



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE UNA ESTRATEGIA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA
DE ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE
FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS EN UN INGENIO AZUCARERO**

Kevin Jossue De León Arita

Asesorado por el Msc. Ing. Renaldo Girón Alvarado.

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE UNA ESTRATEGIA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA
DE ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE
FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS EN UN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

KEVIN JOSSUE DE LEÓN ARITA

ASESORADO POR LA MSC. ING. RENALDO GIRON ALVARADO.

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| EXAMINADOR | Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño |
| EXAMINADOR | Ing. Edgar Estuardo Chaj Ramírez |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Mario Sitaví Cos |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE UNA ESTRATEGIA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS EN UN INGENIO AZUCARERO.

Tema que me fue asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 17 de abril de 2021.

Kevin Jossue De León Arita

Ref. EEPFI-1147-2021
Guatemala, 18 de agosto de 2021

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE UNA ESTRATEGIA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por el estudiante **Kevin Jossue De León Arita** carné número **201122814**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,


Renaldo Girón Alvarado
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 5977

Mtro. Renaldo Girón Alvarado
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"




Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel
Coordinador de Maestría
Gestión Industrial – Escuintla



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP-EIME-001-2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ESTRATEGIA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por el estudiante universitario **Kevin Jossue De León Arita**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Armando Alonso Rivera Carrillo'.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, enero de 2022

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

LNG.DECANATO.OI.0115.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE UNA ESTRATEGIA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por: **Kevin Jossue De León Arita**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada 
Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|-------------------------|--|
| Dios | Por haberme permitido estar cuando necesitaba. |
| Mis padres | Por darme el apoyo que siempre estuvo a su alcance y por todo lo que aportaron para mi superación. |
| Mis hermanos | Dayrin, Hugo, Lester, Milyn, Dayanna y Hugo A. De León como a Ericka Arita. |
| Mis abuelos | Petrona Ruiz Loyes y Mario Salazar por el apoyo de forjar la persona que me he convertido. |
| Familia y amigos | Amigos que estuvieron presente y el apoyo incondicional que aportaron durante el trayecto que cursaron por la universidad. |

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|---|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser la que me proporcionó la oportunidad para lograr superarme y formar el profesional que soy. |
| Facultad de Ingeniería | Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación. |
| Ingenio Azucarero | Por haberme brindado la información necesaria para realizar este diseño de investigación. |
| Mi asesor | Msc. Ing. Renaldo Girón Alvarado, por haberme guiado durante el trabajo de graduación. |
| Jefe de área eléctrica | Ing. Carlos Vinicio Hernández Porras, jefe y amigo, quien bondadosamente me ayudó a lo largo de la investigación. |
| Familia y amigos en general | Por ser un apoyo incondicional. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XI |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| | |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 7 |
| | |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 11 |
| | |
| 5. OBJETIVOS | 13 |
| 5.1. General..... | 13 |
| 5.2. Específicos | 13 |
| | |
| 6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN | 15 |
| | |
| 7. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 7.1. Motores eléctricos | 17 |
| 7.2. Mantenimiento | 17 |

| | | |
|---------|--|----|
| 7.3. | Tipos de mantenimiento | 17 |
| 7.3.1. | Mantenimiento regresivo | 19 |
| 7.3.2. | Mantenimiento reactivo | 19 |
| 7.3.3. | Mantenimiento preventivo | 19 |
| 7.3.4. | Mantenimiento predictivo..... | 20 |
| 7.3.5. | Mantenimiento proactivo | 21 |
| 7.3.6. | Mantenimiento modificado..... | 21 |
| 7.4. | Plan de mantenimiento..... | 22 |
| 7.5. | Orientación del mantenimiento..... | 22 |
| 7.6. | Clasificación e identificación de los equipo | 24 |
| 7.7. | Gestión de repuestos | 24 |
| 7.8. | Tiempo de mantenimiento e instalación | 24 |
| 7.8.1. | Tiempo de inactividad por mantenimiento | 25 |
| 7.8.2. | Tiempo de inactividad de operación..... | 25 |
| 7.8.3. | Tiempo de operación..... | 25 |
| 7.8.4. | Tiempo de parada | 25 |
| 7.8.5. | Tiempo de preparación y espera..... | 25 |
| 7.8.6. | Tiempo de ejecución | 26 |
| 7.9. | Personal involucrado..... | 26 |
| 7.10. | Tipos de fallas | 26 |
| 7.10.1. | Falla evidente | 26 |
| 7.10.2. | Falla funcional | 27 |
| 7.10.3. | Falla múltiple | 27 |
| 7.10.4. | Falla oculta | 27 |
| 7.10.5. | Falla potencial | 28 |
| 7.11. | Características del fallo eléctrico..... | 28 |
| 7.12. | Factores económicos | 31 |
| 7.13. | Control estadístico de la calidad | 31 |
| 7.14. | Siete herramientas básicas de la calidad | 32 |

| | | |
|---------|--|----|
| 7.14.1. | Diagrama de Ishikawa | 32 |
| 7.14.2. | Histograma | 32 |
| 7.14.3. | Diagrama de Pareto..... | 32 |
| 7.14.4. | Hojas de verificación o comprobación | 33 |
| 7.14.5. | Gráfico de control | 33 |
| 7.14.6. | Diagrama de dispersión..... | 33 |
| 7.14.7. | Muestreo estratificado | 34 |
| 7.15. | Análisis de método de análisis y efecto de falla (AMFE) | 34 |
| 8. | PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS | 37 |
| 9. | METODOLOGÍA..... | 41 |
| 9.1. | Características del estudio | 41 |
| 9.2. | Unidades de análisis | 42 |
| 9.3. | Variables..... | 42 |
| 9.4. | Fases del estudio | 44 |
| 9.4.1. | Fase 1: Revisión de literatura | 44 |
| 9.4.2. | Fase 2: Administración, recopilación de información y diagnóstico | 44 |
| 9.4.3. | Fase 3: Análisis de información | 45 |
| 9.4.4. | Diseño del programa (propuesto) | 45 |
| 10. | TÉCNICAS DE ANÁLISIS | 47 |
| 10.1. | Las siete herramientas básicas de calidad | 47 |
| 10.2. | La técnica mantenimiento productivo total (MPT)..... | 47 |
| 10.3. | Ciclo de Deming | 48 |
| 10.4. | Diez pasos de Juran | 48 |
| 10.5. | Análisis de medición | 49 |
| 10.6. | Mantenimiento centrado en la confiabilidad 2 (RCM II) | 49 |

| | | |
|-----|--------------------------------|----|
| 11. | CRONOGRAMA | 51 |
| 12. | FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO | 53 |
| 13. | REFERENCIAS..... | 55 |
| 14. | APÉNDICES | 61 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Clasificación de las estrategias de mantenimiento en función de relación costo beneficio y dificultad de planeación | 18 |
| 2. | Fallas o posibles fallas..... | 29 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I. | Esquema de soluciones | 16 |
| II. | Característica del problema y posibles causas..... | 30 |
| III. | Cuadro de operación y aplicación de las variables | 43 |
| IV. | Cronograma | 51 |
| V. | Recursos necesarios para la investigación | 53 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|--------------------|
| A | Amperio |
| Hz | Hercio |
| HRS | Horas |
| KW | Kilovatio |
| Km | Kilómetro |
| KV | Kilovoltio |
| MW | Megavatio |
| MWh | Megavatio hora |
| m | Metro |
| mm | Milímetro |
| % | Porcentaje |
| P | Potencia |
| Q | Quetzales |
| V | Voltios |
| W | Vatio |

GLOSARIO

| | |
|---------------------------|--|
| AMFE | Análisis modal de fallos y efectos: herramienta que evalúa fallas potenciales en el diseño y servicios, evitando su aparición y cuantificando los efectos de las posibles fallas |
| Acción correctiva | Acción para eliminar la causa de una inconformidad detectada u otra situación indeseable. |
| Axial | En dirección al eje. |
| Calidad | Grado en que un conjunto de propiedades inherentes de un producto, sistema o proceso cumple con los requerimientos. |
| Ciclo Deming | Sistemática que contiene cuatro pasos para la mejora continua. |
| Energía cinética | Energía debida a un movimiento determinado. |
| Energía potencial | Energía que contiene el agua debido a la altura y es aprovechable para generar electricidad a partir de la misma. |
| Gestión del cambio | Un enfoque sistemático para proponer, evaluar, aprobar, ejecutar y revisar cambios. |

| | |
|------------------------|--|
| Herramienta | Es un instrumento constituido de acero o hierro que se usa para facilitar la realización de una tarea. |
| IEEE | Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos. |
| IVA | Impuesto al valor agregado. |
| MCC | Mantenimiento centrado en la confiabilidad. |
| Mejora continua | Actividad recurrente para aumentar la capacidad de cumplir con los requisitos. |
| MPT | Mantenimiento productivo total. |
| NRC | Numero de riesgo crítico. |
| PLC | Controlador lógico programable. |
| SAE | Sociedad de ingenieros de automoción. |
| Tensión | Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en Voltios. |
| Transformador | Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico. |
| Vatio | Unidad de medida de potencia. |

RESUMEN

La presente propuesta de investigación se basa para reducir el índice de fallas en los motores eléctricos de la industria azucarera ya que presenta un alto porcentaje en el que afecta a la producción, la propuesta está involucrada en reconocer los puntos débiles en cuales el sistema se encuentra más afectado y realizar un mantenimiento adecuado para mitigar el índice de fallas, el tiempo de paros inesperados, el retrabajo de los operarios y costos adicionales a la materia prima ayudando a la economía de la empresa.

Todas las fallas afectan mayormente al área eléctrica donde tiene que implementar un tiempo específico extra a los trabajos, así mismo como el equipo y personal involucrado para el cambio o reemplazo de los motores, debido a que aparezca una falla.

El diseño de investigación es establecer la locación del riesgo de las fallas como el tipo de averías, causas de fallas y áreas de donde se encuentra ubicada los equipos como las fallas repetitivas para atacar a los más influyentes y sentar las bases para cambiar la eficiencia para obtener los datos específicos que no afecten a la producción o atraso en el mantenimiento.

La aplicación de las técnicas mezcladas con la metodología a integrar al mantenimiento nos permitirá tener una mejora continua en el área eléctrica tomando en cuenta el ahorro en tiempo y reubicación de trabajos con beneficios en costos a la empresa.

1. INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera cuenta con alta cantidad de equipos electromecánicos que son accionados mediante el uso de motores eléctricos, sí presentan una falla, dado que el reemplazo implica costos implícitos.

La finalidad del mantenimiento es mantener el funcionamiento continuo de los equipos, como extender su tiempo trabajo, pero persiste el problema de un alto índice de fallo en los motores eléctricos después del mantenimiento preventivo, así como operación normal, una de las razones de es tener un personal no calificado, lo que nos provoca un mantenimiento deficiente que afectando al índice de aceptación y funcionamiento óptimo del equipo, entre otros factores se puede mencionar las condiciones ambientales que contaminan y afectan al funcionamiento del motor y puede llevar a una falla inminente.

El objetivo general es diseñar una estrategia mediante el método de análisis y efecto de falla (AMFE) para presentar una gestión de calidad e identificar las principales causas y efectos que generan una falla en los motores eléctricos. Por tanto, se aplicarán técnicas como mantenimiento centrado en la confiabilidad y herramientas que nos permita hacer un estudio descriptivo y explicativo de los eventos que generan una muestra de la población, dado resultados de forma cualitativa y cuantitativamente que serán dependientes o independientes de analizar para lograr una propuesta que ayude a reducir el índice de fallos. este método también contribuirá a la reducción de la inversión de tiempo del retrabajo o la reinstalación.

La investigación tienen como fines realizar una línea de proceso con gestión integral de calidad que nos proporciona los conocimientos de la carrera de: Maestría en gestión industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala a la que se está proponiendo dicho proyecto, con lucro de aportes y beneficios para las mejoras en la producción, identificando prioridades de riesgo, como la reducción de fallas, duplicidad de trabajo como tiempos perdidos, traduciendo en una mayor rentabilidad económica para la empresa.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad existen trabajos de investigación que se basan en turbinas hidráulicas, los cuales ayudarán como soporte para la presente investigación. A continuación, se mencionan algunos que aportan información importante:

Para el enfoque de la metodología que se realiza es la investigación propuesta por Hernández (2005), se refiere a un análisis del modo y efecto de las fallas potenciales aplicado a un caso de estudio. Realizado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM con el Instituto Electoral del Distrito Federal. Se realizó para optar el grado de maestro en ingeniería. Hernández (2005) expone que la metodología del análisis del modo y efecto de la falla (AMFE) es como una herramienta para la mejora de diseños a partir de las debilidades del producto, siendo ésta aplicada a un caso de estudio como por ejemplo a *Cancel tipo maletín* cuyo proyecto fue desarrollado en el Centro de Diseño y Manufactura en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Como investigación indagada fue la de Velásquez (2018) quién realizó en un diseño de implementación de mantenimiento predictivo de motores eléctricos de inducción, de galera tipo túnel en la crianza de pollo para engorde de frisa, cumpliendo la norma IEEE 43-2013, como método de aceptación y rechazo de motores reparados, redactado como trabajo de graduación de: Escuela de estudios de postgrado de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala. Con lo que logra implementar el mantenimiento predictivo, con base a la norma IEEE 43- 2013, para las mejoras en las instalaciones y/o reparación de motores eléctricos de inducción, empleados en el sistema de

galera de engorde de pollo No. 21 de granja El Quetzal, que proporcione un aumento en la eficiencia del proceso.

En el siguiente antecedente de esta investigación está apoyada en informe de Arnoux, (2010) publicó la *Guía de la medición de aislamiento*, en la que cabe lugar y fue publicado por Flor (2010) donde destacó que la calidad de los aislamientos se ve alterada al cabo de los años determinando las funciones de los equipos. El informe nos explica cómo el aislamiento puede llegar a un fallo, los tipos de fatigas y como afecta la contaminación así mismo los factores de influencia. El objetivo principal de esta prueba es garantizar que se respeten las normas de construcción relativas a las líneas de fuga y a las distancias de aislamiento, para reducir las paradas de producción en la industria. El análisis también procede a tener un criterio más concreto para la aplicación de un mantenimiento adecuado.

Una de las investigaciones en la cual se abocó para considerar este proyecto es la de Martínez (2004), expresa la implementación sobre un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes. Realizado para el grado de maestro en ciencias de la administración con especialidad en producción y calidad, realizada en la universidad autónoma de nuevo león facultad de ingeniería mecánica y eléctrica división de estudios de postgrado con el objetivo primordial es minimizar las quejas y retornos de productos por parte de nuestros clientes. Por lo que se generaron dos investigaciones de campo para el inicio de este proyecto.

El primero, llamado Ys, identificó la manera en la cual un proceso o producto pudiera fallar de acuerdo con los requerimientos del cliente, y la otra investigación Xs, cayó en enlistar todas las posibles causas de falla que se presentaron en los reportes de nuestros clientes. (Martínez, 2004, p. 5)

En la elaboración se obtuvo apoyo por el informe de Zagal y Muñoz (2019) como se hace notar en la guía para la reparación de motores eléctricos trifásicos publicado por Pro-cobre Centro Mexicano de Promoción del Cobre, A.C. La presente guía de reparación de motores eléctricos trifásicos tiene como objetivo proporcionar recomendaciones prácticas de reparación y rebobinado para aplicarse en el proceso de reparación de motores que se comercializan en México, mediante las cuales se mantenga o mejore la eficiencia energética y confiabilidad de operación de estos equipos, debido al análisis de los precedentes lo podemos utilizar para el mantenimiento de los motores eléctrico.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria es importante tener en cuenta que cualquier tipo de falla puede ser perjudicial para una empresa. Es importante considerar que el mantenimiento es la base de toda buena operación. Por tanto, su importancia, conlleva tener una buena reparación de los motores eléctricos en los que estos, están involucrados por cadena de los procesos.

El problema principal del estudio se presenta de la siguiente forma: alto índice de fallos de motores eléctricos en un ingenio, lo que es provocado por un mantenimiento no adecuado, una alta concentración de contaminantes en los ambientes y el personal no capacitado para elaborar una acción. Este antecedente significa una situación negativa para la empresa y la cual se ha observado recurrente en los últimos tres años, que provoca un retrabajo como reinstalación con tendencia a tiempos perdidos y altos costos. Nunca se ha tratado de presentar propuestas de cambio y este proyecto se presenta como alternativa innovadora de solución.

- Descripción del problema

El tener un mal funcionamiento de los equipos provoca una falla (entendido como falla a cualquiera avería defecto o incumplimiento de funciones), se procede a determinar cuáles son los factores que deben de mejorarse: Dentro de estos están condiciones ambientales de funcionamiento como a los que están sometidos los equipos durante el mantenimiento.

En el medio ambiente se tiene la concentración de cualquier tipo de partículas de que contaminan el motor, el tener estas condiciones afecta al momento de operación o puesta en marcha y resulta como falla inminente. Otras de la situación que afecta al motor eléctrico es el personal no calificado con falta de criterio, experiencia y buenas prácticas para realizar un mantenimiento adecuado y mitigar las posibles fallas.

Basados en los problemas de que se genere una falla es aumenta el retrabajo en el mantenimiento de parte del personal operativo, y en los clientes internos; operativos de otras áreas que sean dependientes de los motores eléctricos para generar un proceso o algún trabajo, lo que provoca altos tiempo de pérdida en operación también retraso en el mantenimiento I esto incrementa los costos.

- Formulación del problema

En base a lo descrito anteriormente, lleva a plantear la pregunta central de esta investigación.

- Pregunta central
 - ¿Cuál es la estrategia para reducir el índice de fallas en motores eléctricos?
- Preguntas auxiliares
 - ¿Qué método existe para lograr una buena prevención de fallas?
 - ¿Qué acciones se deben tomar para reducir la contaminación?

- ¿Qué acciones se deben definir para tener personal calificado?
- Delimitación del problema

Dicho proyecto se realizará en el área eléctrica para establecer el funcionamiento idóneo en los motores eléctricos. Sus actividades son: el análisis para el mantenimiento de motores eléctricos en cualquier tipo de funcionamiento, principalmente en las industrias agroindustriales. La cual estará ubicada en el municipio de Escuintla del departamento de Escuintla. Con un tiempo establecido en realizar en un tiempo estimado de 7 meses iniciado en los meses de abril a octubre del año 2021.

4. JUSTIFICACIÓN

La presente justificación por parte de este proyecto es diseñar una metodología de análisis de modos de fallas y efectos (AMFE), es para tener la confiabilidad que los motores eléctricos tengan una fiabilidad en su funcionamiento, el diseño nos ayudará a clasificar las posibles fallas según su periodicidad nos permita detectar y prevenir eliminando la causa con medidas preventivas o correctivas.

El diseño de la metodología con las técnicas a utilizar será crear un control para actuar, por lo que es necesario incidir en los equipos han presentado fallas para generar una línea de tendencia de las fallas más frecuentes. La capacitación del personal operativo que permita implementar de manera correcta su trabajo con herramienta adecuada y generando la motivación adecuada para que estén de manera eficiente sus labores. Las condiciones de medio ambiente, debido a que se presenta mucha contaminación en las áreas de funcionamiento de los equipos, así como el almacenamiento de los motores eléctricos y repuestos de los motores eléctricos.

El beneficio con el diseño de la metodología tendrá un funcionamiento óptimo de los motores eléctricos involucrando un mantenimiento por ser centrado en la confiabilidad, dado al personal capacitado para ofrecer lo necesitado. esto llevará a tener tiempos aprovechados adecuadamente evitando los reprocesos como la reinstalación y el retrabajo así mismo el uso de la herramienta y maquinaria, que se puede convertir en trabajos y usos de mayores beneficios para el área y la empresa teniendo un ahorro de costos, que beneficiando a la industria azucarera.

La relevancia de este proyecto es poner en práctica las habilidades y conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la Maestría en Gestión Industrial, de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar una estrategia mediante el análisis y efecto de falla (AMFE) para reducir el índice de fallas en motores eléctricos.

5.2. Específicos

- Identificar una metodología para ejecutar un mantenimiento efectivo.
- Proponer una acción en la cual se puedan reducir la contaminación en los motores eléctricos para mitigar fallas.
- Definir acciones y procedimientos para tener personal calificado.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Ante la falta de una buena gestión en el área eléctrica, implican un alto índice de fallas de los motores eléctricos durante el desarrollo de su funcionamiento tanto después de un mantenimiento, por realizarlo erróneamente. La alta concentración de contaminación y el personal no calificado implica un alto factor de para.

Se buscará específicamente, bajar el índice de fallas, se logrará: tener una metodología adecuada y localizar las causas potenciales para reducir los tiempos perdidos, maquinaria mal aplicada por un reproceso, así como la mano de obra del personal encargado utilizando el método de análisis de fallas y efectos tendremos como atacar los riesgos primordiales en los involucran el mayor problema de las fallas.

La necesidad que el estudio de la investigación cubrirá dentro de la empresa: el tener metas y objetivos, que logren especificar la revisión de los equipos utilizando la herramienta adecuada que bajo normas nos indique el comportamiento de la máquina para el cumplimiento de las funciones así mismo la supervisión independiente de con respecto a las causas de los fallos.

Se ha llevado a la necesidad de aplicación de normas metodologías con técnicas específicas para realizar una gestión adecuada que permita Aplicación de procedimientos con lo que se basa la estrategia de para mitigar fallas, y capacitación del personal.

A continuación, se presenta el esquema de soluciones en siguiente tabla:

Tabla I. **Esquema de soluciones**

| Resultados | Actividades | Indicadores | Metodología |
|---|--|---|--|
| Tener un buen mantenimiento mitigando el impacto de fallas en la operación. | Aplicación de procedimientos con los cuales se basa la estrategia de mantenimiento. | Programa establecido en 6 meses. | Aplicación de RCM y TMP |
| | Determinar metas y objetivos. | | |
| | Diagrama específico de revisión de partes en el equipo. | | siete herramientas básicas de la calidad, |
| Contar con el equipo necesario para detectar contaminación en los motores eléctricos. | Determinar las funciones específicas en las cuales tiene mayores fallas los equipos. | | |
| | Almacenamiento en los equipos. | 3 meses. | Ciclo Deming. |
| | Equipo para reducir partículas de humedad en los equipos. | | Aplicación de normas IEEE. |
| Personal calificado para tomar decisiones y acciones. | Cumplimiento de capacitaciones. | Rutinas de supervisión por colaborador y realiza lista de revisión 3 meses. | Diez pasos de Juran. |
| | Capacitaciones cortas 3 horas/semana Consultas de acciones 30 min. | | Capacitación técnica lucrativa bajo proveedores e identidad privada. |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Motores eléctricos

El motor eléctrico es una máquina eléctrica rotativa. En la actualidad, los motores eléctricos son considerados como elementos convertidores de energía y además de las múltiples aplicaciones que tiene mayor utilización a medida que se desarrolla la industria para su forma de uso de control. El principio de funcionamiento López (2013) establece que “si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a moverse perpendicular a la línea de acción del campo magnético” (p. 3).

7.2. Mantenimiento

El mantenimiento es un conjunto de tecnologías y sistemas que nos permiten prevenir fallas en los equipos y realizar las correspondientes revisiones y reparaciones para asegurar el normal funcionamiento de los equipos. En definitiva, el objetivo principal del mantenimiento es hacer que la empresa gane más dinero y evitar pérdidas por piezas defectuosas o cortes de la línea de producción.

7.3. Tipos de mantenimiento

Tradicionalmente, hay varios tipos de mantenimiento que se han ido identificando, los cuales difieren uno con otro, con base en la naturaleza de las tareas que implican:

- Mantenimiento regresivo
- Mantenimiento reactivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento proactivo

Figura 1. **Clasificación de las estrategias de mantenimiento en función de relación costo beneficio y dificultad de planeación**



Fuente: Preditec (2011). *La estrategia predictiva en el mantenimiento Industrial*.

7.3.1. Mantenimiento regresivo

Atúncar (2014). Describió el mantenimiento regresivo como "la estrategia de un mantenimiento regresivo incluye no hacer un plan de mantenimiento para los activos de la organización. El propósito del mantenimiento progresivo es utilizar el activo hasta que se desactive" (p. 21).

7.3.2. Mantenimiento reactivo

“Conocido como falla, incluye no programar ninguna tarea hasta que la máquina falla. Podemos definir el mantenimiento reactivo como el mantenimiento realizado en una máquina o equipo que ha fallado para restaurar a un estado de servicio normal” (Preditec, 2011, p. 2). El mantenimiento reactivo no es aplicable a máquinas críticas o necesarias donde fallas inesperadas pueden causar cualquiera de los problemas mencionados anteriormente.

7.3.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se refiere a organizar periódicamente la sustitución de los componentes de la máquina antes de llegar al final de la vida útil.

De acuerdo con Preditec, (2011) afirma:

El mantenimiento preventivo es la periodicidad de las intervenciones que se basa en cálculos teóricos o estimaciones de la duración de las fallas de los componentes, que fallan según patrones de funcionamiento basados en el tiempo. El análisis estadístico de la vida útil del equipo y sus componentes permite que la máquina con respecto a su mantenimiento puede ser

independientemente la sustitución de sus elementos según sea su estado o condición de deterioro y desgaste de los mismos. Nosotros podemos afirmar que el mantenimiento preventivo implica la programación de las intervenciones o cambios a unos pocos componentes o piezas en predeterminados intervalos o en respuesta a predecibles eventos. Finalmente, el objetivo de este mantenimiento es para reducir la posibilidad de falla de la máquina o equipo o pérdida de rendimiento al intentar planificar intervenciones ajustadas para maximizar la vida útil del elemento equipos. (p. 3-4)

Definiendo que el mantenimiento preventivo es el que tiene más importancia para el funcionamiento idóneo de los equipos y posponer las fallas que impacten a la operación.

7.3.4. Mantenimiento predictivo

Este mantenimiento se basa en evaluar el estado de la máquina y recomendar si se debe intervenir, ahorrando así muchos costes de mantenimiento. Es un conjunto de técnicas instrumentales que se utilizan para medir y analizar variables con el fin de caracterizar las condiciones de operación en los equipos de producción para mitigar las posibles fallas. Su tarea principal es optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos al menor costo para beneficio de los operativos como de la empresa.

7.3.5. Mantenimiento proactivo

Como dice Preditec (2011):

El mantenimiento proactivo o ingeniería de mantenimiento investiga las causas de las averías por lo que buscan medidas con soluciones correctivas para evitar que la falla sea repetitiva, mejorando así la confiabilidad. En definitiva, el análisis de la causa raíz en el ámbito del mantenimiento proactivo se ve potenciado por el uso de las tecnologías desarrolladas para el diagnóstico predictivo y así se hace más fácil establecer las modificaciones necesarias en los equipos de proceso, tanto constructivas como operativas. (p. 7-8)

Su propósito es identificar y corregir las causas de fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, esta tecnología realiza soluciones a las causas de fallas sobre problemas en los efectos.

7.3.6. Mantenimiento modificado.

El mantenimiento modificado contrariamente a los otros tipos de mantenimiento o las estrategias anteriores destinadas a minimizar los defectos de falla, el mantenimiento revisado intenta eliminar la causa de la falla.

Claramente, esto implica una acción de ingeniería en vez de mantenimiento. Pero habitualmente es responsabilidad del departamento de mantenimiento esta es una política general en áreas donde los costos de mantenimiento son altos debido a un diseño deficiente o al uso del equipo más allá de las especificaciones de diseño.

7.4. Plan de mantenimiento

Es una estrategia en la que establece un conjunto de tareas de mantenimiento preestablecidas seleccionadas y dirigidas a proteger la función de un activo físico estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y del personal destinado a realizar lo cual se establece en plan estratégico como: Un plan corporativo que consolida las instalaciones o equipos que serán sometidos al mantenimiento mayor en un período determinado establece el nivel de inversión y de los recursos para ejecutar dicho plan o plan operativo.

Se emplea para definir y establecer todos los parámetros y de cómo hacer el trabajo. Es decir, se realiza con formulación de objetivos específicos medibles alcanzables que los departamentos de una organización logran comúnmente a corto plazo. El plan de mantenimiento está fomentado principalmente en un análisis estadístico de la vida útil de los componentes eléctricos, mecánicos y de otro tipo.

7.5. Orientación del mantenimiento

Según la orientación del mantenimiento se tiene que elegir o aprobar la formación del mantenimiento de un equipo seleccionado según la importancia, se tiene que definir una de las metodologías para cada equipo al cual se debe aplicar un mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Planificar medidas de mantenimiento de equipos e instalaciones. Determinar el plan para los aspectos económicos y técnicos de la evaluación mecánica y eléctrica. Considere tareas específicas y use aplicaciones.

Según Abarca e Iglesias (2014) se dice que:

El mantenimiento en motores eléctricos se puede orientar principalmente a la mantenibilidad y disponibilidad a la cual está ajustada los requerimientos del proceso de producción, para la consecución de ellos se tienen muchas opciones como los objetivos establecidos por el área eléctrica por el mantenimiento. Se tiene varias alternativas tales como el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM II).

El TPM es un concepto de mantenimiento que se refiere a la calidad general del trabajo, pero requiere cero fallas, cero fallas y una forma de cambiar el enfoque del operador hacia una organización o empresa.

El RCM es un sistema de mantenimiento que se basa en la confiabilidad, es decir que, si un componente o una máquina falla, el proceso de mantenimiento debe continuar a través del funcionamiento normal, esto se logra reemplazando los componentes del sistema. En términos generales, el mantenimiento es un conjunto de actividades realizadas en un equipo o sistema de componentes para asegurar que el trabajo de mantenimiento continúe realizando las funciones requeridas en el dispositivo, para su funcionamiento continuo o un contexto operacional determinado. (p. 24)

Estas dos técnicas se pueden considerar en proceso de evaluación. Dado como el elemento de evaluación organizacional, que se darán en los equipo o dispositivo en los cuales surjan averías con los que se tienen que identificar y luego planificar con medidas de un mantenimiento adecuado en consideración a cada aspecto de las metodologías mencionadas.

7.6. Clasificación e identificación de los equipos

La clasificación e identificación con respecto al mantenimiento se atribuye a la carga de trabajo, lugar donde se ubica el trabajo, así como complejidad del tamaño del equipo. Se van clasificando generalmente como tedioso y difícil. También se entiende que “una buena clasificación de los equipos se basa en su capacidad de sustitución y funcionalidad. El sistema de identificación más simple es un sistema de identificación basado en códigos digitales” (Ponce y Campoverde, 2013, p. 16).

7.7. Gestión de repuestos

La gestión de repuestos es la cantidad de partes que se pueden tener para un equipo. La gestión de repuestos o reserva no causa o evita las fallas, pero influye en el resultado de la inactividad de la producción. Gestionar el almacén de repuestos no significa tener todos los repuestos, si no que tener los repuestos adecuados para el uso en tiempo apropiado.

7.8. Tiempo de mantenimiento e instalación

El tiempo es una unidad de medida, en relación con este tema se indica que el tiempo de mantenimiento es el periodo que el usuario le dedica a una máquina para dejarla en óptimas condiciones, para que pueda cumplir una función requerida. Los tiempos de instalación deben determinarse con el periodo o dedicación que prestan los usuarios para colocar el equipo en un lugar específico. El uso de estos tiempos representa una parte del costo del personal y generalmente depende de la situación.

7.8.1. Tiempo de inactividad por mantenimiento

Es el tiempo que se mantiene en el equipo en el transcurso de no operar porque se le ha presentado algún tipo de avería que no permite su funcionamiento, hasta que hayan terminado el mantenimiento.

7.8.2. Tiempo de inactividad de operación

Período de tiempo en el que un equipo está disponible para desarrollar su función en un sistema en el cual está diseñado, pero no es utilizado debido a que es un equipo auxiliar o de compensación para demandar un extra en el proceso.

7.8.3. Tiempo de operación

Período de tiempo en el que un equipo desempeña su función en condiciones adecuadas.

7.8.4. Tiempo de parada

Período de tiempo en el que un equipo no está en operación, por algún tipo de razón o circunstancia ajena al equipo o sistema mismo.

7.8.5. Tiempo de preparación y espera

Se define como en periodo de tiempo en el cual ya está identificada la avería, pero todavía no se está aplicando el mantenimiento respectivo cual consiste en la preparación de herramienta y personal como la planificación del mantenimiento.

7.8.6. Tiempo de ejecución

Período de tiempo en que una o más personas, o un sistema automático, están realizando una actividad de trabajos de mantenimiento.

7.9. Personal involucrado

El personal es el conjunto de personas que trabajan en el mismo lugar o en la misma organización o empresa. Este cumple con normas y procedimientos para el desarrollo y ejecución de actividades que involucran la posición designada. Los operarios deben brindar acciones relacionadas con conocimientos, habilidades y actitudes, como datos precisos, veraces y relevantes.

7.10. Tipos de fallas

Los tipos de fallas se pueden describir como varias clasificaciones, el identificar las fallas nos permite mejorar las gestiones referidas a utilizar los recursos del mantenimiento de forma adecuada. El análisis de las fallas que van surgiendo es necesario porque reflejan el riesgo para evaluar y predecir mejor cómo abordar las averías cuando se produzcan. Entre varias fallas, se encuentran: la falla evidente, la funcional, la múltiple, la oculta y la potencial entre otras también se define a continuación.

7.10.1. Falla evidente

Enfatizando lo establecido por la norma SAE-JA1012. Se interpreta que se supone que una falla aparente o evidente es un modo de falla que, en circunstancias normales, sus consecuencias son inevitables para el operador. Si

el modo de falla ocurre solo, esto se visualiza como evidencia física en el equipo y también se puede notar cuando existe un desequilibrio. Ocurre durante el proceso y su marca permanece en el dispositivo.

7.10.2. Falla funcional

Obviamente, una falla funcional se refiere a cuando un activo físico o sistema no puede realizar una función específica al nivel de desempeño requerido, dado que su estado no lo permite, se define de acuerdo con la norma SAE-JA1012. Su importancia radica en su capacidad para identificar el mal estado del sistema.

7.10.3. Falla múltiple

De acuerdo con la norma SAE International (2002) “este evento ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo o sistema de protección está en un estado de falla. Se considera un fallo múltiple” (p. 44). De esta forma, se dice que su funcionamiento no es fiable y conlleva riesgos para el proceso.

7.10.4. Falla oculta

Efectivamente, en este tipo de fallas, aunque puede funcionar, su función no se puede lograr satisfactoriamente, por lo que indica la norma SAE-JA1012. Si los modos de falla ocurren de forma aislada, se definen como un modo de falla cuyo impacto en el equipo operativo en condiciones normales de operación no es obvio.

7.10.5. Falla potencial

Queda definido según la norma SAE International (2002) “una falla potencial es una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está ocurriendo, si ocurre, afectará a todo el proceso porque será completamente inutilizable” (p. 6). Las aplicaciones para mejorar la confiabilidad de los equipos son las soluciones más comúnmente utilizadas para estos fallos.

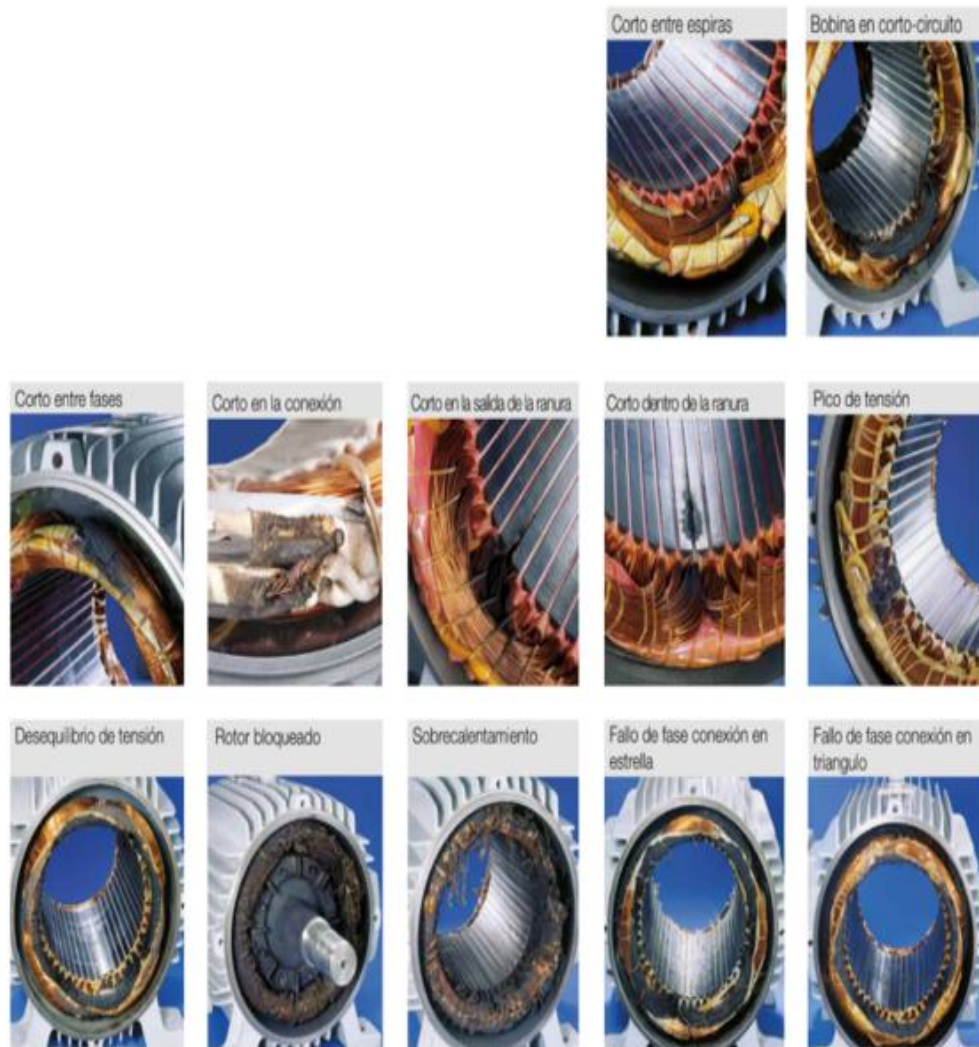
7.11. Características del fallo eléctrico

Las características de fallo eléctricos se dan afectando los sistemas, así mismo, los equipos cercanos a la máquina eléctrica, en gran porcentaje se da un fallo no mayor de la máquina eléctrica pero siempre teniendo una causa o razón de porqué surge un daño, esos daños pueden ser según su criticidad irreparable o reparables según sea la situación.

A juicio de la compañía de máquinas eléctricas WEG (2012) describe de forma textual que:

En el caso de que ocurra un daño en un bobinado de un motor eléctrico, la primera medida a tomar es identificar la causa o posibles causas del problema mediante el análisis del bobinado afectado. En relación con este tema es fundamental que la causa que originó el problema sea identificada y eliminada, para evitar la repetición o nuevos problemas. Para ayuda para el análisis, las fotos y tabla siguientes presentan las características de algunos tipos de daños en bobinados y sus posibles causas. (p. 1)

Figura 2. **Fallas o posibles fallas**



Fuente: WEG (2018). *Daños en los Bobinados*. Consultado el 21 febrero de 2021. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h64/h9b/WEG-danos-en-los-bobinados-motores-trifasicos-50036032-brochure-spanish-web.pdf>

Tabla II. Característica del problema y posibles causas

| Característica del problema | Posibles causas |
|--|--|
| Corto entre espiras o Bobina en corto-circuito | <ul style="list-style-type: none"> ▫Contaminación interna del motor; ▫Fallo del esmalte de aislamiento del hilo; ▫Fallo del barniz de impregnación; ▫Rápidas oscilaciones en la tensión de alimentación. |
| Corto entre fases | <ul style="list-style-type: none"> ▫Contaminación interna del motor; ▫Degradación del material aislante por ressecado, ocasionada por exceso de temperatura. |
| Corto en la conexión | <ul style="list-style-type: none"> ▫Contaminación interna del motor; ▫Fallo del material aislante; ▫Sobrecalentamiento de la conexión debido a un mal contacto. |
| Corto en la salida de la ranura o corto dentro de la ranura | <ul style="list-style-type: none"> ▫Contaminación interna del motor; ▫Degradación del material aislante por ressecado, ocasionada por exceso de temperatura; ▫Fallo del esmalte de aislamiento del hilo; ▫Fallo del barniz de impregnación; ▫Fallo del material aislante. |
| Pico de tensión | <ul style="list-style-type: none"> ▫Motor accionado por convertidor de frecuencia con algunos parámetros incorrectos (amplitud del pulso de tensión, rise time, dV/dt, distancia entre pulsos, frecuencia de conmutación); ▫Oscilación violenta en la tensión de alimentación, por ejemplo, descargas atmosféricas; ▫Surtos de maniobra de banco de banco de condensadores. |
| Desequilibrio de tensión | <ul style="list-style-type: none"> ▫Desequilibrio de tensión y/o de corriente entre las fases; ▫Fallo en banco de condensadores; ▫Mal contacto en las conexiones, interruptores, contactores, disyuntores, etc. |
| Rotor bloqueado | <ul style="list-style-type: none"> ▫Excesiva dificultad en el arranque del motor (elevada caída de tensión; inercia y/o par de la carga muy elevado); ▫Oscilaciones de tensión en las tres fases. |
| Sobrecalentamiento | <ul style="list-style-type: none"> ▫Cables de alimentación muy largos y/o de sección inferior a la necesaria; ▫Conexión incorrecta de los cables de alimentación del motor; ▫Exceso de carga en la punta de eje (permanente o eventual/periódico); ▫Sobretensión o subtensión en la red de alimentación (permanente o eventual/periódico); ▫Ventilación deficiente (tapa deflectora dañada u obstruida, suciedad sobre la carcasa, temperatura ambiente elevada, etc.). |
| Fallo de fase: Estrella (Y); quema de dos fases Triángulo (Δ); quema de una fase | <ul style="list-style-type: none"> ▫Mal contacto en el interruptor, contactor o disyuntor; ▫Mal contacto en las conexiones; ▫Mal contacto en los terminales de una fase del transformador; ▫Quema de una fase del transformador de alimentación; ▫Quema de un fusible; ▫Rotura de un cable de alimentación. |

Fuente: WEG (2018). *Daños en los Bobinados*. Consultado el 21 febrero de 2021. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h64/h9b/WEG-danos-en-los-bobinados-motores-trifasicos-50036032-brochure-spanish-web.pdf>

7.12. Factores económicos

Los factores económicos determinan el obstáculo o beneficio de cualquier empresa. Ayudan a la predicción de las principales unidades críticas. Lo que se considera a consecuencias de los fallos en los equipos, coste de sustitución de equipos antes del fallo, coste de material del equipo, todo es importante tener el conocimiento para su impacto dentro de la empresa.

7.13. Control estadístico de la calidad

Definimos control de calidad estadístico como la aplicación de diferentes técnicas estadísticas en procesos industriales y administrativos del servicio. El control de calidad estadístico tiene como objetivo verificar si cada parte de un proceso o servicio cumple con ciertos requisitos de calidad y ayudar a cumplir con estos requisitos. Como método estadístico, un método simple como las siete herramientas básicas utilizadas en Japón: tabla de registro, gráfico de Pareto, gráfico de causa y efecto, estratificación, histograma, gráfico de dispersión y gráfico de control. Otras técnicas más complejas son: muestreo de aceptación, teoría de confiabilidad, diseño experimental, investigación de operaciones, programación lineal e información estadística avanzada para análisis de pruebas estadísticas.

Estas son herramienta básica para controlar el proceso y establecer el un mecanismo de control que permite ajustes. Todo esto es para mantener los estándares establecidos y poder cumplir con las especificaciones requeridas por el proceso.

7.14. Siete herramientas básicas de la calidad

Las siete herramientas básicas de la calidad se describen a continuación.

7.14.1. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa también se llama diagrama en espina de pescado o diagrama de causa-efecto. Este análisis puede hacer herramientas de apoyo que tienen ideas comunes sobre problemas complejos, el nivel de detalle visible. Con este los lectores de la herramienta podrán apreciar los problemas en el trabajo y también se describirán las razones encontradas en este trabajo para su evaluación.

7.14.2. Histograma

El histograma es la representación gráfica de un conjunto de datos estadísticos. Lo que nos permite agrupar fallas en función de valores enteros en los cuales son representación de una población en resumen es una gráfica sencilla poderosa para expresión de datos agrupados adecuadamente en una distribución.

7.14.3. Diagrama de Pareto

Se utiliza para seleccionar los problemas más fáciles de atacar, además, al expresar gráficamente la importancia del problema, se puede facilitar la comunicación y recordar las principales fallas de forma permanente. Un diagrama de Pareto (DP) puede ser el primer paso en un proyecto de mejora. Estos datos de desempeño son muy útiles para estimular la cooperación de todo el personal

relevante, porque cualquiera puede ver de un vistazo cuál es el problema principal. Desde el punto de vista de Flores (2010).

7.14.4. Hojas de verificación o comprobación

La hoja de verificación es un formato, que está destinado a registrar y compilar datos con un método simple y sistemático, como las observaciones de ciertos eventos. Esta técnica de recopilación de datos se prepara para que su uso sea fácil e interpretado de la mejor forma posible con la acción de la que haga el registro.

7.14.5. Gráfico de control

El gráfico de control es un gráfico especialmente preparado en el que se registran los valores continuos de las características de calidad a controlar. Los datos se registran y obtienen durante el proceso de fabricación. La línea central del gráfico de control representa el promedio histórico de las características controladas y también se calculan los límites superior e inferior con datos históricos.

7.14.6. Diagrama de dispersión

Un diagrama de dispersión es una representación gráfica de la correlación entre dos variables. Se suele utilizar generalmente para estudiar la relación entre causas y efectos de lo que afecta. Definir si existe una relación causal entre dos variables en forma más sencilla una dependiente de la otra así aumentando al mismo tiempo con la otra.

7.14.7. Muestreo estratificado

Es uno de los tipos de muestreo probabilístico que podemos utilizar. Que da a conocer más sobre sus ventajas y desventajas. El muestreo estratificado es un procedimiento de muestreo en el que la población objetivo se divide en segmentos homogéneos mutuamente excluyentes, seguidos de una muestra aleatoria simple. se selecciona de cada segmento. Las muestras seleccionadas de cada nivel se fusionarán en una sola muestra. A veces, este proceso de muestreo se denomina muestreo por cuotas aleatorio.

7.15. Análisis de método de análisis y efecto de falla (AMFE)

La metodología de análisis de riesgos se utiliza en la búsqueda y evaluación de opciones que puedan afectar negativamente a las instalaciones o plantas de procesamiento, identificar las opciones más riesgosas y emitir las medidas recomendadas para minimizarlas.

Dicho con palabras de Aguilar, Torres y Magaña (2010) describe que:

Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE), es la combinación con una calificación o nivel de gravedad de criticidad del riesgo, es normalmente empleada el enfoque del plan de mantenimiento es la confiabilidad, porque nos permite tener una comprensión integral del funcionamiento y la forma de falla del sistema y los equipos que lo constituyen. Las acciones recomendadas derivadas de AMFE se definen como operaciones o tareas de mantenimiento. Lo que permite diseñar una estrategia completa de mantenimiento aplicando criterios de riesgo para cada activo o equipo considerado en la evaluación, para de esta forma poder evaluar el impacto del plan de mantenimiento en el riesgo de la instalación, así como también,

asegurar que el plan de mantenimiento es aplicado en los equipos que representan un mayor riesgo para las personas, medio ambiente, producción e instalación. (p. 16)

El buen criterio y considerar AMFE como una prioridad en la empresa se logrará el diseño para la eliminación de las causas con medidas preventivas o correctivas según sea la necesidad.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO
 - 1.1. Ingenio
 - 1.1.1. Áreas de trabajo
 - 1.1.2. Preparación de caña
 - 1.1.3. Molienda
 - 1.1.4. Clarificación
 - 1.1.5. Evaporación
 - 1.1.6. Cristalización
 - 1.1.7. Refinería
 - 1.1.8. Manejo de azúcar
 - 1.1.9. Calderas.
 - 1.2. Taller eléctrico.
 - 1.2.1. Horno
 - 1.2.2. Hidro lavadoras

- 1.2.3. Mega óhmetro
- 1.2.4. Micro óhmetro
- 1.2.5. Amperímetro
- 1.3. Motores eléctricos
 - 1.3.1. Tipos de motores
 - 1.3.2. Partes de motores
 - 1.3.3. Pruebas de motores
 - 1.3.4. Pruebas a las bobinas de motores
 - 1.3.5. Pruebas visuales
- 1.4. Gestión de calidad
 - 1.4.1. 5S
 - 1.4.2. Ciclo de Deming
- 1.5. Análisis económico
 - 1.5.1. Definición
 - 1.5.2. Modelo de operación propuesto
 - 1.5.3. Costos de operación actual
 - 1.5.4. Costos de operación propuestos
 - 1.5.5. Hora – Hombre

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Idealizaciones de la investigación
- 2.2. Análisis
 - 2.2.1. Determinación del índice de fallas
 - 2.2.2. Determinación de las áreas afectadas
- 2.3. Desarrollo de la investigación
 - 2.3.1. Manual de mantenimiento
 - 2.3.2. Propuesta de condiciones de mantenimiento
 - 2.3.3. Propuesta de relaciones de mantenimiento

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO
 - 4.1. Valor actual neto
 - 4.2. Tasa interna de retorno

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Para realizar esta investigación, es necesario Definir la metodología de la investigación la metodología es un conjunto de procedimientos y técnicas coherentes y razonables, que se aplican de manera ordenada y sistemática en la realización de la investigación. Todo el proceso determinará cómo los investigadores recopilan, organizan y analizan los datos obtenidos. A continuación, una descripción detallada de cómo se llevará a cabo esta investigación.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es mixto, emplea técnicas cuantitativas y cualitativas. Es cuantitativo porque se utilizarán técnicas estadísticas, censos y valores numéricos. También es cualitativo porque se hará uso de la técnica de entrevista mediante un cuestionario debidamente estructurado y revisión documental como comparativa de normas.

El alcance del estudio estará basado de forma descriptiva y explicativa; la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice y explicativa debido a que se busca especificar las propiedades importantes relevantes o cualquier fenómeno que se somete a un análisis, todo el análisis se dirigirá a responder e indagar en las causas de los problemas o situaciones del evento de objeto de estudio.

El diseño implantado será no experimental, debido a que busca entender fenómenos a partir de lo ya obtenido, sin intentar manipular alguna variable, por

cuanto ya han sucedido los sucesos. La observación y colecta de datos y los eventos que se dan en el campo serán los instrumento para la recopilación de datos que se programarán en la técnica sobre el análisis de modos de fallas y efectos, con lo que encontraremos los índices de prioridad de riesgo y mitigarlos con el mantenimiento centrado en la confiabilidad II, así también, como el mantenimiento productivo total, para los motores eléctricos en un ingenio en Escuintla, además, será se hará longitudinal, por razones que se tendrá una tendencia de análisis respecto a cambios a través del tiempo, su foco es la población caracterizado por el fenómeno de estado que se presenta un evento o anomalía y los equipos que van saliendo del funcionamiento y reemplazado que involucra cualquier tipo de falla. Se estudiará por el uso de variables que se vayan sucediendo.

9.2. Unidades de análisis

En la unidad de análisis, se consideró una muestra por cuotas de toda la población, porque la investigación está formada por las incidencias que se conocen por el tiempo de funcionamiento de todos los equipos y las incidencias descubiertas luego de que se realiza la prueba de conformidad posterior de cualquier tipo de mantenimiento, por lo que no hay necesidad de utilizar la fórmula de cálculo porque "Una muestra es una colección de ciertos elementos de la población, pero no de todos" (Levin y Rubin 1996, p. 10).

9.3. Variables

En este estudio, producto del análisis del marco lógico se han identificado variables independientes y variables dependientes. Se analizarán variables de tipo cualitativo de escala nominal y ordinal, las variables de tipo cuantitativo a utilizar serán continuas. Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla III. **Cuadro de operación y aplicación de las variables**

| Variable | Tipo | Definición teórica | Definición operativa |
|--|---------------|---|--|
| Alto índice de rechazos por fallas de motores eléctricos | Independiente | Indicador por defecto formal que aparece en eventos de consecuencias de anomalías que son severas. | Se medirá cualitativa y cuantitativa mediante una escala nominal. (estadística) en porcentaje. |
| Retrabajo de mantenimiento | Dependiente | Consiste en hacer el mantenimiento nuevamente por negligencia del personal o avería definida en una falla encontrada después del mantenimiento. | La medición será a través de una escala continua o discretas. |
| Retrabajo de instalación | Dependiente | Es el movimiento extra por algún evento inesperado como: modificación de estructura o falla en marcha de proceso. | La medición será a través de una escala continua o discretas. |
| Altos tiempos perdido por mantenimiento | Dependiente | Es el tiempo total contenido por unidad de equipo, herramienta y mano de obra involucrada en una falla en el punto de taller. | Medición cuantitativa de con escala ordinal en intervalo del tiempo. |
| Altos tiempos perdidos de instalación. | Dependiente | Es el tiempo total contenido por unidad de equipo, herramienta y mano de obra involucrado en una falla en el punto de instalación. | Medición cuantitativa de con escala ordinal en intervalo del tiempo. |
| Aumento de costos. | Dependiente | Es la manifestación en la economía cuando al costo que implica la producción o la inversión de la inflación en los bienes y servicios | Medición cuantitativa continua del costo por tiempo, costo por gastos. |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

9.4. Fases del estudio

Dentro de este estudio se utilizarán varias técnicas, las cuales serán cuantitativas como cualitativas. Para las técnicas cuantitativas se utilizarán, recolección de datos, evaluación de costos, lo cual servirá para evaluar alternativas; por otro lado, se usará análisis estadístico. En los siguientes numerales se presentan las líneas a seguir para esta investigación.

9.4.1. Fase 1: Revisión de literatura

Esta fase es primordial para realizar la investigación. Esta ayuda a comprender el problema mediante la lectura de documentos que aporten información importante para este estudio, de tal modo que apoyará y sustentará el marco teórico. Se consultarán documentos con relación a evaluación de proyectos de cogeneración, para lo cual abarca investigaciones, seminarios, tesis, entre otros.

9.4.2. Fase 2: Administración, recopilación de información y diagnóstico

La recolección de datos servirá para tener una base para realizar una base de datos de las fallas de los motores eléctricos con sus respectivas causas, Se analizará la situación las averías que vayan transcurriendo en el transcurso del tiempo en su de acuerdo con su funcionamiento en la operación del ingenio, con estos datos nos permitirá centralizar los fallos más comunes y así mismo la raíz de la causa de las fallas. Toda la información se sintetizará en Excel para luego ser analizada.

9.4.3. Fase 3: Análisis de información

Esta comprende la integración de la información a un sistema de mantenimiento basado en riesgo. Dicha información será administrada mediante el uso de un programa informático de acuerdo con las siete de herramientas de calidad, que bien puede ser Excel o programas específicos de equipos de medición de los motores eléctricos, así como otras versiones de software que se reforzarán con el análisis de causas y efectos.

9.4.4. Diseño del programa (propuesto)

Se utilizarán los resultados de los análisis de las fallas en motores eléctricos basados en la aplicación de técnicas se programará de acuerdo con la criticidad de las fallas recurrentes para programas técnicas como RCM II y ciclo Deming para dar seguimiento a las fallas recurrentes. Mediante un análisis de Pareto, nos ayudará a establecer un porcentaje adecuado para lograr evidenciar la mitigación del proceso aplicado. Así también estos resultados servirán para realizar una línea base para aplicar otros tipos de ensayos y verificaciones a los equipos y aumentar su funcionamiento.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

En este apartado damos a conocer las técnicas que engloban al aporte con los datos que se consigan para tener información. “Las técnicas de investigación son el conjunto de herramientas, procedimientos e instrumentos utilizados para obtener información y conocimiento. Se utilizan de acuerdo con los protocolos establecidos en cada metodología determinada” (Raffino, 2020, p. 1). Las técnicas de análisis de información que se utilizaran en el estudio se presentan a continuación.

10.1. Las siete herramientas básicas de calidad

Las siete herramientas básicas de calidad es una agrupación registro sistemático para analizar cuantitativa y cualitativamente para tener un mejor control de calidad, la herramienta nos permite tener un resultado y como relacionar un efecto y falla como el cuello de botella y un círculo de re trabajo o reinstalación, esto se hará que con facilidad identifiquemos las principales fallas, las siete herramientas son las siguiente: Gráficas, plantilla de inspección, gráfica de Pareto, Ishikawa, diagrama, histograma, gráfica de control. La aplicación de todas las herramientas nos llevará a una mejora continua, que nos permiten el análisis y soluciones a los problemas que se presentan en distintos escenarios de la empresa.

10.2. La técnica mantenimiento productivo total (MPT)

La técnica de mantenimiento productivo total es un enfoque holístico para el mantenimiento al equipo. Se enfoca a elaborar con el hecho de que se ejecute

una operación perfecta, sin averías, sin micro paros y sin defectos de la operación, para que el equipo esté seguro disponible y funcione cuando lo necesiten.

El mantenimiento estima los tiempos de operación lo que ayudará a disminuir el costo total de compostura. El MPT nos ayudará a mitigar las 6 grandes pérdidas, aplicando el mantenimiento autónomo y planificado, Gestión temprana, mejora enfocada entre otros. El modelo obedece al cumplimiento de un plan estratégico cuyos esfuerzos permiten lograr el cambio de actitud del personal para ser más eficientes y eficaces en todas las actividades en las que se involucran.

10.3. Ciclo de Deming

“El ciclo PHVA (PDCA) también llamado ciclo de la calidad es considerado un elemento esencial para la planificación y se expresa mediante un círculo” (Fuentes, 1994, pp. 60-61). En lo que consiste en la aplicación de cuatro pasos básicos: planificar, hacer, verificar y actuar que se propone la mejora continua de la calidad para cumplir con los objetivos propuestos. El ciclo de Deming es una técnica sencilla de aplicación para la gestión que aumenta la calidad y disminuye costos.

10.4. Diez pasos de Juran

Joseph Juran planteó una serie de pasos fundamentales para obtener beneficios de la implementación de la calidad total en una empresa. Crear conciencia de la necesidad de mejorar los pasos de juran van destinados al personal operativo con planteamiento de: Establecer metas de progreso, organizarse para alcanzar las metas propuestas, proveer entrenamiento,

establecer proyectos dedicados a la solución de problemas, hacer reportes de progreso, dar reconocimientos hacer públicos los logros alcanzados, mantener un sistema operacional de medición de logros, no dejar caer el entusiasmo por la superación aunque todo esté marchando bien (no dormirse en los laureles). Con los pasos implementados de juran logramos “crear perseverancia en el propósito de mejorar productos y servicios” (Scherkenbach, 1994, p. 1).

10.5. Análisis de medición

Se realizará análisis de medición para la comparativa de valores con valores normalizados en los motores eléctricos. Las mediciones serán: aislamiento, temperatura, vibraciones, ultrasonido, tiempos de marcha, tiempos de mantenimiento, medición de resistencia, entre otras. EL propósito de cada medición es descriptivo, algunas de las mediciones nos expresaran la línea de tiempo de funcionamiento y condiciones que tiene un equipo, así mismo, la programación de un mantenimiento adecuado.

10.6. Mantenimiento centrado en la confiabilidad 2 (RCM II)

La técnica de mantenimiento centrado en la confiabilidad busca sistematizar y viabilizar las posibles formas de fallar de un sistema en su fase de diseño o de funcionamiento. El RCM nos permitirá la integración óptima de los modelos conocidos de mantenimiento reactivo, proactivo, mejoras e incluso mantenimiento por detección de fallos ocultos; este enfoque representa un cambio radical en el desarrollo histórico del mantenimiento. (Gardella, 2011, p. 42)

Esto se logrará la mejora técnica económica del máximo rendimiento para ser aplicable al proyecto minimizando riesgo, tiempos perdidos, defectos, fallas, impacto ambiental y máxima rentabilidad.

11. CRONOGRAMA

El presente trabajo de investigación se realizará con tiempos específicos del estudiante de maestría en gestión industrial. Siendo la investigación basada en un tiempo específico se tendrán en cuenta el recurso del tiempo establecido de la siguiente manera:

Tabla IV. **Cronograma**

| Descripción/Semana | Abril | | | | | Mayo | | | | Junio | | | | Octubre | | | | Noviembre | | | | Diciembre | | | |
|--------------------------------|-------|---|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Desarrollo de la investigación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fase 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revisión de literatura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fase 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Administración de datos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Recopilación de información | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diagnóstico de información | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fase 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Análisis de información | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fase 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Interpretación de información | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fase 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacción de conclusiones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacción de recomendaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacción de informe final | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría en gestión industrial. Siendo la investigación descriptiva se tendrán en cuenta los siguientes recursos.

Tabla V. **Recursos necesarios para la investigación**

| Recurso | Costo |
|-------------------------|--------------------|
| Licencias para reportes | Q. 500.00 |
| Capacitación | Q. 2,000.00 |
| Análisis de laboratorio | Q. 2,500.00 |
| Impresiones | Q. 200.00 |
| TOTAL | Q. 5,200.00 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. Abarca, D. F., e Iglesias, F. J. (2014). *Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo Mediante la Aplicación de Termografía Industrial en los Motores Eléctricos de la Planta de Eurolit en la Empresa Tubasec C.A.* (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3061>
2. Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., y Magaña-Jiménez, D. (enero, 2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 15-26.
3. Arnnoux, C. (2010). *Guía de la medición de aislamiento*. España: C/Roger de Flor.
4. Ballesteros, F. (2011). *La estrategia predictiva en mantenimiento industrial. La estrategia predictiva en mantenimiento industrial*. Sevilla, España: Preditec/IRM.
5. Carro, R. (s.f.). *Administración de la calidad total*. Mar de Plata, Argentina: Universidad Nacional del Mar de Plata.
6. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (2015). *Guía para determinar y reducir pérdidas de energía en generadores de vapor*. Guatemala: Autor.

7. Domínguez, M. M., y De Antonio, A. J. R. (2014). *Máquinas térmicas*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
8. Duare, T., Jimenez, R., y Ruiz, M. (2007). *Análisis Económico de Proyectos de Inversión*. Colombia: Universidad tecnológica de Pereira.
9. Enríquez, G. (2005). *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. México: Editorial Limusa, S.A.
10. Fernández, P. (22 de febrero, 2021). Centrales Térmicas. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://pfernandezdiez.es/es/libro?id=15>
11. Fitzgerald, L. (2004). *Maquinas eléctricas*. México: Mc Graw Hill.
12. Flor, R. (2010). *Guía de la medición de aislamiento*. España: Chauvin Arnoux ibérica, S.A.. Recuperado de <http://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/D00VEC38.PDF>.
13. Flores, D. (1998). *Ahorro de energía en motores eléctricos de corriente alterna jaula de ardilla*. México: UNAM.
14. García, M., y Suárez, M. (abril, 2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública*, 39(2), 253-267. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662013000200007

15. Gómez, S. (2012). *Metodología de la investigación*. México: Red Tercer Misterio.
16. Gutiérrez, H. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México: McGraw Hill.
17. Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. d. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
18. Hernández, D. (2005). *Análisis del modo y efecto de las fallas potenciales aplicado a un caso de estudio* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de México, México.
19. Ishikawa, K. (1989). *Introducción al control de calidad*. España: Autor.
20. Preditec (1 de agosto, 2011), *La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.preditec.com/rep/6be8/pdf/374602/21/la-estrategia-predictiva-en-el-antenimiento-industrial---pdf-885-kb?d=1>. Se consultó el 09 febrero. 2021.
21. Levin, R. I., Rubin, D. S., y Samaniego, A. H. F. (1996). *Estadística para administradores*. México: Pearson Educación.
22. Lévano, M. (2014). *Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento en el área de procesamiento de una empresa de traslado y custodia de valores* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

23. Martínez, C. A. (2004). *Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
24. Mendenhall, W., Beaver, R. J., y Beaver, B. M. (2010). *Introducción a la probabilidad y la estadística*. México: Cengage Learning.
25. Monje, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Colombia: Universidad Sur colombiana.
26. Morfín, D. H. (2005). *Análisis del modo y efecto de las fallas potenciales aplicado a un caso de estudios*. México: Programa de Maestría y Doctorado en ingeniería.
27. Muñoz, B. (2002). *Mantenimiento industrial*. España: Universidad Carlos III de Madrid.
28. Ortiz Uribe, F. G. (2003). *Diccionario de metodología de la investigación científica*. México: Limusa.
29. Ponce, Í. W., y Campoverde, J. D. (2013). *Estudio para un programa de mantenimiento preventivo para reducir el elevado nivel de paras imprevistas en los motores eléctricos del departamento de tosti3n en la empresa GUSNOBE S.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad Estatal de Milagro, Ecuador.
30. Pro-cobre (2019). *Guía para la reparaci3n de motores eléctricos Trifásicos*. Mexico: Autor.

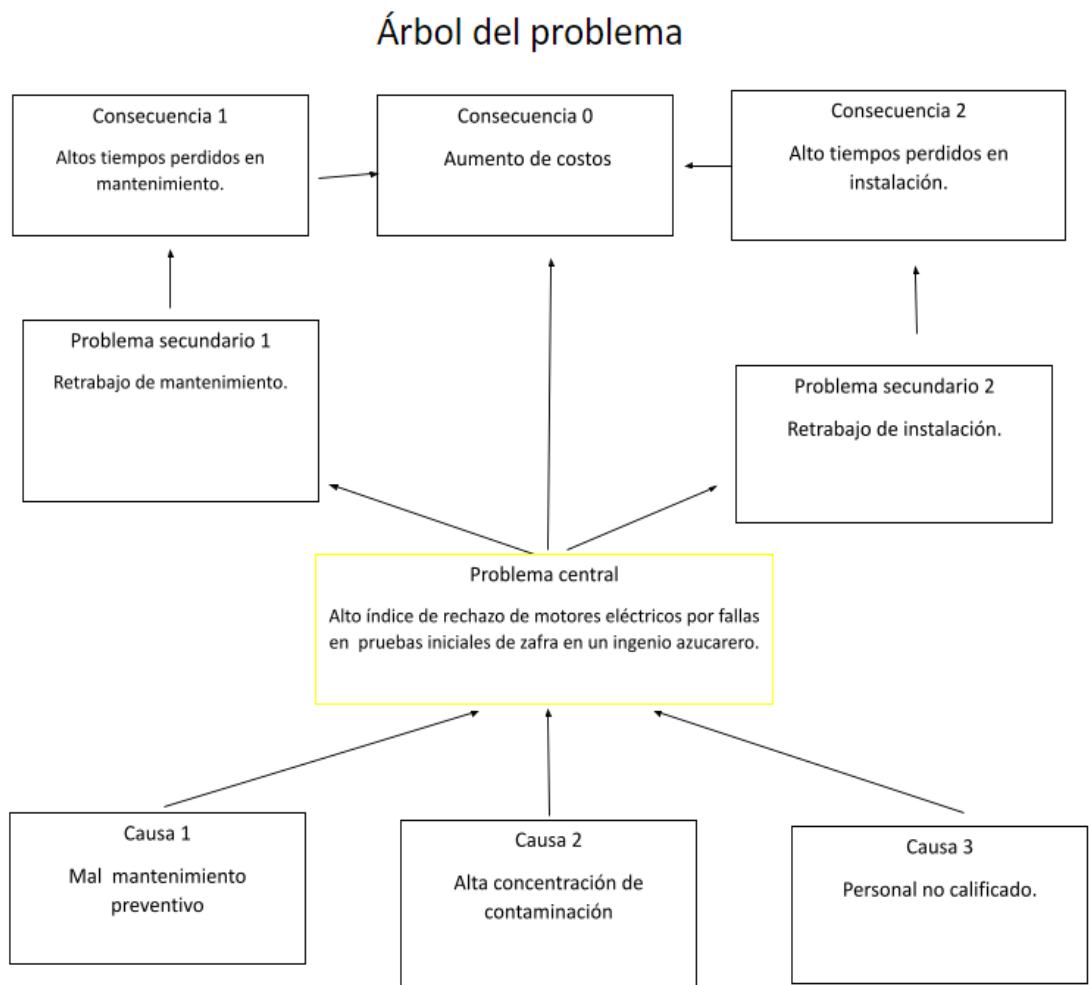
31. Quezada, W. E. (2018). *Diseño de investigación implementación de mantenimiento predictivo*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
32. Ramírez, E. (2014). *Diseño de la investigación del kaizen como herramienta del toyotismo, aplicado a la reducción de reclamos en una industria de tubos de acero* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
33. Romero, E., y Díaz, J. (enero, 2010). El uso del diagrama causa-efecto en el análisis de casos. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 40(3-4), 127-142. Recuperado de <https://rlee.iberomex.mx/index.php/rlee/article/view/344>
34. SAE International (2002). *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*. The Engineering Society for Advancing Mobility Land, Sea, Air, and Space, Warrendale, PA. Estados Unidos: Autor.
35. Técnicas, I. U. (2009). *Herramientas para la mejora de la calidad*. Montevideo, Uruguay: UNIT.
36. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (1995). *Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus*. Estados Unidos: Autor.
37. Tilleros, E. (2009). *Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la filosofía actual que más se adapte al taladro de servicios a pozos*

H-643. Barcelona, España: Universidad de oriente núcleo anzoátegui.

38. Valdivieso, J. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa extrupas S.A.* Cuenca, Ecuador: Universidad politécnica salesiana sede de cuenca.
39. WEG (2018). *Daños en los Bobinados.* España: Autor. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h64/h9b/WEG-danos-en-los-bobinados-motores-trifasicos-50036032-brochure-spanish-web.pdf>
40. Zagal, J., y Muñoz, A. (2021). *Guía para la reparación de motores eléctricos trifásicos.* Mexico: Pro-cobre. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/496916/Gu_aReparaci_nMotores_-_FinalDigPswd.pdf

14. APÉNDICES

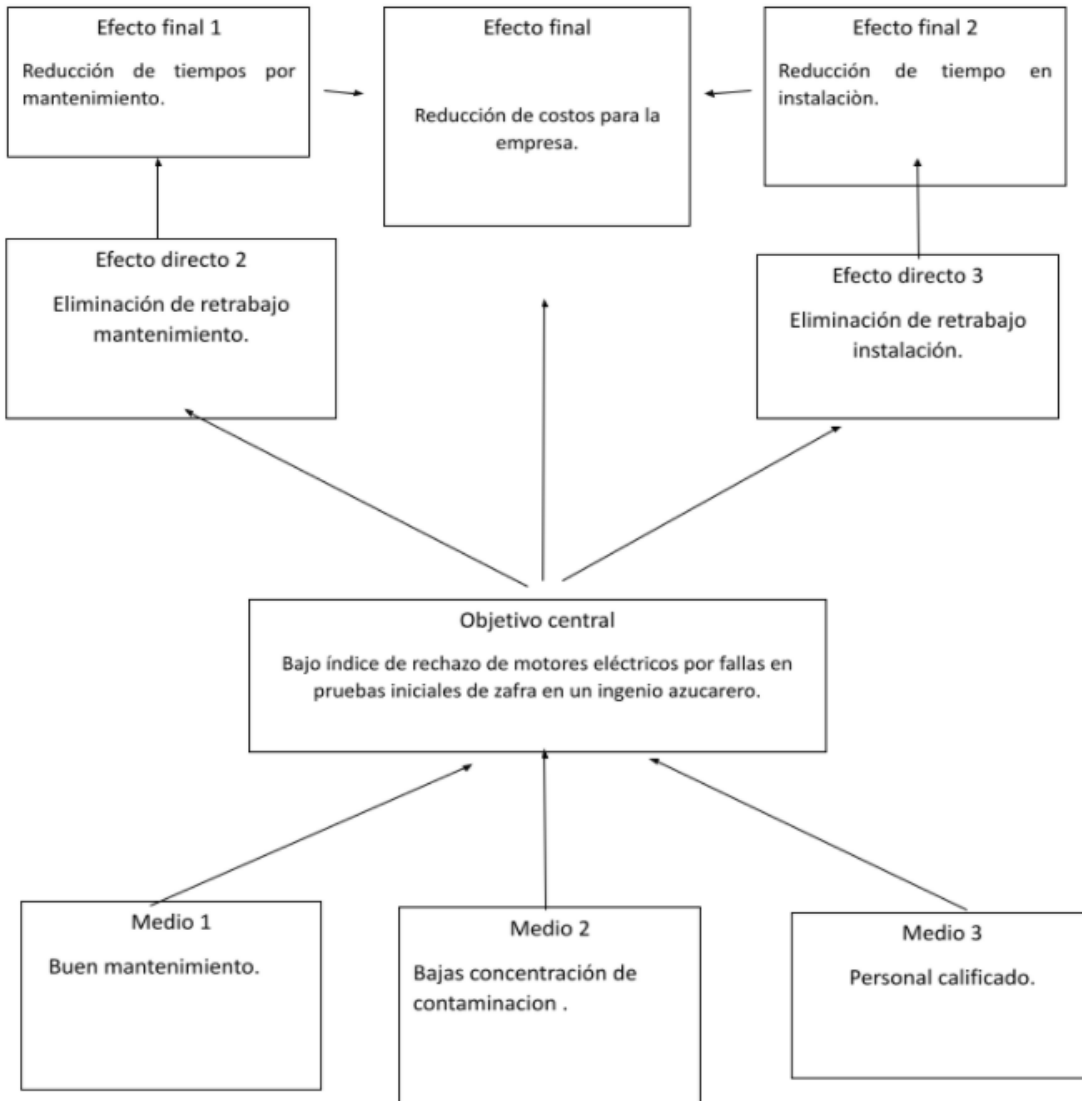
Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 2. **Árbol de objetivos**

Árbol de objetivo 2



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.