

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTÉCNIA Y COMPUTACIÓN
INGENIERÍA ELÉCTRICA



**Propuesta de un plan de mantenimiento general eléctrico para la
planta de cogeneración del ingenio San Antonio.**

Trabajo Monográfico para optar al título de:
Ingeniero Eléctrico

Presentado por:

Br. Larry Alexander Muñoz Silva

Tutor:

Msc. Ramiro Arcia

Managua, Nicaragua febrero 2022

CONTENIDO	Página
Capítulo I	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
3. JUSTIFICACIÓN	6
4. OBJETIVOS	7
4.1 Objetivo general	7
4.2 Objetivos específicos	7
5. MARCO TEÓRICO	8
5.1 Plan de mantenimiento	8
5.2 Tipos de Mantenimiento	8
5.3 Mantenimiento preventivo	8
5.4 Mantenimiento predictivo	9
5.5 Mantenimiento correctivo	9
5.6 Plan estratégico de mantenimiento	9
5.7 Proceso de generación	11
6. DISEÑO METODOLÓGICO	13
7. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN	14
CAPITULO II	16
8. Principales equipos eléctricos encargados de llevar a cabo el proceso de generación de energía y sus principales fallas más comunes.	17
8.1 Motor eléctrico	17
8.1.1 Fallas más comunes en los motores eléctricos de corriente alterna	18
8.1.2 Plan propuesto de mantenimiento predictivo para los motores eléctricos	19
8.1.3 Plan de mantenimiento preventivo para los motores eléctricos	20

8.2	Elementos de maniobra, mando y control de los arranques directos para motores eléctricos.....	21
8.2.1	Plan de mantenimiento predictivo para los elementos de mando, maniobra y control para el arranque de motores eléctricos.	22
8.2.2	Plan de mantenimiento preventivo para los elementos de mando, maniobra y control.....	23
8.3	Variador de frecuencia	27
8.3.1	Fallas más comunes que se encuentra en los variadores de frecuencia dentro del proceso de cogeneración.....	28
8.3.2	Plan de mantenimiento predictivo a realizar en variadores de frecuencia.....	29
8.3.3	Plan de mantenimiento preventivo a ejecutar en los variadores de frecuencia.....	30
8.4	Turbogenerador	32
8.4.1	Definición.....	33
8.4.2	Pruebas para determinar fallas	33
8.4.3	Consideraciones de mantenimiento en los turbogeneradores	34
8.4.4	Procedimientos que deben de ejecutarse ante el mantenimiento preventivo	34
8.5	Transformadores	35
8.5.1	Fallas más comunes que se presentan en un transformador	37
8.5.2	Plan de mantenimiento predictivo a realizar en los transformadores de potencia	39
8.5.3	Mantenimiento preventivo para los transformadores.....	41
CAPITULO III.....		42
9.	Plan de mantenimiento para los equipos eléctricos de la planta de cogeneración del ingenio San Antonio.....	43
9.1	Mantenimiento Predictivo.....	44

9.2	Mantenimiento Preventivo.....	44
9.3	Mantenimiento Correctivo	49
9.4	Recomendaciones básicas sobre herramientas de trabajo	50
CAPITULO IV		51
10	Sugerencia propuesta en base normas de higiene y seguridad del trabajo 52	
10.1	Factores físicos eléctricos	52
CAPITULO V		55
11.	Propuesta de inversión necesaria para el funcionamiento del plan de mantenimiento.	56
11.1	Inversión monetaria para utilizar en el mantenimiento	56
12.	CONCLUSIONES.....	63
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....		66

DEDICATORIA

A mi madre Yamileth Silva, una mujer muy inteligente que con amor y sacrificio supo darme consejos durante toda la vida para formarme correctamente como humano y profesional.

A mi padre Douglas Muñoz, por su apoyo incondicional y palabras de aliento para impulsarme al mundo del profesionalismo.

A mis hermanas quienes han sido una pieza fundamental en esta etapa de mi vida, por depositar en mí su cariño y admiración, siendo una fuente de inspiración en el desarrollo de mis metas

Infinitamente gracias.

Larry Alexander Muñoz Silva

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Quiero agradecer de manera especial al Msc. Ing. Ramiro Arcia como único tutor quien me ha guiado en el desarrollo de este proyecto de investigación presente, que con su experiencia ha hecho posible una guía fundamental para la realización de este.

A todo el personal docente y administrativo que conforman la facultad de electrotecnia y computación quienes me ayudaron en inquietudes y problemas durante la etapa universitaria desde el inicio hasta la finalización de mi carrera.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está centrado en realizar una propuesta de un plan de mantenimiento general eléctrico para la planta de cogeneración del ingenio San Antonio, la cual permite apoyar al personal técnico, en especial a los electricistas y electromecánicos de la empresa como una guía para la ejecución y planeamiento de órdenes de trabajo de tipo mantenimiento a equipos eléctricos como motores, transformadores, variadores de frecuencia, arrancadores suaves, turbogeneradores, entre otros.

Se define la finalidad de operación de los equipos eléctricos, se estudian las fallas más comunes que se presentan, se detalla un cronograma de ejecución de los tipos de mantenimiento a realizarse anualmente, y se realiza un cálculo de inversión necesario para gastos de materiales.

El plan de mantenimiento está dirigido para las diferentes áreas de la planta, presentando las diferentes actividades, intervalos, duración y responsables de quienes ejecutan el mantenimiento preventivo basado en la experiencia del personal de mantenimiento.

Esta propuesta de mantenimiento tiene como objetivo en todo momento de asegurar el funcionamiento y lograr prolongar la vida útil de los equipos con los niveles más eficientes, tomando en cuenta las respectivas normas de higiene y seguridad para mitigar los riesgos laborales que pueden ocurrir en dicha empresa.

Capítulo I

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento está relacionado a la propuesta de un plan de mantenimiento general eléctrico a los equipos que conforman el área de cogeneración del ingenio San Antonio, haciendo énfasis a los 3 tipos de mantenimientos mayormente utilizados en las industrias los cuales son el mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo, para el desarrollo de esta investigación es necesario conocer la ejecución actual de mantenimiento, tomando en cuenta la aplicación de la seguridad e higiene del trabajo.

La propuesta del plan de mantenimiento eléctrico para el área de cogeneración será de gran ayuda ya que permite servir de soporte técnico a los electricistas que estarán a cargo del mantenimiento de los equipos eléctricos como transformadores, centros de control de motores, motores, variadores de frecuencia, arrancadores suaves, tableros, etc., debido a que les permite observar las actividades a realizar además de describir el procedimiento e información relacionada a cada elemento.

Se determinarán los diferentes tipos de mantenimiento donde el supervisor y el técnico electricista tendrán la capacidad de realizar un diagnóstico para encontrar las fallas que presente cada equipo y corregirlas. El plan mantenimiento es de gran importancia para la planta de cogeneración para que esta trabaje con la mejor eficiencia posible.

En relación con lo anterior, se utilizará como modelo a los principales equipos eléctricos que conforman el proceso de cogeneración del ingenio San Antonio, ubicado en la ciudad de Chichigalpa del departamento de Chinandega.

La importancia del mantenimiento es que genera una estrategia en la que se programa periódicamente en las intervenciones de las máquinas con el objetivo principal de inspeccionar, reparar y reemplazar componentes.

El mantenimiento ha sufrido transformaciones con el desarrollo tecnológico; a los inicios era visto como actividades correctivas para solucionar fallas. Las

actividades de mantenimiento eran realizadas por los operarios de las máquinas; con el desarrollo de las máquinas se organizan los departamentos de mantenimiento no solo con el fin de solucionar fallas sino de evitar, actuar antes que se produzca la falla con el fin de prevenirlas y garantizar eficiencia para evitar los costes por averías.

El mantenimiento se define como una serie de técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible.

El ingenio San Antonio posee una planta de cogeneración con una capacidad de generación instalada de 79.3 MW compuesta de cuatro turbogeneradores y tres calderas de presión media (600 PSIG), diseñada para la utilización de bagazo de caña como combustible en tiempo de zafra y de astillas de eucalipto en tiempo de no zafra. Cuenta con todas las protecciones necesarias en este tipo de industria y cumple con estándares ambientales internacionales.

2. ANTECEDENTES

La historia de mantenimiento acompaña el desarrollo Técnico-Industrial de la humanidad. Al final del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, con la mecanización de las industrias, surgió la necesidad de las primeras reparaciones.

De la misma manera empezaron a tenerse en cuenta el término de falla y comenzaron a darse a cuenta que esto producía paros en la producción. Tal fue la necesidad de empezar a controlar estas fallas que hacia los años 20 ya empezaron a aparecer las primeras estadísticas sobre tasas de falla en motores y equipo de aviación.

En el presente documento de investigación se hace referencia a trabajos monográficos realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería, uno de los aportes encontrados en este tema fue en septiembre de 2019, presentado en la facultad de Electrotecnia y computación de la Universidad Nacional de Ingeniería el documento de investigación “Propuesta de guía metodológica para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en transformadores de potencia” ubicado en la subestación el Mojón en el municipio de La Libertad del departamento de Chontales, realizada por los autores Alex Díaz Gómez y Juan Cruz Castro.

Esta monografía describe la funcionalidad de un transformador de potencia, sus partes y características que conforman esta máquina eléctrica. Se describe de manera individual los componentes y las fallas más comunes que pueden suceder a lo largo de la vida útil del equipo. Se describen posibles modelos de fallas y se abordan posibles soluciones para evitar llegar hasta esta situación.

De manera similar se encontró el trabajo monográfico realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería presentada en agosto de 2019 con el tema de investigación titulado “Propuesta de un plan de mantenimiento para las separadoras centrífugas de combustible de HFO en la planta eléctrica Nagarote” ubicado en la Planta eléctrica Nagarote del departamento de León, realizada por el autor Harold Gonzalo Robles Chávez.

En este documento el plan de mantenimiento esta desglosado en las diferentes áreas definido en una hoja de mantenimiento, presentando las diferentes actividades a realizar según las horas trabajadas del equipo y el desgaste de las piezas, también se detalla una hoja que el área de operaciones debe verificar en un lapso de 2 horas verificando las condiciones del equipo.

Los trabajos monográficos descritos anteriormente aportan en gran parte con respecto al desarrollo del proyecto a realizar, ya que siguen la misma línea de investigación en la cual deseo concluir como monografía.

3. JUSTIFICACIÓN

El interés de llevar a cabo la realización de este estudio es por la importancia que tiene para la empresa ejecutar un plan de mantenimiento adecuado que les permita controlar y garantizar el funcionamiento de los equipos para poder brindar confiabilidad en el desarrollo de las operaciones tomando en cuenta las normas de higiene y seguridad de trabajo que todo personal técnico debe de poseer para la realización de los distintos tipos de mantenimientos a plantear.

Con la propuesta del plan de mantenimiento se pretende que la planta de cogeneración genere control y organización de los equipos a los cuales se les realiza mantenimiento necesario acorde a las necesidades que presenta cada componente.

La propuesta del plan de mantenimiento eléctrico estará orientada a las necesidades y aspectos de fallas técnicas que presentan los equipos eléctricos que contribuyen al proceso de generación de energía; ya que con su aplicación se espera minimizar fallas eléctricas, maximizar la producción de energía y la búsqueda de confiabilidad que responda a las operaciones además de prolongar la vida útil de los equipos para poder cumplir con el proceso de producción establecido de la empresa.

Un buen plan de mantenimiento no solo establece un ahorro de dinero, sino que también mejora la seguridad, asegura la continuidad del servicio y la minimización del tiempo de inactividad, aumenta la eficiencia energética, optimiza el rendimiento de activos en uso con tal de alargar su vida útil e impulsa la eficiencia.

Esta investigación beneficiara principalmente a la empresa Ingenio San Antonio ya que brindará datos del plan de mantenimiento efectuado en dicha empresa, el cual servirá para analizar la efectividad con que se cumple en el mismo y así mejorar el plan de mantenimiento actual; también beneficiará a todo investigador que necesite información sobre propuestas de plan mantenimiento en empresas y a futuros estudiantes de la carrera Ingeniería eléctrica como base para documentos de mantenimientos eléctricos posteriores.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de plan de mantenimiento general eléctrico en la planta de cogeneración del ingenio San Antonio.

4.2 Objetivos específicos

1. Explicar la funcionalidad e importancia de los principales equipos eléctricos encargados de llevar a cabo el proceso de generación de energía.
2. Identificar las fallas más comunes que se presentan en los equipos eléctricos.
3. Describir los tipos de mantenimientos ejecutables en la planta de cogeneración.
4. Realizar un análisis financiero necesario para llevar a cabo el plan de mantenimiento eléctrico propuesto.
5. Sugerir normas de higiene y seguridad del trabajo que puedan ser ejecutadas por el personal que realiza los trabajos eléctricos.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es el elemento en un modelo de gestión de activos que define los programas de mantenimiento a los equipos (actividades periódicas preventivas, predictivas y correctivas), con el objetivo de mejorar la efectividad de estos, con tareas necesarias y oportunas, definiendo así las frecuencias, las variables de control, el presupuesto de recursos y los procedimientos para cada actividad (Solís Pon, 2018).

Un plan de mantenimiento resuelve inconvenientes o averías comunes que suelen presentarse en todo proceso productivo, a través de métodos y herramientas como la observación, información recopilada (historial de fallas o averías) e información obtenida del fabricante (manual de la máquina). La aplicación de un plan de mantenimiento otorga el control de los recursos de que dispone una empresa (Solís Pon, 2018).

Para aplicar un programa de mantenimiento se requiere conocer a detalle la instalación, incluyendo antigüedad, origen, inversión y aplicación, para optar por uno o varios tipos de mantenimiento. Los tipos de mantenimiento comúnmente utilizados se presentan a continuación.

5.2 Tipos de Mantenimiento

Existen 3 tipos de mantenimiento que se emplearán en la planta. Mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo.

5.3 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una técnica para la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas, y programadas, de un servicio de trabajos de mantenimiento previstos como necesarios, para aplicar a todas las instalaciones máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos d emergencias

y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua a bajo costo, máxima eficiencia y seguridad. Es decir, el mantenimiento preventivo se efectúa con la intención de reducir al mínimo la probabilidad de falla, o evitar la degradación de las instalaciones, sistemas y máquinas.

5.4 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo verifica muy de cerca la operación de cada máquina operando en su entorno real, mediante monitoreos continuos por parte del personal de mantenimiento, el cual acostumbra a confiar en sus propios sentidos como son tacto (temperatura, vibración, desgaste); olfato (temperatura, contaminación); vista (vibración, temperatura, alineación); oído (ruido, vibración, cavitación y desgaste); gusto (contaminación).

5.5 Mantenimiento correctivo

Comprende al mantenimiento que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo. Se clasifica en:

➤ **No Planificado.**

Es el mantenimiento de emergencia. Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

➤ **Planificado**

Se sabe con antelación que es lo que debe de hacerse en un tiempo limitado, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos, es decir todo lo necesario para realizarla correctamente la reparación.

5.6 Plan estratégico de mantenimiento

Se debe de conocer que dentro del plan estratégico de mantenimiento conlleva un conjunto de tareas preventivas a realizar en una instalación con el fin de

cumplir unos objetivos de disponibilidad, de fiabilidad, de coste y con el objetivo final de aumentar al máximo posible la vida útil de la instalación.

Los planes de mantenimiento son formatos que se tienen para diferentes elementos, estos permiten tener un cronograma de las actividades que se deben de realizar a los equipos eléctricos. Como por ejemplo motores, transformadores, control o tableros eléctricos etc. y permiten al personal técnico tener un control más riguroso del mantenimiento realizado a cada elemento (Serna Ramírez, 2016).

Esta información permite al personal de mantenimiento recordar las principales actividades que deben realizar a los equipos eléctricos, para brindar un mantenimiento más completo.

Se deben de cumplir etapas prioritariamente previo a implementar el mantenimiento de los equipos eléctricos que conforman la planta de cogeneración, estos son los siguientes:

- Realizar un análisis de la situación actual de equipo.
- Diagnóstico de la situación.
- Determinación de los problemas existentes,
- Elaboración de árbol de problemas.
- Determinación del árbol de objetivos.
- Selección de alternativas para cumplir ese objetivo.
- Programación y secuencia de los pasos para la implementación del plan de mantenimiento.
- Elaboración de procedimientos para la ejecución del plan de mantenimiento.

Todos estos puntos en su conjunto ayudaran a fortalecer la ejecución del mantenimiento, para así crear un sólido sistema que permita prevenir futuras fallas.

5.7 Proceso de generación

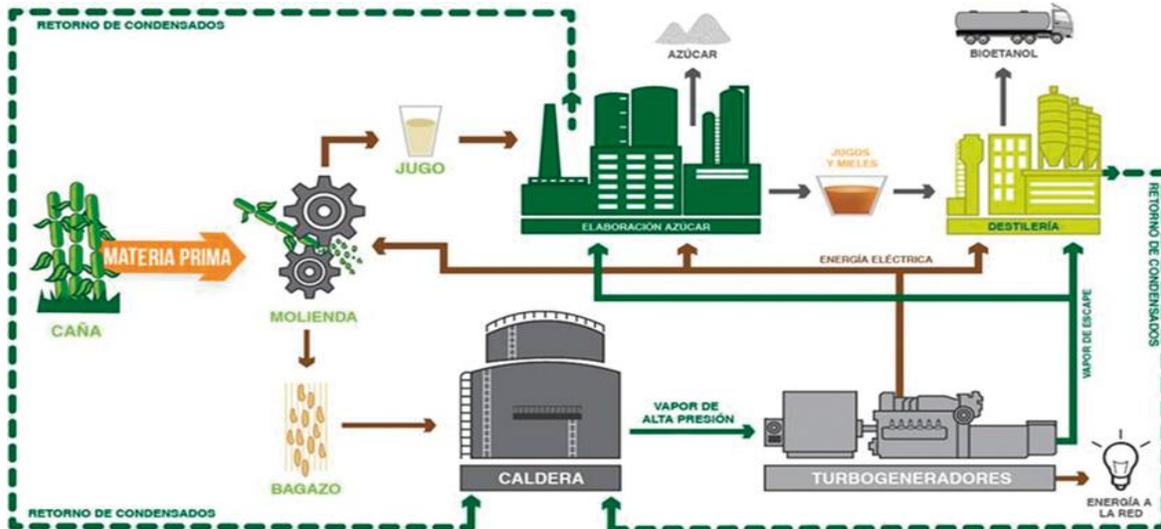


Imagen 1. Proceso de producción de energía a partir de cogeneración.

Fuente: revista online-mundo eléctrico, 2019.

La cogeneración es un procedimiento mediante el cual se produce de forma simultánea energía eléctrica, mecánica y térmica. El sector azucarero ha sido señalado por estudios nacionales como potencial de cogeneración en Nicaragua por su disponibilidad de biomasa, en especial el bagazo. Este subproducto, derivado de procesos de cosecha y molienda de caña, constituye la fuente primaria de energía para la cogeneración.

Este proceso corresponde a la generación de energía como parte del proceso productivo, bien sea de azúcar o de etanol. Los ingenios desde sus inicios han utilizado el bagazo de la caña (combustible renovable) como combustible para alimentar sus calderas y utilizar el vapor como energía para el funcionamiento de sus procesos. La cogeneración entonces utiliza la energía en forma de calor producida por el bagazo para generar vapor y luego mediante el uso de turbogeneradores, la energía eléctrica. El vapor de escape del turbogenerador

entonces va al proceso productivo mientras que la electricidad es utilizada para su consumo propio y una gran porción se vende a la red nacional.

Dentro de la planta de cogeneración del Ingenio San Antonio son muchos los equipos eléctricos que operan como arte del proceso que debe de existir para llegar a cumplir un único fin que es generar energía eléctrica para ser consumida por la misma empresa y vender una parte de ella a la red nacional, por lo que abarcaremos de manera central a los motores eléctricos, variadores de frecuencia, controles de arranque directos (contactores), transformadores y turbogeneradores, etc, dentro del plan de mantenimiento que se propone para esta investigación.

Es muy importante mencionar que serán 3 tipos de mantenimiento que se establecerán dentro de la propuesta, ya que el mantenimiento de mayor eficiencia será el mantenimiento preventivo ya que se podrá revisar detalladamente las fallas que presentan los equipos eléctricos.

La planta de cogeneración opera de 8 a 10 meses anualmente según la producción de bagazo de caña que se genere, obtenidos de la molienda de caña, a continuación, vamos a describir la funcionalidad e importancia de los equipos eléctricos a tomar en cuenta dentro de la propuesta del plan de mantenimiento.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Según el tema planteado, se propone un plan de mantenimiento general eléctrico a los equipos en una planta de cogeneración tomando en cuenta que se establecerán normas de higiene y seguridad que beneficiarán al equipo técnico que estará al mando directamente del mantenimiento, se utilizará un estudio “descriptivo-explicativo” ya que se describirán los alcances del plan de mantenimiento propuesto.

Esta investigación es de campo se considera así tomando en cuenta los objetivos del proyecto, ya que se trata de observar y analizar el estado y comportamiento del equipo eléctrico para proceder a crear un diagnóstico técnico donde se determinen los problemas existentes y así dar solución con el mejor porcentaje de eficiencia posible.

Para realizar el diagnóstico y determinar las fallas se realizarán preguntas frecuentes a los trabajadores y se estudiarán manuales técnicos que serán facilitados por el responsable de cuadrilla eléctrica como medio de recopilación de información para el desarrollo del documento de investigación.

La fuente de información principal se obtendrá con la colaboración de los supervisores eléctricos junto con el personal técnico quienes cuentan con la experiencia en el campo laboral, así mismo con el gerente de la planta con experiencia en planes de mantenimiento.

El equipo y herramientas empleadas en el marco de investigación serán

- Computadora
- Monografías relacionadas al plan de mantenimiento.
- Manuales de los equipos a ejecutar el mantenimiento.
- Documentos con hojas de lectura tomadas por el personal técnico.

7. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

SER San Antonio cultiva y procesa la caña que es la materia prima para la producción de azúcar, biocombustible, alcohol y energía eléctrica. Cuenta además con una granja de camarones. Es considerado uno de los ingenios más grandes de Centroamérica.

Desde su fundación se ha constituido como la principal fuente de empleo de la zona de Chichigalpa y sus alrededores. Actualmente cuenta con una fuerza laboral de más de cinco mil empleados, entre trabajadores permanentes, temporales y subcontratados. El personal temporal es contratado en época de zafra, que dura de noviembre a mayo. Treinta y uno por ciento de los puestos de trabajo permanentes son ocupados por mujeres. Las labores de campo son realizadas mayoritariamente por hombres.

El ingenio San Antonio está ubicado a 2 km de la ciudad de Chichigalpa, departamento de Chinandega.

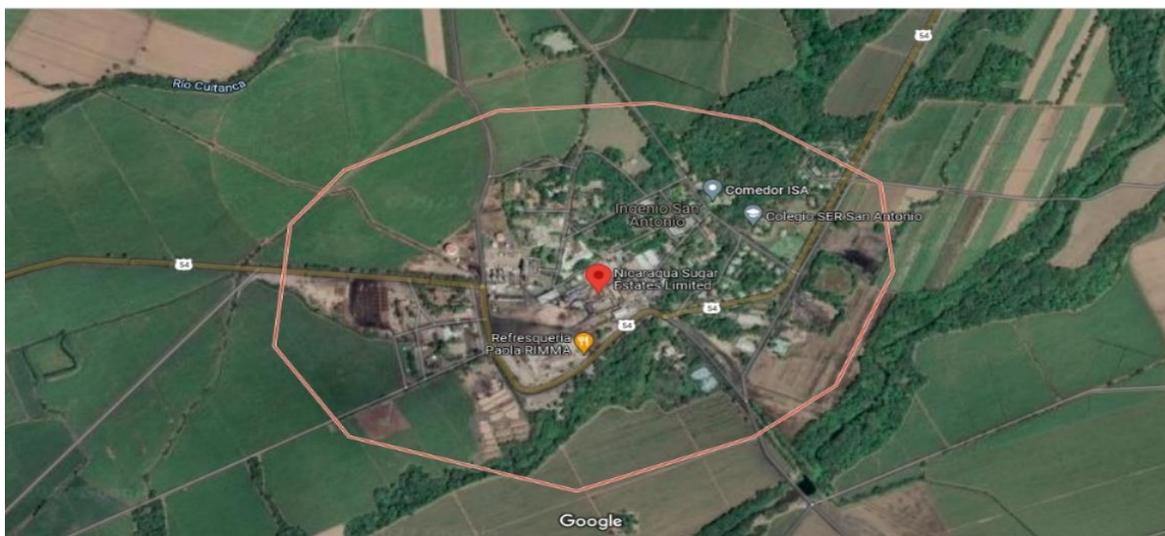


Imagen 2. Localización del ingenio San Antonio

Fuente: Google maps

Dentro de la fábrica de procesos cuenta con el departamento de mecánica industrial, departamento de electrónica, departamento automotriz, y el departamento eléctrico. Además, posee oficinas administrativas, centro hospitalario, departamento agrícola y un colegio.

La metodología de implementación describirá los equipos utilizados dentro del área de cogeneración, en el que se presenta un a propuesta de un plan de mantenimiento eléctrico general.

Es muy importante conocer que las plantas dirigidas a generación de energía tienen un sistema muy estricto para la operación de los equipos, todo el personal de la planta debe conocer exactamente las funciones que van a desempeñar antes y después de cada mantenimiento para esto se presenta una estructura de los equipos de trabajo.

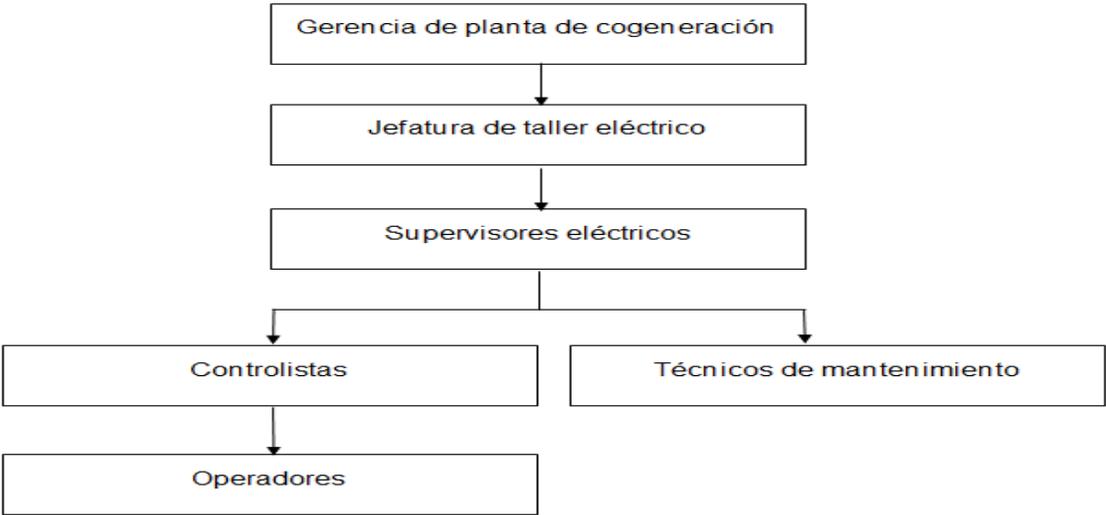


Imagen 3. Organigrama de la planta de cogeneración del ingenio San Antonio. Fuente: propia.

Todo el personal orientado al mantenimiento eléctrico dentro de la planta de cogeneración posee títulos referidos a los puestos de trabajos en el que se encuentran, además la empresa anualmente se encarga de dar capacitaciones que están dentro del marco de mantenimiento al cual le aplican a la empresa.

El gerente de la planta posee un grado académico de maestría administrativa e ingeniería eléctrica, el jefe de taller eléctrico posee título de ingeniero eléctrico, los técnicos electricistas y de instrumentación cuentan con títulos de técnicos superiores a las carreras correspondientes, los controlistas y operadores solo cuentan con cursos técnicos en calderas.

CAPITULO II

8. Principales equipos eléctricos encargados de llevar a cabo el proceso de generación de energía y sus principales fallas más comunes.

8.1 Motor eléctrico

La finalidad de los motores eléctricos es convertir la energía eléctrica, en forma de corriente continua o alterna, en energía mecánica apta para mover los accionamientos de todo tipo de máquinas.

En las actividades industriales y comerciales es necesario mover distintos procesos productivos, maquinaria y equipos diversos, como ventiladores, bandas transportadoras, bombas de agua, escaleras eléctricas, compresores, taladros, es decir, un sinnúmero de aplicaciones mecánicas que requieren movimiento.

La forma más fácil de llevar a cabo ese movimiento es mediante un motor eléctrico.



Imagen 4. Motor eléctrico trifásico, tomada en planta de cogeneración del ISA.

Fuente: propia

8.1.1 Fallas más comunes en los motores eléctricos de corriente alterna

En este apartado estudiaremos las fallas comunes que se presentan en los motores eléctricos de corriente alterna debido a la falta de mantenimiento por exceso de horas trabajadas durante el periodo de generación de energía.

Los parámetros que deben de tomarse en cuenta durante el diagnóstico previo al mantenimiento preventivo de los motores eléctricos de corriente alterna están:

- Baja resistencia de aislamiento del devanado con respecto a tierra (Medición de aislamiento).
- Desgaste de los rodamientos.
- Tensión del eje del motor
- Desalineación.
- Desequilibrio del eje.
- Holgura del eje.
- Holgura de las tapaderas del motor.
- Exceso de temperatura en los devanados.
- Cortocircuito entre espiras.
- Deficiencia de aislamiento en los conductores del devanado.

Todos los equipos eléctricos tienen que estar protegidos contra los daños causados por averías o funcionamientos anómalos; los fenómenos que se tienen que tomar en consideración son:

Sobrecorrientes causadas por cortocircuito.

Corrientes de sobrecarga.

Interrupción o disminución de la tensión de alimentación.

Velocidad excesiva de los elementos de las máquinas.

Para garantizar la seguridad, también se tienen que colocar protecciones contra los contactos directos con partes en tensión y contactos indirectos con partes que normalmente no están bajo tensión, pero que podrían recibirla si el aislamiento sufriese algún daño.

8.1.2 Plan propuesto de mantenimiento predictivo para los motores eléctricos

El plan de mantenimiento predictivo consiste en realizar un seguimiento periódico de todas sus características, la cual permitirá realizar un diagnóstico del estado actual de la misma y con base se procederá a realizar el mantenimiento preventivo apropiado para la conservación de esta (Gual y Mora, 2002).

Es importante destacar que durante este mantenimiento no existe desarme de la máquina y debe de realizar un registro del comportamiento a lo largo de su ciclo de trabajo.

Dentro de la planta de cogeneración existen diversos tamaños de motores debido a la función que cumplen cada uno de estos, desde válvulas dosificadoras que son los más compactos hasta los motores más grandes que se ocupan para equipos de soplados de las calderas, todos ellos trabajan con el mismo principio de funcionamiento lo cual el mantenimiento que se le aplicara será el mismo donde la duración de horas de mantenimiento variara según el tamaño y problemas que se encuentren al momento de realizar el diagnostico.

Las pruebas que deben de realizarse a los motores eléctricos son los siguientes

1. Prueba de resistencia de aislamiento a tierra.
2. Verificación de ruidos anormales en los rodamientos.
3. Verificación de temperatura excesiva de los rodamientos.
4. Verificación de vibraciones mecánicas excesivas.
5. Verificación de corriente en cada una de las fases de alimentación del motor.
6. Inspección de la carcasa del motor.
7. Inspección de los pernos de sujeción de la base del motor.
8. Inspección del flujo de ventilación.
9. Inspección de limpieza en general del equipo.
10. Medición de índice de polaridad.

Los parámetros descritos anteriormente deben de ser realizados por el personal técnico especializado en motores eléctricos, en este caso les corresponde a los electromecánicos de dicha área quienes tienen el derecho de reportar al supervisor de mantenimiento eléctrico las anomalías encontradas en cada uno de los motores

8.1.3 Plan de mantenimiento preventivo para los motores eléctricos

El diseño del mantenimiento preventivo depende principalmente del ciclo de trabajo de la máquina y del plan de mantenimiento predictivo que se realice.

Tomando en cuenta, que las maquinas pertenecientes al área de cogeneración realizan largos ciclos de trabajos anualmente aproximadamente de 6 a 8 meses, el desgaste de las piezas internas y sus componentes eléctricos es máximo, razón por la cual el mantenimiento debe ejecutarse cada vez que la producción de energía para su proceso es decir cada año, sin embargo, dependiendo de los resultados obtenidos durante el mantenimiento predictivo este podría acortarse o extenderse.

Dentro del marco eléctrico de los motores una de las pruebas más importantes es la de resistencia de aislamiento, la cual si presenta un valor inferior a $1M\Omega$ esta debe de someterse a un proceso de recuperación de este valor. El método que se debe utilizar dentro de la planta es la existente la cual consta en ubicar barras de calefacción dentro de la estructura interna del motor para extraer la humedad de la máquina. El tiempo de humedad de calentamiento de la maquina depende del nivel de humedad que esta tenga y se debe prolongar hasta conseguir un valor de resistencia de aislamiento a tierra que tienda a infinito (Gual y Mora, 2002).

Por lo tanto, para ejecutar este procedimiento se debe de desarmar la máquina para aplicar el mantenimiento.

Otro motivo por la cual la máquina debe de desarmarse es que en el mantenimiento predictivo muestre un cambio del valor de la resistencia de uno o todos sus devanados. Si se llega a la determinación de rebobinar el devanado averiado por un cortocircuito entre espiras o recalentamiento excesivo del mismo,

por lo anterior sea el caso de rebobinar o no rebobinar la maquina se debe de realizar inmediatamente un mantenimiento preventivo.

Los rodamientos generalmente vienen contruidos para una vida útil de 3000 horas en adelante, por tal razón, nos indica que la mayoría de los motores dentro del proceso tienen que ser evaluados minuciosamente, en el caso de encontrarse con problemas de los rodamientos que se refleje a través de temperaturas excesivas, ruidos extraños o excesiva vibración debe de desarmarse la máquina y realizar el mantenimiento preventivo de la misma.

Las prácticas más comunes que se deben de realizar cuando tenemos un motor desarmado son:

Limpieza de bobinas sucias con pincel o escobillas.

Utilizar un solventes adecuados o líquidos aislantes para realizar limpieza.

Remover grasa, aceite u otras suciedades que estén adheridas a las bobinas.

Secar con aire seco.

Limpiar con aire comprimido los canales de ventilación en el paquete de chapas del rotor, estator y sus respectivos soportes.

Limpieza de interior en la caja de conexión,

Limpieza completa entre las aletas de disipador de calor.

8.2 Elementos de maniobra, mando y control de los arranques directos para motores eléctricos.

Los elementos de maniobra nos permiten manipular a voluntad circuitos eléctricos provocando o evitando actuaciones. Son elementos de protección y control, de protección eléctrica.

En la planta de cogeneración existen equipos que están controlados por medio de arranques directos donde varían los tipos de conexiones según su fin, no se debe omitir el caso de que hay equipos que están manipulados por medio de variadores de frecuencia y arrancadores suave, pero en este aparatado solo nos basaremos

en los elementos de mando y control en el cual estaremos diagnosticando sus elementos que la componen con el objetivo de conocer sus componentes principales para realizar dicha maniobra de los motores eléctricos de corriente alterna que operan dentro el proceso de cogeneración.

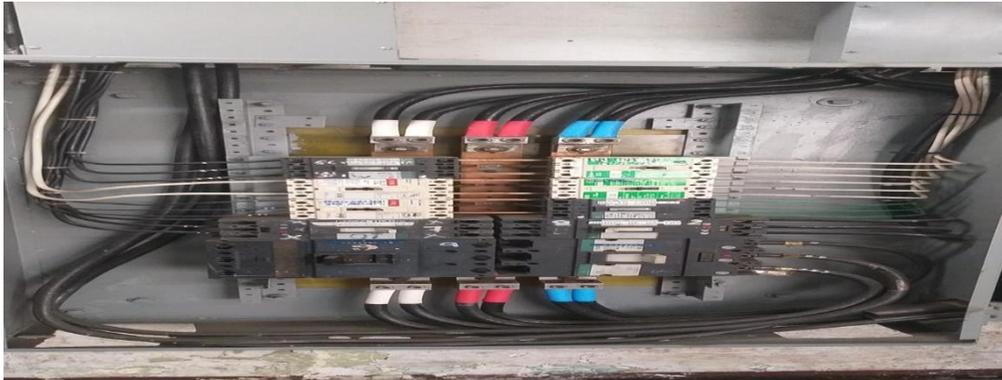


Imagen 5. Main breaker y conductores de calibres distintos para alimentación de equipos eléctricos. Fuente: propia

8.2.1 Plan de mantenimiento predictivo para los elementos de mando, maniobra y control para el arranque de motores eléctricos.

Dentro de la planta de cogeneración Existe minoría de equipos que son arrancados directamente desde contactores, pero se deben de tomar en cuenta la ejecución de un buen plan de mantenimiento para que los equipos con los que se trabajan realicen un buen desempeño dentro del proceso de generación.

Un plan de conservación de los elementos de maniobra, mando y control depende de su ciclo de trabajo y del medio ambiente que los rodea, por lo tanto, debido al máximo trabajo al que están sometidos los elementos de maniobra del circuito de los motores eléctricos, todos estos elementos están protegidos contra la suciedad e insectos, el plan de mantenimiento predictivo de los mismos es mínimo (Gual y Mora, 2002). Las pruebas que se deberán de realizar son las siguientes:

- 4 Verificación de continuidad en los pulsadores de paro, mando y emergencia.
- 5 Verificación de continuidad y no continuidad en contactos normalmente cerrados y abiertos respectivamente.

- 6 Verificación de valor óhmico en el caso de encontrar resistencias de arranques.
- 7 Verificación de tensión de alimentación.
- 8 Verificación de corriente.
- 9 Verificación visual del estado de las señales tanto del panel de control como del plano eléctrico.
- 10 Verificación de ruido o vibración de armadura de los contactores al ser energizados.
- 11 Verificación de los tiempos de temporización de los contactores temporizados.
- 12 Verificación del funcionamiento de los instrumentos de medición y fusibles.
- 13 Verificación de los transformadores de mando y control.
- 14 Revisar si el cableado de control y fuerza se encuentra en buen estado.

Es importante mencionar que debemos de realizar mediciones de temperatura a los elementos que soportan la tensión de alimentación de estos equipos, donde tenemos que inspeccionar el ruido o desgastes de sus contactos, así como también la cantidad de suciedad que se mantiene dentro del panel eléctrico.

8.2.2 Plan de mantenimiento preventivo para los elementos de mando, maniobra y control

Según los resultados que se obtengan del mantenimiento predictivo, se deberá de realizar el mantenimiento preventivo a los elementos de mando, maniobra y control.

Hay que tomar en cuenta que en este mantenimiento la alimentación eléctrica tiene que estar totalmente desconectada es decir sin presencia de tensión, ya que se debe realizar un desarme completo de todos los componentes para ejecutar un mantenimiento preventivo eficiente donde serán examinado con detalles.

A continuación, se presentan los más importantes:

- Fusibles

Se procede a dar limpieza.

Se mide continuidad en ambos extremos por donde circula la corriente.

Comprobar la presión de los portafusibles.

Comprobar si el calibre del conductor es el indicado

- Breakers

Comprobar el deslizamiento de sus contactos.

Comprobar el desgaste uniforme de sus contactos.

Calibrar la presión de sus contactos móviles y que el contacto sea uniforme sin holguras.

Comprobar el buen estado de baquelita y aislantes.

Comprobar ajustes mecánicos, muelles, palancas o aparatos de desenganche.

Reapretar en las conexiones.

Comprobar estado y funcionamiento del enclavamiento.

- Transformador de medida

Medir tensión primaria y secundaria en transformadores de tensión.

Medir corriente primaria y secundaria en transformadores de corriente.

Comprobar la relación de transformación.

Realizar limpieza del transformador.

Comprobar conexiones y puesta a tierra.

Comprobar polaridad.

Comprobar aislamiento.

Limpiar devanados.

- Barrajes

Reapretar todas sus conexiones de alimentación.

Limpiar los elementos aislantes y comprobar su estado, cambiando si es necesario.

Comprobar los aislantes en puntos de derivación, superficies de contacto y piezas de conexión.

- Cables

Revisar terminales de sujeción.

Revisar canales de cables.

Comprobar y revisar cubiertas protectoras.

Revisar terminales, reapretado de bornes.

Comprobar empalmes y estanqueidad en cajas de conexión

Comprobar puesta a tierra⁵⁰

Comprobar continuidad.

- Contactores

Comprobar tensión en la bobina.

Comprobar correcto accionamiento mecánico.

Usar limpiador eléctrico para retirar el polvo.

Limpiar contactos, lijándolos de forma apropiada o cambiándolos si es necesario.

Comprobar la sujeción de los contactos fijos.

Comprobar la posición y maniobra de los contactos móviles.

Comprobar estado y presión de los muelles.

Revisar las bobinas.

Verificar el estado del circuito magnético.



Imagen 6. Contactores marca weg para la automatización de motores.

Fuente: propia.

- Relés de protección

Comprobar su correcto funcionamiento.

Limpieza exterior.

Limpieza de bobinas.

Comprobar el estado de los aislantes.

Comprobar y engrasar mecanismos, núcleos móviles, etc., observando que se mueve libremente.

Comprobar accionamiento, observando ajuste del relé, el tiempo de disparo.

Limpiar los contactos auxiliares.

Revisar y apretar las conexiones.

- Pulsadores

Limpieza exterior.

Comprobar su correcto funcionamiento.

Revisar los contactos, limpiándolos con trapo seco y puliéndolo con lija, si perdieron el baño de plata hay que recambiarlos.

Limpiar el polvo existente de la caja de pulsadores y de la superficie aislante.

Limpiar contactos.

En las unidades temporizadas comprobar mecanismos, comprobando su accionamiento tanto en calibrado del relé como en el tiempo de disparo.

Revisar y reapretar conexiones, comprobando que las mismas estén según plano.

Reemplazar lámparas de señalizaciones defectuosas o fundidas.

Todas estas tareas que deben de ejecutar deben de realizarse por el personal técnico eléctrico quienes tienen la capacidad de dar solución a los problemas encontrados antes del mantenimiento preventivo.

8.3 Variador de frecuencia

En la planta de cogeneración la mayoría de los motores eléctricos que se encuentran dentro del proceso están gobernados por medio de variadores de frecuencia, los cuales pertenecen a equipos como bombas de agua en el proceso de agua de enfriamiento, soplados, bandas y conductores de bagazo de caña, es por ello, por lo que el mantenimiento debe ser perfeccionado y ejecutado con un buen plan de mantenimiento.

Un variador de frecuencia (VDF) es un dispositivo eléctrico de alta eficiencia capaz de proveer el ajuste continuo de la velocidad en aplicaciones con motores eléctricos en baja y media tensión. Los dos elementos básicos que lo componen son el controlador de frecuencia ajustable, y la estación de control para la entrada de parámetros por parte del operador.

El controlador de frecuencia ajustable es la unidad de conversión de potencia basado en elementos de estado sólido la cual recibe un voltaje trifásico a 60 Hz y provee potencia al motor con frecuencia variable, además de regular la salida de voltaje para mantener una relación constante de voltios/Hertz y así proporcionar un torque constante (Vélez, 2016).

Los principales componentes del controlador de frecuencia ajustable son el rectificador y el inversor. La función del rectificador es convertir la entrada de voltaje sinusoidal a un voltaje DC y así eliminar la componente de 60 Hz, y la función del inversor es generar un voltaje de frecuencia graduable, para variadores

de frecuencia de media tensión se usan GTOs como elementos interruptores e IGBTs para variadores de baja tensión.

Los Variadores de Frecuencia (VFD) desempeñan un papel protagónico en los procesos de la industria, y por ello es necesario garantizar la operación continua y confiable de los equipos para evitar tiempos inoperantes que suponen grandes costos para los productores.



Imagen 7. Variador de frecuencia para controlar bandas transportadoras.

Fuente: propia

8.3.1 Fallas más comunes que se encuentra en los variadores de frecuencia dentro del proceso de cogeneración.

La contaminación debido a partículas metálicas, polvo y humedad, pueden ser una de las principales causas de fallas en los variadores de frecuencia. Exceso de polvo puede causar sobrecalentamiento debido a la contaminación en los disipadores de calor. Adicionalmente pueden causar mal funcionamiento de los ventiladores afectando la refrigeración del Drive, las partículas metálicas pueden generar cortocircuitos y mala operación de los contactos del Drive.

A continuación, se muestra un listado de fallas comunes, el cual nos orientará que datos técnicos se deberá de tomar en cuenta al momento de la planeación del mantenimiento predictivo.

- Problemas de falla a tierra.
- Subtensiones.
- Sobretensiones transitorias.
- Problemas en los componentes electrónicos de potencia.
- Problema o estado mal configurado del Drive.
- Problemas de contaminación.
- Fluctuaciones de tensión.

Según las fallas presentada se procede a describir las técnicas que deben de ser empleadas dentro del marco de mantenimiento predictivo.

8.3.2 Plan de mantenimiento predictivo a realizar en variadores de frecuencia

Recordemos que el plan de mantenimiento predictivo se ejecutará dentro del periodo de trabajo de los equipos ya que se anotará la información obtenida a través de la visualización y mediciones realizadas a estos equipos.

Como primera medida siempre se obtienen y guardan todos los parámetros del Drive, esto se hace debido a que es la configuración inicial con la que estaba funcionando el Drive y ante cambios realizados en la programación, siempre se puede volver al punto inicial de configuración. Adicional a esto, es importante hablar con el operador de la planta para saber todo lo que ocurrió en el momento de la anomalía, ya que puede dar un indicio de donde se encuentra la falla en el variador de frecuencia.

El siguiente paso se refiere a la inspección visual del motor en busca de signos de sobrecalentamiento, obstrucciones mecánicas, rodamientos dañados y cualquier indicio de mal funcionamiento del motor, esto se hace antes de entrar a inspeccionar los circuitos del Drive. Con esto se busca reparar el área alrededor

de la carga e identificar daños mecánicos en el sistema motor-carga y sus acoplamientos.

Los pasos que se deberán seguir al momento de el diagnostico de fallas son:

- Obtener una copia de todos los datos programados en la memoria de la tarjeta del variador (Drive).
- Realizar inspección visual al equipo.
- En caso de una falla a solucionar inmediatamente, se debe preguntar al operador que paso cuando la falla ocurrió.
- Realizar mediciones de temperatura al equipo.
- Verificar mediciones de corriente.
- Verificar mediciones de tensión.
- Verificar mediciones de Rpm programadas al variador de frecuencia.
- Identificar ruido asociados a problemas eléctricos en los componentes electrónicos.
- Verificar voltajes en el bus DC por encima del valor nominal que pueden llegar a quemar circuitos del drive, o activar las protecciones a la entrada del drive.
- Inspeccionar si se encuentran fallas en el aislamiento.
- Hacer revisión continua del buen estado de los componentes de dispositivos electrónicos de potencia.
- Verificación de intentos de arranques fallidos del motor.

Una vez realizado los pasos anteriores el técnico electricista deberá anotar todos los problemas de aspecto técnico que fueron encontrados para ejecutar el plan de mantenimiento preventivo que se describirá a continuación.

8.3.3 Plan de mantenimiento preventivo a ejecutar en los variadores de frecuencia

Al momento de aplicar el mantenimiento preventivo nunca se debe de trabajar sobre el variador, el cable del motor o el motor con la alimentación principal aplicada. Tras desactivar la alimentación de entrada, siempre espere 5 minutos hasta que se descarguen los capacitores internos antes de trabajar sobre el

variador, el motor o el cable del motor. Si no lo hace, resultará en lesiones graves o en la muerte.

Como primer paso del mantenimiento, se debe realizar el respaldo del programa de usuario y revisar el historial de fallos. Esto último sirve para ver si han existido anomalías durante el funcionamiento de la unidad, establecer una posible tendencia y atacar la causa.

Luego de realizar los bloqueos y de garantizar que no existe energía residual, se procede al desarme del equipo. Lo primordial es llegar hacia los semiconductores de potencia adosados al disipador. Los pernos y tuercas deben ser clasificados para así identificar su posición exacta, y las tarjetas electrónicas deben ser manipuladas y tratadas con las medidas necesarias para evitar descargas electroestáticas y que terminen dañadas por este fenómeno.

Posteriormente, se debe proceder con el mantenimiento de los semiconductores de potencia y revisar el estado de las pastas disipadoras, entre otros. Al realizar nuevamente el armado del equipo, se debe verificar y respetar el torque indicado por el fabricante en la hoja de datos, ya que,

Si aplicamos un torque excesivo, la pasta escurrirá y quedará muy poca, haciendo contacto entre el componente y el disipador. Además, podemos dañar el hilo de la perforación de fijación. En caso de aplicar un torque insuficiente, la transferencia de temperatura podría ser deficiente, lo que también puede terminar en un daño.

Durante la limpieza de las tarjetas, para no dañarlas con estática, se deben tomar los resguardos necesarios, como el uso de superficies, pulseras y brochas antiestáticas. Si se necesita limpiar con aire la tarjeta para mejorar el retiro de residuos, conviene el uso de una pistola antiestática. Como agente de limpieza, hay que utilizar productos limpia-contactos que no dejen residuos aceitosos, ya que el polvo o suciedad puede pegarse a la tarjeta. También es recomendable efectuar una inspección visual a la tarjeta antes de la limpieza, ya que, con el tiempo, las vibraciones mecánicas van quebrando algunas soldaduras. Si las

condiciones son muy extremas en cuanto a suciedad, es una buena práctica el aplicar barniz aislante.

Cabe recalcar que, durante el armado, se deben respetar los torques establecidos por el fabricante. Es común encontrar equipos a los que se ha aplicado un exceso de torque y se pueden apreciar los daños: ruptura de hilos, ruptura de la estructura de los semiconductores, deformación en barras, deformación y ruptura en los bornes de potencia de los semiconductores, daños en estructuras, etc.

Para finalizar el mantenimiento en los variadores de frecuencia, es recomendable realizar pruebas de funcionamiento en Baja Tensión. Existen equipos que permiten alimentar el control con 24V y realizar pruebas de funcionamiento sin tener la energía de red. Con éstas, verificamos la respuesta del puente inversor y el funcionamiento del control. Después de estas pruebas, se pueden levantar las seguridades y se alimenta el equipo con la tensión de trabajo.

8.4 Turbogenerador

La empresa Ingenio San Antonio posee una planta de cogeneración con una capacidad de generación instalada de 79.3 MW compuesta de cuatro turbogeneradores.

Durante la temporada de zafra, el mantenimiento de los turbogeneradores en su mayor parte se enfoca en asegurar su funcionamiento, mientras que durante la temporada de reparación el mantenimiento en algunos casos ya es correctivo y en otros, preventivo o predictivo.



Imagen 8. Turbogenerador, foto obtenida de la planta del ISA.

Fuente: propia.

8.4.1 Definición

Es una máquina que se compone de una turbina de vapor y un generador. La turbina es el elemento que transforma la energía termodinámica de un flujo de vapor de agua en energía mecánica. El generador que va acoplado con la turbina es el encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. En algunos casos es necesario emplear una caja reductora entre el generador y la turbina para reducir la velocidad de esta a la velocidad de funcionamiento de un turbogenerador.

8.4.2 Pruebas para determinar fallas

Tiene que hacerse una revisión periódica, para determinar la presencia de suciedad, material carbonizado y humedad. Las pruebas para comprobar estas condiciones deben hacerse de forma de no causar averías o fallas en el aislamiento. La prueba más generalizada es la medición de resistencia de aislamiento que proporciona un cuadro bastante exacto sobre el estado del aislamiento, particularmente por lo que atañe a la humedad o suciedad.

El aislamiento de una bobina que se ha doblado, arrugado, o que ha sufrido daños de origen mecánico, pueden conservar una resistencia alta, pero falla fácilmente en la prueba dieléctrica con voltaje relativamente bajo.

La resistencia del aislamiento debe ser medida periódicamente más o menos a la misma temperatura y bajo condiciones de humedad similares, para poder determinar el progreso del deterioro de material aislante. Si estas mediciones arrojan variaciones considerables, debe buscarse el origen y tomar las medidas correctivas necesarias, para contrarrestar alguna falla del aislamiento.

Ningún equipo nuevo debe ponerse en servicio, si su aislamiento es menor a $1M\Omega$. Una buena regla para seguir consiste en mantener la resistencia del aislamiento en una proporción aproximada de $1M\Omega$ por cada 1000 V de tensión (Puga, 2002).

8.4.3 Consideraciones de mantenimiento en los turbogeneradores

La experiencia y datos obtenidos de las inspecciones regulares de mantenimiento pueden, además de proporcionar una evaluación de la condición presente del equipo, proporcionar la posible tendencia y la necesidad probable a largo plazo la reparación futura o reemplazo. Dependerá grandemente de la propia experiencia y filosofía del operador para establecer un programa de mantenimiento regular que involucre el desmontaje periódico y el examen visual del equipo, junto con la aplicación de pruebas eléctricas de probada importancia, las cuales proporcionarán una fiabilidad del servicio de equipo.

En el mantenimiento de generadores y en base a las pruebas, se espera lograr lo siguiente:

- Establecer una base para mantener la operatividad del generador, o requisito de acción correctiva, después de una posible falla, o daño severo.
- Indicar la conducta y tendencia de funcionamiento de la máquina en largo plazo.
- Anticiparse a posibles fallos en el servicio.

8.4.4 Procedimientos que deben de ejecutarse ante el mantenimiento preventivo

Muchos fabricantes y usuarios creen que las maquinarias eléctricas rotatorias grandes deben ser completamente desmanteladas y realizar una inspección completa cerca del fin del primer año de servicio. Después de esto, el desmontaje completo y la inspección visual pueden garantizarse solo a intervalos largos. En tales casos, las inspecciones parciales periódicas deben ser consideradas porque pueden descubrirse a menudo fallas incipientes que pueden corregirse durante estas inspecciones.

Deben examinarse cuidadosamente los bobinados del estator para determinar señales de degradación eléctrica, térmica y deterioro por esfuerzos mecánicos. El desgaste de la corona en el extremo del bobinado que está girando, será evidente por el descoloramiento o corrosión de la pintura, a menudo en depósitos y áreas pequeñas. En casos severos, cintas de la protección exterior o incluso porciones

de la conexión con tierra, puede corroerse. Es probable que tal deterioro comience en áreas adyacentes giratorias con un notable diferencial de potenciales en servicio. Se aplican a menudo a superficies semiconductoras las pinturas y cintas que tienen resistividad especial para limitar daños de corona del extremo giratorio. También se usan para el mismo propósito, barnices conductivos y cintas de refuerzo y ligadura para el mismo propósito. Los modelos de corona pueden indicar descansos en estos tratamientos de la superficie especiales o revela áreas donde el deterioro ha ocurrido o el plan original es inadecuado.

Deben examinarse en los extremos del rodamiento, posibles resquebrajaduras en las cintas exteriores, además, deben buscarse características como sequedad, firmeza, y esponjamiento. Debe notarse el esponjamiento del bobinado y compuestos extraños. Se debe inspeccionarse los anillos rozantes detrás y entre los bobinados y entre los extremos del rodete. Además, debe notarse los cambios de tensiones del corto circuito en los extremos del rodete.

El polvo puede quitarse con aire comprimido. El cuidado debe ser ejercido aplicando presión que no dañe el aislamiento, y deben observarse las precauciones de seguridad usuales por manejar aire comprimido, Desde la condensación que a menudo ocurre en líneas de aire, debe asegurarse que el aire esté libre de humedad antes de ser aplicado en el generador. Todas las superficies expuestas pueden limpiarse con telas limpias para quitar cualquier aceite restante o suciedad. Puede ser necesario usar una solución de limpieza recomendada por el fabricante para quitar la suciedad eficazmente.

Básicamente el mantenimiento que se realizara es básico por falta de experiencia de los técnicos, lo cual, además de las inspecciones visuales se hará limpieza general del equipo y resoques de pernos de sujeción de la base.

8.5 Transformadores

Uno de los equipos eléctricos más importantes dentro de la planta de cogeneración es el transformador ya que este se encarga de disminuir o aumentar el voltaje necesario para fines de suministros y consumos de energía. En el Ingenio San Antonio los transformadores de potencia que se utilizan son el

transformador de 69000 V, transformador de 13800 V, transformador de 4160 V y los transformadores de baja tensión.

El transformador es un tipo de maquina eléctrica estacionaria que transforma el nivel de tensión de la energía eléctrica de un nivel a otro, a través de la acción de un campo magnético. Este consta de dos o más bobinados conectados a través de un núcleo ferromagnético.



Imagen 9. Transformador de potencia, foto obtenida del ISA.

Fuente: propia

Hoy en día existen una gran cantidad de aplicaciones de los transformadores, que por sus funciones y aspectos constructivos destacan:

- Transformadores de potencia: son los que se utilizan en las subestaciones, estaciones de generación y usuarios de altas potencias. A su vez se clasifican en varias subcategorías según sus particularidades; transformadores tipo seco, transformadores sumergidos en aceite.
- Autotransformadores: este funciona como un transformador convencional, pero tiene características constructivas que lo diferencian. El devanado primario y secundario de este están conectados eléctricamente a diferencias de los demás que solo están conectados de manera magnética.

- Transformadores de medida: convierten las intensidades y tensiones de las líneas de alta tensión a valores medibles por contadores y protecciones.

Los transformadores de potencia son los más costosos y difíciles de reemplazar ya que por su gran capacidad se tienen que diseñar y fabricar a la medida, lo que significa el reemplazo de este una tarea que se debe de planificar. Bajo estas condiciones y debido a la exposición que se encuentran estas máquinas deben estar acompañados de elementos que le permitan un trabajo ininterrumpido a pesar de las condiciones climáticas y propias del trabajo realizado (Días y Cruz, 2019).

8.5.1 Fallas más comunes que se presentan en un transformador

Las fallas más comunes en un transformador pueden ocurrir en diferentes partes o componentes debido a problemas mecánicos y eléctricos o un estrés térmico ocasionado por diferentes condiciones. A continuación, se enlista las fallas que ocurren con mayor frecuencia en un transformador junto con sus causas:

- **Fallas en el devanado**

Un devanado es una parte muy importante del transformador. En los de distribución existen dos de estos: uno en el lado primario y otro en el secundario. El alto voltaje y la baja tensión eléctrica corren en el lado primario del devanado y es a través del voltaje de inducción electromagnética que baja al lado secundario. Los devanados pueden soportar estrés dieléctrico, térmico y mecánico durante este proceso, pero a veces es tanto que resulta en una falla y una posterior ruptura.

- **Falla dieléctrica**

La falla dieléctrica ocurre cuando surge una descompostura en el aislamiento, la cual es causada por una tensión eléctrica y voltaje por arriba de los niveles

promedio. Esto desencadena en un corto circuito. Las razones de los altos niveles pueden ser caídas de un rayo sin contar con descargadores y fallas de voltaje.

- **Falla térmica**

Los devanados usualmente están hechos de cobre. Debido a la resistencia ocurren pérdidas térmicas, las cuales lo afectan si no ha habido un mantenimiento apropiado. Con el tiempo, estos se van deteriorando y la fuerza física se pierde.

- **Falla mecánica**

Las fallas mecánicas son distorsiones, aflojamientos o desplazamientos de los devanados. Esto es resultado de la disminución del desempeño del transformador, reparaciones inadecuadas, corrosión, mal mantenimiento, defectos de fábrica y movimientos y vibraciones dentro de este.

- **Falla del núcleo**

Un transformador tiene un núcleo laminado de acero en medio rodeado por los devanados. Su función es concentrar el flujo magnético. Si falla, los devanados se ven afectados. El laminado está ahí para impedir esto, pero un mal mantenimiento, el no reemplazar el aceite o la corrosión pueden ser causa del problema. Una mínima descompostura en las láminas resulta en un incremento en la energía térmica. Los efectos de un sobrecalentamiento son:

- Los devanados son dañados debido a que el sobrecalentamiento alcanza la superficie del núcleo.
- Daño en el aceite del transformador, lo que genera un gas que puede afectar otros componentes.

- **Falla en el sistema de protección**

La función principal del sistema de protección es resguardar al transformador de cualquier falla al detectarla y resolverla lo más rápido posible. Si no es posible, entonces la aísla para evitar un daño mayor. Sus componentes son el relé de Buchholz, la válvula de alivio de presión, protección contra sobrecargas y el relé de presión súbita.

- **Falla en el sistema de refrigeración**

El sistema de refrigeración reduce el calor en el transformador debido a las pérdidas de cobre y hierro. El sistema contiene ventiladores, bombas de aceite e intercambiadores de calor enfriados hidráulicamente. Una falla causa un incremento de calor y acumulación de presión del gas, lo cual podría desencadenar una explosión. A continuación, las fallas más comunes en el sistema:

- Filtraciones en las bombas de aceite y agua. Esto da como resultado una reducción de los fluidos y un bajo intercambio de calor. Las filtraciones pueden ocurrir debido al estrés ambiental, corrosión, humedad y radiación solar.
- Descompostura de los ventiladores. Estos pueden fallar si no hay un buen mantenimiento o si existe un desgaste en los motores.
- Un termostato defectuoso también representa un problema debido a las malas lecturas que proporcionan.

8.5.2 Plan de mantenimiento predictivo a realizar en los transformadores de potencia

El plan de mantenimiento predictivo se ejecutará durante la temporada de zafra y no zafra de la empresa ya que se realizará de inspecciones visuales y mediciones de cámaras termográficas en el cuerpo del transformador. Deben aplicarse inspecciones rutinarias semanales ya que brindará la posibilidad de evaluar la variación de ellas en el tiempo, y de esta manera determinar cualquier variación o detección de alguna anomalía, lo cual se debe intervenir de inmediato, lo que permitirá evaluar y determinar las condiciones operativas del transformador.

- **Punto de inspección en el cuerpo del transformador**

Verificar la temperatura y el nivel de aceite en forma de inspección visual.

Verificar si hay marcas de golpe.

Verificar si existe oxidación.

En los dispositivos de enfriamiento: verificar si hay pérdidas de aceite en las válvulas, bomba de aceite, y radiadores.

Verificación de acumulación de polvo en el radiador.

En los Bushings: verificar la existencia de grietas, y pérdidas de aceite.

En el indicador de nivel verificar si existen fugas por los empaques, tomar la temperatura del termómetro de aceite, el cual debe corresponder a un nivel razonable de acuerdo con la temperatura del termómetro.

En el relé de presión súbita su inspección es visual, ya que su operación solo obedece a fallas severas.

Verificación en el termómetro de los devanados, se debe inspeccionar bien el capilar para ver si existen fugas, verificar que los punteros no estén pegados, verificar las señales de disparo en el tablero de control.

En los radiadores se debe de verificar suciedades que pueden interferir en la transferencia de calor, puntos de corrosión, fufas de aceite y verificación del estado de la pintura. Verificación de fugas en los empaques de las válvulas.

En los ventiladores de debe verificar el estado de los rodamientos, limpieza de aspas, y verificación de señales desde el tablero de control.

Gabinete de control: Revisión de empaques de la puerta, el sistema de calentamiento, cables sueltos en los puntos de contacto y verificación de señales de cada uno de los elementos de control.

Pruebas adicionales:

- Prueba de resistencia en los devanados.
- Prueba de relación de transformación.
- Prueba de corriente de excitación.
- Prueba de núcleo a tierra.
- Prueba de termografía infrarroja.

Las inspecciones detalladas anteriormente servirán como una referencia de lo que se debe de ejecutar en el plan de mantenimiento preventivo.

8.5.3 Mantenimiento preventivo para los transformadores

Este tipo de mantenimiento será ejecutado durante el periodo de reparaciones es decir de 2 o 3 meses antes de iniciar el periodo de zafra, ya que se debe de realizar con interrupciones de energías programada por la empresa Ingenio San Antonio, ya que los trabajos a realizar deben ser sin presencia de tensión.

El mantenimiento de transformadores de potencia incluye pruebas eléctricas periódicas de los diferentes parámetros del transformador, siendo común la comprobación regular de características tales como la relación de transformación, la corriente de excitación, índice de polarización, resistencia de aislamiento, tangente de delta, resistencia del devanado, la impedancia de cortocircuito.

A continuación, se describirán los pasos que se deben de ejecutar en este tipo de mantenimiento, se deberán realizar las actividades comunes que el técnico electricistas tiene a su alcance, debido a que la empresa no cuenta con todas las herramientas necesarias para las operaciones del mantenimiento completo.

Actividades previas al mantenimiento:

Solicitar apertura de OT al técnico electricista.

Ubicar en un sitio definido las herramientas y equipos.

Colocar cinta de seguridad delimitando el área a intervenir.

Actividades generales del transformador:

Limpieza externa al cuerpo del transformador. Limpieza perfecta de los aisladores.

Limpieza de maleza en el área de operación del transformador.

Chequear ruidos inusuales en los ventiladores.

CAPITULO III

9. Plan de mantenimiento para los equipos eléctricos de la planta de cogeneración del ingenio San Antonio

En este apartado se presenta la propuesta de un plan de mantenimiento, para mantener los equipos eléctricos en buen estado, es necesario realizar un mantenimiento periódico.

La planta de cogeneración tiene un descanso de operación de cuatro meses aproximadamente lo que permite realizar un mantenimiento preventivo completo la mayoría de sus equipos, es importante tomar en cuenta que el mantenimiento predictivo se realizará durante la temporada de zafra y no zafra, y el mantenimiento correctivo se dará lugar al momento de que ocurran las fallas eléctricas durante la temporada de generación de energía.

En la siguiente tabla se muestra el cronograma de mantenimiento propuesto a realizarse anualmente.

Mes y equipos	Equipos de Caldera #1	Equipos de Caldera #2	Equipos de Caldera #3	Equipos de Bombas AA	Equipos de conductores de bagazo	Equipos de torre de enfriamiento
Mes 1						
Mes 2						
Mes 3						
Mes 4						
Mes 5						
Mes 6						
Mes 7						
Mes 8						
Mes 9						
Mes 10						
Mes 11						
Mes 12						

Mantenimiento Preventivo	
Mantenimiento Predictivo	
Mantenimiento Correctivo	Emergencia
Prueba de equipos eléctricos	

Tabla 1. Cronograma anual de mantenimiento general eléctrico. Fuente: propia.

9.1 Mantenimiento Predictivo

El primer mantenimiento propuesto es el predictivo el cual es el mantenimiento más importante debido que este se realizará el día a día por el operador, será una serie de verificaciones y pasos para poder tener control de los equipos eléctricos.

1. Incluir de forma permanente la toma de lectura de corriente, voltaje y temperatura con el fin de vigilar de cerca el equipo y controlar los parámetros y las horas trabajadas para programar los mantenimientos a tiempo y evitar fallas en el sistema.
2. Controlar las vibraciones del equipo, esto incluye verificar los pernos.
3. Controlar limpieza externa de cada elemento.
4. En cada turno los operadores y controlista deberá informar al personal técnico sobre las averías que se presentaron en cada equipo.

Este tipo de mantenimiento no incluye compras de materiales ni desmontajes de los equipos, solamente herramientas claves de medición como multímetros, megger, cámaras termográficas y equipos de análisis de vibración.

9.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es el tipo de mantenimiento fundamental para aplicar a la planta de generación de energía ya que mantiene en óptimas condiciones y evita paros inoportunos, es importante recalcar que estos paros provocan altas pérdidas económicas para la empresa.

Este mantenimiento tendrá una duración de 3 meses o 1080 horas hombres trabajadas aproximadamente, se estipula que las jornadas de trabajo se realizarán de 12 horas diarias. Las actividades por realizar están divididas en 6 áreas que corresponden a los equipos eléctricos de caldera 1, caldera 2, caldera 3, bombas de agua alimento, conductores de bagazo de caña y torres de enfriamiento.

Motor eléctrico				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Anual	Limpieza interior	45	Electromecánico
2	Trimestral	Revisión de conexiones eléctricas	30	Electromecánico
3	Anual	Realizar pruebas de aislamientos	60	Electromecánico
4	Anual	Sustitución de rodamientos	240	Electromecánico
5	Trimestral	Revisar consumos de amperaje	20	Electromecánico
6	Anual	Verificación de holguras	60	Electromecánico
7	Anual	Aplicación de barniz en el devanado	240	Electromecánico
8	Anual	Aplicación de pintura en carcasa	240	Electromecánico
9	Anual	Revisión completa	90	Electromecánico

Tabla 2. Descripción resumida del manteniendo preventivo orientado a los motores eléctricos trifásicos. Fuente: propia.

En la tabla #2 se puede observar que el mantenimiento orientado a los motores eléctricos es realizado principalmente por los técnicos electromecánicos, donde se estima que la duración promedio de tiempo es de 17 horas aproximadamente debido a que la mayoría de los motores que se encuentran en la planta son de altos caballos de fuerza.

Tablero eléctrico				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Semestral	Limpieza de tablero eléctrico	60	Electricista
2	Trimestral	Ajustes de conexiones eléctricas	60	Electricista
3	Anual	Inspección interna y externa del tablero	30	Electricista
4	Anual	Revisar el estado de barrajes de potencia	30	Electricista
5	Anual	Aplicación de pintura para evitar corrosión	180	Electricista
6	Anual	Cambios de sistemas de protección en mal estado	240	Electricista

Tabla 3. Descripción resumida del manteniendo preventivo orientado a los tableros eléctricos (elementos de protección). Fuente: propia.

En la tabla #3 se determina que el tiempo promedio que se tarda en realizar el mantenimiento preventivo eléctrico a los tableros de control existentes dentro de la planta es de aproximadamente 10 horas y es realizado por el personal de técnicos electricistas.

Transformador				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Mensual	Verificación de líquido aislante	30	Electricista
2	Mensual	Inspeccionar el sílica gel	30	Electricista
3	Mensual	Verificar accesos de ventilación	30	Electricista
4	Anual	Realizar limpieza general	240	Electricista
5	Anual	Ajustar los equipos de protección	No aplica	Contratistas
6	Anual	Realizar análisis físico-químico	No aplica	Laboratorio especializado
7	Anual	Remover óxido	240	Electricista
8	Anual	Aplicación de pintura anticorrosiva	240	Electricista
9	Anual	Ajustar puntos de conexión	60	Electricista

Tabla 4. Actividades de mantenimiento eléctrico preventivo de los transformadores. Fuente: propia.

En la tabla #4 se describen las actividades e intervalos del mantenimiento eléctrico preventivo dirigidos a los transformadores eléctricos de la planta, el tiempo promedio de operación es de 15 horas, de igual manera se indica que las pruebas de análisis físico-químico y los ajustes de las protecciones son realizadas por personal contratados que no pertenecen a la empresa.

Variador de frecuencia, arrancador suave y contactor				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Trimestral	Limpieza externa del equipo	60	Electricista
2	Anual	Revisión de conexiones eléctricas	30	Electricista
3	Anual	Ajustes de borneras de entrada y salida	60	Electricista
4	Anual	Desarme del contactor	120	Electricista
5	Anual	Inspeccionar recalentamientos en los contactos	30	Electricista
6	Anual	Revisar condiciones físicas	20	Electricista
7	Anual	Ajustes de borneras de potencia	30	Electricista
8	Anual	Ajustes de borneras de control	30	Electricista
9	Anual	Limpieza de bobinas del contactor	30	Electricista
10	Anual	Desarme del variador de frecuencia	180	Electricista
11	Anual	Desarme del arrancador suave	180	Electricista
12	Anual	Limpieza de áreas de ventilación de estos equipos	30	Electricista
13	Anual	Limpieza de tarjetas electrónicas	60	Electricista
14	Anual	Sustitución de conductor en mal estado	30	Electricista
15	Anual	Ajustes de parámetros en el drive	60	Electricista

Tabla 5. Descripción resumida del mantenimiento eléctrico realizado en variadores de frecuencia y arrancadores suaves. Fuente: propia.

En la tabla #5 se mencionan las actividades más comunes realizadas para los equipos eléctricos están encargados de automatizar el proceso. El intervalo del mantenimiento es anual mayormente, debido a que estos equipos se encuentran en zonas cerradas y completamente climatizadas lo que genera perfecto funcionamiento durante mucho tiempo.

El tiempo promedio de duración del mantenimiento por cada equipo es de aproximadamente de 15 horas, debido a que las tarjetas electrónicas y contactos internos de este equipo deben estar completamente secos para poder realizar pruebas de funcionamiento.

Área de generadores				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Mensual	Limpieza externa del generador	30	Electricista
2	Mensual	Limpieza externa de las baterías	30	Electricista
3	Mensual	Verificar accesos de ventilación	30	Electricista
4	Anual	Ajustar puntos de conexión	240	Electricista
5	Anual	Limpieza interna del devanado	1440	Electricista
6	Anual	Examinación de rodamientos	120	Electricista
7	Anual	Cambio de terminales	480	Electricista
8	Anual	Aplicación de pintura anticorrosiva	240	Electricista

Tabla 6. Actividades de mantenimiento aplicados en los turbogeneradores. Fuente: propia.

En la tabla #6 se indica que el tiempo estimado de mantenimiento eléctrico de cada turbogenerador es de 44 horas, tomando en cuenta que las actividades que se realizan son las más comunes y estas están ejecutadas por el personal eléctrico de la empresa.

Limpieza de piezas

Todas las piezas se deben limpiar luego de que los equipos eléctricos estén desconectados de la fuente de alimentación.

La limpieza externa debe limitarse a usos de cepillos y esponjas. No deben lavarse directamente con chorros de agua para evitar humedad en los circuitos eléctricos internamente.

Materiales

Para este mantenimiento se ha logrado determinar los materiales que se deberán utilizar:

Hilaza para limpieza

Desengrasantes

Líquidos de limpieza industrial

Líquidos de limpieza doméstica

Líquido afloja todo

Lubricante MD-40

Limpiador de contactos electrónicos (Flurosol)

Rodamientos

Cepillos de alambre

Lijas (Diferente numeraciones)

Empaques de sellos y hules

Pernos con arandelas y tuercas

Grasa (SKF)

9.3 Mantenimiento Correctivo

Según Mora (2009), resalta que las tareas de mantenimiento correctivo son las que se realizan con intención de recuperar la funcionalidad del elemento o sistema, tras la pérdida de su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren.

Las actividades de mantenimiento correctivo que se realizan de emergencia dentro de la planta eléctrica son sillares para todos los equipos eléctricos de operación.

- Detección de la falla
- Localización de la falla
- Desmontaje
- Recuperación o sustitución
- Montaje

- Pruebas
- Verificación
- Sustitución

9.4 Recomendaciones básicas sobre herramientas de trabajo

El personal técnico debe utilizar las herramientas adecuadas para proceder al mantenimiento, por lo tanto, toda herramienta debe estar autorizada para trabajos eléctricos ya que estos evitan riesgos eléctricos.

Es importante desarrollar las siguientes medidas preventivas generales:

- No dejar herramientas conectadas eléctricamente en lugares de paso.
- Siempre colocarse en una posición fija y firme para trabajar.
- Usar una adecuada iluminación en el plano de trabajo.
- Conectar equipos a tableros eléctricos que cuenten con sistemas de protección.
- Mantener en buen estado las herramientas y solicitar recambios oportunamente cuando presenten excesivo desgaste o fallas insalvables.
- No realizar trabajos en lugares húmedos o presencia de líquidos inflamables.
- Evita reparar herramientas cuando estén conectadas.
- Asegurarse que los mangos dispongan del material aislante, y que no presenten grietas, roturas o desgastes.

CAPITULO IV

10 Sugerencia propuesta en base normas de higiene y seguridad del trabajo

La ley 618, Ley General de Higiene y Seguridad del Trabajo en Nicaragua, señala que es obligación de los empleadores: “Adoptar las medidas preventivas necesarias y adecuadas para garantizar eficazmente la higiene y seguridad de sus trabajadores en todos los aspectos relacionados con el trabajo.

La Ley es clara, en que las empresas deben tomar medidas equánimes no solamente para la prevención de accidentes de trabajo (seguridad industrial), sino también para la prevención de enfermedades o alteraciones a la salud de sus trabajadores (higiene ocupacional).

10.1 Factores físicos eléctricos

Nunca realizar actividades que presenten riesgos eléctricos si no se cuenta con el equipo de protección de seguridad personal requerido para estos trabajos como: guantes aislantes, botas con suela de caucho (aislantes), casco, lentes de protección ocular, orejeras de disminución de decibeles. Si se trabaja en altura se debe de utilizar arnés de seguridad y herramientas con mangos aislantes.

Las reparaciones y/o mantenimientos a motores, paneles de control, generadores, etc., lo harán solamente el personal especializado teniendo en cuenta que deben apagar y desconectar antes de iniciar las actividades.

Todo el personal eléctrico deberá tomar en cuenta las 5 reglas de oro para electricista que se presenta a continuación:

1. Desconectar, corte visible o efectivo
2. Enclavamiento, bloqueo y señalización
3. Comprobación de ausencia de tensión
4. Puesta a tierra y cortocircuito
5. Señalización de la zona de trabajo

- **Desconectar, corte visible o efectivo**

Antes de iniciar cualquier trabajo eléctrico sin tensión debemos desconectar todas las posibles alimentaciones a la línea, máquina o cuadro eléctrico. Prestaremos especial atención a la alimentación a través de grupos electrógenos y otros generadores, sistemas de alimentación interrumpida, baterías de condensadores, etc.

Consideraremos que el corte ha sido bueno cuando podamos ver por nosotros mismos los contactos abiertos y con espacio suficiente como para asegurar el aislamiento. Esto es el corte visible.

- **Enclavamiento, bloqueo y señalización**

Se debe prevenir cualquier posible re-conexión, utilizando para ello medios mecánicos (por ejemplo, candados). Para enclavar los dispositivos de mando no se deben emplear medios fácilmente anulables, tales como cinta aislante, bridas y similares.

Cuando los dispositivos sean telemandados, se debe anular el telemando eliminando la alimentación eléctrica del circuito de maniobra.

En los dispositivos de mando enclavados se señalará claramente que se están realizando trabajos.

Además, es conveniente advertir a otros compañeros que se ha realizado el corte y el dispositivo está enclavado.

- **Comprobación de ausencia de tensión**

En los trabajos eléctricos debe existir la premisa de que, hasta que no se demuestre lo contrario, los elementos que puedan estar energizados lo estarán de forma efectiva.

Siempre se debe comprobar la ausencia de tensión antes de iniciar cualquier trabajo, empleando los procedimientos y equipos de medida apropiados al nivel de tensión más elevado de la instalación.

Haber realizado los pasos anteriores no garantiza la ausencia de tensión en la instalación.

La verificación de ausencia de tensión debe hacerse en cada una de las fases y en el conductor neutro, en caso de existir. También se recomienda verificar la ausencia de tensión en todas las masas accesibles susceptibles de quedar eventualmente sin tensión

- **Puesta a tierra y en cortocircuito**

Este paso es especialmente importante, ya que creará una zona de seguridad virtual alrededor de la zona de trabajo.

Los equipos o dispositivos de puesta a tierra deben soportar la intensidad máxima de defecto trifásico de ese punto de la instalación sin estropearse. Además, las conexiones deben ser mecánicamente resistentes y no soltarse en ningún momento. Hay que tener presente que un cortocircuito genera importantes esfuerzos electrodinámicos.

Las tierras se deben conectar en primer lugar a la línea, para después realizar la puesta a tierra. Los dispositivos deben ser visibles desde la zona de trabajo.

- **Señalización de la zona de trabajo**

La zona dónde se están realizando los trabajos se señalará por medio de vallas, conos o dispositivos análogos. Si procede, también se señalarán las zonas seguras para el personal que no está trabajando en la instalación.

CAPITULO V

11. Propuesta de inversión necesaria para el funcionamiento del plan de mantenimiento.

Los costos financieros asociados al mantenimiento se deben tanto al valor de los repuestos de almacén como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la producción.

El costo que supone los recambios de un almacén para realizar reparaciones es de un desembolso para la empresa que limita su liquidez. Si los recambios son utilizados con cierta frecuencia nos encontramos con un mal menor, dado a que esto es una inversión que hace la empresa para mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo, cuando los recambios tardan mucho tiempo en ser utilizados, estamos recurriendo a gastos que en principio no genera ningún beneficio de la empresa.

Dentro de estos gastos financieros debe tenerse en cuenta el coste que supone tener ciertas instalaciones o máquinas duplicadas para obtener una mayor disponibilidad. En determinadas circunstancias que se obliga a una disponibilidad total, es necesario montar en paralelo una máquina similar que permita la reparación de una de ellas, mientras la otra está en funcionamiento. El coste de esta duplicidad puede olvidarse en el cómputo de los gastos de mantenimiento, pero debe tenerse en cuenta dado que el motivo de su presencia es el aumento de la disponibilidad y este concepto es responsabilidad de mantenimiento.

11.1 Inversión monetaria para utilizar en el mantenimiento

A continuación, se presenta la lista de materiales utilizados que se ocuparan durante los mantenimientos. Es importante mencionar que los materiales utilizados en los distintos puntos de la planta son similares por lo que cuentan con los mismos equipos eléctricos rotativos y tipos de arranque.

Además, se presenta la planilla de los trabajadores de la planta de cogeneración donde se estipula la inversión mensual y anual de gastos de mano de obra internamente de la empresa.

Lista de materiales a utilizar en la caldera #1	
Artículos	Precio
Hilaza para limpieza	\$ 200
Empaques de sellos y hules	\$ 250
Pernos con arandelas y tuercas	\$ 60
Líquido de limpieza industrial (Petrocline), quita grasa	\$ 400
Líquidos de limpieza domésticos (detergentes, jabón)	\$ 100
Grasa (SKF)	\$ 100
Líquido afloja todo	\$ 70
Lubricante MD-40	\$ 60
Limpiador de contactos electrónicos (Flurosol)	\$ 80
Rodamientos	\$ 2,000
Cepillos de alambre	\$ 20
Lijas (Diferente numeraciones)	\$ 20
Gasto total	\$ 3,360

Tabla 7. Materiales de los equipos eléctricos ubicados en la caldera 1. Fuente:
propia

Lista de materiales a utilizar en la caldera #2	
Artículos	Precio
Hilaza para limpieza	\$ 210
Empaques de sellos y hules	\$ 250
Pernos con arandelas y tuercas	\$ 70
Líquido de limpieza industrial (Petrocline), quita grasa	\$ 425
Líquidos de limpieza domésticos (detergentes, jabón)	\$ 110
Grasa (SKF)	\$ 110
Líquido afloja todo	\$ 80
Lubricante MD-40	\$ 70
Limpiador de contactos electrónicos (Flurosol)	\$ 85
Rodamientos	\$ 2,200
Cepillos de alambre	\$ 20
Lijas (Diferente numeraciones)	\$ 25
Total	\$ 3,655

Tabla 8. Materiales de los equipos eléctricos ubicados en la caldera 2. Fuente:
propia

Lista de materiales a utilizar en la caldera #3	
Artículos	Precio
Hilaza para limpieza	\$ 180
Empaques de sellos y hules	\$ 190
Pernos con arandelas y tuercas	\$ 50
Líquido de limpieza industrial (Petrocline), quita grasa	\$ 385
Líquidos de limpieza domésticos (detergentes, jabón)	\$ 95
Grasa (SKF)	\$ 95
Líquido afloja todo	\$ 55
Lubricante MD-40	\$ 55
Limpiador de contactos electrónicos (Flurosol)	\$ 75
Rodamientos	\$ 1,800
Cepillos de alambre	\$ 20
Lijas (Diferente numeraciones)	\$ 20
Total	\$ 3,020

Tabla 9. Materiales de los equipos eléctricos ubicados en la caldera 3. Fuente: propia

Lista de materiales a utilizar en equipos Bombas de agua	
Artículos	Precio Total
Hilaza para limpieza	\$ 215
Empaques de sellos y hules	\$ 255
Pernos con arandelas y tuercas	\$ 75
Líquido de limpieza industrial (Petrocline), quita grasa	\$ 430
Líquidos de limpieza domésticos (detergentes, jabón)	\$ 120
Grasa (SKF)	\$ 120
Líquido afloja todo	\$ 95
Lubricante MD-40	\$ 80
Limpiador de contactos electrónicos (Flurosol)	\$ 95
Rodamientos	\$ 2,600
Cepillos de alambre	\$ 25
Lijas (Diferente numeraciones)	\$ 25
Total	\$ 4,135

Tabla 10. Materiales de los equipos eléctricos ubicados en bomba de agua alimento. Fuente: propia

Lista de materiales a utilizar en conductores de bagazo	
Artículos	Precio Total
Hilaza para limpieza	\$ 210
Empaques de sellos y hules	\$ 250
Pernos con arandelas y tuercas	\$ 70
Líquido de limpieza industrial (Petrocline), quita grasa	\$ 425
Líquidos de limpieza domésticos (detergentes, jabón)	\$ 110
Grasa (SKF)	\$ 110
Líquido afloja todo	\$ 80
Lubricante MD-40	\$ 70
Limpiador de contactos electrónicos (Flurosol)	\$ 85
Rodamientos	\$ 2,200
Cepillos de alambre	\$ 20
Lijas (Diferente numeraciones)	\$ 25
Total	\$ 3,655

Tabla 11. Materiales de los equipos eléctricos de los conductores de bagazo.

Fuente: propia

Lista de materiales a utilizar en área de torre de enfriamiento	
Artículos	Precio Total
Hilaza para limpieza	\$ 200
Empaques de sellos y hules	\$ 250
Pernos con arandelas y tuercas	\$ 60
Líquido de limpieza industrial (Petrocline), quita grasa	\$ 400
Líquidos de limpieza domésticos (detergentes, jabón)	\$ 100
Grasa (SKF)	\$ 100
Líquido afloja todo	\$ 70
Lubricante MD-40	\$ 60
Limpiador de contactos electrónicos (Flurosol)	\$ 80
Rodamientos	\$ 2,000
Cepillos de alambre	\$ 20
Lijas (Diferente numeraciones)	\$ 20
Total	\$ 3,360

Tabla 12. Materiales de los equipos eléctricos ubicados en la torre de enfriamiento.

Fuente: propia.

Inversión total en gastos de materiales utilizados en mantenimiento	
Descripción	Precio
Lista de materiales a utilizar en la caldera #1	\$ 3,360.00
Lista de materiales a utilizar en la caldera #2	\$ 3,655.00
Lista de materiales a utilizar en la caldera #3	\$ 3,020.00
Lista de materiales a utilizar en equipos Bombas de agua	\$ 4,135.00
Lista de materiales a utilizar en conductores de bagazo	\$ 3,655.00
Lista de materiales a utilizar en el área de torre de enfriamiento	\$ 3,360.00
Total	\$ 21,185.00

Tabla 13. Inversión total en gastos de materiales utilizados para el mantenimiento eléctrico. Fuente: propia.

En las tablas número 7, 8, 9, 10, 11, 12, y 13 se puede observar que el uso de los materiales es similar debido a que los equipos eléctricos son idénticos, pero con una diferencia de valor monetaria, que está sujeta a la cantidad de equipos que se encuentran ubicadas por área.

El gasto total de los materiales principales a utilizar es de 21,185.00\$, en este cálculo económico de materiales no se calculan herramientas; debido a que este control le pertenece al departamento administrativo.

Puesto	Cantidad	Pago	Total
Gerente	1	\$ 1,570	\$ 1,570.00
Jefe de taller eléctrico	1	\$ 940	\$ 940.00
Supervisor eléctrico	3	\$ 700	\$ 2,100.00
Técnico eléctrico A	3	\$ 500	\$ 1,500.00
Técnico eléctrico B	3	\$ 410	\$ 1,230.00
Técnico electromecánico A	2	\$ 500	\$ 1,000.00
Técnico electromecánico B	4	\$ 410	\$ 1,640.00
Instrumentación A	2	\$ 500	\$ 1,000.00
Instrumentación B	4	\$ 410	\$ 1,640.00
supervisor de seguridad e higiene industrial	2	\$ 650	\$ 1,300.00
Química	2	\$ 550	\$ 1,100.00
Limpieza	4	\$ 220	\$ 880.00
Controlistas	10	\$ 500	\$ 5,000.00
Operadores	30	\$ 400	\$ 12,000.00
Total			\$ 32,900.00
Meses			13
Total, anualmente			\$427,700.00

Tabla 14. Planilla de trabajadores de la planta de cogeneración del ingenio San Antonio. Fuente: propia.

En la tabla #14 se muestra la planilla de trabajadores, donde se describe presupuesto total mensual y anual del saldo bruto obtenido, el gasto total es de \$427,700.00 dólares.

Una de las partes más importantes dentro de la inversión que pertenece al plan de mantenimiento es que se debe incluir el gasto total de compra e instalación de un turbogenerador de 20 MW. Esto debe incorporarse de manera paralela a las instalaciones actuales de los turbogeneradores en caso de que uno de los que están operando presente fallas en un determinado momento, a continuación, se presenta el valor que se debe invertir en la siguiente tabla.

Datos técnicos del diseño del turbogenerador	
TURBINA Tipo de turbina: EK 1800-25 Máquina accionada: Generador Sentido de giro: Horario (Derecha, visto de frente de la turbina hacia el generador)	
POTENCIA Potencia nominal máxima: 25 MW Potencia de diseño (condiciones más favorables): 20.5 MW	
VELOCIDAD ED GIRO Turbina: 3600 rpm Generador: 3600 rpm Velocidad de cierre rápido: 3960 rpm	
Valor actual de turbogenerador	
PRECIO DE TURBOGENERADOR DE 25 MW	\$ 3,275,000.00
COSTO DE MANO DE OBRA (INSTALACIÓN)	\$ 980,000.00
Otros gastos de instalación	\$ 300.00
INVERSIÓN / GASTO TOTAL	\$ 4,255,300.00

Tabla 15. Datos técnicos e inversión de instalación del turbogenerador.

Fuente: propia.

12. CONCLUSIONES

El mantenimiento eléctrico dentro de la industria es un eje fundamental para la conservación de los equipos e instalaciones lo que me permite maximizar la producción. En el presente documento se habla de modelos de mantenimiento que se aplican a los diferentes equipos; estos modelos proponen metas claras y precisas, enfocados a los ejes funcionales de la empresa.

Se logró identificar que las fallas más comunes que se presentan son sobrecarga, cortocircuitos, y exceso de temperatura en los devanados. Es importante cumplir con el plan de mantenimiento debido a que se logrará disminuir en gran medida la operación de mantenimientos correctivos que afectan a la producción.

Los tipos de mantenimiento a priorizar dentro del programa propuesto de mantenimiento son el mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo ya que deben ser ejecutados en tiempo y forma, en el cual se ha establecido en el cronograma de mantenimiento anual a los diferentes equipos eléctricos.

El costo total que representa los gastos de materiales y pago de mano de obra interna dentro de la empresa equivale a 448,855.00 \$. Debido a que se propone incluir un turbogenerador de reserva en caso de que uno de los turbogeneradores instalados falle se debe agregar el valor del equipo a instalar e igualmente la mano de obra de instalación que equivale a 4,255,000.00 \$.

Cada trabajador debe adoptar las medidas preventivas necesarias para realizar los trabajos asignado de forma segura e higiénica. Es muy importante que el supervisor de higiene y seguridad evalúe las condiciones de riesgo y peligro antes de empezar cada mantenimiento e instalación a realizar.

13. BIBLIOGRAFÍA

Alban, C. y Jacome, O. (2018). *Elaboración de manual de mantenimiento para la empresa SEDEMI*. Trabajo de fin de grado. Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Chavarría, A. (2015). *Estudio técnico de Repotenciación de la planta de cogeneración del Ingenio Benjamín Zeledón*. Tesis monográfica. Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua.

Díaz, A., y Cruz, J. (2019). *Propuesta de guía metodológica para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en transformadores de potencia*. Tesis monográfica. Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua.

Gual, C. y Mora, C. (2002). *Plan de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de los bancos de prueba (motor-generador dc- motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica*. Tesis monográfica. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias.

Jiménez, B. y Vanegas, R. (2003). *Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de los bancos de motores de inducción y síncronos del laboratorio de máquinas eléctricas de la C.U.T.B*. Trabajo de fin de grado. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias.

Mora, L. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control* (primera edición). México. <http://virtual.alfaomega.com.mx>

Puga, L. (2002). *Procedimientos de mantenimiento del equipo eléctrico de la central El Ambi*. Proyecto de fin de grado. Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Robles, H. (2019). *Propuesta de un plan de mantenimiento para las separadoras centrífugas de combustible de HFO en la planta eléctrica Nagarote*. Tesis monográfica. Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua.

Serna, J. (2016). *Implementación plan de mantenimiento eléctrico para destilería Riopaila y Riopaila energía*. Trabajo de fin de grado. Universidad tecnológica de Pereira, Colombia.

Solís, B. (2018). *Evaluación del Mantenimiento Industrial de maquinarias y equipos ejercido por el departamento Técnico de la industria PROLACSA Municipio de Matagalpa, Departamento de Matagalpa, en el II semestre del año 2017*. Tesis monográfica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua.

Velásquez, A. (2015). *Montaje de un turbogenerador de contrapresión de 22 MW para asegurar la continuidad de operación del Ingenio la Unión*. Tesis monográfica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Vélez, H. (2016). *Estudio de causas de fallas en variadores de frecuencia bajo ambiente industriales*. Proyecto de fin de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

WEBGRAFÍA

Proceso de producción de energía a partir de cogeneración. [Imagen1].
Recuperado de <http://www.mundoelectrico.com/index.php/component/k2/item/177-al-bagazo-mucho-caso>.

Localización del ingenio San Antonio. [Imagen 2].
Recuperado de
<https://www.google.com.ni/maps/place/Ingenio+San+Antonio/@12.5311149,-87.0512868,1530m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x8f70e5e948c18845:0xadf1806c6b458325!8m2!3d12.5337216!4d-87.0449381?hl=es&authuser=0>

ANEXOS

Anexo Número 1

	<h2 style="margin: 0;">PERMISO DE TRABAJO</h2>	HORA _____ FECHA _____	
PLANTA _____	NÚMERO DE TRABAJO _____		
SE ATUORIZA _____	ÁREA DE TRA _____		
CANTIDAD DE COLABORADORES _____	DELIMITACIÓN DE ÁREA SI NO		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJO A REALIZAR			
_____ _____ _____ _____ _____			
EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES	CANTIDAD	COMENTARIOS	
ÉQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	REQUERIDO		COMENTARIOS
	SI	NO	
CASCOS			
GUANTES			
GAFAS			
CARETAS			
ARNES DE SEGURIDAD			
PROTECCIÓN AUDITIVA			
OTROS			
FECHA DE INICIO: _____		VALIDO POR: _____	
TRABAJO SOLICITADO POR: _____		APROBADO POR: _____	

Hoja 1. propuesta de permiso de trabajo para la planta de cogeneración del ingenio San Antonio. Fuente: propia

Anexo número 1.1

Personas cubiertas por este permiso	
1. _____	6. _____
2. _____	7. _____
3. _____	8. _____
4. _____	9. _____
5. _____	10. _____
Descripción de riesgos de salud y seguridad ocupacional identificados para la tarea a ejecutar y medio de prevención a utilizar	
RIESGOS	CONTROL OPERACIONAL
PERSONA RESPONSABLE DE TRABAJO: _____ FIRMA: _____	
Ingreso de herramientas una vez autorizado el trabajo	
Responsable que autoriza el ingreso de herramientas de trabajo: _____	

Hoja 2. Propuesta de permiso de trabajo para la planta de cogeneración del ingenio San Antonio. Fuente: propia

Anexo número 2

	Planta de cogeneración del ingenio San Antonio			Código	
	Hoja de vida equipo			Revisado	
				Fecha	
Nombre del equipo o máquina					
ESPECIFICACIONES					
Código		Potencia			
Marca		Voltaje			
Ubicación		Amperaje			
Referencia		RPM			
Equipo		Sistema		Accesorio	Componente
Cuenta con manual	Si	No		Antigüedad	
MOTOR ELÉCTRICO	Función	CONTROL		Si	No
	Actividad 1	Limpieza interior			
	Actividad 2	Revisión de conexiones eléctricas			
	Actividad 3	Realizar pruebas de aislamientos			
	Actividad 4	Sustitución de rodamientos			
	Actividad 5	Revisar consumos de amperaje			
	Actividad 6	Verificación de holguras			
	Actividad 7	Aplicación de barniz en el devanado			
	Actividad 8	Aplicación de pintura en carcasa			
	Actividad 9	Revisión completa			
CONTROL DE ACTIVIDADES					
C:Calibración		V:Verificación		M:Mantenimiento	
Fecha	C	V	M	Descripción	Ejecutó

Hoja de vida propuesta para los equipos eléctricos para la planta de cogeneración del ingenio San Antonio. Fuente: propia

Anexo número 3

 RIESGO ELÉCTRICO		SI	NO	N/A
Sección	Tipo de trabajo a realizar:			
	Diagnóstico de tomas	Diagnóstico de iluminación		
	Diagnóstico en equipos	Trabajos en paneles de distribución		
	Trabajos en control de motores	Trabajos en subestaciones		
	Cambio de fusibles	Otros		
TRABAJOS CON RIESGO ELÉCTRICO	El trabajo se hará con partes energizadas expuestas			
	Cuáles partes energizadas			
	Cuál es el voltaje que operan			
	Justificación por trabajar energizadamente			
	No debe haber materiales a menos de 15 metros			
	Equipo de protección personal (EPP) requerido:			
	Guantes aislantes	Botas dieléctricas		
	Caretas de protección	Escalera dieléctrica		
	Casco no conductivo	Escudos protectores		
	Ropa no conductiva	No usar accesorios conductivos		
	Superficies aislantes(empalmillados, alfombras o caucho)			
Se requiere des-energizar el equipo o circuito				
Si la anterior es si, verificar que:				
Desconexión de:				
Bloqueo y etiquetado	Aterrizar el circuito			
Prueba de actividad de ausencia de energía	Enclavamiento			

Responsable que autoriza el trabajo:	Responsable al finalizar el trabajo:
Nombre:	Nombre:
Firma:	Firma:
Fecha:	Fecha:

Hoja propuesta de riesgo eléctrico para los equipos eléctricos para la planta de cogeneración del ingenio San Antonio. Fuente: propia

Anexo número 4

INGENIO SAN ANTONIO		ORDEN DE TRBAJO	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		
Causa del retraso para ejecutar			Fecha de Sol.:	Fecha de ejecución:	
			Planta:	Máq. o equipo:	Tipo de trabajo:
			S/T	Fecha de Sol.:	Inspección:
Descripción del trabajo:			N0 orden	Consumo	Preventivo:
					Correctivo:
Nota: En caso de no cumplir con llenar los formatos de seguridad y no cumplir nosmas como no se autoriza al técnico de realizar el trabajo. Marque cun check la parte de la máquina que se realizará un trabajo, sea inspección o algún trabajo.					
Limpieza / Lubricación / Ajuste / Alineación / Deformación / Desgaste					Otras Partes Máquina
Mallas	Quemadores	Acoples	Poleas		
EJE/Flecha	Correas	Válvulas	Brazo porta fibra		
Rodamientos	Bandas	Cilindros neumáticos	Polos		
Fibras	Botellas hidráulica	Pernería	Cuneros		
Poleas	Rodos	Estructura	Manguitos		
Sprokets	Contactores	Excéntricos	Soportres		
Cadenas	Pulsadores	Shisperos	Eyectores		
Motor	Lámparas	Filtros	Tuberías		
Cajas reductoras	Canasta	Fuelles	Tensores		
Aislantes	Devanado	Carcasa	Rotor		
Descripción de actividades					
1					
Herramientas:					
Materiales:					
2					
Herramientas:					
Materiales:					
3					
Herramientas:					
Materiales:					
4					
Herramientas:					
Materiales:					
5					
Herramientas:					
Materiales:					
Nombre del técnico:		Firma del técnico:		Firma del solicitante:	
_____ Nombre:		_____ Firma del responsable de planta:			

Hoja de orden de trabajo para la planta de cogeneración del ingenio San Antonio.

Fuente: propia

Anexo número 5

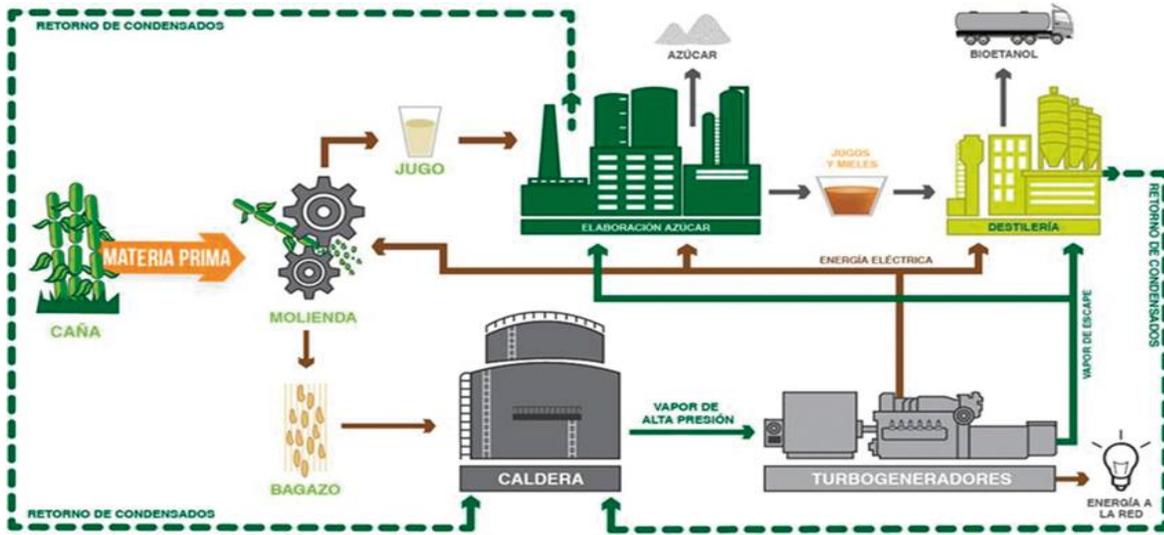


Imagen. Proceso de producción de energía a partir de cogeneración.

Fuente: revista online-mundo eléctrico, 2019.



Imagen. Motor eléctrico trifásico, tomada en planta de cogeneración del ISA.

Fuente: propia.

Anexo número 6

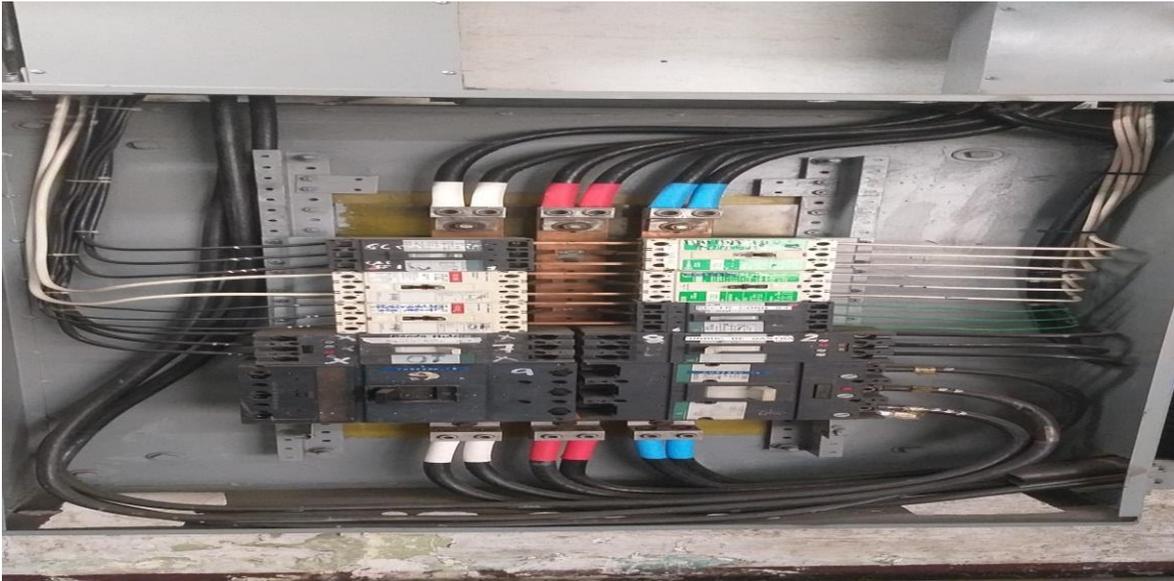


Imagen. Main breaker y conductores de calibres distintos para alimentación de equipos eléctricos. Fuente: propia.



Imagen. Contactores marca weg para la automatización de motores.

Fuente: propia.

Anexo número 7



Imagen. Variador de frecuencia para controlar bandas transportadoras.

Fuente: propia.



Imagen. Turbogenerador, foto obtenida de la planta del ISA.

Fuente: propia.

Anexo número 8

Mes y equipos	Equipos de Caldera #1	Equipos de Caldera #2	Equipos de Caldera #3	Equipos de Bombas AA	Equipos de conductores de bagazo	Equipos de torre de enfriamiento
Mes 1						
Mes 2						
Mes 3						
Mes 4						
Mes 5						
Mes 6						
Mes 7						
Mes 8						
Mes 9						
Mes 10						
Mes 11						
Mes 12						

Cronograma anual de mantenimiento general eléctrico.

Motor eléctrico				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Anual	Limpieza interior	45	Electromecánico
2	Trimestral	Revisión de conexiones eléctricas	30	Electromecánico
3	Anual	Realizar pruebas de aislamientos	60	Electromecánico
4	Anual	Sustitución de rodamientos	240	Electromecánico
5	Trimestral	Revisar consumos de amperaje	20	Electromecánico
6	Anual	Verificación de holguras	60	Electromecánico
7	Anual	Aplicación de barniz en el devanado	240	Electromecánico
8	Anual	Aplicación de pintura en carcasa	240	Electromecánico
9	Anual	Revisión completa	90	Electromecánico

Fuente: propia.

Descripción resumida del manteniendo preventivo orientado a los motores eléctricos trifásicos. Fuente: propia.

Anexo número 9

Tablero eléctrico				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Semestral	Limpieza de tablero eléctrico	60	Electricista
2	Trimestral	Ajustes de conexiones eléctricas	60	Electricista
3	Anual	Inspección interna y externa del tablero	30	Electricista
4	Anual	Revisar el estado de barrajes de potencia	30	Electricista
5	Anual	Aplicación de pintura para evitar corrosión	180	Electricista
6	Anual	Cambios de sistemas de protección en mal estado	240	Electricista

Descripción resumida del manteniendo preventivo orientado a los tableros eléctricos (elementos de protección). Fuente: propia.

Transformador				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Mensual	Verificación de líquido aislante	30	Electricista
2	Mensual	Inspeccionar el sílica gel	30	Electricista
3	Mensual	Verificar accesos de ventilación	30	Electricista
4	Anual	Realizar limpieza general	240	Electricista
5	Anual	Ajustar los equipos de protección	No aplica	Contratistas
6	Anual	Realizar análisis físico-químico	No aplica	Laboratorio especializado
7	Anual	Remover óxido	240	Electricista
8	Anual	Aplicación de pintura anticorrosiva	240	Electricista
9	Anual	Ajustar puntos de conexión	60	Electricista

Actividades de mantenimiento eléctrico preventivo de los transformadores.

Fuente: propia.

Variador de frecuencia, arrancador suave y contactor				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Trimestral	Limpieza externa del equipo	60	Electricista
2	Anual	Revisión de conexiones eléctricas	30	Electricista
3	Anual	Ajustes de borneras de entrada y salida	60	Electricista
4	Anual	Desarme del contactor	120	Electricista
5	Anual	Inspeccionar recalentamientos en los contactos	30	Electricista
6	Anual	Revisar condiciones físicas	20	Electricista
7	Anual	Ajustes de borneras de potencia	30	Electricista
8	Anual	Ajustes de borneras de control	30	Electricista
9	Anual	Limpieza de bobinas del contactor	30	Electricista
10	Anual	Desarme del variador de frecuencia	180	Electricista
11	Anual	Desarme del arrancador suave	180	Electricista
12	Anual	Limpieza de áreas de ventilación de estos equipos	30	Electricista
13	Anual	Limpieza de tarjetas electrónicas	60	Electricista
14	Anual	Sustitución de conductor en mal estado	30	Electricista
15	Anual	Ajustes de parámetros en el drive	60	Electricista

Descripción resumida del mantenimiento eléctrico realizado en variadores de frecuencia y arrancadores suaves. Fuente: propia.

Área de generadores				
Ítem	Intervalo	Actividad	Duración (minutos)	Responsable
1	Mensual	Limpieza externa del generador	30	Electricista
2	Mensual	Limpieza externa de las baterías	30	Electricista
3	Mensual	Verificar accesos de ventilación	30	Electricista
4	Anual	Ajustar puntos de conexión	240	Electricista
5	Anual	Limpieza interna del devanado	1440	Electricista
6	Anual	Examinación de rodamientos	120	Electricista
7	Anual	Cambio de terminales	480	Electricista
8	Anual	Aplicación de pintura anticorrosiva	240	Electricista

Actividades de mantenimiento aplicados en los turbogeneradores. Fuente: propia.

Inversión total en gastos de materiales utilizados en mantenimiento	
Descripción	Precio
Lista de materiales a utilizar en la caldera #1	\$ 3,360.00
Lista de materiales a utilizar en la caldera #2	\$ 3,655.00
Lista de materiales a utilizar en la caldera #3	\$ 3,020.00
Lista de materiales a utilizar en equipos Bombas de agua	\$ 4,135.00
Lista de materiales a utilizar en conductores de bagazo	\$ 3,655.00
Lista de materiales a utilizar en el área de torre de enfriamiento	\$ 3,360.00
Total	\$ 21,185.00

Inversión total en gastos de materiales utilizados para el mantenimiento eléctrico.

Fuente: propia.

Puesto	Cantidad	Pago	Total
Gerente	1	\$ 1,570	\$ 1,570.00
Jefe de taller eléctrico	1	\$ 940	\$ 940.00
Supervisor eléctrico	3	\$ 700	\$ 2,100.00
Técnico eléctrico A	3	\$ 500	\$ 1,500.00
Técnico eléctrico B	3	\$ 410	\$ 1,230.00
Técnico electromecánico A	2	\$ 500	\$ 1,000.00
Técnico electromecánico B	4	\$ 410	\$ 1,640.00
Instrumentación A	2	\$ 500	\$ 1,000.00
Instrumentación B	4	\$ 410	\$ 1,640.00
supervisor de seguridad e higiene industrial	2	\$ 650	\$ 1,300.00
Química	2	\$ 550	\$ 1,100.00
Limpieza	4	\$ 220	\$ 880.00
Controlistas	10	\$ 500	\$ 5,000.00
Operadores	30	\$ 400	\$ 12,000.00
Total			\$ 32,900.00
Meses			13
Total anualmente			\$427,700.00

Planilla de trabajadores de la planta de cogeneración del ingenio San Antonio.

Fuente: propia.