



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Gestión Industrial

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA
DE COGENERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CALDERAS Y
TURBOGENERADORES DE UN INGENIO AZUCARERO POR MEDIO DE LA
PLATAFORMA DE CONTROL SIGES**

Ing. Airons Alejandro Retana Esquivel

Asesorado por el Mtro. Ing. Manolo Tock Amézquita

Guatemala, julio 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA
DE COGENERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CALDERAS Y
TURBOGENERADORES DE UN INGENIO AZUCARERO POR MEDIO DE LA
PLATAFORMA DE CONTROL SIGES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. AIRONS ALEJANDRO RETANA ESQUIVEL
ASESORADO POR EL MTRO. ING. MANOLO TOCK AMÉZQUITA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN GESTION INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO 2020

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
EXAMINADORA	PhD. Aura Marina Rodríguez Pérez
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:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA
DE COGENERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CALDERAS Y
TURBOGENERADORES DE UN INGENIO AZUCARERO POR MEDIO DE LA
PLATAFORMA DE CONTROL SIGES**

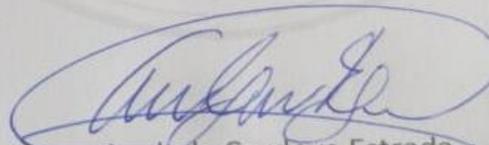
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 21 de enero 2019.

Ing. Airons Alejandro Retana Esquivel

DTG. 159.2020.

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE COGENERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CALDERAS Y TURBOGENERADORES DE UN INGENIO AZUCARERO POR MEDIO DE LA PLATAFORMA DE CONTROL SIGES**, presentado por el Ingeniero: **Airons Alejandro Retana Esquivel**, estudiante de la **Maestría en Artes en Gestión Industrial** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, julio de 2020.

AACE/asga

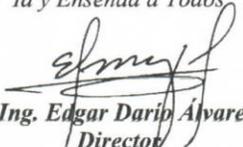
Guatemala, Julio de 2020

EEPTI-678-2020

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 y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE COGENERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CALDERAS Y TURBO GENERADORES DE UN INGENIO AZUCARERO POR MEDIO DE LA PLATAFORMA DE CONTROL SIGES”** presentado por el **Ingeniero Airons Alejandro Retana Esquivel** quien se identifica con Carné **200312710**, correspondiente al programa de **Maestría en Artes en Gestión Industrial** ; 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
Universidad de San Carlos de Guatemala

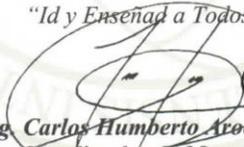
Guatemala, Julio de 2020

EEPMI-677-2020

Como Coordinador de la **Maestría en Artes en Gestión Industrial** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE COGENERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CALDERAS Y TURBO GENERADORES DE UN INGENIO AZUCARERO POR MEDIO DE LA PLATAFORMA DE CONTROL SIGES”** presentado por el Ingeniero **Airons Alejandro Retana Esquivel** quien se identifica con Carné **200312710**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtro. Ing. Carlos Humberto Aroche Samayá
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, Julio de 2020

EEPFI-679-2020

En mi calidad como Asesor del **Ingeniero Airons Alejandro Retana Esquivel** quien se identifica con carné **200312710** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE COGENERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CALDERAS Y TUBOGENERADORES DE UN INGENIO AZUCARERO POR MEDIO DE LA PLATAFORMA DE CONTROL SIGES”** quien se encuentra en el programa de **Maestría en Artes en Gestión Industrial en Gestión Industrial** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Edwin Manolo Tock Amézquita
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 9742



Mtro. Ing. Edwin Manolo Tock Amézquita
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

Mis hijas

Andrea y Camila Retana Valiente son las niñas de mis ojos, mis bellas princesas.

Mi amada esposa

Regina Valiente por ser la persona más especial en mi vida y quien me llena de alegría cada día gracias por tu amor, paciencia y comprensión.

Mi familia

Que he conocido a lo largo de mi vida han llegado como amigos ahora puedo decir que son mis hermanos, ustedes saben quiénes son, los amigos es la única familia que se puede elegir.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Un agradecimiento muy especial a nuestra casa de estudios que me brindó la oportunidad de formarme como profesional.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos necesarios en toda mi formación académica. Siempre pondré a mi Facultad en alto en cualquier parte del mundo.

Mi asesor

Manolo Tock, gracias por sus sabios consejos, confianza y su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XIII
OBJETIVOS.....	XV
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XVII
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Ingenios azucareros en Guatemala.....	1
1.1.1. Antecedentes históricos de la industria azucarera en Guatemala	1
1.2. Generación de energía eléctrica a base de biomasa	3
1.2.1. Calderas de vapor	4
1.3. Vibraciones.....	6
1.3.1. Vibraciones debidas a equipos debida a fallas eléctricas.....	8
1.3.2. Turbogeneradores	9
1.3.3. Excitatriz	10
1.3.3.1. Tipos de sistemas de excitación	11
1.3.4. Motores eléctricos.....	13
1.3.5. Servicios auxiliares	17
1.3.6. Interruptores	18

1.4.	Control de calidad	20
1.4.1.	Calidad	21
1.4.1.1.	Herramientas de control de calidad	22
1.4.1.2.	Diagrama Ishikawa	23
1.4.1.3.	Hojas de verificación o recopilación de datos.....	23
1.4.1.4.	Histograma	24
1.4.1.5.	Diagrama de Pareto	24
1.4.1.6.	Estratificación	25
1.4.1.7.	Gráficas de control	26
1.4.2.	Sistema de gestión de la calidad.....	26
1.4.3.	Mejoramiento de la calidad.....	27
1.4.3.1.	Ciclo de Deming	28
1.5.	Gestión de mantenimientos basados en control de calidad	29
1.5.1.	Confiabilidad.....	29
1.5.2.	Calidad y competitividad.....	30
1.5.3.	Ciclo PDCA	32
1.5.4.	Gestión de activos.....	32
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	39
3.1.	Determinación de planes de acción	54
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES	73

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vista lateral de una caldera tubular.....	5
2.	Esquema de medición de vibraciones en un motor eléctrico	9
3.	Sistema de excitación de un generador	11
4.	Composición interna de motor de inducción	17
5.	Sistema de un ingenio azucarero.....	18
6.	Interruptores de potencia	20
7.	Círculo PDCA.....	28
8.	Etapas de control calidad.....	31
9.	<i>Check</i> de liberación luego de mantenimiento.....	41
10.	Tendencia de vibraciones en motor forzado caldera 5.....	46
11.	Vibraciones de bomba de alimentación 2 caldera 6.....	48
12.	Vibraciones motor inducido 2 caldera 5.	49
13.	Ishikawa de análisis de falla en motor.....	51
14.	Lecturas en plataforma Siges.....	52
15.	Gráfica que muestra las tendencias de vibraciones un motor eléctrico ya utilizando el sistema Siges.....	53
16.	Ishikawa de fallas en motores equipos rotativos	55

TABLAS

I.	Variables de investigación	XVIII
II.	Tabla de prueba de funcionamiento de equipos	40
III.	Equipos críticos.....	43
IV.	Distribución de tarea y compromisos del equipo.....	44
V.	Matriz de fallas recurrentes en equipos	56
VI.	Equipos analizados....	69
VII.	Control de calidad para evaluación de condiciones	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Amp.	Amperaje como se determina la variable eléctrica corriente.
I	Corriente variable eléctrica
η	Eficiencia en equipos eléctricos.
MWH	Mega Watts hora medida de energía eléctrica.
MW	Mega Watts medida de potencia eléctrica.
%	Porcentaje de tiempo en uso o eficiente del equipo
V	Voltaje variable eléctrica

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado de Mayorista.
Biomasa	Materia prima conocida como bagazo.
BPM	Buenas práctica de mantenimiento, identifica los procedimientos que se realizan en los mantenimientos.
Carga	Capacidad de generación en el instante por un turbogenerador.
Caldera	Máquina mecánica que sirve para generar vapor a través de la transferencia de calor.
Cámara termográfica	Equipo eléctrico el cual sirve para tomar imágenes termográficas para su evaluación de puntos calientes en el equipo a inspeccionar.
Cogeneración	Es el proceso mediante el cual se obtiene energía eléctrica y energía térmica útil en el proceso.
Disparo	Acción que impide la operación continua.
Energía	Potencia multiplicada por el tiempo.

Falla	Son las que aparecen bruscamente y provocan daño en el equipo.
Mtto	Mantenimiento a los equipos que se van a intervenir.
Relé de protección	Dispositivo eléctrico utilizado para proteger equipos críticos.
Siges	Plataforma de sistema de gestión.
SNI	Sistema Nacional Interconectado.
Sistema de lubricación	Equipo que sirve para lubricar a ciertas horas los motores eléctricos.
Turbogenerador	Máquina eléctrica que genera energía impulsada por una turbina de vapor.
Termografía	Imagen termográfica que busca encontrar puntos calientes.
Vapor turbinado	Vapor que sale de los turbogeneradores y es entregado al proceso de elaboración de azúcar a 20 PSI, con una temperatura de 135 °C.

RESUMEN

El propósito de la investigación es disminuir las fallas en equipos eléctricos para optimizar su competitividad en la producción. Por tal motivo, se busca la eficiencia en la operación de los equipos para bajar costos y que su excelencia operativa se mantenga en un rango aceptable de funcionamiento. Con esto, se prolonga la vida útil de los equipos, además disminuye el impacto ocasionado por fallas posibles.

El problema principal del proceso son las fallas no predecibles y que ocasionan pérdidas de tiempo, salidas de línea o indisponibilidades de los equipos del proceso productivo e influyen directa e indirectamente en la generación de energía eléctrica o en la producción de azúcar. De ahí la iniciativa de proveer una herramienta para corregir o amortiguar este problema.

Por lo tanto, el objetivo general es la creación de un sistema de control medible numéricamente y que se pueda hacer por medio de la plataforma instalada llamada SIGES. La metodología empleada para realizar el control de calidad en los mantenimientos a equipos es realizar *chek list* en la puesta en marcha como en la operación para documentar las fallas y evaluar las condiciones. Con ello, se tomarán mejores decisiones para corregir eventos no deseados para evitar pérdidas de tiempo.

Los resultados de esta investigación son la evaluación del funcionamiento, disponibilidad de cada equipo y el comportamiento del proceso como un todo, además, se concluyó que la creación de un control de calidad con una retroalimentación basada en el PDCA es completamente viable y aceptable para

cada equipo. Se recomienda evaluar periódicamente los *check list* para garantizar el funcionamiento y evitar fallas que puedan identificarse con los monitoreos programados a los equipos, puesto que la evaluación contante dará margen a cambios en los formatos con esto garantizar una mejora constante

Los beneficios de la investigación vienen dados con el monitoreo de las condiciones diarias de operación de los equipos eléctricos. Esto ofrece un panorama y tendencia de su comportamiento los cuales pueden registrarse con equipos especiales de monitoreo de condición, como vibración, cámara termografía, ultrasonido.

Se realizó el diseño de control de calidad para los mantenimientos de los equipos eléctricos de cogeneración para lo cual se necesitó del apoyo de los encargados del proceso, técnicos que ejecutan trabajo de campo y operadores. El control de calidad se debe cumplir estrictamente con el plan que se presenta en la investigación.

Como recomendación principal se propone la revisión periódica de las fallas recurrentes y esporádicas de los equipos que se tienen en la ruta crítica de la investigación para la aplicación correcta del sistema de control de calidad propuesto y determinar la causa raíz de las fallas. Además, se deben realizar constantes revisiones al sistema de control de funcionamiento por medio de un PDCA (círculo Deming) para actualizar el control de estos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Planteamiento del problema

Las fallas de los equipos eléctricos en el área de cogeneración se deben a la falta de un sistema de control de calidad para la evaluación sus mantenimientos efectuados.

Descripción del problema

En el área de cogeneración del ingenio, las fallas de los equipos eléctricos suceden porque se carece de un control en la calidad de los mantenimientos predictivos, preventivos o por una falla fulminante no identificada a tiempo por las rutinas de inspección y la aplicación de mantenimientos predictivos. No se deja constancia de las reparaciones o trabajos realizados a los equipos, tampoco se emplean estándares fijos para los trabajos realizados a cada equipo por familia. Esto propicia la falta de gestión del mantenimiento que involucre al personal encargado y la certeza que se esté aplicando un mantenimiento adecuado para cada equipo con las medidas de seguridad y con los requisitos mínimos que se deberían emplear en cada uno. Lo anterior provoca fallas que ocasionan pérdidas económicas en el proceso por venta de energía y paradas del proceso y repercute en la utilización de mano de obra que no estaba destinada para corregir fallas y gastos en repuestos que pueden evitarse o planificarse.

Formulación del problema

No es posible estar preparado para una falla en un equipo sin un sistema de mantenimiento predictivo. Como consecuencia se genera un impacto negativo en la producción de la mina. Por ello, es importante realizar este tipo investigación para responder a la pregunta principal, planteada de la siguiente manera:

Pregunta central

¿Cuál es el diseño del sistema idóneo para el control de calidad en mantenimientos en el área de cogeneración de los equipos eléctricos de calderas y turbogeneradores de un ingenio azucarero?

Preguntas secundarias

- ¿Por qué crear una cultura de registro de datos y análisis de información, para aplicarlos en modelos de mejora continua y así poder llevar control del proceso de mantenimientos?
- ¿Cómo Identificar los equipos críticos del departamento de generación de energía eléctrica para establecer los controles necesarios en el sistema de control de calidad?
- ¿Por qué establecer un plan de mantenimiento basado en el control de calidad para los equipos de acuerdo con las necesidades de cada uno de ellos?

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema para el control de calidad en mantenimientos en el área de cogeneración de los equipos eléctricos de calderas y turbogeneradores de un ingenio azucarero por medio de la plataforma de control Siges.

Específicos

1. Generar una cultura de registro de datos y análisis de información, para aplicarlos en modelos de mejora continua y así poder llevar mejor control del proceso de mantenimientos.
2. Determinar los equipos críticos del Departamento de Generación de Energía Eléctrica para establecer los controles necesarios en el sistema de control de calidad.
3. Establecer un plan de mantenimiento basado en el control de calidad para los equipos de acuerdo con las necesidades de cada uno de ellos.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

Esta investigación se desarrolla con la intención de coadyuvar en la solución de los problemas de pérdida de tiempo debido a fallas en equipos eléctricos en el proceso de generación de energía eléctrica.

La metodología de la investigación tiene las siguientes características:

- Enfoque mixto, ya que utilizó la medición de métricas e indicadores para el control de calidad y de medición, revisión documental al investigarse los antecedentes del problema (cualitativo).
- Diseño no experimental porque no se manipularon las variables independientes planteadas. Se basa, fundamentalmente, en la observación de la situación actual para después analizarla.
- Estudio de tipo descriptivo porque se contó con la información necesaria de equipos eléctricos y mecánicos evaluados en el control de calidad, estuvo delimitado en tiempo ya que se fijaron las fechas de inicio y finalización del ciclo zafra o reparación.
- Alcance de la propuesta es de tipo descriptivo, ya que se contó con la información necesaria para determinar el estado de cada equipo evaluado y disponible según condiciones.

El indicador para evaluar el funcionamiento de los equipos se vincula con la pérdida de tiempo de la operación de los equipos y del sistema productivo en general, las variables que se tomaron en cuenta son las siguientes:

Tabla I. **Variables de investigación**

Variable	Nombre	Tipo
Dependiente	Espaciamiento entre toma de datos	Cuantitativa continua
	Equipos por analizar	Cuantitativa continua
	Tiempo en rutinas de evaluación	Cuantitativa continua
Independiente	Tiempo perdido por falla	Cuantitativa continua
	Tiempo de ejecución teórico de manto	Cuantitativa continua
	Tiempo de ejecución teórico de toma de datos	Cuantitativa discreta
	Numero de fallas	Cuantitativa discreta

Fuente: elaboración propia.

El tipo de muestreo fue no probabilístico del tipo intencional o de conveniencia, ya que se seleccionaron equipos críticos con el objetivo que los resultados fuesen representativos para apreciar tendencias por medio de períodos de tiempo continuos. Para la realización de la investigación se tomaron 19 de 22 de equipo críticos que afecten la eficiencia del área de cogeneración.

Por medio de las etapas se explica la metodología realizada en el proceso de investigación:

- Primera etapa. Investigación bibliografía y recolección de información teórica.

Se entrevistó a cada colaborador vinculado con el funcionamiento de los equipos, como operador, técnico en mantenimiento y técnico supervisor para tomar la línea acerca de la investigación del problema planteado. Se compilaron documentos para analizarlos de acuerdo con los objetivos planteado. Se investigaron las bibliografías de manuales del equipo y los datos tomados en las últimas 3 zafras que cuentan con registros de parámetros medibles para observar las variaciones con respecto al funcionamiento de los equipos.

- Segunda etapa. Se realizó la recolección de registros acerca de mantenimientos elaborados a cada equipo.

En esta fase se evaluaron los tipos de mantenimientos predictivos, preventivos que se les han aplicado a los equipos en el transcurso de los últimos dos años. Se analizó la periodicidad de estos y se evaluaron las fallas de diferente índole ocurridas en los equipos eléctricos tomados en la muestra. Para esto, se tomó una muestra de equipos por evaluar, según el estadístico maestro.

- Tercera etapa. Responde a la elaboración del sistema de control de calidad para los mantenimientos y sus revisiones en cada equipo a evaluar.

Se utilizaron resultados de cada análisis de vibraciones, imágenes termografías y ultrasonido donde aplique, elaborando indicadores para medir la eficiencia.

- Cuarta etapa. Se analizó el sistema calidad planteado con los resultados arrojados en los primeros dos meses de haber iniciado la investigación, con cada indicador planteado, se realizaron correcciones al sistema de control de calidad cuando fue necesario por medio del PDCA y se implementaron en campo.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación consiste en la sistematización de un control de calidad para mantenimientos de equipos eléctricos de una planta generadora de energía eléctrica. Con ello, se pretende minimizar o eliminar las fallas provocadas en los equipos por falta de mantenimiento o por mantenimientos que no cumplen con los requisitos mínimos de los estándares de calidad para efectuarlos. Para lograrlo, se utilizarán herramientas como la causa raíz para determinar la causa que ha provocado la falla y atacar la raíz; además, aplicar planes de acción para implementar los mantenimientos controlados que cumplan con requisitos mínimos en su ejecución; verificar que estos se estén cumpliendo con normalidad y frecuencia según lo determinado para cada equipo o área, que todos sus ítems sean cumplidos y si se puede hacer mejoras en las cuales se puede implementar y ejecutarlas llevando un registro para implementarlas en todos los equipos que sean parecidos. Esto evitará pérdidas de tiempo en el proceso de generación eléctrica y de vapor que se pudieron haber detectado y corregido a tiempo por medio de un sistema control de calidad en mantenimientos por condición.

El problema resuelto se relaciona con la enmienda de fallas que provocan pérdidas de tiempo e indisponibilidades en los equipos del proceso de producción. De ahí la importancia de la solución del problema basado en fundamentos teóricos de control de calidad recopilados de diferentes autores e investigaciones previas, la teoría de análisis de causa raíz para determinar un sistema de control de calidad en los mantenimientos predictivos, preventivos y en la operación para obtener ahorros económicos y energéticos a través del mejoramiento del indicador de disponibilidad y de tiempo perdidos ocasionado por las fallas ocasionadas por falta de un control de calidad. Estas fallas, si no se

controlan, repercuten con disparos, bajar carga o pérdida de carga en los turbogeneradores. Además, uno de los beneficios y aportes de la investigación es el uso de equipos de monitoreo de variables mecánicas y eléctricos para una operación eficiente y prolongar la vida útil. También se relaciona con el funcionamiento de los equipos involucrados en el proceso productivo, cuyo funcionamiento se clasifica como crítico, por tal motivo se realizan chequeos constantes a las condiciones de operación. Por otra parte, se obtuvo una operación segura para resguardar la vida de las personas por posibles fallas.

Los resultados fueron evaluados con equipos previamente seleccionados y analizados que, dependiendo de su criticidad en la operación, se seleccionaron para evaluar el mantenimiento y hacer un seguimiento presencial en cada uno. Como beneficio de la investigación se puede resaltar la cultura de recopilación, archivo y de análisis de datos que se implementó para realizar el proyecto de investigación. Las entrevistas a los técnicos permitieron la realización de *check list* cuya función es dejar constancia de lo realizado e iniciar la base de datos que podrá consultarse cuando se necesite. Uno de los aportes más importantes es que los datos pueden consultarse a cualquier hora en la plataforma Siges donde se da seguimiento a los mantenimientos. En dicha plataforma se creó un apartado para consultas y realizar seguimientos para corregir fallas o posibles fallas potenciales.

El esquema de la solución se ensayó para la discusión de resultados e identificaron las causas de las fallas. En estas se realizó la técnica de calidad denominada gráfica de Ishikawa. Con esta técnica se analizó la causa raíz de los problemas que ocasionaban las salidas de línea y las pérdidas de tiempo en el proceso, con lo cual se estructuró una matriz de identificación de fallas para verificar lo severo y la repetividad con la que ocurrían. De acuerdo con lo anterior, se diseñó un cronograma de actividades para controlar las variables que afectan

el funcionamiento de los equipos, como vibraciones, termografía, variables eléctricas, ultrasonido y limpieza de estos. Con la gestión del control de calidad en los mantenimientos se ofrece a la empresa disminuir las pérdidas de tiempo por fallas que se puedan corregir a tiempo, basado en las condiciones de operación.

En el primer capítulo se hace referencia a una investigación teórica en la cual se resalta los conceptos básicos de calderas, máquinas eléctricas y herramientas de control de calidad las cuales se emplean en el desarrollo de la investigación.

El capítulo dos se refiere al desarrollo de la investigación, la cual se basó en técnicas metodológicas de investigación y análisis de datos hasta la puesta en marcha de esta.

En el capítulo tres se presentan los resultados obtenidos en el transcurso de la investigación. Se desarrollaron y pusieron en marcha, como se indica en el desarrollo, de acuerdo con los objetivos de la investigación. Se debe hacer énfasis en que, con una cultura de toma de datos y archivo de estos, se obtienen herramientas para analizarlos y evitar fallas o eliminarlas.

En el capítulo cuatro se presenta la discusión de resultados los cuales fueron positivos puesto que se implementaron herramientas para recabar y archivar datos de las mediciones cumpliendo un cronograma de actividades. También se evidenció la importancia de cumplir con los procedimientos y efectuar la mejora continua en los procesos de chequeo. Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

1. MARCO TEÓRICO

La teoría acerca del tema de investigación es importante para entender todas las áreas relacionadas con el proceso de generación de energía. El marco teórico está enfocado en el control de calidad, la industria azucarera y la generación de energía eléctrica.

1.1. Ingenios azucareros en Guatemala

La agroindustria azucarera de Guatemala es el tercer exportador más importante de Latinoamérica, antes está Brasil y Cuba. La producción de caña de azúcar es un típico y complejo proceso agrícola industrial intensivo. En Guatemala, se cuenta con, por lo menos, 13 tipos distintos de suelos, de los cuales 26 % son para producción agrícola intensiva. Los mejores suelos se usan para la producción de monocultivos de agroexportación. El cultivo de caña ha desplazado otros cultivos y concentrando la producción en manos de ingenios azucareros quienes son la base del desarrollo, bienestar y empleo en la costa sur del país. El modelo de alta productividad para un mercado mundial hace diferente esta industria por su calidad del azúcar guatemalteco. La industria está muy bien organizada con programas de formación, investigación, ayuda social y una fuerte organización gremial.

1.1.1. Antecedentes históricos de la industria azucarera en Guatemala

El inicio de esta industria se remonta a principios del siglo XVI, cuando se introdujo el cultivo y la extracción del jugo de caña, de manera artesanal.

Entonces, había trapiches en el valle de Guatemala donde se granulaba el jugo para un mejor almacenamiento. Con el desarrollo de las máquinas a vapor cobra auge la producción de azúcar.

Desde esas épocas, la eficiencia en el proceso era necesaria para ser competitivo en los ámbitos nacional e internacional. Han pasado cinco siglos desde que se inició la extracción de jugo con los modestos trapiches. En la actualidad, con modernas fábricas para la producción de azúcar y la generación de energía eléctrica Guatemala ocupa el cuarto lugar de producción de azúcar, en el ámbito mundial. Esto ha permitido la eficiencia e innovación en la producción de azúcar. La caña aporta biomasa que es el combustible que, mediante el proceso termodinámico del intercambio en calderas produce vapor el cual es transportado para mover los turbogeneradores. Este vapor turbinado se traslada a la fábrica para seguir trabajando en los evaporadores. Por tal motivo, la eficiencia y el control de calidad en los mantenimientos de los equipos eléctricos involucrados en los procesos de generación de energía y vapor es muy importante para el óptimo funcionamiento del Ingenio.

Según Rein (2012) el proceso de extracción del azúcar inicia desde que se siembra la caña y se extrae el jugo. En este proceso se extrae la mayor cantidad de jugo a la caña y queda el bagazo que sirve para alimentar las calderas y generar el vapor para las máquinas que extraen el cristal del azúcar como producto final.

Para Velázquez (2015) el consumo de los equipos energéticos para los ingenios azucareros constituyen una repartición elevada de la moneda o capital, no obstante el sistema energético de las industrias azucareras que viene evolucionando a pasos agigantados en los últimos años ha contribuido a reducir los mismos a partir de la obtención de equipos con mejores eficiencias y así

reducir su dependencia del SIN (Sistema Nacional Interconectado), esto para vender el excedente de energía el cual es un negocio aparte de la producción de azúcar.

Hugot (1986), Demuestra que el proceso de extracción de biomasa de la caña de azúcar es un proceso que depende de que tan eficientes son los molinos de extracción de la misma los cuales aportan ese combustible a las calderas y estas generan la energía para convertir el agua en vapor y así poder mover todos los equipos que se necesitan para la producción de azúcar y la generación de energía eléctrica.

1.2. Generación de energía eléctrica a base de biomasa

La generación de energía eléctrica en una planta de cogeneración es convertir el sistema de producción simultáneo de electricidad y vapor, partiendo de un único combustible para los trabajos que se necesitan.

Schallenberg (2008), menciona que el proceso de producción de energía eléctrica es el ciclo convencional (ciclo de combustión –Turbina- Generador eléctrico) pero en el caso de la generación a base de biomasa se utilizan los gases de escape o el vapor, que salen altas temperaturas, para producir calor, que se utilizan en los procesos industriales. (p.22)

El rendimiento de estos procesos puede llegar al 70 % de eficiencia cuando se tiene una máquina nueva y con mantenimientos basados en la confiabilidad. Tomando en cuenta que la eficiencia de estas máquinas está limitada por el ciclo de trabajo, es importante que los equipos auxiliares con los que cuenta para su funcionamiento operen con una alta confiabilidad y el que este en espera esté disponible para la operación en todo momento.

1.2.1. Calderas de vapor

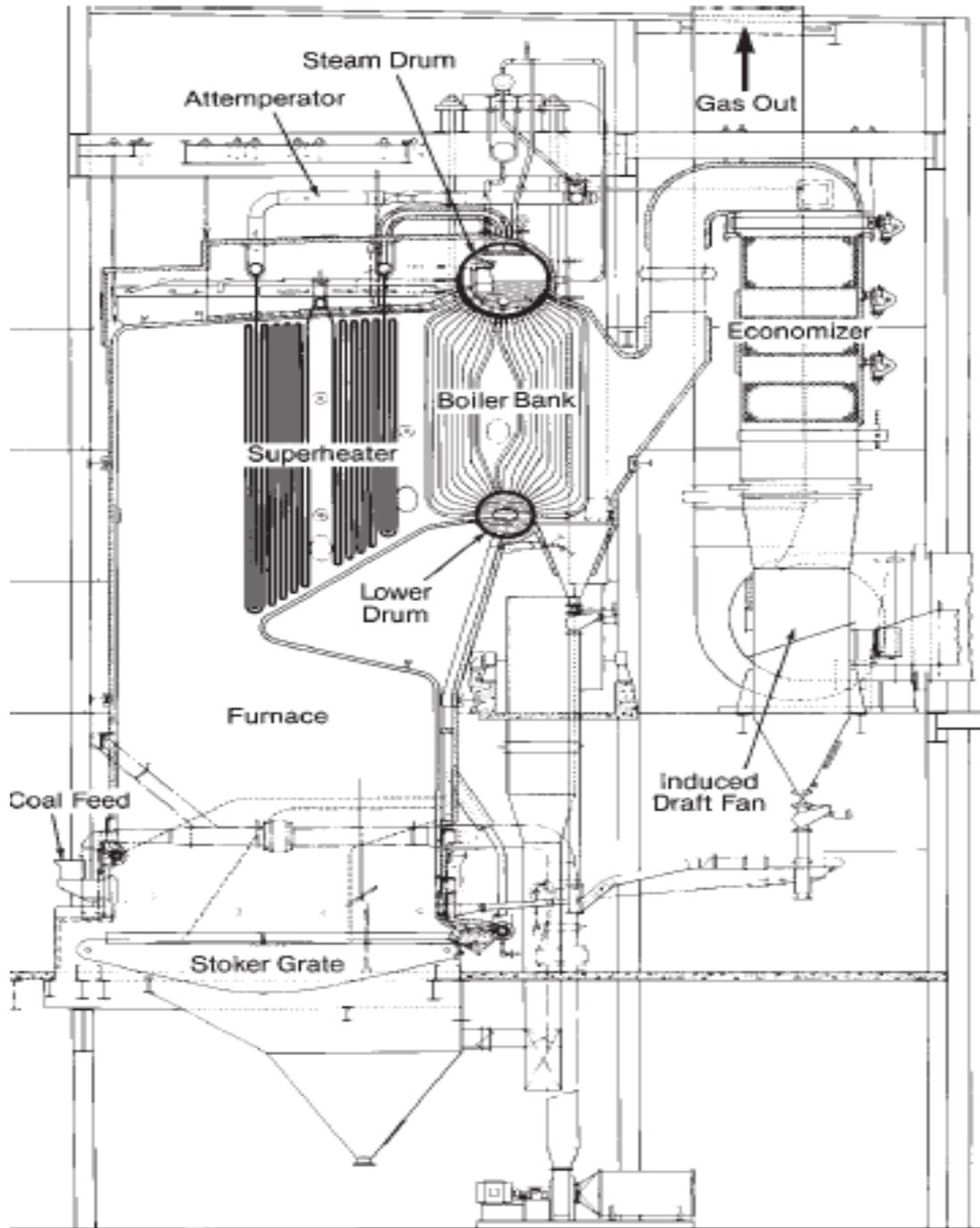
Es un intercambiador de calor, que es un equipo el cual incrementa la temperatura del agua hasta convertirla en vapor a una temperatura tal que se pueda intercambiar este calor en energía mecánica para el accionamiento de la turbina.

Quito (2005) Se refiere a:

Operación efectiva de equipos generadores de vapor, que siempre ha sido crítico para mantener la eficiencia del sistema, confiabilidad y disponibilidad. Con avances en tecnología de sensores, software de control y generador de vapor. Hardware, operación eficiente hoy significa balanceo. Rendimiento del equipo con requisitos de seguridad. Mandatos de emisiones. Los procedimientos utilizados para ejecutar equipos de generación de vapor varían ampliamente dependiendo sobre el tipo de sistema, combustible y aplicación. Los sistemas pueden ser simples y totalmente automatizados. Que requieren un mínimo de atención, como pequeñas calderas a gas o vapor, para el complejo. Requerir atención e interacción constante del operador, como una gran planta de servicios públicos. Hay, sin embargo, un conjunto de operaciones fundamentales relativamente comunes pautas que salvaguardan al personal y optimizan.

(...) Rendimiento y fiabilidad del equipo. Cuando se combina con procedimientos específicos del equipo, estas pautas promueven las mejores operaciones posibles (p. 906)

Figura 1. Vista lateral de una caldera tubular



Fuente: Avallone G. (1995). *Manual del ingeniero mecánico*.

1.3. Vibraciones

Una vibración se define como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. Las vibraciones se caracterizan por dos magnitudes: la frecuencia (Hz) y la amplitud (m).

- Frecuencia. Es el número de veces que se produce una oscilación en una unidad de tiempo, es decir, el número de ciclos por segundo siendo su unidad el hercio.
- Amplitud. Es la longitud del movimiento o la distancia que media entre la posición de equilibrio hasta el extremo del recorrido y su unidad es el metro. La amplitud es la magnitud a fin de cuentas que define la importancia de la vibración.
- Amplitud Pico. (P_k) es la distancia máxima de la onda del punto cero o del punto de equilibrio. El factor cresta es igual a la amplitud del pico de la forma de onda dividida por el valor RMS. El propósito del cálculo del factor cresta es dar al analista una rápida idea de qué impacto está ocurriendo en la forma de onda.
- Amplitud Pico a Pico. ($P_k - P_k$) es la distancia de una cresta negativa hasta una cresta positiva. En el caso de una onda senoidal, el valor pico a pico es exactamente dos veces el valor pico, ya que la forma de la onda es simétrica.
- Amplitud. Valor eficaz o valor RMS. Es el valor promedio de la aceleración del movimiento oscilatorio. Es por lo tanto el valor de amplitud que considera la historia de la onda y es además la que nos da, ya que está directamente relacionada con la energía, una idea de si la vibración puede ser dañina o nociva para el trabajador.
- Aceleración. Es la variación de velocidad desde cero hasta el máximo de cada ciclo y se mide en m/s^2 .

Magnitudes Frecuencia (Hz)
Amplitud (m)
Aceleración (m/s²) Frecuencia (Hz)
Intensidad (Wattios/m²)

Medición aceleración, velocidad o desplazamiento de la vibración (el parámetro más utilizado es la aceleración, medida en m/s²).

Nivel de presión sonora, medido en decibelios (dB(A))

- Formación. Los movimientos de un cuerpo vibrante, los impactos, perturban la atmósfera circundante y originan cambios de presión. Estos cambios se propagan de forma ondulatoria en un medio elástico llegando al receptor y perdiendo energía a medida que se va propagando.
- Propagación. El foco vibrante está en contacto con un sólido o directamente con el trabajador. La onda se propaga a través del cuerpo sólido hasta el receptor o directamente propagando la onda al trabajador (caso de contacto directo) Propagación de las ondas mediante un medio elástico (principalmente aire) hasta llegar al receptor.

Riesgo para el trabajador. La peligrosidad es función del valor eficaz y del tiempo de exposición La peligrosidad es función del nivel de presión sonora y del tiempo de exposición).

Así como en el caso del ruido, no todas las vibraciones son perjudiciales para la salud. Su peligrosidad viene marcada por la frecuencia y la amplitud de la onda que se transmite. Es importante saber que las diferentes partes del cuerpo tienen unas determinadas frecuencias de resonancia. La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la

acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración coincide con el periodo de vibración característico de dicho cuerpo.

Es importante ante este fenómeno de resonancia que el cuerpo sea capaz de vibrar, ya que si no lo fuera existiría riesgo de rotura. Ejemplos sencillos de este fenómeno los encontramos en el caso de "la cantante y la copa rota" o, en ingeniería civil, el colapso del puente Tacoma Narrows.

1.3.1. Vibraciones debidas a equipos debida a fallas eléctricas

Ese tipo de fallas, como las vibraciones es normal debido al resultado de fuerzas magnéticas que nos son iguales y que actúan sobre el estator y rotor de la maquinas. Estas fuerzas desiguales pueden ser debidas a:

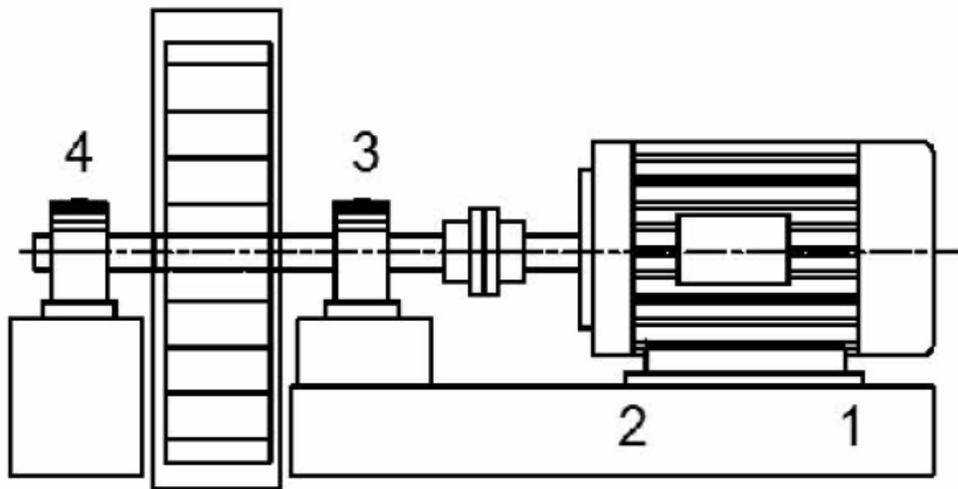
- Rotor ovalado, no es redondo.
- Chumaceras o cojinetes excéntricos.
- Falta de alineamiento entre estatus y rotor y, el entre hierro no uniforme.
- Perforaciones en el estator.
- Devanados abiertos o en corto circuito.
- Hierro del rotor en corto circuito.
- Barras abiertas.

En general, la frecuencia de vibraciones resultante de los problemas de causa eléctrica es de 1X con respecto a las rpm (revoluciones por minuto) y, por tanto, esta se parece a la de desbalance. Una manera sencilla de hacer la prueba para asegurarse de la presencia eventual de dichas vibraciones y de frecuencia eléctrica es observar el cambio de amplitud de la vibración total, en el instante en el cual se desconecta la corriente, el problema con toda posibilidad será de parte

eléctrica, si solo decrece gradualmente en el tiempo seguramente el problema es mecánico o sea de naturaleza mecánica.

A continuación, se indica de manera esquemática, la forma de medir vibraciones en el equipo eléctrico.

Figura 2. **Esquema de medición de vibraciones en un motor eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Los puntos de medición de vibraciones vienen previamente dados conforme a normas internacionales de medición, estas se pueden encontrar en:

1.3.2. Turbogeneradores

Las máquinas síncronas son equipo los cuales necesitan ser movidas por una fuente de energía mecánica la cual transforma en energía eléctrica.

Estas se dividen en rotor y estator, la luz que queda entre ellos se llama entre hierro, las maquinas asíncronas como las síncronas constan de polos eléctricos los cuales según su número determinan la velocidad de giro de la máquina.

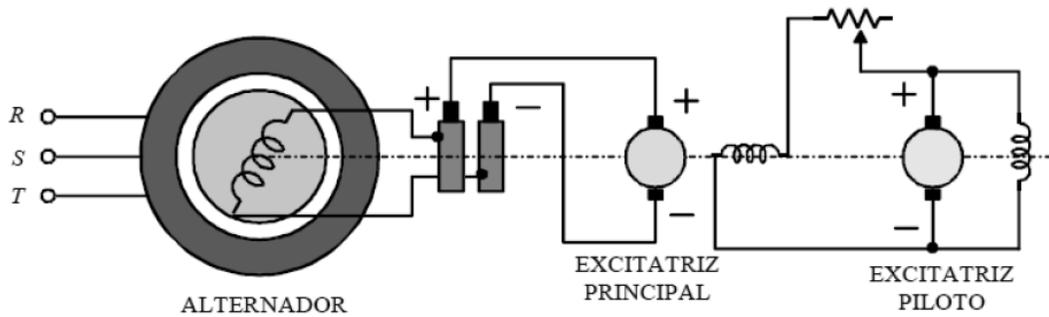
FitzGerald (2008), respecto a la maquina eléctrica, demuestra que una maquina síncrona y asíncrona tienen el mismo fundamento que el transformador, pero estas tienen piezas que pueden ser desgastadas por el movimiento. Los generadores de energía eléctrica convierten la energía entrante en energía eléctrica.

1.3.3. Excitatriz

En los generadores de síncronos se necesita una fuente de regulación de voltaje que se encargue de hacer la variación de los voltajes para recibir o entregar potencia reactiva al sistema esta regulación viene dada por una máquina de corriente continua, la c.c. procede una dinamo excitatriz (generador de c.c.) del tipo shunt(derivación, devanado del inducido e inductor en paralelo) que está montada en el eje del grupo y cuya salida se aplica al rotor del alternador por medio de unos anillos deslizantes con sus correspondientes escobillas.

A veces se sustituye toda o parte de una excitación por una excitatriz piloto con objeto de mejorar la rapidez de respuesta.

Figura 3. **Sistema de excitación de un generador**



Fuente: elaboración propia.

1.3.3.1. Tipos de sistemas de excitación

Para crear el campo magnético de excitación, los devanados del rotor se alimentan con una corriente continua.

Para obtener esta corriente continua hay dos métodos comunes:

Suministrarle al rotor la potencia de c.c. desde una fuente externa de c.c., por medio de anillos rozantes y escobillas.

Suministro de potencia de c.c. desde una fuente de c.a. montada directamente en el eje del generador síncrono y rectificando su salida.

Excitatriz de corriente continua (suministra la corriente de excitación de c.c., por medio de anillos rozantes y escobillas)

El procedimiento clásico consiste en utilizar un generador de c.c. auto excitado en derivación (excitatriz principal), que se monta sobre el eje del grupo.

Su salida se aplica al rotor del alternador por medio de anillos rozantes y escobillas. Por lo general el generador es tipo derivación.

- Excitatriz piloto para grandes alternadores

En grandes alternadores, para mejorar la rapidez de respuesta del mismo, la corriente de excitación de la excitatriz principal se obtiene en parte de un tercer generador de continua, también acoplado al eje principal y autoexcitación (excitatriz piloto).

Las máquinas síncronas más pequeñas no suelen tener una excitatriz piloto y la excitatriz principal trabaja en derivación alimentando directamente el inductor o excitación de alternador.

En este tipo de generadores surgen problemas de enfriamiento y conservación de anillos, colector y escobillas.

- Anillos de rozamiento

Son anillos metálicos situados sobre el eje de la máquina, pero aislados de él. Sobre cada uno de ellos se coloca una escobilla.

Cada extremo del devanado inductor se conecta a cada uno de los anillos.

Se utilizan en máquinas de pequeña potencia por ser el sistema más económico.

Inconvenientes:

Aumenta el mantenimiento de la máquina (las escobillas deben examinarse para comprobar su desgaste).

Las escobillas provocan caídas de tensión que pueden ser importantes.

Excitatriz de corriente alterna (sin escobillas)

Cuando las velocidades son elevadas, sobre todo en los grandes generadores, hay problemas de conmutación en las excitatrices, debido a los chispazos en sus colectores.

En la actualidad, se emplean generadores trifásicos como excitatriz principal. Estos generadores de corriente alterna se construyen con el inducido en el rotor, y con su campo de excitación situado en el estator.

Las corrientes trifásicas que se inducen en el rotor se rectifican posteriormente, mediante rectificadores montados directamente sobre el eje y se llevan en forma de corriente continua al devanado de excitación del generador principal.

1.3.4. Motores eléctricos

Son máquinas eléctricas que mueven la industria. Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motor de corriente alterna cuya corriente eléctrica del rotor, necesaria para producir torsión, es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator. Por lo tanto, un motor de inducción no requiere una conmutación mecánica aparte de su misma excitación o para todo o parte de la energía transferida del estator al rotor, como en los motores universales, motores DC y motores grandes síncronos. El primer

prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nikola Tesla y presentado en el *American Institute of Electrical Engineers* (en español, Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos, actualmente IEEE) en 1888.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° en el espacio. Según el Teorema de Ferraris, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas equilibradas, cuyo desfase en el tiempo es también de 120° , se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable inducirá una tensión eléctrica en el rotor según la Ley de inducción de Faraday. La diferencia entre el motor a inducción y el motor universal es que en el motor a inducción el devanado del rotor no está conectado al circuito de excitación del motor, sino que está eléctricamente aislado. Tiene barras de conducción en todo su largo, incrustadas en ranuras a distancias uniformes alrededor de la periferia. Las barras están conectadas con anillos (en cortocircuito como dicen los electricistas) a cada extremidad del rotor. Están soldadas a las extremidades de las barras. Este ensamblado se parece a las pequeñas jaulas rotativas para ejercitar a mascotas como hámsteres y por eso a veces se llama *jaula de ardillas*, y los motores de inducción se llaman motores de jaula de ardilla.

- Funcionamiento

El motor asincrónico funciona según el principio de inducción mutua de Faraday. Al aplicar corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras, se produce un campo magnético giratorio, conocido como campo rotante, cuya frecuencia será igual a la de la corriente alterna con la que se alimenta al motor. Este campo

al girar alrededor del rotor en estado de reposo inducirá corrientes en el mismo, que producirán a su vez un campo magnético que seguirá el movimiento del campo estático, produciendo una cople o par motor que hace que el rotor gire (principio de inducción mutua). No obstante, como la inducción en el rotor sólo se produce si hay una diferencia en las velocidades relativas del campo estático y el rotórico, la velocidad del rotor nunca alcanza a la del campo rotante. De lo contrario, si ambas velocidades fuesen iguales, no habría inducción y el rotor no produciría par. A esta diferencia de velocidad se la denomina “deslizamiento” y se mide en términos porcentuales, por lo que ésta es la razón por la cual a los motores de inducción se los denomina asincrónicos, ya que la velocidad rotórica difiere levemente de la del campo rotante. El deslizamiento difiere con la carga mecánica aplicada al rotor, siendo máximo con la máxima carga aplicada al mismo. Sin embargo, a pesar de esto, el motor varía poco su velocidad, pero el par motor o cople aumenta (y con ello la intensidad de corriente consumida) por lo que se puede deducir que son motores de velocidad constante.

Desde el punto de vista de la electricidad, se puede definir al motor asincrónico como un transformador eléctrico cuyos bobinados del estator representan el primario, y los devanados del rotor equivalen al secundario de un transformador en cortocircuito.

En el momento del arranque, producto del estado de reposo del rotor, la velocidad relativa entre campo del estator y del rotor es muy elevada. Por lo tanto, la corriente inducida en el rotor es muy alta y el flujo de rotor (que se opone siempre al del estator) es máximo. Como consecuencia, la impedancia del estator es muy baja y la corriente absorbida de la red es muy alta, pudiendo llegar a valores de hasta 7 veces la intensidad nominal. Este valor no hace ningún daño al motor ya que es transitorio, y el fuerte par de arranque hace que el rotor gire enseguida, pero causa bajones de tensión abruptos y momentáneos que se

manifiestan sobre todo como parpadeo en las lámparas lo cual es molesto, y puede producir daños en equipos electrónicos sensibles. Los motores de inducción están todos preparados para soportar esta corriente de arranque, pero repetidos y muy frecuentes arranques sin períodos de descanso pueden elevar progresivamente la temperatura del estator y comprometer la vida útil de los devanados del mismo hasta originar fallas por derretimiento del aislamiento. Por eso se utilizan en potencias medianas y grandes, dispositivos electrónicos de “arranque suave”, que minimizan la corriente de arranque del motor.

Al ganar velocidad el rotor, la corriente de este disminuye, el flujo rotórico también, y con ello la impedancia de los devanados del estator, se debe recordar que es un fenómeno de inducción mutua. La situación es la misma que la de conectar un transformador con el secundario en corto a la red de CA y luego con una resistencia variable intercalada ir aumentando progresivamente la resistencia de carga hasta llegar a la intensidad nominal del secundario. Por ende, lo que sucede en el circuito estático es un reflejo de lo que sucede en el circuito rotórico.

Figura 4. **Composición interna de motor de inducción**



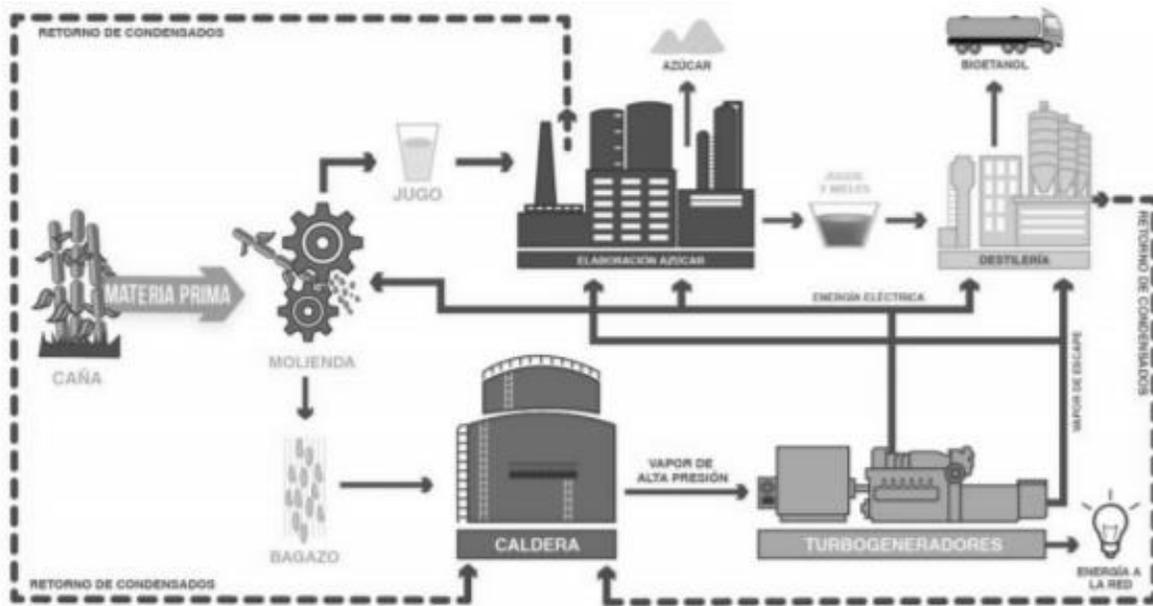
Fuente: elaboración propia.

1.3.5. Servicios auxiliares

Para González (1986) los equipos auxiliares son con los que se cuenta para la operación, propician el funcionamiento adecuado de la caldera y el turbogenerador. Entre los servicios auxiliares se encuentran los transformadores, motores, barras de distribución, torre de enfriamiento, relés de medición, relés de protección y la subestación eléctrica en donde se conecta al SNI para suministrar energía que dispuesta para su venta.

Con el funcionamiento correcto en conjunto de lo descrito en los párrafos anteriores se obtiene una planta de cogeneración que suministra energía eléctrica para la venta, para el auto funcionamiento y vapor para otros procesos de la fabricación de azúcar.

Figura 5. Sistema de un ingenio azucarero



Fuente: González Predictiva 21. (2016). *Revista Predictiva 2*. p. 26.

1.3.6. Interruptores

La disponibilidad de la energía eléctrica es indispensable para el desarrollo económico y para la calidad de vida. Una de las condiciones necesarias para un suministro fiable de energía eléctrica es un sistema de transmisión que funcione perfectamente. Los interruptores de potencia son el elemento central de las subestaciones aisladas en aire (AIS) y aisladas en gas (GIS). Los interruptores de potencia de alta tensión son equipos mecánicos de maniobra que interrumpen

y cierran los circuitos eléctricos (corrientes de trabajo y corrientes de fuga) y, en estado cerrado, conducen la corriente nominal.

Esencialmente, el interruptor en pequeño volumen consta por cada fase de un vástago móvil de contacto que se introduce en el eje del contacto fijo. Ambos contactos están contenidos en una cámara interruptora localizada dentro de aisladores huecos. Esos aisladores son fabricados de fibra de vidrio reforzada para aplicaciones de media tensión y de porcelana para tensiones mayores.

En el interruptor en pequeño volumen de aceite, cada fase tiene su propia cámara, la cual está a potencial de la línea. La parte viva y tierra están aisladas mediante soportes aislantes, lo cual lo clasifica como un interruptor de tanque vivo.

Debido al pequeño volumen de aceite utilizado en estos interruptores, se presenta una carbonización muy rápida por la interrupción de fallas y, por lo tanto, se requiere de un mantenimiento más frecuente que en los de gran volumen. Si el mantenimiento no es efectuado en el tiempo requerido, puede presentarse degradación interna en las superficies aislantes de la cámara interruptora, lo cual puede provocar una falla catastrófica. Esta es la principal desventaja y una de las razones del uso limitado de estos interruptores.

Figura 6. **Interruptores de potencia**



Fuente: elaboración propia.

1.4. Control de calidad

Es el conjunto de actividades, herramientas y mecanismos que se utilizan para detectar y minimizar los errores en las actividades. La función principal es asegurar que los servicios de mantenimiento, como en esta investigación, cuenten con un control de calidad que asegure que la probabilidad de falla de los equipos eléctricos de caldera y turbogeneradores sea mínima. De esta manera el proceso de generación de energía eléctrica estará controlado y el indicador de pérdidas de tiempo estará abajo del 3 % del tiempo efectivo de operación.

Krajewski (2008) se refiere a la administración de la calidad total (TQM). Esta es una nueva ciencia que realiza tres pilares para alcanzar los más altos niveles de desempeño y calidad de los procesos involucrados. Estos pilares se relacionan con la satisfacción del cliente, la involucración de los empleados y el mejoramiento continuo del desempeño (p.208).

El control de calidad implica un compromiso en todas las personas involucradas en el proceso, tanto en la administración, como en el campo operativo y técnico, todas las áreas de la organización están relacionadas como clientes y propietarios del proceso que en conjunto hacen de la operación un todo en el funcionamiento.

1.4.1. Calidad

La norma ISO 9000-2005 Indica que calidad se interpreta como el “grado en que unos conjuntos de características inherentes cumplen con los requisitos” (INTE ISO9000:2005, 2006, p.15). En contexto, que el producto final debe cumplir con los requisitos o especificaciones establecidas.

Según Feigenbaum (citado en Summers, 2006) la calidad debe definirse en términos de la satisfacción del cliente. Debido a las necesidades cambian en los clientes, la calidad es sobre todo multidimensional y dinámica, esta definición indica que el cliente tiene que estar complacido con el producto que compra o usa.

Deming (citado en Summers, 2006,) asegura que la calidad es multidimensional y debe definirse en términos de la satisfacción del cliente Deming es su definición de calidad da a comprenderse el énfasis de cómo el

consumidor percibe el producto que obtiene y consume, es decir que el cliente tiene la capacidad de juzgar la calidad del producto que ha obtenido.

De acuerdo con lo anterior, la calidad se encuentra en función de dos aspectos generales: 1) con base en la satisfacción del cliente y 2) con base en las características específicas del producto final, independientemente, de que sea un producto o servicio. Con estos dos aspectos se pueden determinar parámetros para conocer la calidad del producto para su uso final.

1.4.1.1. Herramientas de control de calidad

En calidad se usan siete herramientas que son básicas y a continuación se hace una breve explicación de que trata cada una de ellas.

Guajardo (2003), menciona las siete herramientas básicas de la calidad.

- Ishikawa “Diagrama causa-efecto”
- Hojas de verificación o recopilación de datos
- Histograma
- Diagrama de Pareto
- Estratificación
- Diagrama de Dispersión
- Gráficas de control

Además indica que para el uso se ofrece una breve explicación de cada una de ellas. Se prevé la utilización de más de alguna en la investigación a realizar. (p.145)

1.4.1.2. Diagrama Ishikawa

Guajardo (2003), Dice que la herramienta causa-efecto es destacado también como la utilización de la pescado o Ishikawa, la herramienta que es un diagrama es útil para presentar en forma gráfica y ordenada las causas que afectan en la calidad de un proceso, producto, o servicio; este tipo de esquema apoya a conceptualizar en forma sencilla las problemáticas de todo tipo, además es provechoso para efectuar la investigación inicial de un aprieto.

(...) dice que la forma de elaborar un diagrama causa-efecto es siguiendo los siguientes pasos para su elaboración:

1. Definir de forma breve el problema a analizar.
2. Escribir el efecto a resolver en la parte derecha y trazar una línea horizontal.
3. Delinear flechas diagonales sobre la línea horizontal hacia la línea central, en la parte superior de las flechas escribir cada uno de los factores que puedan originar el efecto como pueden ser las 6 emes.
4. Mientras la línea se acerca a cada flecha central se escribe las causas que divide el factor correspondiente (p. 149-151).

1.4.1.3. Hojas de verificación o recopilación de datos

Guajardo (2003), La hoja de datos en los cuales se incluye la de revisión es un utensilio de la calidad, el cual está diseñado para recopilar de forma sencilla los datos de factores o características previamente establecidas. Estas hojas se emplean para observar la periodicidad de las peculiaridades analizadas y construir esquemas, información de estado de las

operaciones, evaluar la tendencia, y comprobar características de la calidad a partir de los datos recolectados.

(...) indica que, para elaborar una hoja de verificación, se puede realizar de las siguientes formas:

- Definir la peculiaridad que se observará y que datos son importantes alcanzar.
- Especificar el periodo de investigación y el personal para hacer los análisis.
- Establecer un formato apropiado para el usuario y que sea de fácil uso.
- Precisar la simbología a manejar (p.152,153).

1.4.1.4. Histograma

Guajardo (2003), El histograma es un instrumento que “toma los diferentes datos de mediciones como temperatura, presión, etc., y se grafica en rangos mostrando su distribución. Los histogramas se utilizan para, para visualizar la inestabilidad de los datos respecto del promedio; diferenciar los datos reales con las especificaciones del proceso; comparar dos grupos de datos; visualizar el tipo de distribución estadística o sea una normal que tiene el proceso”, en resumen, el histograma es una herramienta que ayuda a representar en forma gráfica lo que está ocurriendo en un proceso, es decir, se posee una distribución normal o no. (p.155,156).

1.4.1.5. Diagrama de Pareto

Carot, (1998), Es una herramienta de la calidad para efectuar mejoras, puede emplearse:

Como una práctica de análisis de inconvenientes de eficacia.

Para constituir objetivos concretos.

A manera de un indicador para los efectos de las mejoras.

A manera de una herramienta de comunicación. (p. 360).

El diagrama de Pareto es una herramienta útil para indicar, en forma gráfica, cuál es el porcentaje de falla que posee un proceso.

1.4.1.6. Estratificación

Guajardo (2003), dice que la estratificación es una estrategia que se utiliza como herramienta la cual clasifica un grupo determinado de datos en series o bloque de causa con características muy similares. El objetivo es entender mejor qué está sucediendo en un proceso para hallar fácilmente la raíz de mayor impacto. (p. 155)

- Diagrama de dispersión

Miranda (2007) explica que el diagrama de dispersión es un análisis que relaciona dos variables las cuales existen entre dos características de un proceso en donde se pueden relacionar y se observan en el análisis graficadas en los ejes x & y que de regresiones y su representación gráfica da resultado una nube de puntos los cuales siguen una forma determinada de forma. Para realizarlo se representa en el eje de las x una determinada particularidad de la calidad y en y a una escala adecuada, la segunda característica. Posteriormente, se razonan los valores de cada una de las variables y de los puntos de corte según radios perpendiculares para determinar el tipo de correlación entre las variables.

1.4.1.7. Gráficas de control

Chang y Niedwiecki, 1999, p.83.afirman que “el grafico de control es un tipo de especial de grafico que se puede utilizar para: 1) interpretar información sobre un proceso creando una imagen de los limites posibles para la variación de este y 2) determinara con objetividad su un proceso se encuentra controlado o fuera de control”

Chang y Niedwiecki, (1999), Aparte de la necesidad de alcance de que las variaciones tengan lugar en un proceso manufacturado o de servicio, los gráficos de control forman una herramienta útil para establecer los límites son sobrepasados y, por lo tanto, se puede investigar la causa de ello. Para realizar un gráfico de control consta de cuatro etapas principales: 1) determinar que se medirá, 2) recolectar datos, 3) ingresar los datos del gráfico y 4) calcular los límites del control (p. 83).

1.4.2. Sistema de gestión de la calidad

San Miguel (2009), dice que un sistema de gestión de calidad –SGC- está conformado por toda la estructura de la empresa, las programaciones, los métodos y los recursos necesarios para asegurar que todos los productos y servicios suministrados a los clientes satisfacen sus necesidades, así como las expectativas que ellos poseen del producto (p.45)

“El método de gestión de la calidad toma en atención todos los aspectos de una empresa con respecto a la producción del producto final y toso esto con e l fin de satisfacer las necesidades de los clientes. El SGC posee el enfoque del ciclo de Deming: Planificar, hacer, verificar y actuar” (INTE-ISO9000:2005, 2006, p.3).

Fernández (2006), dice que los objetivos de un sistema de gestión de calidad son:

- Hacer el trabajo bien, con carácter habitual.
 - Hacer los trabajos según lo pactado o cumplido con los requisitos obligatorios.
 - Hacer las cosas bien desde la primera vez.
- a) Articular los medios para detectar y satisfacer las nuevas necesidades (p.31).

INTE-ISO9000:2005,2006, Un USG se basa en 8 principios de la calidad, enfoque al cliente, liderazgo, participación del personal, proceso, gestión basada en sistemas, mejoramiento continuo, decisiones basadas en hechos y relación mutuamente beneficiosa con el proveedor (pp. VI-VII).

1.4.3. Mejoramiento de la calidad

La norma ISO 9000:2015(2015), define la mejora continua de la calidad como “la actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos” (p.18).

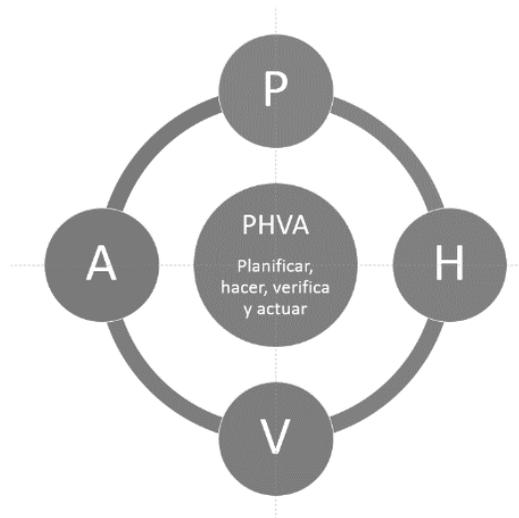
Miranda (2007) La mejora de la calidad presenta a ejecutar los cambios oportunos para que se alcance los niveles de calidad más altos que en ciclos preliminares. Proponen la siguiente secuencia para la resolución de problema en aras a la mejora continua.

- a) Probar la necesidad de mejora.
- b) Identificar los proyectos de mejora.
- c) Organizarlos equipos para cada proyecto.
- d) Diagnosticar las causas del problema.
- e) Facilitar una cultura y experimentar su confianza.
- f) Gestionar las resistencias al cambio por parte de los trabajadores.
- g) Establecer controles para poder mantener las mejoras alcanzadas. (p. 37-38)

1.4.3.1. Ciclo de Deming

Miranda, et. Al. (2007) indicó que, Deming establece que la mejora de calidad se puede utilizar el ciclo PDCA, el cual se observa en la figura siguiente. Este ciclo propone las siguientes fases en la solución de cualquier problema:

Figura 7. **Círculo PDCA**



Fuente: elaboración propia.

A la vez se compone de cuatro etapas que son a) planifica, b) hacer, c) verificar y d) actuar.

“una vez completo el ciclo, este regresará a frecuentar nuevamente partiendo del conocimiento acumulado en el anterior ciclo, lo que supone un modelo de mejora continua” (Miranda, et. Al., 2007 p.35), es decir que siempre se busca la forma de mejorar el proceso o una mejora constante del mismo.

1.5. Gestión de mantenimientos basados en control de calidad

Es una habilidad de las posibles para transformar un plan de mantenimiento de una industria y hacerlo eficiente en todos los ámbitos evaluados.

1.5.1. Confiabilidad

Mora (2009) afirma que:

Los pasos requeridos para la estimación de la confiabilidad en los mantenimientos permiten ejercer 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 efectivo de los recursos y productos de que se disponen para la operación, la medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas. Si no, el equipo es el 100 % confiable; si la periodicidad es baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es alta, el equipo es poco confiable.

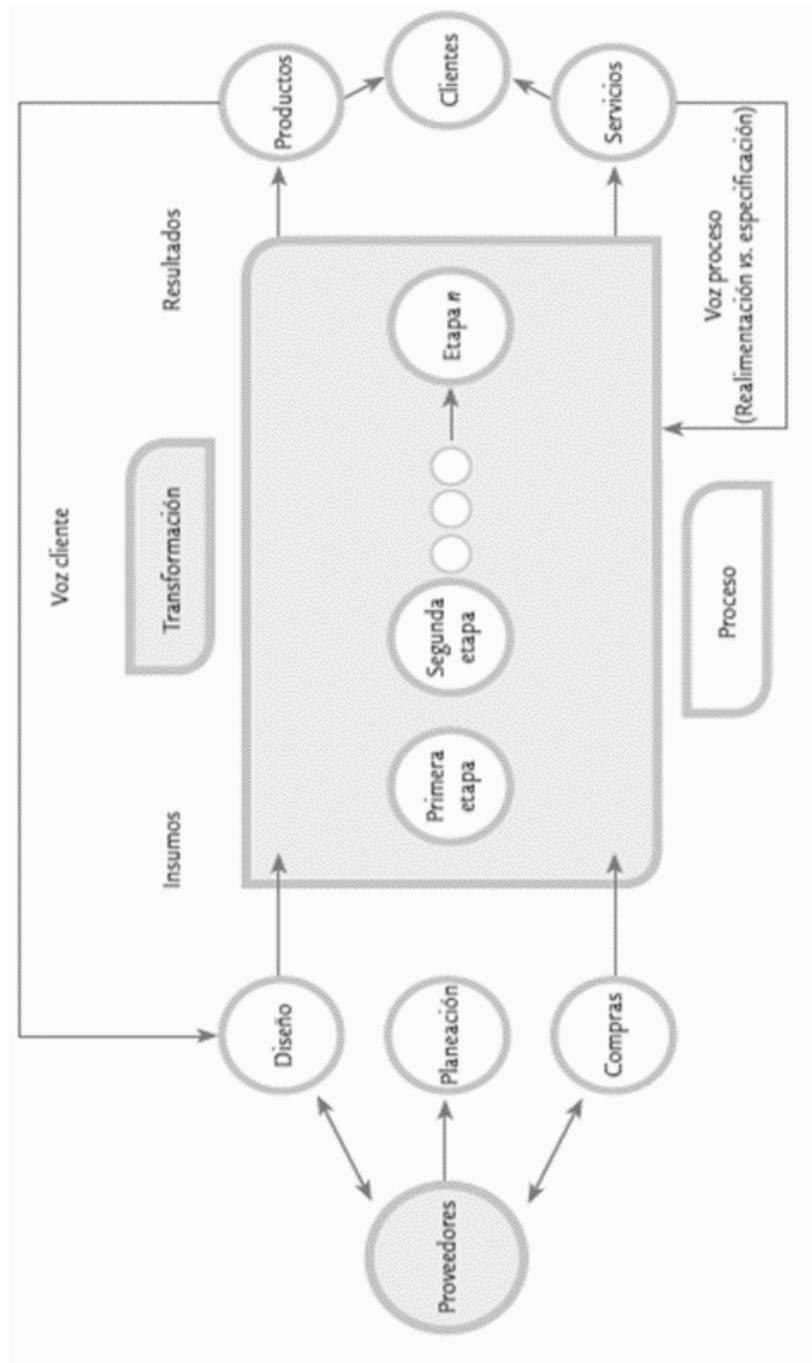
(...).A la vez, considera que la confiabilidad está apretadamente afín con la calidad del equipo y con continuidad considerada un dispositivo de ella. La calidad se puede definir cualitativamente como la total de satisfacción en cuanto a las exigencias de los usuarios de un producto. La confiabilidad se implica por el tiempo que el equipo continúa en marcha después de entrar en operación. Una baja calidad en los estándares del producto implica disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada (p. 95)

1.5.2. Calidad y competitividad

Gutiérrez (2009) desde la opinión de los clientes, las compañías existen para proporcionar un producto o equipo, un bien o un servicio, porque ellos necesitan productos o servicios con características que compensen sus necesidades y perspectivas. Estos productos o servicios son resultado de un *proceso*, los cual son un conjunto de actividades enlazadas o conectadas que reciben determinas característica que son evolucionados en un resultado llamado producto o servicio. Un programa está formado por varias fases y fases previas, mientras que los insumos incluyen sustancias, materiales, productos o equipos. Los resultados pueden ser un producto en sí o alguna modificación de los insumos, que a su vez será un insumo para otro proceso. (p 4).

Las variables de salida, las tipologías de calidad o variables de respuesta, las Y, son las variables en las que se manifiestan los efectos obtenidos en el proceso. A través de los valores que toman estas variables se evalúa la eficacia del proceso; por ello, al analizarlas se estará escuchando la voz de este (figura 8). Algunos ejemplos de estas variables que son específicas para cada tipo de producto y proceso son: dimensiones (longitud, espesor, peso, volumen); características físicas, químicas o biológicas; características superficiales, propiedades eléctricas, sabor, olor, color, textura, resistencia, durabilidad, etcétera

Figura 8. **Etapas de control calidad**



Fuente: Summers (2006). *Administración de la calidad*.

1.5.3. Ciclo PDCA

Herramienta básica para la evaluación de todos los procesos que se quieran investigar y mejora con el ciclo de Deming el cual es llamado también.

Palmer (2010) menciona que las empresas buscan trabajar en un modelo didáctico y simple de seguir para efectuar auditorías internas, independientemente de la experiencia que tenga su equipo o de los conocimientos de su sistema de gestión de la calidad (SGC). Se explica cómo, mediante la reducción de una serie de acciones y la atención del ciclo PDCA (PDCA, Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) base de la Norma ISO 9001:2008 se obtienen auditorías eficaces

El ciclo de control de calidad tiene que ser repetitivo y evaluado constantemente para poder ir avanzando y logrando las metas que se atrasado la empresa, en este caso se analizó lo sucedido con el proceso en los equipos y cómo, las fallas en los mantenimientos han disminuido para mejorar el indicador de control de tiempos perdidos, Además del PDCA se puede utilizar otra herramienta como el Ishikawa para encontrar la causa raíz del problema que está ocasionando las fallas.

1.5.4. Gestión de activos

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

En la gestión de activos influyen el tiempo de vida y el uso adecuado que se le pueda dar en el proceso, desde su concepción hasta su retirada. La gestión

de activos se ven influenciadas por las condiciones de la operación y que de esta depende la vida útil del mismo.

La gestión de activos según UNE –EN 16646, (2015) la gestión de los activos se define como las actividades coordinadas de una organización para crear valor a partir de los activos físicos. De manera más específica 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 (p.9)

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de esta investigación fue necesario cumplir con cinco fases basadas en un cronograma para cumplir con los objetivos propuestos. Además, fue necesario el apoyo de técnicos especialistas en mantenimiento e indicar los equipos que se estudiarían. Estos equipos fueron seleccionados por medio de una muestra estadística tomando en cuenta el universo de equipos instalados en el área de cogeneración del ingenio.

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 recolectarían los datos y una capacitación para utilizarlos. Se prioriza como objetivo de estudio el diseño del control de calidad, los mantenimientos en cuales son realizados en el periodo denominado no zafra o bien reparación. Estos se aplican a diversos equipos eléctricos, controlados en cada área, por ejemplo, cuánto tiempo estuvo disponible la máquina, cuánto tiempo estuvo en operación la máquina y tomando en cuenta el funcionamiento de sus condiciones de ubicación.

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 periodo 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. 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 PDHA el Ishikawa, con controles de calidad para determinar fallas y mejoramiento de los equipos eléctricos que se intervinieron de acuerdo con las fallas o por cumplimiento de horas trabajadas.

Como tercera fase se determinó en principio que todos los equipos eléctricos o mecánicos 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 producción de energía eléctrica para el propio consumo o para la venta. Estos equipos se usan 24 horas diarias durante 180 días que tarda el periodo de zafra. El funcionamiento continuo es importante para la eficiencia de la producción. Se analizaron por medio de técnicas, como las vibraciones, ultrasonidos y termografía. Si surge una falla se analiza con el método de causa raíz y se agrega el *check list* respectivo en control de calidad de los mantenimientos realizados.

En esta fase se analizaron las vibraciones en cada equipo, según se muestra en el desarrollo del trabajo presentado. En él se observa un modelo de establecimiento de un programa mensual aplicado rigurosamente para obtener resultados aceptables y datos reales con los cuales se forman tendencias de funcionamiento.

Se determinaron rutinas de engrase por medio de ultrasonidos aplicados periódicamente, según cronograma de actividades propuesto y verificado durante la investigación. Con ello, se determinó que cada equipo tiene una fase llamada línea base que obedece a sus condiciones.

Se analizó, por medio de termografía la cual esta calendarizada para todos equipos pequeños, medianos y grandes. Además, se determinó el mejor horario para medir la temperatura sin que la temperatura ambiental influya.

Por último, se comprobó que el cronograma de acciones es eficaz y viable en el cumplimiento.

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 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.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenido en el transcurso de la investigación, de acuerdo con los objetivos de la investigación.

Crear una cultura de registro de datos y análisis de información, para aplicarlos en modelos de mejora continua y así llevar un control del proceso de mantenimientos

Técnicas de chequeo antes de la puesta en marcha de equipos

Se realizan *check list* al culminar los mantenimientos a motores y turbogeneradores que llevó a cabo el personal capacitado. Se verifica el cumplimiento de los requisitos mínimos para la puesta en marcha de los equipos intervenidos. Este *check list* se muestra en la tabla II, la cual se diseñó para que, al llevar a cabo una prueba inicial de funcionamiento, se debe comprobar cada una de las actividades correspondientes. Con este diseño de preparación se muestran los equipos que deben estar disponibles para arranque en caldera, antes de ello, se deben aplicar las pruebas a cada uno para su funcionamiento.

Tabla II. Tabla de prueba de funcionamiento de equipos

ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	REALIZADO		HORA	OBSERVACIONES
		SI	NO		
PRUEBAS DE CALDERA 5, ESTADO FRÍO					
QUEMADORES LADO A					
1	Lanzas instaladas y limpias				
2	Manómetros y válvulas de circuito de diesel				
3	Manómetros y válvulas de circuito de vapor				
4	Manómetros y válvulas de circuito de Bunker				
QUEMADORES LADO B					
5	Lanzas instaladas y limpias				
6	Manómetros y válvulas de circuito de diesel				
7	Manómetros y válvulas de circuito de vapor				
8	Manómetros y válvulas de circuito de Bunker				
9	Bomba multietapas de diesel				
10	Bombas de bunker en tanques de diario (2 bombas)				
11	Bombas de trasiego en tanque almacenamiento general (4 bombas)				
12	Calentadores de bunker a vapor				
13	Calentadores de bunker electricos				
14	Cilindros de gas propano (2 cilindros)				
15	Manómetros y válvulas de líneas de gas propano				
ALIMENTADORES DE BAGAZO					
16	Nivelación de aceite en reductores de alimentadores (5 reductores)				
17	Transmisión de potencia en alimentadores (5 alimentadores)				
18	Prueba de motores de alimentadores				
VENTILADOR FORZADO					
19	Lubricación de rodamientos en ventilador forzado				
20	Tensado de fajas de transmisión de potencia				
21	Prueba de sentido de giro en motor de forzado				
22	Pruebas de rodado en vacío motor de forzado				
23	Acoplamiento de motor y ventilador forzado				
VENTILADOR INDUCIDO 1					
24	Lubricación de rodamientos en ventilador Inducido 1				
25	Tensado de fajas de transmisión de potencia Inducido 1				
26	Prueba de sentido de giro en motor de Inducido 1				
27	Pruebas de rodado en vacío motor de Inducido 1				
28	Acoplamiento de motor y ventilador Inducido 1				
VENTILADOR INDUCIDO 2					
29	Lubricación de rodamientos en ventilador Inducido 2				
30	Tensado de fajas de transmisión de potencia Inducido 2				
31	Prueba de sentido de giro en motor de Inducido 2				
32	Pruebas de rodado en vacío motor de Inducido 2				
33	Acoplamiento de motor y ventilador Inducido 2				
VENTILADOR SECUNDARIO					
34	Lubricación de rodamientos en ventilador Secundario				
35	Pruebas de sentido de giro en motor de Secundario				
36	Pruebas de rodado en vacío motor de Secundario				
37	Acoplamiento de motor y ventilador Secundario				
VENTILADOR OVERFIRE					
38	Lubricación de rodamientos en ventilador Overfire				
39	Pruebas de sentido de giro en motor de Overfire				
40	Pruebas de rodado en vacío motor de Overfire				
41	Acoplamiento de motor y ventilador Overfire				
42	Limpieza de parrilla Pin Hole				
43	Limpieza de ceniceros y circuito de agua				
44	Prueba de atemperadoras (apertura de boquillas)				
45	Deshollinadores electricos Retractiles				
46	Deshollinadores manuales de cadera banco de conveccion y superheater				
47	Deshollinadores de economizador				
48	Prueba hidrostática				
VENTILADOR AUMENTADOR DE AIRE A Y B					
49	Lubricación de rodamientos en ventilador				
50	Pruebas de sentido de giro en motor				
51	Pruebas de rodado en vacío motor				
52	Acoplamiento de motor y ventilador				

Auxiliar de Turno
Nombre y Código

Ingeniero Supervisor
Nombre y Código

Fuente: elaboración propia.

Para la puesta en marcha de los equipos, luego del mantenimiento, se debe hacer el *check* correspondiente a condiciones mínimas que se debe cumplir. Esto se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Check de liberación luego de mantenimiento**

COMPAÑÍA AGRICOLA INDUSTRIAL S.A.
 DIVISION INDUSTRIAL
 DEPARTAMENTO COGENERACION ELECTRICA
 REPARACION 2018
 FECHA DE MANTENIMIENTO _____



CHECK LIST DE REPARACION DE MOTORES ELECTRICOS

DATOS GENERALES

CODIGO ACTIVO FIJO	
UBICACIÓN	
MARCA	
CAPACIDAD	
AMPERAJE	
CATEGORIA	
FRAME	
RPM	
COJINETE DELANTERO	
COJINETE TRASERO	

	FASE A	FASE B	FASE C
VOLTAJE APLICADO			
MEDICION DE AISLAMIENTO			

	SI	NO
NECESITA CALEFACCION		

	TRASERA	DELANTERA
MEDICION DE TAPADERA		
APRIETE		

CABLES ALIMENTACION _____
 ESTADO DE TERMINALES _____

PUESTA EN SERVICIO

	FASE A	FASE B	FASE C
AMPERAJE			

	SATISFACTORIO	NO SATISFACTORIO
VIBRACION MOTOR		
VIBRACION MOTOR-BOMBA		
CALENTAMIENTO		
ROTACION		
RUIDO ANORMAL		

Observaciones _____

ELECTRICISTA _____
 INGENIERO SUPERVISO _____

Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos para cada equipo intervenido se guardan en una base física para consultarlos, si es necesario. Se plantea que estos datos sean guardados en una base digital. La tabla del anexo 4 muestra un *check list* de control de los equipos sometidos a las pruebas para ponerlos a disposición, luego de haber realizado los trabajos. Los datos son archivados en digital y seleccionados con fecha y persona responsable de la inicialización, para dar trazabilidad a su ejecución.

Establecer cuáles son los equipos críticos del departamento de cogeneración de energía eléctrica para determinar los controles necesarios en el sistema de control de calidad

Para determinar los equipos críticos de las áreas de cogeneración del ingenio se tomaron en cuenta las pérdidas de tiempo ocasionadas por todos los equipos y que afectaron el indicador en las últimas zafras. Se determinó una lista de equipos cuyas fallas influyeron en el tiempo y la eficacia de su operación. La tabla III los muestra.

Tabla III. Equipos críticos

UBICACIÓN	MARCA	POTENCIA (HP)	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE (V)	FRAME	RPM	COJINETE DELANTERO	COJINETE TRASERO
<i>Inducido 1</i>	Baldor	350 hp	388 Amp.	460	449 TY	1785	6319	6314
<i>Inducido 2</i>	A.C. Squirrel	350 hp		460	449 T	1780	6318	6318
<i>Forzado</i>	Baldor	250 hp	276 Amp.	460	449 T	1780	6319	6314
<i>Overfire</i>	Baldor	75 hp	88 Amp.	460	365 T	1760		
<i>Bomba Alimentación 2</i>	Gevisa	750 hp	813 Amp.	480	8211 Z	3560	75DCO3J3	75DCO3J3
<i>Bomba Alimentación 3</i>	Baldor	600 hp	128 Amp.	2300	50095Y	3575		
<i>Bomba 3 lubricación 1</i>	Baldor	5 hp	2.6 Amp.	460	182 T	1140		
<i>Secundario</i>	Electrical Motor	125 hp	139.4 Amp.	460	444 T	1780	6319/C3	3619/C3
<i>Forzado No. 2</i>	Baldor	60 hp	71 Amp.	460	364 T	1775	6313	6312
<i>Overfire</i>	Baldor	60 hp	9.5 Amp.	460	364 T	1775	6313	6312
<i>Inducido 1</i>	Baldor	400 hp	50 Amp.	4160	5011 LY	1790	6322	6222
<i>Inducido 2</i>	Baldor	400 hp	50 Amp.	4160	5012 LY	1790	6322	6222
<i>Bomba No. 1</i>	Baldor	500 hp	60 Amp.	4160	5009 SY	3580	6314	6314
<i>Bomba No. 2</i>	Pump Motor	500 hp	115 Amp.	2400	4509	3585	6316	6316
<i>Forzado No. 1</i>	Electrical Motors	300 hp	65 Amp.	2400	449T	1780	6220-J/C3	6220-J/C3
<i>Overfire No. 1</i>	Baldor	75 hp	92.4 Amp.	2400	449T	1785	6319	6314
<i>Secundario</i>	Electrical Motors	125 hp	139.4 Amp.	460	444T	1780	6319/C3	6313/C3
<i>Bomba de circulación No. 3</i>	Weg	400	484 A	480	355MIL	895	6322-C3	6319-C3
<i>Ventilador torre de enfriamiento No. 1</i>	Wertinghouse	150	173	460	445 T	1783	6316	6318
<i>Ventilador torre de enfriamiento No. 2</i>	Wertinghouse	150	173	460	445 T	1783	6316	6318
<i>Ventilador torre de enfriamiento No. 3</i>	Wertinghouse	150	173	460	445 T	1783	6316	6318

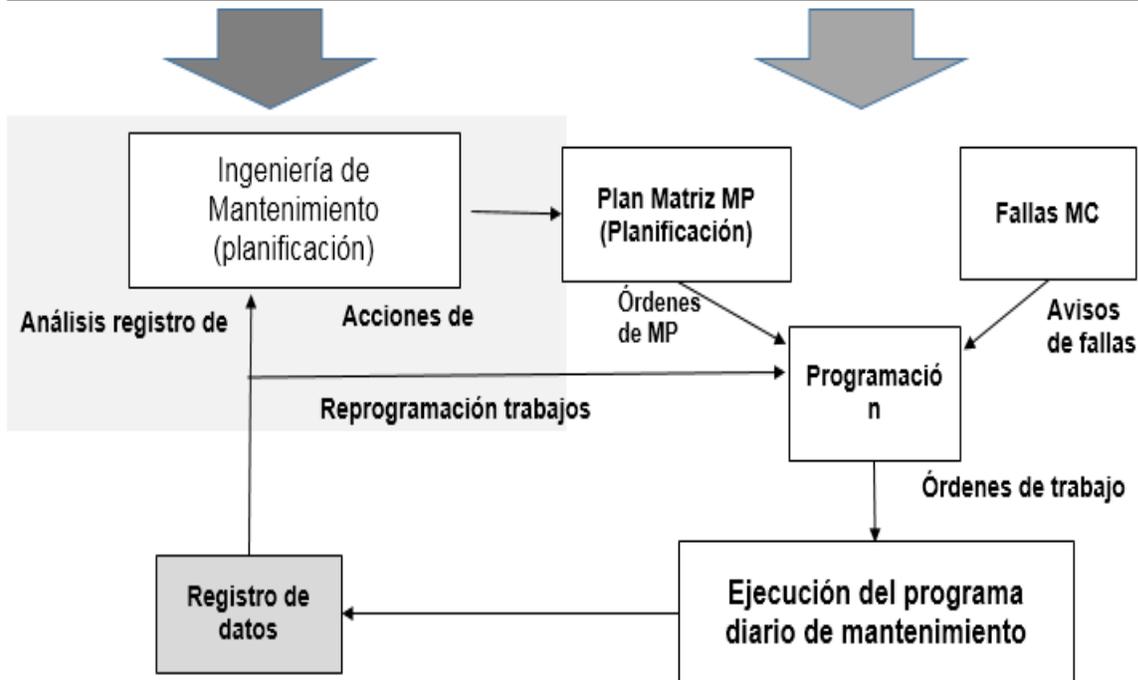
Fuente: elaboración propia.

Establecer un procedimiento para mantenimientos basados en el control de calidad para los equipos de acuerdo con las necesidades de cada uno de ellos

Para realizar el control de calidad y cumplir con la planificación de las tareas es necesario el compromiso de los diferentes departamentos de mantenimiento y de operación. Estos departamentos llevan a cabo los mantenimientos y toman los datos de las condiciones de los equipos que se han propuesto. Para ello, se debe cumplir un cronograma de actividades que refleje cada actividad que se debe realizar. En la tabla IV se muestra las responsabilidades y compromisos adquiridos por el equipo.

Tabla IV. **Distribución de tarea y compromisos del equipo**

El área de ingeniería de mantenimiento	El área de ejecución de los trabajos de mantenimiento
<p>Cuya misión de esta área es optimizar la forma como se realiza el mantenimiento en todos sus ámbitos, para ello se debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Estudiar y eliminar las fallas frecuentes (según estadísticas). -Mejorar el plan matriz de mantenimiento (completarlo y optimizarlo en forma permanente). -Mejorar contratos de servicios. -Mejorar convenios de repuestos y suministros. -Proponer mejoras logísticas. <p>La ingeniería de mantenimiento a veces llamada área</p>	<p>Ordenes de trabajo cuya misión es asegurar la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo, para ello debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Programar las actividades tanto preventivas como correctivas. Para lo cual debe coordinar el momento preciso para efectuar los trabajos. - Asegurarse de que los trabajos son ejecutados con calidad. -Registrar la información de mantenimiento para la retroalimentar ambas áreas. <p>La programación de actividades asegura la ejecución del mantenimiento de corto plazo.</p>



Fuente: elaboración propia.

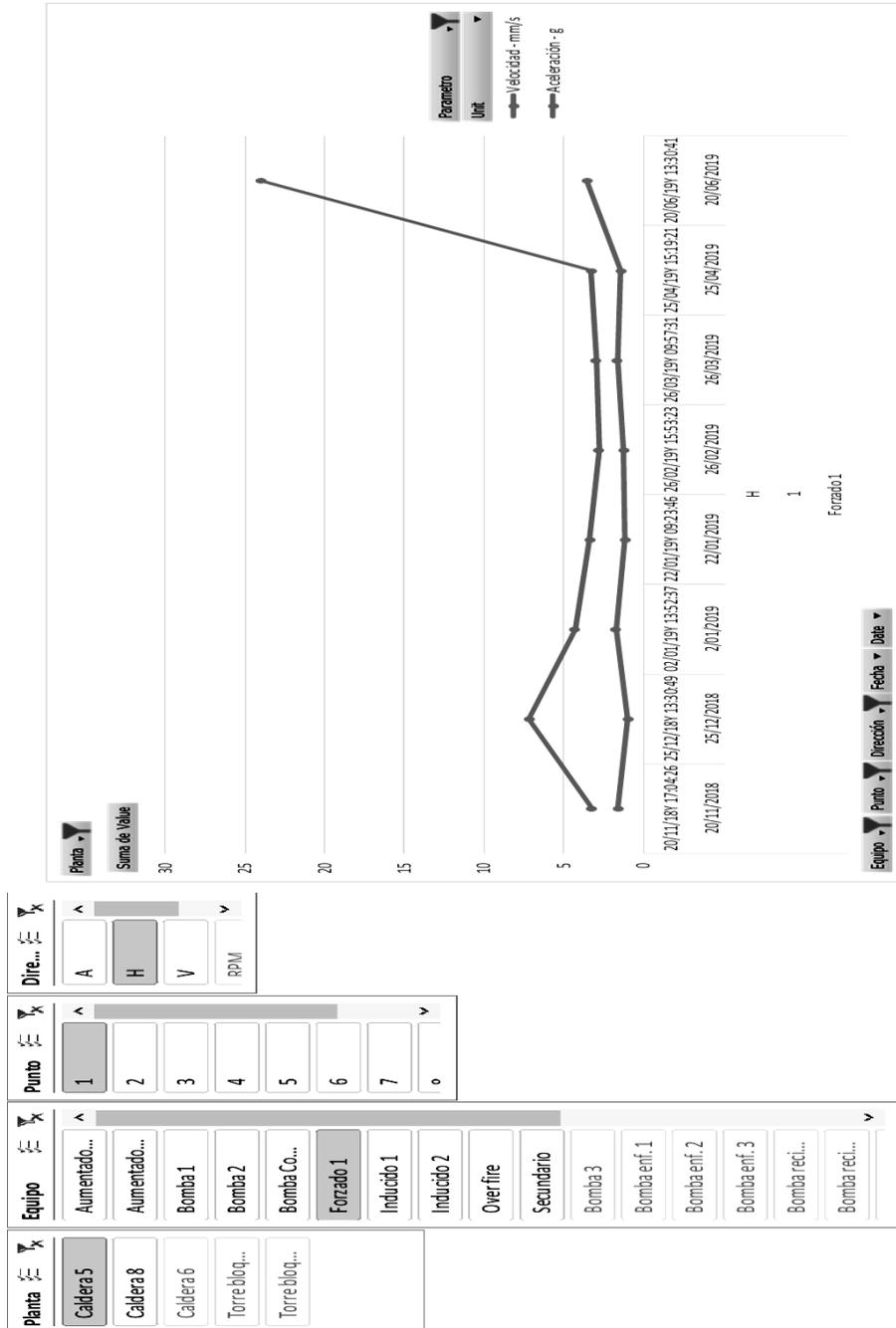
Toma de datos a equipos en funcionamiento en su operación y muestra de gráficas de tendencia

La toma de datos en los equipos sirve de tendencia y retroalimentación del estado de operación. Estas mediciones se basan en cronogramas, como se mostró en la figura 5. Son útiles también para formular conclusiones acerca de lo que se necesita, según una línea base de condiciones de operación, de acuerdo con los fabricantes de equipos y componentes. Estos datos de la línea base de cada equipo se obtienen a partir de las características de fabricación y de repuestos según marca. El uso de los equipos aporta predicción de probabilidad de falla y las condiciones de reparación de los mantenimientos que deben cumplir especificaciones técnicas del constructor. Ese punto se analiza para que no presente falla. Si se presenta algún problema se muestra un análisis de causa raíz para determinar qué tan severa puede ser la falla o bien corregirla antes de que ocasione problemas en el proceso.

La toma de datos se hizo con equipo especial de monitoreo de condiciones, luego, la información se vacía en Excel para graficarla, como se modela en la figura 10.

Figura 10. Tendencia de vibraciones en motor forzado caldera 5

Gráfico de tendencia



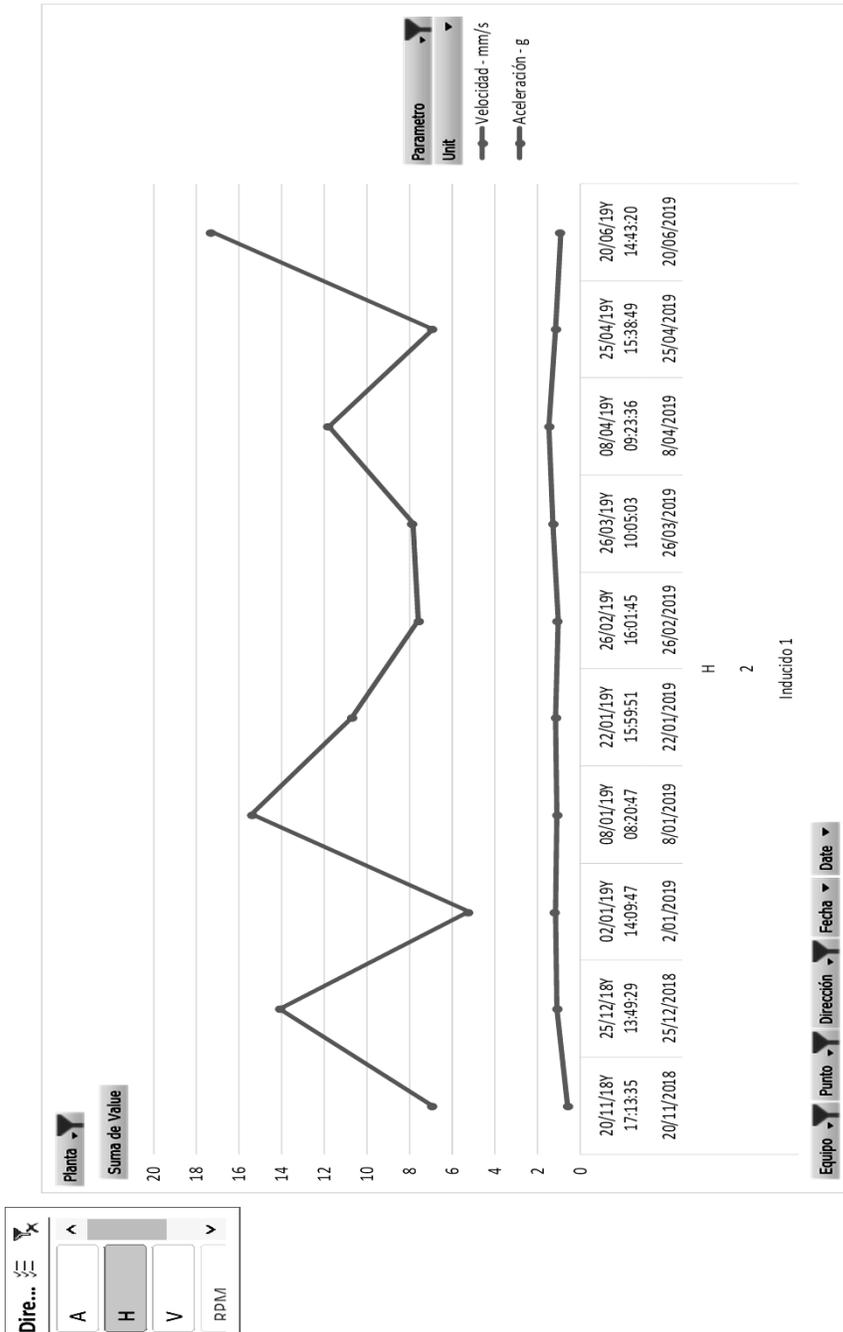
Fuente: elaboración propia.

En el eje Y de la figura 10 se encuentra la tendencia en mm/s en con respecto a la linealidad, en el X se presenta las fechas en las cuales fueron tomadas las lecturas, se puede observar cambios en el comportamiento de las condiciones.

Como se recolectaron datos de motores eléctricos en funcionamiento, como el motor forzado 1 caldera 5, en esta gráfica se determina que ha habido un cambio en las condiciones de funcionamiento en el equipo. La causa pueden ser varios factores que influyen en el funcionamiento, se analiza por medio de Ishikawa para este motor.

Se observa que la gráfica de tendencia de funcionamiento del equipo sube y, por tanto, se necesita una confirmación de los mantenimientos que mediaron y se realiza un PDCA en para determinar lo que está ocurriendo para que la lectura se haya incrementado.

Figura 11. Vibraciones de bomba de alimentación 2 caldera 6

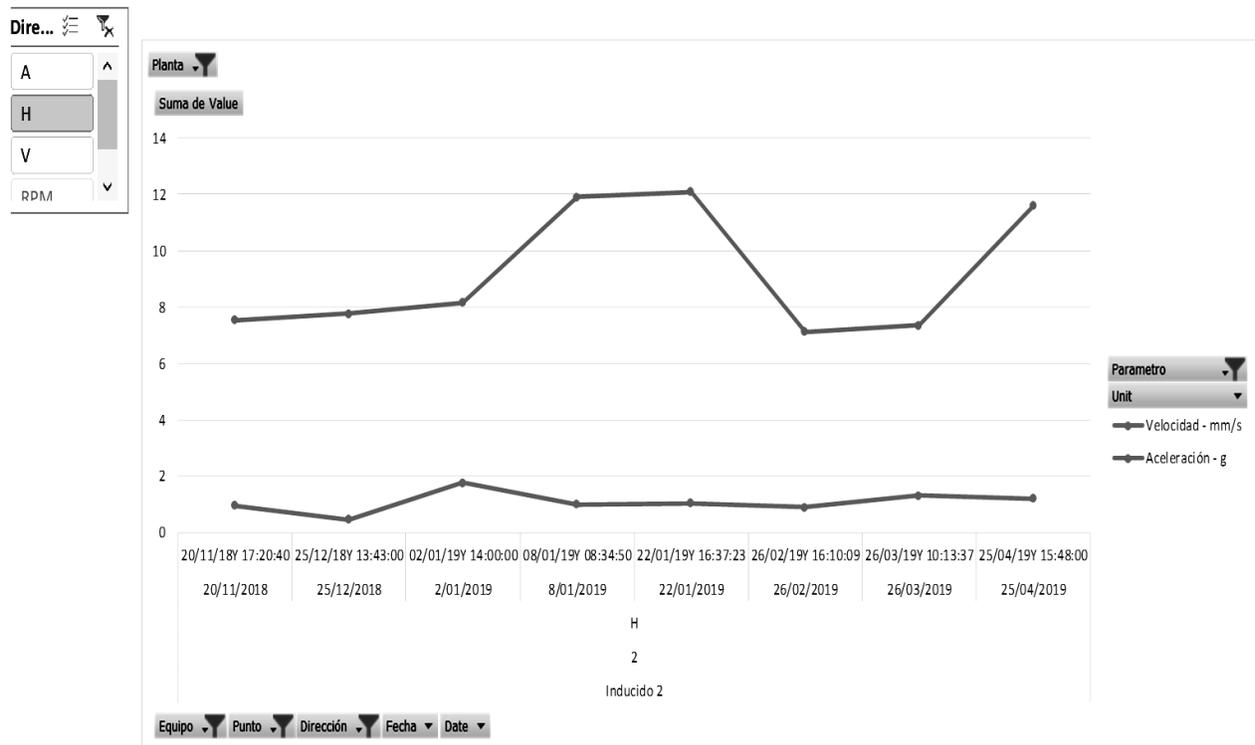


Fuente: elaboración propia.

En el eje Y de la imagen anterior se encuentra el movimiento en mm/s en con respecto a la linealidad, en el X se presenta las fechas en las cuales fueron tomadas las lecturas, se puede observar cambios en el comportamiento de las condiciones.

En la gráfica anterior se observa que las vibraciones en el punto horizontal del motor han mantenido variable. En este caso se analizan las vibraciones, los ultrasonidos y termografía. Sin embargo, se determina que el problema está en la manera de puesta en marcha del motor no se llevó a cabo con un estándar de puesta en marcha adecuado.

Figura 12. **Vibraciones motor inducido 2 caldera 5**



Fuente: elaboración propia.

En el eje Y de la figura anterior se encuentra el movimiento en mm/s en con respecto a la linealidad, en el X se presenta las fechas en las cuales fueron tomadas las lecturas, se puede observar cambios en el comportamiento de las condiciones.

En la gráfica anterior se observa que la vibración en el punto horizontal del motor se ha mantenido variable. Por ello, se analizan las vibraciones, los ultrasonidos y la termografía, pero se determina que el problema es cómo se toman datos en la inicialización de la puesta en marcha del motor, ya que no se llevó a cabo con un estándar de puesta en marcha adecuado.

Diseñar un sistema para el control de calidad en mantenimientos en el área de cogeneración de los equipos eléctricos de calderas y turbogeneradores de un ingenio azucarero

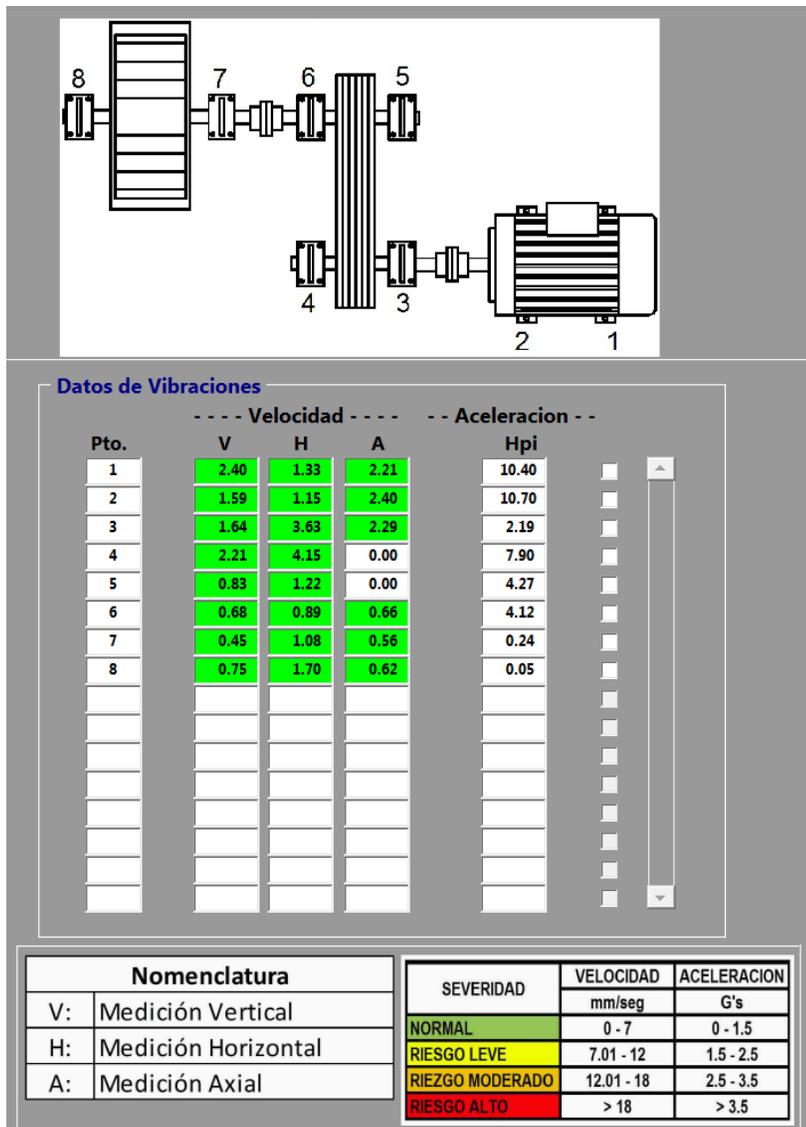
Los datos de las muestras obtenidas con equipo de vibraciones y ultrasonido revelan gráficas de tendencia según las condiciones de operación y de funcionamiento que se esté realizando en el transcurso de la puesta en marcha. Con esto es posible anticiparse a un problema para corregirlo, según la experiencia en cada ramo o bien determinando desde un análisis de causa raíz por medio de un PDCA o un Ishikawa que establezca porción de la solución. Esta es la justificación de esta investigación, ya que no se enfoca el interés en la solución específica de las fallas que puede sufrir un equipo, sino en la predicción de que no sucederán de nuevo.

Se realiza un Ishikawa por repetición a cada motor y a continuación se presenta uno como muestra del trabajo de campo.

Además de esto se automatizaron las lecturas de las variables en el programa Siges, como se muestra a continuación.

Datos en un equipo específico puesto en escenario Siges tomado de su plataforma para seguimiento.

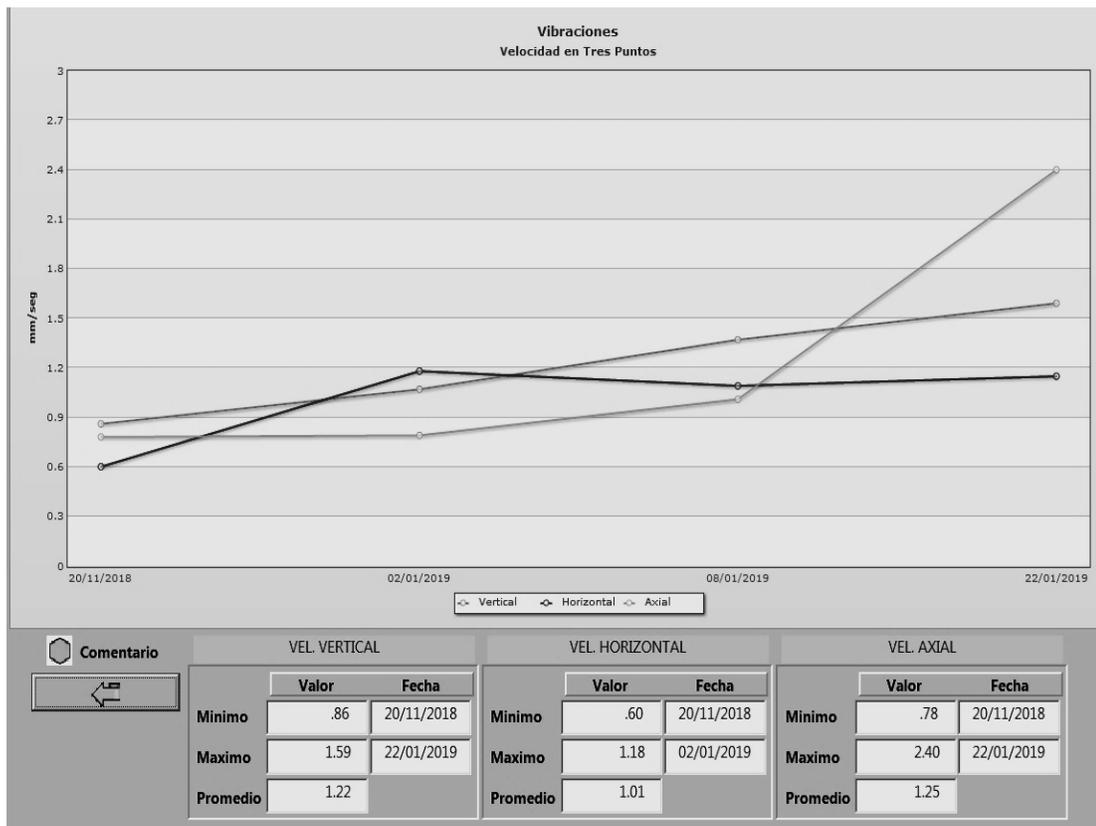
Figura 14. Lecturas en plataforma Siges



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

Además, las gráficas de tendencia ya se pueden ver en el sistema automatizado Siges sin necesidad de usar un Excel para la tabulación de datos obtenidos, como se muestra en la figura 16.

Figura 15. **Gráfica que muestra las tendencias de vibraciones un motor eléctrico ya utilizando el sistema Siges**



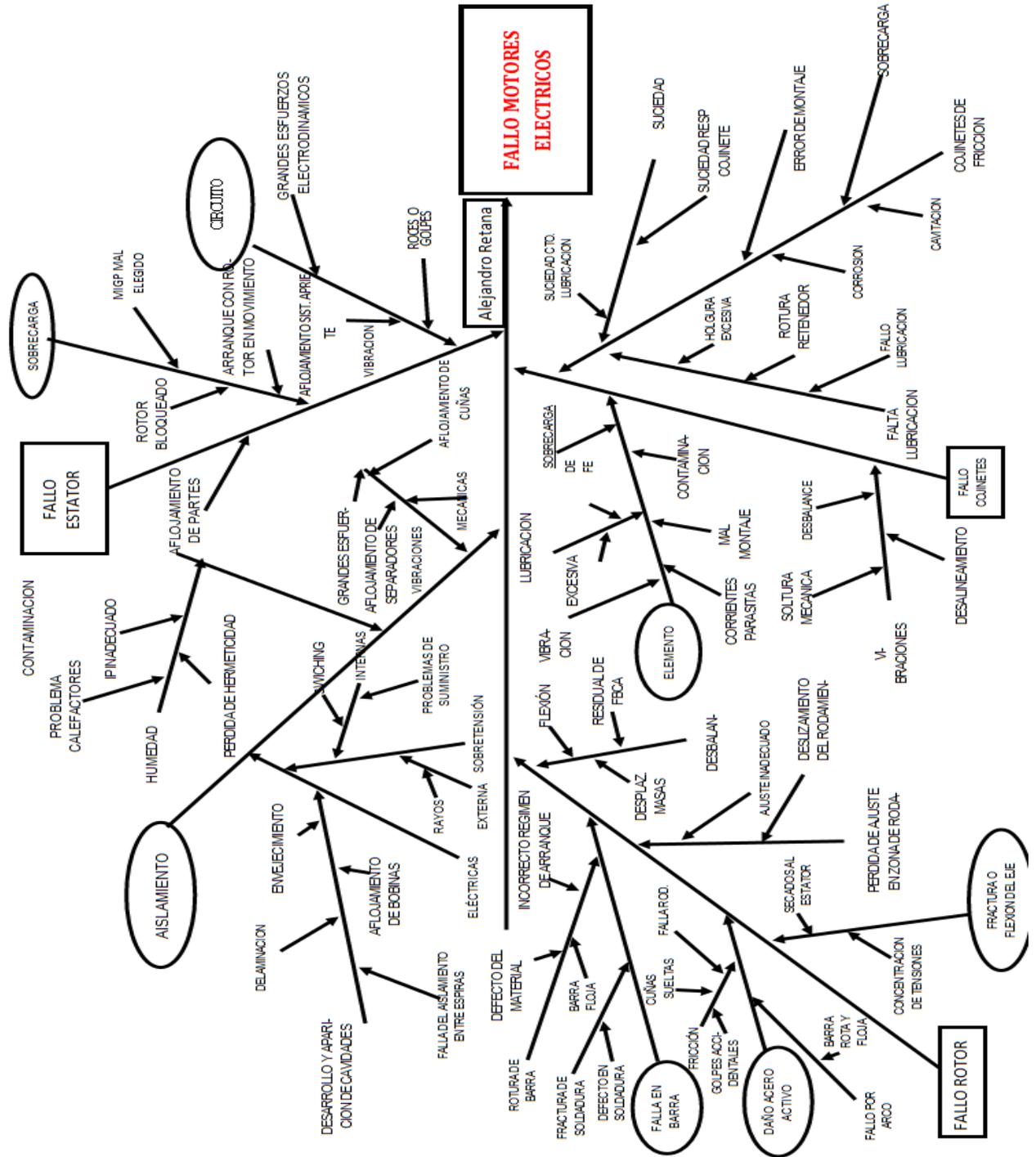
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

En esta figura 15 se muestra la automatización de los datos en el escenario de Siges, este trabajo fue realizado en conjunto con el área de informática.

3.1. Determinación de planes de acción

Durante la toma de datos, se revelaron anomalías en la forma de cómo se alinearon los motores y en la instalación de componentes la variación de los métodos de alineación, que es diferente en cada mecánico. La instalación de los componentes y partes móviles y fijas también son diferentes en cada electricista. Por tal motivo, se realizaron modelos para cada uno de los mantenimientos, de esta manera se lleva a cabo una intervención de calidad en repetición uno de los procesos en que se pone disponible los equipos intervenidos. En ese punto inicia el análisis del control a la calidad de mantenimientos, por los laudos se decreta una matriz, con el análisis de Ishikawa para todas las fallas se han presentado en los equipos se presenta los resultados en las imágenes siguientes:

Figura 16. Ishikawa de fallas en motores equipos rotativos



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Matriz de fallas recurrentes en equipos**

TIPOS DE FALLOS	Inspec. visual	Descargas parciales	Vibraciones	Rigidez Dieléctrica	Tangente & Aislamiento	Temperatura	Resistencia aislamiento	Espectro corriente estator	Corriente de Sec. Negativa	Pérdidas Magnéticas	Resistencia del devanado	Corriente de vacío	Corriente	Imp. De Sec. Negativa	Corriente de Sec. Cero	RD. Impulsos	Delta T Aire de enfriamiento
Eléctrica, aislamiento del estator a tierra	✘			➡	➡		➡									➡	
Eléctrica, aislamiento del estator espiras						➡		↔	➡					➡		➡	
Eléctrica, aislamiento entre fases	✘	➡		➡	➡		➡										
Cubierta semiconductora	✘	➡		➡	➡												
Aflojamiento de cuñas	✘	➡	➡														
Aflojamiento de bobinas en ranura	✘	➡	➡	➡	➡												
Aflojamiento de bobinas en cabezas	✘		➡	➡													
Contaminación y humedad	✘	➡		➡	➡		➡										
Aislamiento bushings	✘	➡		➡	➡		➡										
Circuito magnético	✘		➡			➡			➡	➡							
Asimetría del devanado			➡			➡		↔	➡	➡	↔	↔	↔	➡			
Barras rotas en el rotor	✘		↔														
Desbalance tensiones			➡			➡		↔	➡	➡		↔	↔				
Fallo del enfriamiento		➡				➡					➡						➡
Total de fallas descubiertas	10	7	7	7	6	5	4	4	4	3	2	2	2	2	1	1	1
pareto de fallas	71%	50%	50%	50%	43%	36%	29%	29%	29%	21%	14%	14%	14%	14%	7%	7%	7.1%

Fuente: elaboración propia.

Al tomar en cuenta las fallas que salieron monótonas en el Ishikawa de fallas, se muestra un resumen acerca de estas causas. Este diagrama se elaboró con la colaboración de los técnicos especialistas encargados del mantenimiento y la manipulación de cada uno de los espacios que se evaluaron.

Las causas repetitivas se muestran a continuación: hay 6 causas importantes de fallos de las maquinas rotativas eléctricas:

- Sobrecorriente
- Baja resistencia
- Sobrecalementamiento
- Suciedad
- Humedad
- Vibraciones

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se analiza la validez interna y externa del trabajo de investigación y del análisis de los resultados obtenidos.

- Análisis interno

Una fortaleza de la investigación es que tiene como sólido fundamento que la información tomada es hecha por personal altamente calificado y certificado en las tareas, así como los registros de los datos son guardados en una plataforma digital, SIGES tiene un apartado creado específicamente para llevar control de datos de mantenimiento. Las debilidades del sistema están en las variaciones de los parámetros evaluados en equipos eléctricos conforme su ubicación y condiciones de la operación influye en el desempeño de la vida útil de los propios. La falla aparece dada por los efectos de la operación, mantenimientos o bien por la degradación de las partes móviles o por equipos ya obsoletos que sigue en funcionamiento provocando una ineficiencia al sistema productivo.

- Otra fortaleza importante es la compilación de información completa del 100 % de la muestra planteada y la toma de datos fue exitosa.

Una debilidad es el control en el espaciamiento de mantenimientos de los equipos, ya que estos ocasionan pérdidas de tiempo. Otra debilidad está en los equipos obsoletos puesto que son propensos a fallar y su eficiencia es baja la cual provoca una alta probabilidad de no estar disponible y provocar interrupciones del proceso. Además, consumen más energía eléctrica y mayor uso de repuestos en las fallas.

No existieron problemas significativos, pero si mínimos como ejemplo el uso de los aparatos de monitoreo a la investigación puesto que no se conocían se tuvo que capacitar al personal.

Un problema recurrente fueron las condiciones climáticas para la toma de datos de termografía.

Hay personas que no aceptan fácilmente el cambio y los avances tecnológicos y organizacionales. Con estas personas se estableció un diálogo para que comprendieran la importancia de la investigación y de los resultados que se buscan por medio de los objetivos planteados.

Los métodos de investigación empleados permitieron obtener la información necesaria para conseguir los objetivos planteados en la investigación.

En cuanto a la validez de la investigación, se argumenta lo siguiente:

Que la toma de datos a los equipos, el ingreso de estos a los archivos se hace con supervisión del ingeniero a cargo de la investigación y el análisis por medio del Ishikawa es con los técnicos encargados de los trabajos de mantenimiento y con los técnicos profesionales y certificados que toman los datos en campo.

Según los antecedentes de la investigación y la información de mantenimiento, el ingeniero a cargo del área o el dueño son responsables del proceso para dar seguimiento a lo encontrado en los *check* propuestos y en el plan de control de calidad ya en funcionamiento de los equipos que se están valorando, sistema de observación de calidad en los mantenimientos es responsabilidad de todas las áreas involucradas.

- Análisis externo

Para hacer el análisis externo de esta investigación se presenta el estado del arte que sirvió de base, guía y de orientación para trabajar este estudio

En la investigación relacionada con el tema referente al diseño para un sistema de control de calidad para realización de mantenimiento

Salguero (2007) menciona: La adopción de un sistema de control de calidad debe ser decisión estratégica de la organización. Para que los procesos y personas involucradas estén alineadas en el objetivo de la empresa y así formar un equipo que trabaje para lograr dichos objetivos. (p.25)

Esto se aplica en nuestra investigación puesto que si no se tiene el apoyo de la gerencia es difícil llevar a cabo el funcionamiento de lo planteado, pero en esta investigación se obtuvo ayuda y colaboración de todos los departamentos implicados en la apuesta en marcha del proyecto.

Salguero (2007) “El diseño y ejecución del sistema de control de calidad de una organización está afectado por diferentes necesidades y objetivos”. (p.1), traduciendo la estrategia de la organización específica y consistente, presentándola por 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 control de calidad en los mantenimientos es utilizada una metodología de compilación de datos a base de entrevistas y toma de datos de los equipos involucrados en el proceso, en el cual se concluye que la técnica de calidad se logra el objetivo de mejora continua y obtener las condiciones óptimas para los equipos.

Con base en la investigación mencionada el control de calidad en mantenimientos es posible cuando la gerencia está comprometida con el logro

de dichos objetivos, así como la utilización de una herramienta llamada el círculo de Deming, el cual será útil para que el investigador inicie la planificación, la verificación, hacer y el actuar en cada mejora propuesta. En cada familia de equipos utilizando una gestión de activos para seleccionar cada una de ellas y enfocar la investigación en la solución de fallas en equipos por categoría

Cada falla que sucede en el sistema se debe evaluar por medio del PDCA y un Ishikawa la mejor solución o bien determinar la causa raíz de lo que está pasando.

Así mismo, el mantenimiento apoyado en la confiabilidad estratégica de las plantas de generación eléctrica.

Según García (2004) en su investigación dice: 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 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 mecanismo que tiene una tasa de conflicto atenuante, ninguna relevancia desarrollara la tasa de fallo. Por el contrario, tasa de peligro es invariable la sustitución no presentara ninguna variación en la probabilidad de fallo, pero si tiene una probabilidad de fallo y tienen una tasa creciente programando la sustitución en el momento adecuado se incrementará teóricamente la confiabilidad del sistema, como también se concluye en este desconocido marco, las acciones de mantenimiento tienen un sobre salto distinguido, ya que son las delegadas de garantizar, al mínimo costo posible, que los

compendios fructíferos desarrollen en todo momento la función para lo que han sido diseñados (p. 211).

Con la investigación podemos concluir que es necesario llegar al nivel cuatro del mantenimiento para poder estar con el mantenimiento basado en la confiabilidad y emplear un control de la calidad.

En la investigación se demuestra la importancia del control de mantenimientos en los equipos y el cuidado de las variables de operación esas variables que pueden provocar salidas de línea pérdidas de carga o bien fallas críticas.

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 hará el análisis de la periodicidad de ocurrencia 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 cumplida su vida útil. Esto se debe 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.

Para la investigación se demostró que los equipos críticos deben tener un cuidado especial con rutinas de chequeo mucho más constantes para hacer una tendencia del comportamiento en el transcurso del tiempo y así poder adelantarse en las reparaciones y predecir qué tan caro sale los repuestos a utilizar.

Por otra parte, Reyes (2016) en su investigación de plan de mejora de gestión de mantenimiento define la tarea de mantenimiento como: proponer

un plan de mejoramiento la tarea de mantenimiento mediante los parámetros fundamentales y críticos de los procesos involucrados en el proceso productivo del sistema integral del mantenimiento, utilizando una muestra no probabilístico intencional, ya que cumple con los requerimientos mínimos de una matriz de evaluación en el que se compara cantidad y diversidad de equipos, determinando un modelo importante para el progreso continuo del servicio 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 concluyendo, 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).

Tomando como referencia las conclusiones de la investigación en el párrafo anterior se propone la evaluación del control de calidad por medio de indicadores los cuales se tienen que revisar periódicamente para verificar que se esté aportando a las mejoras del sistema. También ofrece la realización de una matriz para evaluar estadísticamente las fallas que ocurren en los equipos o analizarla por medio del círculo de Deming. De esta forma se revisa la causa raíz de nuevo para hacer los cambios debidos y que el sistema de control de calidad funcione y ofrezca los resultados de disminuir las fallas que ocasionan las pérdidas de tiempo.

Así mismo, Enríquez (2016) en su investigación menciona la importancia de un modelo de gestión de mantenimiento en las plantas generadoras nace debido a la necesidad de mantener disponibles y confiables a los equipos de generación de energía eléctrica, entendiendo el proceso de producción se identifican los equipos principales utilizando métodos disponibles para evaluar la criticidad de cada equipo seleccionando estrategias

enfocados a métodos cuantitativos para evitar pérdidas de producción, llegando a concluir que la implementación de una estrategia de mantenimientos debe ser dinámicos y actualizados periódicamente en función de la nueva información generada o contextos operacionales, así como también concluye 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 contemplar la combinación de estas diferentes estrategias (p. 58)

Esta investigación muestra la necesidad de aplicar una sola estrategia en la implementación del sistema de control de calidad en los mantenimientos para evitar pérdidas en el proceso de producción. La estrategia que se debe seguir en la elaboración del sistema es el análisis de la causa raíz que provocan las fallas, la utilización de herramientas de gestión como el círculo de Deming que es muy importante en la evolución de los procesos.

Finalmente, Ramírez (2014) en su investigación análisis de datos de falla 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 el afán aplicado a teoría de fallas de Weibull concluyendo en su investigación que el sumario de maniobra y mantenimiento de medios eléctricos, electrónicos y mecánicos, es sustancial el estudio de la seguridad de estos, por lo cual, es necesario valorar los índices más típicos que expresan la vigencia de la operación, Así como también concluye que toda la observación realizada, accederá tomar decisiones sobre los canjes operativos del método y sobre el 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).

Según el antecedente anterior es importante archivar los datos y tenerlos en un lugar adecuado para analizarlos. El análisis estadístico es viable para predecir la frecuencia de fallas, de ahí la necesidad de efectuar un archivo con acceso a los interesados en la plataforma Siges el archivo de los datos.

Con el teorema estadístico de fallas de Weibull se encuentra 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.

El cumplimiento de *check list* de puesta en marcha, de armado y el cronograma de actividades, se necesita un compromiso del supervisor de actividades y de los técnicos asignados para el cumplimiento de estos

Se desarrolla una fase para cada objetivo, puesto que es necesario demostrar y cumplir con los mismos para dar veracidad a nuestra investigación

- Análisis de resultados

Crear una cultura de registro de datos y análisis de información de equipos para aplicarlos en modelos de mejora continua y así poder llevar mejor control del proceso de mantenimiento.

Los trabajos de mantenimiento son tareas no repetitivas y tienen mayor variabilidad en los resultados esperados y en el comportamiento de equipos. En el proceso de trabajos no monótonos y fortuitos se puede recopilar suficientes

datos llenando registros para alimentar una base de datos la cual sirve y servirá para el análisis de cada uno según necesidad o aspecto por evaluar. Se hicieron análisis gráficos ploteando resultados de los datos obtenidos con herramientas eficaces de control de calidad, se analizaron con diagramas de Ishikawa y PDCA se determinaron aspectos que, a simple vista, no son obvios para la solución de los problemas y para desarrollar una solución las pérdidas de tiempo y fallas en los equipos. El proceso de control es básico para sus entradas y para analizar su funcionamiento rutinario que son las salidas o lo que se espera que dé en cada corrida de toma de datos la cual se programó según disposición de personal y de equipos.

Se desarrolló un sistema en el cual, las tareas de recopilación de datos, sea procedente de los escenarios de trabajo de los equipos evaluados o trabajados, por tales mociones principales para asegurar satisfacciones de alta calidad, y eficacia con estándares justos para obtener la máxima disponibilidad, y darle extensión del ciclo de vida del equipo y tasas eficientes de producción del equipo.

La inspección de calidad es un método formado que se ha trabajado con mayor ímpetu en las sistematizaciones de producción y fabricación que en mantenimiento. Sin embargo, se ha tomado como importante el papel del mantenimiento en la ganancia y eficacia a largo plazo de una estructura productiva.

Por tal motivo surge la necesidad de hacer énfasis en el control para la calidad en mantenimientos en áreas definidas y las cuales impactan en la producción de energía y azúcar en el ingenio, el mantenimiento tiene dos áreas que deben gestionarse: la planificación y programación de actividades que asegura la realización del mantenimiento de breve término y la ingeniería que

vela por el valor agregado como el mantenimiento en el mediano y largo plazo, basado en calidad o bien llamado confiabilidad.

Para llevar a cabo un control de calidad en los mantenimientos se proponen una serie de *check list* en su mantenimiento y para tener los datos en documento y en una base de datos para su análisis.

Determinar los equipos críticos del departamento de generación de energía eléctrica para establecer los controles necesarios en el sistema de control de calidad

En la tabla que se muestra más adelante, se incluyen activos que se proponen para un control de calidad en sus mantenimientos con esto, basado en condiciones críticas de operación y con un análisis estadístico de que son los equipos que tienen una influencia cuando se sucede un fallo, puesto que estos si fallan impactan en pérdidas de tiempo en la operación. Estos equipos son críticos porque no contienen un equipo que los pueda reemplazar o bien por la complejidad de su ubicación y de la forma para el trabajo, hay equipos de estos que si salen de operación pueden ocasionar el paro del proceso productivo.

Los equipos desarrollados se exponen en la tabla VI que se muestra.

Tabla VI. Equipos analizados

UBICACIÓN	MARCA	POTENCIA (HP)	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE (V)	FRAME	RPM	COJINETE DELANTERO	COJINETE TRASERO
<i>Inducido 1</i>	Baldor	350 hp	388 Amp.	460	449 TY	1785	6319	6314
<i>Inducido 2</i>	A.C. Squirrel	350 hp		460	449 T	1780	6318	6318
<i>Forzado</i>	Baldor	250 hp	276 Amp.	460	449 T	1780	6319	6314
<i>Overfire</i>	Baldor	75 hp	88 Amp.	460	365 T	1760		
<i>Bomba Alimentación 2</i>	Gevisa	750 hp	813 Amp.	480	8211 Z	3560	75DCO3J3	75DCO3J3
<i>Bomba Alimentación 3</i>	Baldor	600 hp	128 Amp.	2300	50095Y	3575		
<i>Bomba 3 lubricación 1</i>	Baldor	5 hp	2.6 Amp.	460	182 T	1140		
<i>Secundario</i>	Electrical Motor	125 hp	139.4 Amp.	460	444 T	1780	6319/C3	3619/C3
<i>Forzado No. 2</i>	Baldor	60 hp	71 Amp.	460	364 T	1775	6313	6312
<i>Overfire</i>	Baldor	60 hp	9.5 Amp.	460	364 T	1775	6313	6312
<i>Inducido 1</i>	Baldor	400 hp	50 Amp.	4160	5011 LY	1790	6322	6222
<i>Inducido 2</i>	Baldor	400 hp	50 Amp.	4160	5012 LY	1790	6322	6222
<i>Bomba No. 1</i>	Baldor	500 hp	60 Amp.	4160	5009 SY	3580	6314	6314
<i>Bomba No. 2</i>	Pump Motor	500 hp	115 Amp.	2400	4509	3585	6316	6316
<i>Forzado No. 1</i>	Electrical Motors	300 hp	65 Amp.	2400	449T	1780	6220-J/C3	6220-J/C3
<i>Overfire No. 1</i>	Baldor	75 hp	92.4 Amp.	2400	449T	1785	6319	6314
<i>Secundario</i>	Electrical Motors	125 hp	139.4 Amp.	460	444T	1780	6319/C3	6313/C3
<i>Bomba de circulación No. 3</i>	Weg	400	484 A	480	355MIL	895	6322-C3	6319-C3
<i>Ventilador torre de enfriamiento No. 1</i>	Wertinghouse	150	173	460	445 T	1783	6316	6318
<i>Ventilador torre de enfriamiento No. 2</i>	Wertinghouse	150	173	460	445 T	1783	6316	6318
<i>Ventilador torre de enfriamiento No. 3</i>	Wertinghouse	150	173	460	445 T	1783	6316	6318

Fuente: elaboración propia.

Estos equipos fueron analizados durante seis meses en el periodo de zafra y dos meses en el periodo de periodo, fueron seleccionados por el impacto que se tiene por algún tipo de falla.

Propuesta de un procedimiento para mantenimiento evaluados por un control de calidad

Se propone un calendario repetitivo mensual para control de condiciones del equipo y mantenimiento para evaluar la calidad de los mantenimientos de los equipos eléctricos de cogeneración y saber qué mantenimientos se les pueden dar cuando estén disponibles para este o bien con los datos se puede analizar si necesita una intervención temprana.

Tabla VII. Control de calidad para evaluación de condiciones

Departamento	Equipos	Variables	Variador	DICIEMBRE													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
				V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M		
Caldera 5	Inducido 1	1500 RPM	S					LUB							UTA		
	Inducido 2	1500 RPM	S					LUB							UTA		
	Forzado 1	1800 RPM	S					LUB							UTA		
	Secundario	1800 RPM	N					LUB							UTA		
	Over fire	1800 RPM	N					LUB							UTA		
	Aumentador 1	1200 RPM	S					LUB							UTA		
	Aumentador 2	1200 RPM	S					LUB							UTA		
	Bomba china (comodin)	3587 RPM	S														
	Bomba alimentación 1	3600 RPM	N														
	Bomba alimentación 2	3600 RPM	N														
Caldera 6	Inducido 1	1790 RPM	N						LUB							UTA	
	Inducido 2	1795 RPM	N						LUB							UTA	
	Forzado 2	1780 RPM	N						LUB							UTA	
	Secundario	1800 RPM	N						LUB							UTA	
	Over fire 1	1785 RPM	N						LUB							UTA	
	Over fire 2	1785 RPM	N						LUB							UTA	
	Bomba alimentación 1	3580 RPM	S														
	Bomba alimentación 2	3585 RPM	S														
Caldera 8	Inducido 1	750 RPM	S					LUB								UTA	
	Inducido 2	750 RPM	S					LUB								UTA	
	Forzado 1	915 RPM	S					LUB								UTA	
	Forzado 2	915 RPM	S					LUB								UTA	
	Secundario 1	1350 RPM	S					LUB								UTA	
	Secundario 2	1350 RPM	S					LUB								UTA	
	Bomba alimentación 1	3360 RPM	S														
	Bomba alimentación 2	3360 RPM	S														
Turbogeneradores	Turbogenerador de 15 MW (TGM)	3600 RPM	N														
	Turbogenerador de 2 MW	6000 RPM	N														
	Turbogenerador de 5 MW (TOPPING)																
	Turbogenerador Trona	6000 RPM	N														
	Turbogenerador condensing de 25 MW	3600 RPM	N														
	Turbogenerador de 4 MW	3600 RPM	N														
Torre enfriamiento bloque 1	Ventilador 1	1800 RPM	N	AV													
	Ventilador 2	1800 RPM	N	AV													
	Bomba 1 recirculación	1776 RPM	N	AV													
	Bomba 2 recirculación	1783 RPM	N	AV													
	Bomba 3 recirculación	1776 RPM	N	AV													
	Bomba 4 recirculación	1786 RPM	N	AV													
	Bomba 1 enfriamiento	1783 RPM	N	AV													
	Bomba 2 enfriamiento	1800 RPM	N	AV													
Torre enfriamiento bloque 2	Bomba 3 enfriamiento	1786 RPM	N	AV													
	Bomba recirculación 1	893 RPM	N	AV													
	Bomba recirculación 2	893 RPM	N	AV													
	Bomba recirculación 3	894 RPM	N	AV													
	Ventilador 1	1784 RPM	N	AV													
	Ventilador 2	1784 RPM	N	AV													
Actividades	Ventilador 3	1787 RPM	N	AV													
	Termografía			IR													
	Vibraciones			AV													
Lubricación			LUB														
Ultrasonido			UTA														

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se hizo énfasis en la generación de una cultura de toma de datos, por tanto, el Ingeniero Supervisor o Planificador de Mantenimientos debe apoyarse en la misma como también en los *check list* propuestos. Estos deben archivar para tener una base de datos de mantenimientos realizados y de intervenciones a equipos, además la toma de datos de las mediciones sirve para que se tome de guía para el estudio y análisis de fallas para ser mejoras lentamente, pero eficaz de los planes de mantenimiento y de ser posible mejorar los controles de calidad de estos.
2. Al determinar los equipos críticos que perturban el funcionamiento del proceso por falla, se incluyen rutinas de monitoreo, *check list* y hoja de rutas de mantenimiento estas son necesarias conservarlas física y digital para que estos datos sirvan para hacer tendencias de funcionamiento y realizar predicciones estadísticas del comportamiento de los equipos para predecir el funcionamiento futuro y así determinar si son o no críticos y poder programar los mantenimientos o bien el reemplazo de si fuese necesarios.
3. Se estableció un plan de mantenimiento para ejecutar análisis de funcionamiento y condiciones esto se evalúa periódicamente para validar su funcionalidad y así evitar fallos que puedan ocasionar pérdidas económicas como de otra índole es necesario seguir con un plan periódico de chequeo de condiciones, para la mejora continua se establece el uso del PDCA (círculo de Deming) y para la evaluación de falla en busca de la causa raíz se utiliza los diagramas de Ishikawa el análisis correspondiente.

4. Se realizó el diseño de control de calidad de los mantenimientos a los equipos eléctricos de cogeneración para lo cual fue necesario el total apoyo de los encargados del proceso, técnicos que ejecutan trabajo de campo y operadores; el control de calidad se debe cumplir estrictamente con lo planeado y presentado con los *check list* de cada equipo, para obtener los resultados deseado y, disminuir las fallas e indisponibilidades para mejorar el indicador de pérdida de tiempo el cual impacta en la evaluación de la planta.

RECOMENDACIONES

1. Hacer evaluación periódica a los métodos de toma y registro de datos, así como también revisar la calendarización de ejecución de mantenimientos, esto para garantizar el éxito en el control de calidad de estos, como también verificar que se estén archivado en una base de datos accesibles para el análisis.
2. Renovar los equipos críticos deteriorados por uso o condiciones de operación, puesto que su baja eficiencia causa pérdidas económicas en tiempo de reparación y costos de mantenimiento, además hacer evaluación de condiciones y comparar con placa de identificación o bien con datos de manuales.
3. Para garantizar el cumplimiento periódico de evaluación de los equipos, deben ser respetadas las calendarizaciones y que no se posponga la toma de datos tanto en el inicio de funcionamiento como de evaluación de condiciones, por lo tanto, cada equipo que sea agregado al sistema debe hacer un análisis de falla y toma de línea base para su monitoreo, además y muy importante realizar un Ishikawa para determinación de posibles fallas y poder realizar el control de condiciones y calidad para que sea catalogado como crítico o no crítico en su funcionamiento.
4. Revisar periódicamente las fallas recurrentes y esporádicas de los componentes de equipos evaluados, para la aplicación correcta del sistema de control de calidad propuesto y, así determinar la causa raíz de las fallas, y realizar constantes revisiones al sistema de control de funcionamiento por

medio de un PDCA (círculo de Deming), para tener actualizado el control de calidad en los mismos. Se debe implementar un chequeo a los procedimientos descritos en la investigación para que se mantengan actualizados y hacer una mejora continua del proceso, es importante que estas programaciones estén en un plan de revisión programada y evaluar el beneficio que otorga a la prevención de fallas y la prolongación de su vida útil, el registro de los chequeos debe estar al alcance de todas las partes interesadas para que puedan ser consultados en la plataforma Siges y tomar las mejores decisiones necesarias, la plataforma de operación Siges es una herramienta de seguimiento la cual nos muestra tendencias gráficas por tal motivo es necesario su actualización contante .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bs Standard Europe 15341:2007. *Maintenance, maintenance Key performacnce indicator*. Recuperado de <http://www.irantpm.ir/wp-content/uploads/2017/08/bsi-bs-en-15341-546-1504067488.pdf>
2. Carot, A. (1998). *Control estadístico de la calidad*. Ciudad de México, Mexico: Reapproval S.L.
3. Chang, R. y Niedzwiecki, M. (1999). *Las herramientas para la mejora continua de la calidad*. Vol. 2. Buenos Aires, Argentina: Granica.
4. 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*. Universidad Ecuador. Recuperado de http://tesis.luz.edu.ve/tde_busca/processaArquivo.php?codArquivo=2216
5. Fitzgerald A. E. (2008) *Máquinas Eléctricas sexta edición*, Ciudad de México, México: The McGraw-Hill companies.
6. 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)*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España. Recuperado de <https://www.iit.comillas.edu/docs/TM-04-007.pdf>.

7. Gestión y Planificación de Mantenimiento Industrial. (2018). 2da edición. ISBN 9781370710768. Recuperado de www.integramarkets.com
8. González M. (1986) *Manual para Ingenieros de operación y operadores*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: INDE.
9. Guajardo, E. (2003). *Administrador de la calidad total. Concepto y enseñanza de los grandes maestros de la calidad*. Ciudad de México: México. Recuperado de <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icap/licenciatura/documentos/buenas%20practicass%20de%20manufactura.pdf>.
10. Gutiérrez H. (2009) *Control Estadístico de control de calidad Seis sigma*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill. Recuperado de www.megraw-hill.com.mx
11. Hugot, E. (1984) *Manual para ingenieros azucareros*. Ciudad de México, México: Continental imprent.
12. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). *Libro de energía*. Santa Cruz de Tenerife, España. ISBN 978-84-69093-86-3. Recuperado de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
13. INTE-ISO9000:2005. (2006). *Sistema de gestión de la calidad Fundamentos y vocabularios*. Traducción certificada.

14. Kitto B. (2005) *Steam its generation and use*. Edition 41; EE.UU: The Badcock y Wilcox Company.
15. Miranda, F., Chamorro, A y Rubio, S. (2007). *Introducción a la gestión de la calidad*. Madrid, España: Delta.
16. Mora, A. (2009). *Mantenimiento, Planeación, Ejecución y control*. México: Editorial Alfaomega Grupo Editor.
17. Ortiz, J. (2014). *Sistema de control de gestión para la gerencia de mantenimiento de la empresa Aeroservicio S. A.* (tesis de Postgrado). Universidad de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/>.
18. Palmes, P. (2010). *PDCA un modelo para realizar auditorías internas*. Recuperado de <https://www.marcialpons.es/libros/pdca/9788481436976/>
19. Ramírez, S. (2014). *Análisis de falla*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/46983/1/9212502.2014.pdf>
20. Rein, P. (2012) *Ingeniería de la caña de azúcar*. Guadalajara, México: Bartens.
21. Reyes, D. (2016). *Plan de mejoramiento de la gestión de mantenimiento en empresas manufactureras proveedoras de la industria petrolera*. Universidad de Zulia Venezuela. Recuperado de

http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/78/TDE-2011-0718T15:12:21Z-1447/Publico/reyes_vilchez_daniel_alberto.pdf

22. Salguero, H. (2007). *Proceso de gestión de calidad en mantenimiento preventivo*. (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5064/1/HAROLDO%20REN%C3%89%20SALGUERO%20MORALES.pdf>
23. Santiesteban (2015). *Propuestas de mejoras energéticas en el área del tándem de un ingenio azucarero de la provincia Las Tunas, Cuba*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(1), pp. 14-21. Recuperado de <http://redalyc.org/articulo.oa?id=93233771002>
24. Summers, D. (2006). *K Administración de la calidad*. México: Pearson.
25. UNE –EN 16646, (2015). *Mantenimiento en la gestión de los activos, AENOR asociación española de normalización y certificación bibliografía*.

APÉNDICES

Apéndice 1. *Check list* de mantenimientos

 Santa Ana GRUPO EMPRESARIAL	COMPAÑIA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA, S.A DEPARTAMENTO DE GENERACION ELECTRICA PRUEBAS DE CALDERA No. 5		Fecha: 15 de noviembre 2019		
	Fecha: / /		Versión 1		Pagina 1 de 1
PRUEBAS DE CALDERA 5, ESTADO FRÍO					
ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	REALIZADO		HORA	OBSERVACIONES
		SI	NO		
	QUEMADORES LADO A				
1	Lanzas instaladas y limpias				
2	Manómetros y válvulas de circuito de diesel				
3	Manómetros y válvulas de circuito de vapor				
4	Manómetros y válvulas de circuito de Bunker				
	QUEMADORES LADO B				
5	Lanzas instaladas y limpias				
6	Manómetros y válvulas de circuito de diesel				
7	Manómetros y válvulas de circuito de vapor				
8	Manómetros y válvulas de circuito de Bunker				
9	Bomba multietapas de diesel				
10	Bombas de bunker en tanques de diario (2 bombas)				
11	Bombas de trasiego en tanque almacenamiento general (4 bombas)				
12	Calentadores de bunker a vapor				
13	Calentadores de bunker electricos				
14	Cilindros de gas propano (2 cilindros)				
15	Manómetros y válvulas de líneas de gas propano				
	ALIMENTADORES DE BAGAZO				
16	Nivelación de aceite en reductores de alimentadores (5 reductores)				
17	Transmisión de potencia en alimentadores (5 alimentadores)				
18	Prueba de motores de alimentadores				
	VENTILADOR FORZADO				
19	Lubricación de rodamientos en ventilador forzado				
20	Tensado de fajas de transmisión de potencia				
21	Prueba de sentido de giro en motor de forzado				
22	Pruebas de rodado en vacío motor de forzado				
23	Acoplamiento de motor y ventilador forzado				
	VENTILADOR INDUCIDO 1				
24	Lubricación de rodamientos en ventilador Inducido 1				
25	Tensado de fajas de transmisión de potencia Inducido 1				
26	Prueba de sentido de giro en motor de Inducido 1				
27	Pruebas de rodado en vacío motor de Inducido 1				
28	Acoplamiento de motor y ventilador Inducido 1				
	VENTILADOR INDUCIDO 2				
29	Lubricación de rodamientos en ventilador Inducido 2				
30	Tensado de fajas de transmisión de potencia Inducido 2				
31	Prueba de sentido de giro en motor de Inducido 2				
32	Pruebas de rodado en vacío motor de Inducido 2				
33	Acoplamiento de motor y ventilador Inducido 2				
	VENTILADOR SECUNDARIO				
34	Lubricación de rodamientos en ventilador Secundario				
35	Pruebas de sentido de giro en motor de Secundario				
36	Pruebas de rodado en vacío motor de Secundario				
37	Acoplamiento de motor y ventilador Secundario				
	VENTILADOR OVERFIRE				
38	Lubricación de rodamientos en ventilador Overfire				
39	Pruebas de sentido de giro en motor de Overfire				
40	Pruebas de rodado en vacío motor de Overfire				
41	Acoplamiento de motor y ventilador Overfire				
42	Limpieza de parrilla Pin Hole				
43	Limpieza de ceniceros y circuito de agua				
44	Prueba de atemperadoras (apertura de boquillas)				
45	Deshollinadores electricos Retractiles				
46	Deshollinadores manuales de cadera banco de conveccion y superheater				
47	Deshollinadores de economizador				
48	Prueba hidrostática				
	VENTILADOR AUMENTADOR DE AIRE A Y B				
49	Lubricación de rodamientos en ventilador				
50	Pruebas de sentido de giro en motor				
51	Pruebas de rodado en vacío motor				
52	Acoplamiento de motor y ventilador				

Auxiliar de Turno
Nombre y Código

Ingeniero Supervisor
Nombre y Código

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. *Check list* de mantenimientos

COMPAÑÍA AGRICOLA INDUSTRIAL S.A.
 DIVISION INDUSTRIAL
 DEPARTAMENTO COGENERACION ELECTRICA
 REPARACION 2018
 FECHA DE MANTENIMIENTO _____



CHECK LIST DE REPARACION DE MOTORES ELECTRICOS

DATOS GENERALES

CODIGO ACTIVO FIJO	_____
UBICACIÓN	_____
MARCA	_____
CAPACIDAD	_____
AMPERAJE	_____
CATEGORIA	_____
FRAME	_____
RPM	_____
COJINETE DELANTERO	_____
COJINETE TRASERO	_____

	FASE A	FASE B	FASE C
VOLTAJE APLICADO			
MEDICION DE AISLAMIENTO			

	SI	NO
NECESITA CALEFACCION		

	TRASERA	DELANTERA
MEDICION DE TAPADERA		
APRIETE		

CABLES ALIMENTACION _____
 ESTADO DE TERMINALES _____

PUESTA EN SERVICIO

	FASE A	FASE B	FASE C
AMPERAJE			

	SATISFACTORIO	NO SATISFACTORIO
VIBRACION MOTOR		
VIBRACION MOTOR-BOMBA		
CALENTAMIENTO		
ROTACION		
RUIDO ANORMAL		

Observaciones _____

ELECTRICISTA _____

INGENIERO SUPERVISO _____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. *Check* de condiciones de equipos eléctricos

ELECTRICISTA: _____

CODIGO: _____

FECHA: _____

CALDERA No. 5, Turbo TGC-1 y auxiliares



NOMBRE ACTIVO	DISPONIBLE		ACOPLADO		ESTADO CARBON TIERRA			CALEFACCIÓN		MEDICION AISLAMIENTO ELÉCTRICO			AMPERAJES EN VACIO		
	Si	No	Si	No	BUENO	MALO	N.A.	SI	NO	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
Motor Inducido 1	<input type="checkbox"/>														
Motor Inducido 2	<input type="checkbox"/>														
Motor Forzado	<input type="checkbox"/>														
Motor Secundario	<input type="checkbox"/>														
Motor Over Fire	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Cenizero	<input type="checkbox"/>														
Motor Aumentador A	<input type="checkbox"/>														
Motor Aumentador B	<input type="checkbox"/>														
Motor Alimentador 1	<input type="checkbox"/>														
Motor Alimentador 2	<input type="checkbox"/>														
Motor Alimentador 3	<input type="checkbox"/>														
Motor Alimentador 4	<input type="checkbox"/>														
Motor Alimentador 5	<input type="checkbox"/>														
Motor Válvula Motorizada	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Circulación 1	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Circulación 2	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Circulación 3	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Circulación 4	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba De Alimentación 1	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba De Alimentación 2	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba De Alimentación Comodín	<input type="checkbox"/>														
Mtr Vent. Torre Enfriamiento 1	<input type="checkbox"/>														
Mtr Vent. Torre Enfriamiento 2	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Enfriamiento 1	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Enfriamiento 2	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Enfriamiento 3	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Condensados 1	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba Condensados 2	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba De Vacío 1	<input type="checkbox"/>														
Motor Bomba De Vacío 2	<input type="checkbox"/>														

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Procedimiento para balanceo de motores

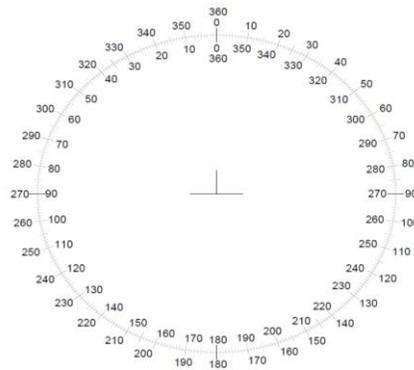
BALANCEO DE ROTORES DE MOTORES

Nombre empleado: _____ Código: _____
 Equipo: _____ Fecha y hora de inicio: _____
 Activo: _____ Fecha y hora fin: _____

Amplitud	Fase
Corrida inicial: mm/s	°
Corrida prueba mm/s	°
Corrida 1: mm/s	°
Corrida 2: mm/s	°

RPM: _____
 Número de aspas: _____
 % de desbalance: _____

Pesos	Gramos	Ubicación	Removido
Prueba			
Corrección 1			
Corrección 2			



Antes del balance

Punto	V		H		A		H (g's)
	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud
1							
2							
3							
4							

Después del balance

Punto	V		H		A		H (g's)
	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud	Fase	Amplitud
1							
2							
3							
4							

OBSERVACIONES: _____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Un *check list* procedimiento para alineación de motor

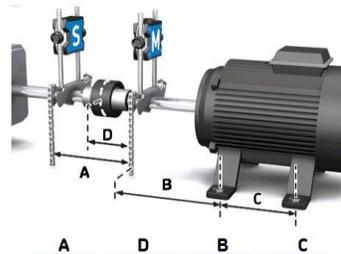
ALINEACIÓN LASER SKF

Equipo estacionario: _____ **Activo:** _____
Equipo movil: _____ **Activo:** _____
Fecha y hora de inicio: _____ **Vel. Giro:** _____
Fecha y hora de fin: _____ **Unidades:** Inch mm
Aviso

Datos técnicos

Distancias (pulgadas):

(A) (Pulg): _____
 (D) (Pulg): _____
 (B) (Pulg): _____
 (C) (Pulg): _____



Angle
Offset

Alineación inicial

Horizontal	Paralelo	mil
	Angular	mil/°
Vertical	Paralelo	mil
	Angular	mil/°

Alineación final

Horizontal	Paralelo	mil
	Angular	mil/°
Vertical	Paralelo	mil
	Angular	mil/°

TABLA DE ERRORES DE ALINEACIÓN				
	Excelente		Aceptable	
	mils	mm	mils	mm
Desplazamiento / (rpm)				
0000-1000	3	0.07	5	0.13
1000-2000	2	0.05	4	0.1
2000-3000	1.5	0.03	3	0.07
3000-4000	1	0.02	2	0.04
4000-5000	0.5	0.01	1.5	0.03
5000-6000	<0.5	<.01	<1.5	<.03
Error angular	mils/°	mm/100	mils/°	mm/100
0000-1000	0.6	0.06	1	0.1
1000-2000	0.5	0.05	0.8	0.08
2000-3000	0.4	0.04	0.7	0.07
3000-4000	0.3	0.03	0.6	0.06
4000-5000	0.2	0.02	0.5	0.05
5000-6000	0.1	0.01	0.4	0.04

Alineación realizada por:

Nombre: _____ Código: _____

Firma jefe de área: _____

OBSERVACIONES: _____

Fuente: elaboración propia.