el período de operación, ya que muchos de las fallas se pueden evitar, realizando un excelente mantenimiento y una adecuada instalación.
3. Antes del inicio del período de zafra, es preciso que el encargado del Área de Extracción de Jugo, realice una inspección detalla de que cada equipo, para que este cumpla con una instalación adecuada, para su buen desempeño.
4. Realizar revisiones eventuales para verificar si los instrumentistas están llevando el registro de mantenimiento de los instrumentos, el llenado correcto de cada hoja de vida, como la lista de chequeo antes de la puesta en operación de cada uno de ellos.





## REFERENCIAS

1. Aguilar, J., Torres, R. y Magaña, D. (junio, 2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*. *Tecnol. Ciencia*, 25(1), 15-26. Recuperado de [https://www.academia.edu/21532305/An%C3%A1lisis\\_de\\_modos\\_de\\_falla\\_efectos\\_y\\_criticidad](https://www.academia.edu/21532305/An%C3%A1lisis_de_modos_de_falla_efectos_y_criticidad).
2. Altmann, A. (20 de junio, 2021). *Ingeniería-Mantenimiento* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.altmann.com.uy/ingenieria-mantenimiento>.
3. Ardila, M., Orozco, W., Galeano, J., y Medina, M. (2018). *Desarrollo de software para la gestión del mantenimiento en los laboratorios de la I.U. Pascual Bravo*. *Cintex*, 23(1), 43-50. Recuperado de <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/307/285>.
4. Creus, A. (septiembre de 2010). *Instrumentación industrial*, octava edición, Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., México.
5. Duffuaa, S., Raouf, A. y Dixon, J. (2007). *Sistemas de mantenimiento: Planeación y control*. Mexico: Editorial Trillas.
6. Endress+Hauser (2005) *Mediciones de caudal*. España: Endress+Hauser Flowetec AG, CH-4153 Reinach/BL.

7. Enríquez, W. (2016). *Manual para la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento para los equipos principales de generación de energía eléctrica de la Central Paute Molino de CELEC EP HIDROPAUTE* (Tesis de Maestría). Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6372>.
8. García, J. (2004). *Mejoramiento en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM)* (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Comillas, Madrid. Recuperado de <https://www.iit.comillas.edu/docs/TM-04-007.pdf>.
9. González, R. (Octubre de 2015). *Mantenimiento Predictivo en Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP)*. *Electro Industria XV(170)*, 34-36. Recuperado de <http://www.microbyte.cl/elec/flipbook/201510/>.
10. Grupo Técnico RIVI (17 de julio de 2021). *Sistemas de Lubricación en Plantas de Producción de Azúcar*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.rivi.net/aplicaciones/azucar-canya/sistemas-de-lubricacion-plantas-de-produccion-de-azucar.pdf>.
11. Hugot, E. (1984). *Manual para ingenieros azucareros*. Carlos Ruiz Coutiño. México. Continental.
12. Ingenio Santa Ana. (2021). *Bitácora de fallas*. Guatemala: Autor.
13. Ingenio Santa Ana. (2021). *Certificado de calibración*. Guatemala: Autor.

14. Ingenio Santa Ana. (2021). *Etiqueta de realización de mantenimiento*. Guatemala: Autor.
15. Ingenio Santa Ana. (2021). *Lista de chequeo de pruebas*. Guatemala: Autor.
16. Ingenio Santa Ana. (2021). *Registro de calibración*. Guatemala: Autor.
17. Ingenio Santa Ana. (2021). *Tareas de inspección zafra válvulas automáticas*. Guatemala: Autor.
18. Ingenio Santa Ana. (2021). *Tareas de inspección zafra válvulas on/off*. Guatemala: Autor.
19. Kitto, B. (2005) *Steam its generation and use*. Edition 41; EE.UU: TheBadcock y Wilcox Company.
20. Miranda, J., Chamorro, A., y Rubios, S. (2007). *Introducción a la Gestión de la Calidad*. Madrid, Delta, Publicaciones Universitarias.
21. Mora, L. (2009) *Mantenimiento, Planeación, ejecución y Control*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
22. Muhammad, R. (2004). *Electrónica de potencia*. 3. (V. G. pozo, Trad.) Mexico: Pearson Mexico.
23. Norma internacional. (2005). *Sistemas de gestión de la calidad INTE/ISO 9000:2006*. Recuperado de: <https://www.inteco.org>.


24. Olarte, W., Botero, M., y Cañon, B. (Agosto de 2010). *Técnicas De Mantenimiento Predictivo Utilizadas En La Industria*. Scientia Et Technica XVI(45), 223-226. Recuperado <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>.
25. Procesos Industriales. (12 mayo 2021). *Medidor electromagnético*. [mensaje de un blog]. Recuperado de: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-medidor-placa-de-impacto>.
26. Ramírez, S. (2014). *Análisis de falla*. Universidad nacional de Colombia.
27. Rein, P. (2012) *Ingeniería de la caña de azúcar*, traducido México 1986.
28. Reyes, D. (2016). *Plan de mejoramiento de la gestión de mantenimiento en empresas manufactureras proveedoras de la industria petrolera*. Universidad de Zulia Venezuela.
29. Rosero, E., et al. (20 de junio 2021). *Evaluación del desempeño dinámico y la eficiencia energética en molinos de caña de azúcar con accionamientos térmicos y eléctricos*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/1478/V.16No.2-p.25-32.pdf?sequence=2>.
30. Salguero, H. (2007). *Proceso de gestión de calidad en mantenimiento preventivo*. Consultado del 22 de julio 2018. Universidad de San Carlos de Guatemala.

31. Schallenberg, J. *et al.* (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias, España. Recuperado de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>.
32. Smar Technology Company. (12 de mayo 2021). *Características, Tecnologías y Tendencias* [mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.smar.com/espanol/articulos-tecnicos/medicion-de-presion-caracteristicas-tecnologias-y-tendencias>.
33. UNE –EN 16646. (2015) *Mantenimiento en la gestión de los activos*, AENOR asociación española de normalización y certificación bibliografía.
34. Valbor, S., (18 de junio, 2021). *Plan de mantenimiento preventivo* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.valborsoluciones.com/plan-de-mantenimiento-preventivo>.
35. Velásquez, G. (2015). *Análisis financiero para usuarios autoprodutores con excedentes de energía por medio de paneles solares* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala Recuperado de <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/MAIES161.pdf>.




# APÉNDICES

## Apéndice 1. Registro de calibración de transmisores hoja 1

	<b>REGISTRO CALIBRACIÓN, VERIFICACIÓN Y AJUSTE DE TRANSMISORES DE TEMPERATURA CON SENSORES RTD</b>		Código: 02-480-08-0016 Fecha: 26 de julio de 2016																															
			Versión: 6	Página: 1 de 2																														
Aviso No: <u>629710</u>		Registro No: <u>27398</u>																																
<b>Datos del Instrumento:</b>																																		
Activo: <u>771-015</u>		Modelo: <u>RT20</u>																																
Marca: <u>Foxboro</u>		TAG: <u>TT-05506</u>																																
Rango: <u>0 a 148.89 °C</u>		Intervalo: <u>148.89 °C</u>																																
Área a la que pertenece: <u>Temperatura Condensados C3 fecha Continuo</u>																																		
Método de calibración: Directo <input type="checkbox"/> Comparación <input checked="" type="checkbox"/>																																		
Método de verificación: Directo <input type="checkbox"/> Comparación <input checked="" type="checkbox"/>																																		
Inspección inicial del equipo:		Conforme <input checked="" type="checkbox"/>		No conforme <input type="checkbox"/>																														
Funcionamiento:		Conforme <input checked="" type="checkbox"/>		No conforme <input type="checkbox"/>																														
<b>Condiciones de Calibración o Verificación:</b>																																		
Temperatura ambiente: <u>24.95 °C</u>																																		
Humedad relativa ambiente: <u>45.1% R.H</u>																																		
Procedimiento(s) utilizado(s): <u>02-480-04-001</u>																																		
<b>Patrones de Referencia :</b>																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Patrón</th> <th>No. de Serie</th> <th>No. de Certificado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>FURR 354</u></td> <td><u>1923006</u></td> <td><u>2021181-CEB</u></td> </tr> <tr> <td><u>FURR 354</u></td> <td><u>B 36368</u></td> <td><u>450000 8991</u></td> </tr> <tr> <td><u>PPR 5100</u></td> <td><u>3312019</u></td> <td><u>CC01700911-H</u></td> </tr> </tbody> </table>					Patrón	No. de Serie	No. de Certificado	<u>FURR 354</u>	<u>1923006</u>	<u>2021181-CEB</u>	<u>FURR 354</u>	<u>B 36368</u>	<u>450000 8991</u>	<u>PPR 5100</u>	<u>3312019</u>	<u>CC01700911-H</u>																		
Patrón	No. de Serie	No. de Certificado																																
<u>FURR 354</u>	<u>1923006</u>	<u>2021181-CEB</u>																																
<u>FURR 354</u>	<u>B 36368</u>	<u>450000 8991</u>																																
<u>PPR 5100</u>	<u>3312019</u>	<u>CC01700911-H</u>																																
<b>Resultados de la Calibración o Verificación:</b>																																		
Sensor tipo:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Ro/</th> <th>Tpo/°C</th> <th>Rt/</th> <th>Tp100/°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><u>100.010</u></td> <td><u>0.002</u></td> <td><u>138.668</u></td> <td><u>100.344</u></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td><u>100.014</u></td> <td><u>0.003</u></td> <td><u>138.658</u></td> <td><u>100.346</u></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td><u>100.014</u></td> <td><u>0.005</u></td> <td><u>138.656</u></td> <td><u>100.350</u></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td><u>100.016</u></td> <td><u>0.003</u></td> <td><u>138.654</u></td> <td><u>100.352</u></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td><u>100.020</u></td> <td><u>0.004</u></td> <td><u>138.660</u></td> <td><u>100.352</u></td> </tr> </tbody> </table>			No.	Ro/	Tpo/°C	Rt/	Tp100/°C	1	<u>100.010</u>	<u>0.002</u>	<u>138.668</u>	<u>100.344</u>	2	<u>100.014</u>	<u>0.003</u>	<u>138.658</u>	<u>100.346</u>	3	<u>100.014</u>	<u>0.005</u>	<u>138.656</u>	<u>100.350</u>	4	<u>100.016</u>	<u>0.003</u>	<u>138.654</u>	<u>100.352</u>	5	<u>100.020</u>	<u>0.004</u>	<u>138.660</u>	<u>100.352</u>
No.	Ro/	Tpo/°C	Rt/	Tp100/°C																														
1	<u>100.010</u>	<u>0.002</u>	<u>138.668</u>	<u>100.344</u>																														
2	<u>100.014</u>	<u>0.003</u>	<u>138.658</u>	<u>100.346</u>																														
3	<u>100.014</u>	<u>0.005</u>	<u>138.656</u>	<u>100.350</u>																														
4	<u>100.016</u>	<u>0.003</u>	<u>138.654</u>	<u>100.352</u>																														
5	<u>100.020</u>	<u>0.004</u>	<u>138.660</u>	<u>100.352</u>																														
3 Hilos <input checked="" type="checkbox"/> 4 Hilos <input type="checkbox"/>																																		
Tamaño: <u>8"</u>																																		

Fuente: Ingenio Santa Ana, Escuintla. (2021). Registro de calibración.

Apéndice 2. Registro de calibración de transmisores hoja 2

 <p><b>SANTA ANA</b> Grupo Corporativo</p>	<p><b>REGISTRO CALIBRACIÓN, VERIFICACIÓN Y AJUSTE DE TRANSMISORES DE TEMPERATURA CON SENSORES RTD</b></p>	Código: 02-480-08-0016 Fecha: 26 de julio de 2016
	Versión: 6	Página: 2 de 2

Módulo (Valor Encontrado):								
No. de Serie: <u>960905089</u>								
No.	0%		% Error	50%		% Error	100%	
	T (°C)	I (mA)		T (°C)	I (mA)		T (°C)	I (mA)
1		4.001	0.01		17.002	0.01		20.002
2	0	4.000	0.00	74.45	17.001	0.01	148.89	20.001
3		4.000	0.00		17.001	0.01		20.001

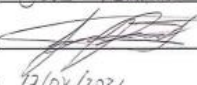
  

Módulo (Después del Ajuste)								
No.	0%		% Error	50%		% Error	100%	
	T ( )	I (mA)		T ( )	I (mA)		T ( )	I (mA)
1								
2								
3								

Transmisor:				
No. de Serie: <u>296260429</u>				
No	Tx (°C)	Tpx (°C)	Im (mA)	Ip (mA)
1	99.995	100.222	14.356	14.762
2	99.994	100.268	14.762	14.762
3	99.992	100.264	14.758	14.760
4	99.986	100.260	14.760	14.760
5	99.984	100.262	14.760	14.760

Efectuado por: Jose Palanco

Firma: 

Fecha de calibración o verificación: 17/08/2021

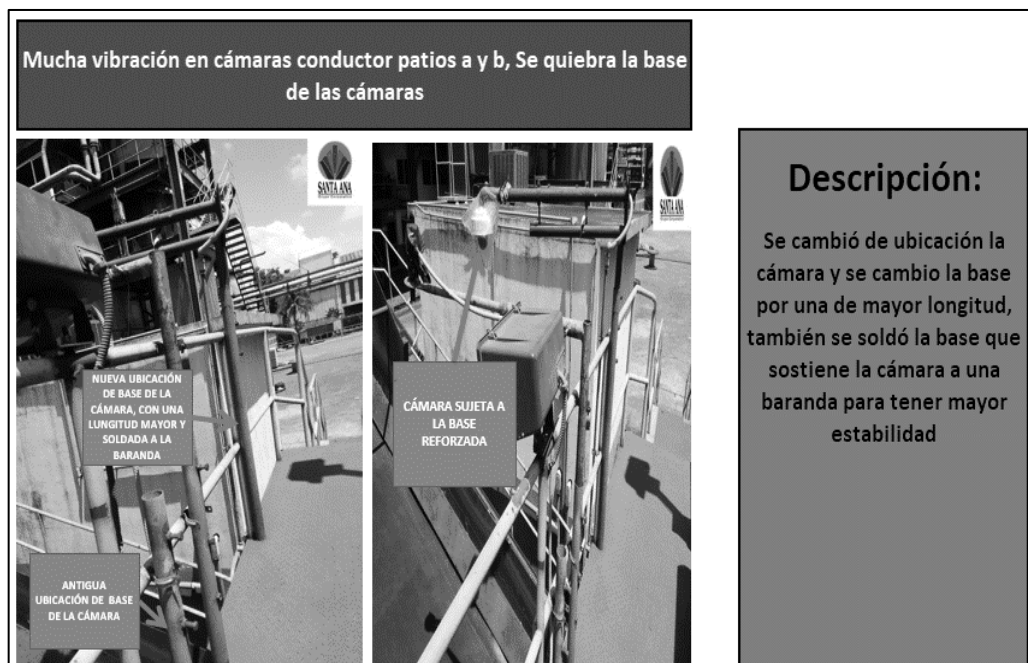
Observaciones:
<p style="text-align: center;"><u>16m de Calibración 13:35</u></p>

Fuente: Ingenio Santa Ana, Escuintla. (2021). Registro de calibración.



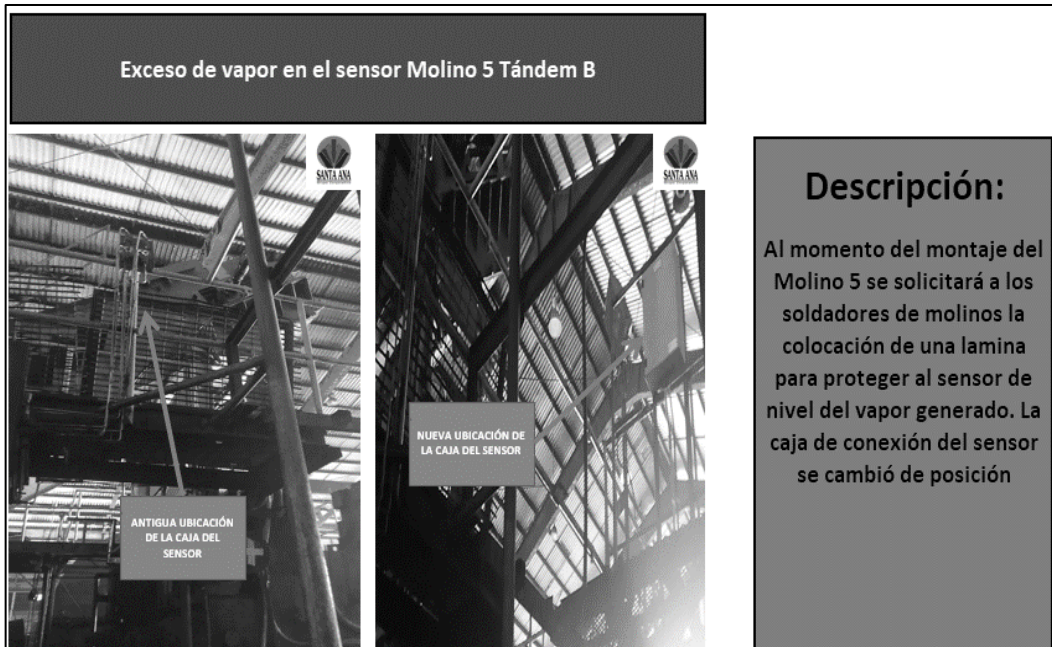
## ANEXOS

### Anexo 1. Mejora realizada en las cámaras de los conductores de caña



Fuente: [Fotografía de Gelver Cárdenas]. (Ingenio Santa Ana, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Anexo 2. **Mejora realizada en los sensores de nivel del chute molino 5**



Fuente: [Fotografía de Gerver Cárdenas]. (Ingenio Santa Ana, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

### Anexo 3. Mejora realizada en los manómetros de presión cabezotes



Fuente: [Fotografía de Gelver Cárdenas]. (Ingenio Santa Ana, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.