



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Sistema de control para mejorar la confiabilidad
operacional de un motor de inducción de 300Hp en
la Compañía Minera Casapalca**

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Alver De La Cruz Meza

Huancayo, 2018



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

**ASESOR:
ING. JORGE LOZANO MIRANDA**

DEDICATORIA

A mi madre y hermanos por el apoyo constante en mis estudios y en mi trabajo.

AGRADECIMIENTO

A todos los Ingenieros de la Facultad por inculcarme sus conocimientos para lograr que sea un buen profesional, en mi trabajo.

ÍNDICE

Caratula.....	i
Asesor.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Índice.....	v
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.1.1. Descripción del Problema.....	13
1.1.2. Impacto Económico.....	13
1.1.3. Identificación de Efectos y Causa.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. Problema General.....	15
1.2.2. Problemas Específicos.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. Objetivo General.....	15
1.3.2. Objetivos Específicos.....	15
1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	16
1.4.1. Justificación Técnica.....	16
1.4.2. Justificación Económica.....	16
1.4.3. Alcances.....	17
1.4.4. Delimitaciones.....	17
1.4.5. Limitaciones.....	17
1.5. HIPOTESIS Y DESCRIPCION DE VARIABLE.....	17
1.5.1. Hipótesis General.....	17
1.5.2. Hipótesis Específicas:.....	18

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	19
2.1.1. Nacional.....	19
2.1.2. Internacional.....	20

2.2.	BASES TEÓRICAS	21
2.2.1.	Sistema de Control Centrado en la Confiabilidad.....	22
2.2.2.	Beneficios de un Sistema de Control Centrado en la Confiabilidad.....	23
2.2.3.	Definición de AMFEC.....	23
2.2.4.	Objetivos del AMFEC.....	24
2.2.5.	Ciclo de Deming	24
2.3.	DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS	26

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1.	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1.1.	Metodología de Diseño en Ingeniería Eléctrica.....	28
3.1.2.	Tipo de Investigación	28
3.1.3.	Nivel de Investigación.....	28
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.2.1.	Población y Muestra.....	29
3.3.	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	29
3.3.1.	Técnicas de Análisis de Datos.....	30
3.3.2.	Metodología Propuesta.....	45

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	PRUEBA DE HIPOTESIS GENERAL.....	46
4.2.	PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	51
4.2.1.	Cuadro Comparativos del Análisis de Estudio.....	59
4.3.	DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADO	60
	CONCLUSIONES	62
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFIA	64
	ANEXOS	65

ANEXOS

ANEXO 1: Identificación de Sistemas de activos.....	66
ANEXO 2: Análisis de Modos de falla de activos.....	70
ANEXO 3: Matriz de consistencia.....	71
ANEXO 4: Líneas productivas de la planta concentradora en el centro minero casapalca.....	74
ANEXO 5 Costos por Mantenimiento correctivo del Motor de 300hp.....	76
ANEXO 6 Diagrama unifilar de la planta concentradora de la compañía minera casapalca.....	82

ÌNDICE DE CUADROS

Formato 1: Formatos de Inspección de Mantenimiento.....	66
Formato 2: Formato de Plan de Mantenimiento.....	67
Formato 3: Análisis de Modos de Falla, Efectos Criticidad (AMFEC).....	70

ÌNDICE DE TABLAS

Tabla N°. 1.1: Operacionalización de Variable.....	18
Tabla N°. 1.2: Sinopsis de las Variables.....	18
Tabla N°.2.1: Esquema de Conducción del AMFEC.....	24
Tabla N°.3.1: Fallas en el Motor Eléctrico de 300 Hp (Ene-Abrí 2016).....	32
Tabla N°.3.2: Fallas en el Motor Eléctrico de 300 Hp (May-Agos2016).....	33
Tabla N°.3.3: Fallas en el Motor Eléctrico de 300 Hp (Set-Dici2016).....	33
Tabla N°.3.4: Fallas en el Motor Eléctrico de 300 Hp	34
Tabla N° 3.5 Resumen de Fallas del Motor de 300 Hp.....	36
Tabla N° 3.6 Resumen de Tasa de Fallas y Confiabilidad.....	41
Tabla N° 4.1: Motor de 300 hp Número de Fallas (Sep.- Ago. 2017).....	46
Tabla N° 4.2: Fallas en el Motor Eléctrico Aplicado AMFEC (Set- Dic 2017)....	47
Tabla N° 4.3: Fallas en el Motor Eléctrico Aplicando AMFEC (Ene- Abr 2017).48	
Tabla N° 4.4: Falas en el Motor Eléctrico Aplicado AMFEC (May- Ago. 2017).49	
Tabla N° 4.5: Resumen de Fallas del Motor Aplicado.....	51
Tabla N° 4.6: Resumen de Tasa de Fallas y Confiabilidad.....	55
Tabla N° 4.7: Tratamiento de Riesgo de Activos.....	70

RESUMEN

TÍTULO: SISTEMA DE CONTROL PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE UN MOTOR DE INDUCCION DE 300HP EN LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA

AUTOR: DE LA CRUZ MEZA, ALVER

La investigación responde al problema ¿Qué sistema de control existente, no permite mejorar la confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp en la compañía minera casapalca?, como objetivo principal pretendemos, desarrollar una metodología tecnológica basado en un sistema de control, de aplicación tecnológica, a través de un Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad que permitirá evaluar y mejorar la confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp en estudio. Y como hipótesis se asume que el diseño del sistema de control, mediante la aplicación del Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad, mejorara el grado de nivel de confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp de la compañía minera Casapalca. El diseño en éste caso no se aplica la correlación porque, la teoría de metodología demuestra tecnológicamente y matemáticamente esa relación mediante las fórmulas de cálculo del porcentaje total y los indicadores, lo que se pretende es saber: ¿Qué porcentaje de confiabilidad demuestra antes y después de la aplicación de la metodología ?, en la muestra un motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca, a quien se aplicó un programa de control a través del Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad que permitirá mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 300hp. Concluyendo que el sistema de control propuesto permitirá definir los planes y mantenimiento, minimizar los riesgos de las actividades de mantenimiento, establecer las políticas, procedimiento estándares para la recopilación de la información técnica , permitiendo recabar datos técnicos del motor en estudio, los cuales fueron de gran utilidad para realizar el diagnóstico acertado para el análisis del estudio .

Palabras claves: Disponibilidad, Tiempo Medio Entre Fallas, Tiempo Medio de Reparación, Grado de Confiabilidad.

ABSTRACT

TITLE: CONTROL SYSTEM TO IMPROVE THE OPERATIONAL RELIABILITY OF A 300HP INDUCTION ENGINE IN THE CASAPALCA MINING COMPANY

AUTHOR: DE LA CRUZ MEZA, ALVER

The research responds to the problem What control system based on the study analysis of criticality of the electric motor under study, which will improve the operational reliability of a 300hp induction motor in the mining company Casapalca ?, aims to Design a Maintenance management program based on Criticality Analysis that will allow to improve the operational reliability of a 300hp induction motor in the mining company Casapalca and as hypothesis it is assumed that the management design of a predictive maintenance program based on the analysis Of criticality in the engine under study, improves the operational reliability of an induction motor of 300hp in the mining company Casapalca. The design was the non-experimental, in the sample an induction motor of 300hp in the mining company Casapalca, to whom a maintenance management program was applied, based on Critical Analysis that will allow to improve the operational reliability of an induction motor Of 300hp. Concluding that the proposed maintenance control system will allow to define the plans and maintenance, minimize the risks of maintenance activities, establish policies, standard procedures for the collection of technical information of the assets, allowing to collect technical data of the engine under study , Which were very useful to make the correct diagnosis for the analysis of the study in a 300hp induction motor in the mining company Casapalca.

Keywords: Reliability operational, Availability, Mean time between failures, Mean time to repair

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata de un estudio integral a fin de establecer métodos y planes de control mejorados; es decir de acuerdo al nivel de criticidad estudiados, para mejorar su eficiencia (costo, tiempo y calidad) y la confiabilidad de sus operaciones.

Para el presente estudio tiene como punto principal estudiar los niveles de confiabilidad del motor en mención de su porcentaje de confiabilidad y el grado de criticidad del motor, siendo una de sus principales actividades, de esa manera permitirá conocer sus grados y porcentajes de confiabilidad que nos permitirá realizar las planificaciones de mantenimiento y de esa manera permitan que el motor continúa desempeñando funciones para las cuales fue diseñado, de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional específico; la condición y disponibilidad de sus sistemas productivos es un requisito indispensable para el cumplimiento de metas y objetivos.

En el capítulo I, Trata del planteamiento de estudio donde se explica los problemas que sufre el motor en estudio donde afecta negativamente en la planificación del proceso de desarrollo de la empresa dedicada al rubro de la minería.

En el capítulo II, Se trata acerca del marco teórico base del desarrollo de la presente investigación. Se realiza la fundamentación teórica (objetivos del Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad y Estrategias de desarrollo para la aplicación de la metodología) y sobre todo los pasos para aplicar la metodología a través de la confiabilidad en estudio.

En el capítulo III, Se trata de la metodología de investigación donde se detalla el nivel de población en donde se desarrolló, tipo de investigación aplicada al desarrollo de la presente investigación.

En el capítulo IV, Se desarrolla la solución del problema. Que consiste en el Análisis estratégico a través de la metodología de Deming donde se desarrolló las estrategias que involucra lo siguiente: la planificación y la formulación de

indicadores que midan la solución. Además, se valida la propuesta analizando, la confiabilidad del motor para dar mayor resultado a la investigación.

En los últimos años dentro de la empresa los costos de reparación del motor en estudio se han venido incrementando, esto hace necesario un estudio de ingeniería para detectar las principales causas que originan dichos problemas con la finalidad de definir acciones para minimizar la incidencia de estas y el impacto operacional que tales fallas ocasionan a la empresa.

Los resultados obtenidos después del estudio es alentador de las cuales se implementó un sistema de control basado en su confiabilidad, en partes del motor críticos, con el propósito de lograr una disminución en los costos, reducción de fallas inesperadas, disminuir procesos de actividades de mantenimiento predictivo rutinario, incrementar el tiempo entre falla, y por ende la efectividad de los activos.

Por tanto, para dar solución este problema, se determinarán la causa básica del mismo a través de la herramienta, diagramas de causa y efecto. Después de ello, se propone un sistema de control basado en la aplicación de la metodología del Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad en el ciclo de Deming soportando con la técnica del grado de confiabilidad.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del Problema

El problema identificado a analizar en la presente investigación es de un motor eléctrico de inducción de 300 hp perteneciente a la compañía minera Casapalca en sus instalaciones de dicha compañía minera. Ya que a menudo sufre de paros imprevistos, por parte de sus componentes de dicho motor que trae como consecuencia una baja confiabilidad operacional del motor, cabe señalar que no se tiene ninguna planificación.

1.1.2. Impacto Económico

Las consecuencias económicas de las interrupciones imprevistas se calculan con las pérdidas ocasionadas y retrasos de producción de mineral.

- **El Aumento de Retrasos de Producción**

Se han generado retrasos en la entrega en el tiempo estipulado de la producción final poniendo en riesgo la rentabilidad de la empresa por los altos costos que pueden representar las pérdidas como consecuencia de la producción "diferida en el mineral" reflejando ello en pérdidas cuantificables de dinero, lo que a su vez también afecta de manera directa la confiabilidad del proceso.

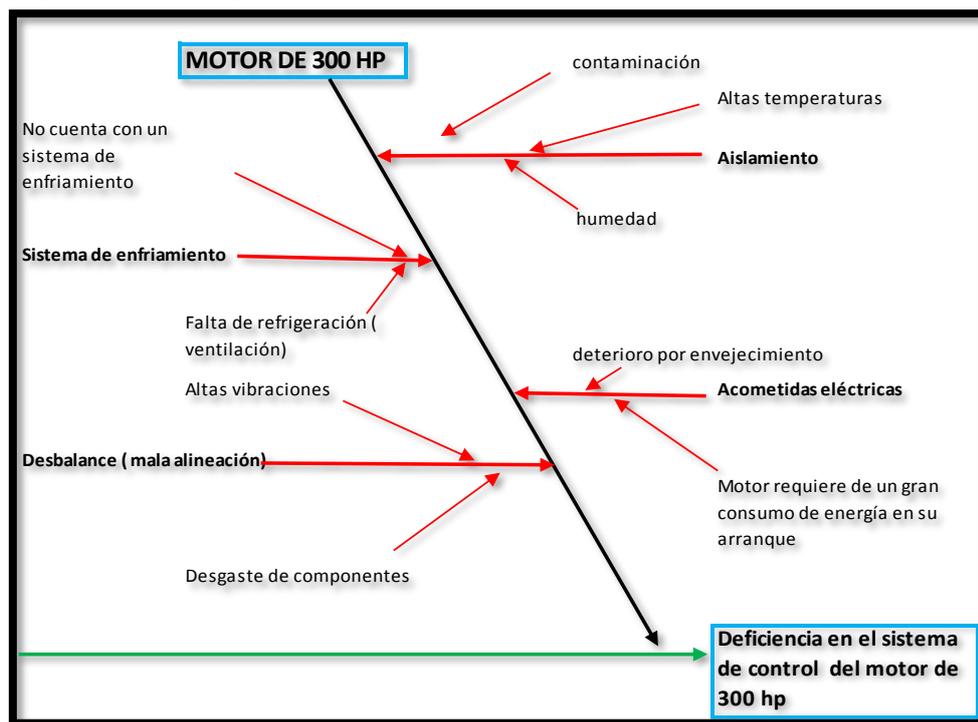
- **El Aumento de Costo de Mantenimiento Correctivo**

Costo por empresas terciarias por realizar mantenimientos correctivos a consecuencia de las paradas imprevistas del motor de 300hp.

1.1.3. Identificación de Efectos y Causa

Con la finalidad de analizar el comportamiento del motor eléctrico, en estudio se procedió a estudiar con el fin de determinar los factores que afectan a la confiabilidad operacional del motor ya que nos permite identificar los problemas relacionados que se están suscitando de dicha máquina.

Figura N°. 1.1. Diagrama Causa- Efecto



Fuente: Elaboración propia.

Con el apoyo de la técnica de árbol de problemas se ha determinado los efectos e identificado las causas raíz del problema.

Producto de las paradas a frecuencia mente de dicho motor en estudio lo cual trae como consecuencias costos de mantenimiento y de operaciones, por empresas terciarias por costos de mantenimiento correctivo.

Las causas más relacionadas con el problema son la operación inadecuada hacia el motor y la falla propia del motor. La causa raíz identificadas para la operación inadecuada es insuficiente preparación del personal a cargo de operaciones, esto debido a la

falta de estándar, procedimientos y entrenamiento del personal para operación y maniobras. Cabe señalar también que hay un alto nivel de contaminación hacia el motor, así como el envejecimiento prematuro de los mismos componentes.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

La interrogante principal de la presente investigación es:

¿Qué sistema de control existente, no permite mejorar la confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Qué sistema de control de análisis tecnológico existente, no permite mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca?
- ¿Qué sistema de control metodológico existente, no permite mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de control, mediante el estudio de Análisis tecnológico de Modos de Falla, Efectos y Criticidad que permitirá evaluar y mejorar el nivel de confiabilidad operacional del motor de inducción de 300 hp.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio análisis basado en la causa y raíz del problema del motor con el fin de determinar los factores que afectan a la confiabilidad operacional del motor ya que nos

permite identificar los problemas relacionados que se están suscitando de dicha motor

- Desarrollar la metodología AMFEC aplicado al motor que nos permitirá conocer el nivel de confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp perteneciente a la compañía minera Casapalca.

1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

1.4.1. Justificación Técnica

El presente trabajo busca desarrollar una metodología tecnológica de estudio, ya que permitirá evaluar y mejorar la confiabilidad operacional del motor eléctrico de inducción de 300hp lo que permitirá realizar pasos para decidir aquello que debe hacerse, y de la mejor manera de hacerlo, supervisando los procesos realizados con respecto al logro de los rangos establecidas, evaluando el nivel de confiabilidad de las medidas adoptadas e identificar parámetros que se deben mejorarse.

1.4.2. Justificación Económica

Si se aplica esta metodología se reducirían los costos de mantenimiento correctivo que frecuentemente la compañía da por concesionaria a empresas terciarias para realizar trabajos de mantenimiento correctivos a dicho motor, ya que es posible reducir costos en beneficio para la empresa.

Importancia

La implementación del sistema de control tiene como finalidad aportar metodologías para evaluar y decidir, ya que va a beneficiar en la mejora continua para contar con el motor eléctrico operativo y disponible, minimizando en lo posible las paradas intempestivas. Asimismo, se va a tener un control constante de manejo de indicadores y análisis exhaustivo de fallas por sistemas y componentes.

1.4.3. Alcances

La relevancia de este estudio se fundamenta en la necesidad que tiene la superintendencia de mantenimiento y el taller central de dicha compañía minera Casapalca, en optimizar el proceso específicamente en el área en estudio con la finalidad de reducir el índice de fallas que presenta el motor de 300hp.

Tomando en cuenta el déficit actual de los mismos que presenta la compañía significando para la empresa pérdida de capital.

La metodología contribuirá con un mejor uso de los recursos.

1.4.4. Delimitaciones.

El presente estudio se desarrollará en la división de la planta de específicamente en el área de chancado de mineral ubicado el motor eléctrico en estudio ,que es el principal impulsor del proceso de la planta ,ya que fallan con mucha frecuencia causando interrupciones en la producción, provocando pérdidas de ingresos que pueden muchas veces extender el costo mínimo del motor como también retrasos importantes de la entrega de producción final.

1.4.5. Limitaciones

El presente estudio no incluirá los sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos, del motor en estudio, pero se tiene previsto que a futuro se puede implementar el sistema de control AMFEC para los demás maquinas instaladas.

1.5. HIPOTESIS Y DESCRIPCION DE VARIABLE

1.5.1. Hipótesis General

El sistema de control, mediante la aplicación de un Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad, que permitirá tener un análisis del nivel de confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp de la compañía minera Casapalca.

1.5.2. Hipótesis Específicas:

- El análisis de confiabilidad hacia las partes del motor en estudio permitirá tener resultados de modos de falla y efectos, criticidad de cada componente.
- La realización de una planificación, hacer, verificar y actuar nos permitirá desarrollar un proceso de análisis para llegar a la solución al problema que se viene estudiando, en mejora y beneficio hacia la compañía minera Casapalca.

Tabla N°.1.1: Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable Dependiente: Confiabilidad Operacional		
Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Es una serie de procesos de mejora continua a través de metodologías de análisis tecnológicos matemáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de falla - Tiempo de reparación - Disponibilidad - Control 	El resultado de la confiabilidad operacional se medirá en porcentajes de nivel de confiabilidad.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°.1.2: Operacionalización de la Variable Independiente

Variable Independiente: sistema de control del motor de 300hp		
Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Es un conjunto de lineamientos y análisis aplicados al motor en estudio.	<ul style="list-style-type: none"> - Rotor - Estator - Eje - Devanados - Caja de bornes 	<ul style="list-style-type: none"> - Torque eléctrico - Campo magnético - Torque de trabajo - Bobinas - Diagrama de conexiones

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Nacional

AGUILAR BONIFACIO, R. Propuesta de mejora en la gestion del mantenimiento de subestaciones de transmision en una empresa de distribucion de energia electrica. Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2016. Este trabajo presenta una de las alternativas en la determinación de gestión llegando a determinar un método modificado que se aplicará a los activos de mayor grado de criticidad en el estudio es de vital importancia porque contribuye en la al estudio de criticidad y a la solución de los problemas en el cumplimiento de las normas legales del mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico.

CORDOVA MORALES C.R .Implantacion del mantenimiento centrado en las confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores peirce smith de la funcion de cobre de southern peru copper corporation. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2005. En la presente investigación, se pretende la aplicación de la metodología propuesta, para dar un aporte a la solución de los problemas encontrados en la aplicación del control de la presente tesis

BECERRA AREVALO G y PAULINO ROMERO J. Analisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestion del mantenimiento preventivo de los equipos de la linea de flotacion en un centro minero. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2012. En la presente investigación, se recopila información para la aplicación de la metodología propuesta, de esa

manera tener un mayor control de los componentes y partes que contiene el motor en estudio.

DA COSTA BURGA M .Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en posos de alta producción. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2010. En la presente investigación, nos enseña a dar un aporte a la solución de los problemas suscitados en la presente tesis de estudio y la verificación de los componentes con mayor grado de criticidad.

2.1.2. Internacional

GARCIA GONZALES Q.J.Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica. Tesis de master, Universidad Pontificia Comillas, Madrid (España), 2004. En este trabajo de investigación se llevó a cabo el desarrollo de una metodología de control que será de mucho apoyo para realizar nuestra tesis con respecto al mantenimiento basado en el riesgo (RBM).

LEONARDO MONTAÑA, R.Diseño de un sistema de control con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa acerías del río S.A.. Tesis de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica, Colombia, 2006. En lo referente a la experimentación se efectuaron ensayos de control, además se realizaron ensayos con el motor eléctrico trifásico trabajando al vacío y a plena carga. Son diseñados para un trabajo dado.

GONZALES ROJAS R, M.Diseño estrategia centrada en la confiabilidad para minera Spence S.A. Tesis de grado, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas del Departamento de Ingeniería Industrial, 2006. Entre los objetivos de la realización de esta tesis de Calidad de estrategia centrada en la confiabilidad es encontrar soluciones efectivas para corregir los disturbios y

variaciones y proponer conclusiones para corregir las fallas o problemas que se presenten en el estudio.

CERRA VERGARA M,A. y PACHECO TERAN, L,D.Mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en tecnicas predictivas: vibraciones, termografia y mediciones de parametros electricos; para las maquinas e instalaciones electricas presentes en los activos y servicios de cotcmar. Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Bolvar Facultad de Ingenieria, 2012. El propósito de extraer esta tesis fue con un propósito de apoyo para plantear una metodología para obtener el grado de criticidad de objeto en estudio , y por medio de la información que éste arroja, analizar y dar soluciones a las perturbaciones de las ondas de tensión y corriente, desbalance de carga, factor de utilización de los transformadores, sobretensiones, análisis del factor de potencia, eventos de tensión y otros parámetros correspondientes a la calidad del suministro eléctrico, además especificar el impacto económico de dichas deficiencias.

MENDOZA CARVAJAL C.Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores electricos de induccion. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andres, Bolibia, 2016. Con este trabajo se pretende dar a conocer las fuentes y efectos principales de estudio centrados en los motores eléctricos de inducción, así como también exponer la metodología básica de análisis del problema críticos. Normalmente las metodologías centrado en la confiabilidad se reducen sólo a niveles permisibles y seguros, normalizados por estándares, En los estudios críticos se modelan equivalentes mediante paquetes computacionales con los que se obtiene valiosa información del comportamiento del motor, en este trabajo.

2.2. BASES TEÓRICAS

Para los autores Parra y Crespo afirman que para realizar un sistema de control de manera eficaz y eficiente primero se deben entender los siguientes aspectos:

“El proceso de control de mantenimiento, tiene un curso de acción, es decir, una serie de pasos a seguir. (Parra y Crespo 2012:1).

- a) La definición de la estrategia de control: Requiere de la definición de los objetivos de control. El diseño de una estrategia alineada a los planes de negocio es clave y condiciona la ejecución de los objetivos.
- b) La implementación de las metodologías de control: Está relacionada con la habilidad para asegurar niveles de adecuados de formación de personal, de preparación de trabajos y selección de herramientas.

2.2.1. Sistema de Control Centrado en la Confiabilidad

Según Amendola el sistema de control centrado en la confiabilidad es utilizada para determinar sistemáticamente , que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente (...) asegure que el activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional (...) este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente o a su confiabilidad inherente de operación “(Amendola S/f:4) .

Por otro lado, **Gonzales francisco** opina que el sistema de control centrado en la confiabilidad es una técnica organizativa y como tal requiere la integración de varias metodologías organizativas para alcanzar los objetivos y asegurar la confiabilidad de los activos.

Según **García Olivero** el sistema de control centrado en la confiabilidad es una herramienta que permite asegurar la confiabilidad operacional de cualquier activo para cumplir su función dentro de un contexto operacional , realizando el análisis de los modos de falla de sus componentes o equipos críticos y evaluando sus consecuencias; a fin de determinar sus estrategias efectivas

para asegurar la continuidad de la función y que esta sea económica rentable para la empresa (García Oliverio 2006: 89).

2.2.2. Beneficios de un Sistema de Control Centrado en la Confiabilidad

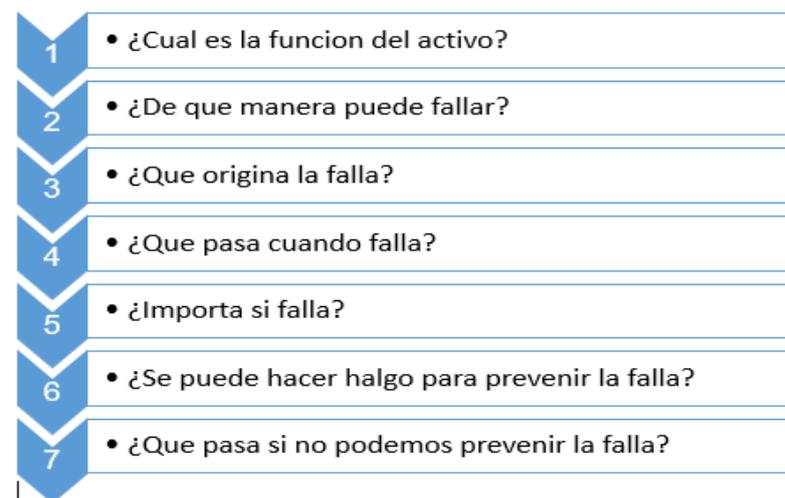
Los beneficios potenciales de un sistema de control centrado en la confiabilidad según (Amendola 23-26):

- Mejora de la seguridad del equipo o máquina, en la revisión sistemática de las consecuencias de cada fallo y las estrategias para prevenirlo, mejora de los dispositivos de seguridad, intervenciones innecesarias, reduciendo la exposición.
- Mejora el rendimiento operativo, gracias al mayor énfasis de mantenimiento en los componentes o equipos críticos, rápido diagnóstico de modos de fallas debido a los análisis previos, reducción de la frecuencia del mantenimiento.

2.2.3. Definición de AMFEC

El análisis de modos de fallas, efectos criticidad es una técnica de metodología propuesta para esta tesis, que nos permitirá evaluar y prevenir los fallos y sus efectos en un proceso, de servicio, estudio que se implementará para este estudio de tesis.

Figura N° .2.1 : Esquema de Conducción del AMFEC



Fuente: Amendola S/F

En la figura N°.2.1 muestra la propuesta de Amendola, en el cual se hallan las siete preguntas del AMFEC, que permite identificar los efectos o secuencias de los modos de fallos de cada equipo dentro de su ambito operacional .

2.2.4. Objetivos del AMFEC

El objetivo principal es analizar los acontecimientos criticos para de esta manera mejorar la confiabilidad operacional , y disponibilidad de dicho motor en estudio.

Flujograma de Analisis de Modos de Falla y Efectos Criticidad

El analisis de modos de falla, Efectos y criticidad se puede desarrollar siguiendo e flujograma indicando en la figura N°2.1 que se muestra.

Tabla N°.2.1: *Formato de AMFEC*

ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)															
SISTEMA DE ACTIVO:					RESP. DEL ACTIVO:					REVISION:					
ACTIVO:					DPTO. RESPONSABLE:					PAGINA:					
MARCA /MODELO/AÑO FAB/NIVEL DE TENSION:					FMECA PREPARADO POR:					FECHA DE REVISION:					
Item/ Funcion	Modo de Falla	Efectos de Falla	Serv	Causa	Ocu.	Controles Actuales	Det.	NPR	Accion Recomendada	Responsable / Fecha	Acciones Tomadas	Serv.	Ocu.	Det.	NPR
SEVERIDAD			OCURRENCIA				DETECCION				RIESGO				
APENAS PERCEPTIBLE			MUY REMOTA				MUY ALTA				BAJO				
POCA IMPORTANCIA			MUY PEQUEÑA				ALTA				MODERADO				
MODERADAMENTE GRAVE			PEQUEÑA				MODERADA				ALTO				
GRAVE			MODERADA				PEQUEÑA				EXTREMADAMENTE ALTO				
ESTREMADAMENTE GRAVE			ALTA				MUY PEQUEÑA								
			MUY ALTA				REMOTA								

Fuente: Amendola 2012

2.2.5. Ciclo de Deming

Es una metodologia que se aplicara para esta presente estudio que describe los cuatro pasos esenciales que se deben llevar a cabo de

forma sistemática para lograr la mejora continua que permitiera evaluar y controlar la confiabilidad operacional del motor en estudio.

cuatro pasos del ciclo de Deming que se aplicara para dar la solución a la presente investigación:

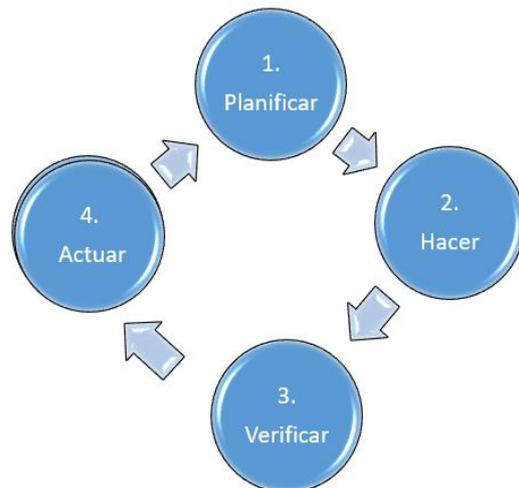
planificar: consistirá en planificar los objetivos de estudio suscritos en la presente tesis.

Hacer: realización de las tareas de acuerdo a lo planeado aplicando las metodologías tecnológicas para saber el grado de nivel de confiabilidad del motor y sus componentes .

Verificar: Revisar los resultados obtenidos, comparar los resultados antes y después de la implementación de la metodología y del estudio de su confiabilidad de cada componente.

Actuar: se refiere a proponer mejoras continuas a los procesos ya implementados implantando planes de mantenimiento, orden de trabajo, etc .

Figura N°.2.2: *Ciclo de Deming*



Fuente: Deming 2012

Según “**Vinasco** 2015 - 2” su objetivo de la implementación del Ciclo de Deming en la solución de problemas es crear una cultura organizacional en la aplicación de una metodología para resolver problemas.

Aplicación del Ciclo de Deming

Como punto de partida se tomo para este estudio el diagrama de causa – efecto “Vinasco 2015 - 4”, que nos da como alternativa para detallar los problemas criticos que se sucitan en el motor en estudio la cual nos permitira tomar decisiones .

2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS

a) Tiempo Medio Entre Fallas

Es un indicador que permitirá medir la frecuencia entre fallas promedios enfocándose a una medida de la confiabilidad del motor, es el tiempo promedio que el motor en estudio cumpla su función sin interrupción debido a una falla funcional.

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos x Tiempo Operativo}}{\text{Nº de Fallas}}$$

b) Tiempo Medio Para la Reparación

Es el tiempo promedio para restaurar la operatividad del motor después de una falla.

$$\text{TMPR} = \frac{\text{Demora de Tiempo por Fallas}}{\text{Nº de Fallas}}$$

c) Disponibilidad

Es el porcentaje de tiempo en que está operativo o va funcionar a cualquier instante. La unidad de medida pueden ser horas, días.

$$\text{DISP} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}}$$

d) Confiabilidad

Es la probabilidad de que el motor opera de forma satisfactoria durante el tiempo que dure el trabajo, sin presentar anomalías.

$$R(t) = e^{-xt}$$

- **Grado de Criticidad**

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre colores: rojo, naranja, amarillo, verde donde cada color tiene su propio significado para este tipo de investigación.

- **Motor de inducción**

Estos tipos de motores opera bajo el principio de inducción electromagnética estos tipos de motores no llega a trabajar nunca a su velocidad síncrona los motores de inducción también son conocidos comúnmente como motores asíncronos entre sus partes más principales tenemos:

a. Estator

b. Rotor

c. Carcasa

d. Auxiliares: tapas anterior y posterior, chumaceras, tornillos de sujeción, caja de conexiones, base o soporte.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Metodología de Diseño en Ingeniería Eléctrica

El método general de la investigación fue método analítico. En el cual se observó hechos particulares de control aplicado al área de estudio, para luego formular proposiciones que son contrastadas con la realidad. Todo ello se realizó por medio del análisis de datos de dos modelos específicos basada en la norma IEC 60300-3-11 es el documento a partir del cual se ha extraído la estructura al plan metodológico, Posteriormente se determinará una alternativa de solución óptima y se realizaran todo el cálculo matemático basado en la confiabilidad para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control.

3.1.2. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo básico,

Porque se hizo el análisis en base al grado de criticidad del motor en estudio

3.1.3. Nivel de Investigación

La investigación es de nivel descriptivo Tiene como propósito buscar las relaciones entre las variables del objeto de estudio, en este caso estas variables son el sistema de control y la confiabilidad operacional.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En éste caso no se aplica la correlación porque, la teoría de metodología demuestra físico matemáticamente esa relación mediante las fórmulas de

cálculo matemático del porcentaje total y los indicadores, lo que se pretende es saber: ¿Qué porcentaje de aplicación demuestra antes y después de la aplicación de la metodología tecnológica?, teniendo en cuenta que es el único motor en estudio, considerando que existen otras metodologías descritos en el marco teórico.

3.2.1. Población y Muestra

Población

El objeto de estudio en la presente investigación es el motor trifásico de inducción de 300 hp de la compañía minera casapalca.

Muestra

Debido a que la población es un solo objeto de estudio, se considera como muestra la adquisición de los valores de tiempo medio entre fallas (TMEF) y tiempo para la reparación (TMPR) y la disponibilidad con la finalidad de saber su nivel de confiabilidad del motor siguiendo la norma IEC 60300-3-11 el registro de datos se programó para un tiempo de 1 año conocido como periodo de medición, comenzando el lunes 23 de setiembre de 2016 y culminando el domingo 22 de agosto de 2017, el muestreo se realizó a inicio de la cuarta semana de cada mes como lo establece la norma, conocido como intervalo de medición, obteniéndose 12 muestras.

3.3. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

Para diseñar el plan de mantenimiento del motor eléctrico de inducción trifásica de la Planta UM-2 de la compañía minera Casapalca se emplearon una serie de técnicas e instrumentos tales como:

- Observación Directa.

La observación directa permitió conocer e identificar cada una de las actividades, tecnología, metodologías y procedimientos de

mantenimiento realizados en el taller central de la planta UM- 2 de la compañía minera.

➤ Entrevista.

Fueron realizadas de una manera estructurada y abierta, mediante esta práctica fue posible recopilar información técnica, de gran importancia para el desarrollo de esta investigación.

Por medio de conversaciones con el personal técnico, operadores de planta, personal de mantenimiento, entre otros.

Con la finalidad de obtener una información no sesgada, precisa y detallada acerca de las fallas, labores de mantenimiento y funcionamiento de los equipos, por medio de una serie de preguntas abiertas y aleatorias surgidas de las necesidades pertinentes a dudas o temas específicos, que permitieron realizar un diagnóstico de la situación actual.

3.3.1. Técnicas de Análisis de Datos

➤ Inspección Directa Visual y Lectura de Resultados e Indicadores.

En la siguiente tabla se muestra el número de fallas del motor de inducción de 300 hp durante el periodo de control del 2016. Ya que se detalla las partes principales del motor, realizando las fallas en los periodos determinados sin la aplicación de la metodología implantada.

ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC)															
SISTEMA DE ACTIVO: MOTOR ELECTRICO 300 HP					RESP. DEL ACTIVO: ING. EDWIN OLIVERA					REVISION: AMFEC					
ACTIVO: MOTOR ELECTRICO					DPTO. RESPONSABLE: SEB GERENCIA DE MANTENIMIENTO					PAGINA: 01					
MARCA / MODELO / NIVEL DE TENSION : NIVEL DE TENSION / WEG/ 4160 V					FMECA PREPARADO POR: BACH. ALVER DE LA CRUZ MEZA					FECHA DE REVISION: 2016					
Item/ Funcion	Modo de Falla	Efectos de Falla	Sev	Causa	Ocu.	Controles Actuales	Det.	NPR	Accion Recomendada	Responsable/ Fecha	Acciones Tomadas	Sev.	Ocu.	Det.	NPR
1.1. No da partida, acoplado ni desacoplado	Falla en el conexionado	Daño interno del acople (inter 3 horas)	9	los cables de conexión estan sueltos, sin tension	9	Revisión de mantenimiento correctivo	9	729	Verificación del tablero de control, los cables de conexión	M.Gomez 01/02/2016					
			9	Problema con los componentes eléctricos	9	Revisión de mantenimiento correctivo	8	648	los componentes pueden que estan desconfigurados o mal configurado	M.Gomez 01/02/2016					
	Falla en el interruptor o equipos que componen	Daño interno en los componentes (1 hora)	9	Soporte dañado	8	Revisión de mantenimiento correctivo	8	576	Sustituya el soporte	M.Gomez 01/03/2016					
SEVERIDAD			OCURENCIA			DETENCION			RIESGO						
APENAS PERCEPTIBLE			1	MUY REMOTA	1	MUY ALTA	1	BAJO 1 a 135							
POCA IMPORTANCIA			2 a 3	MUY PEQUEÑA	2	ALTA	2 a 3	MODERADO 136 a 150							
MODERADAMENTE GRAVE			4 a 6	PEQUEÑA	3	MODERADA	4 a 6	ALTO 151 a 501							
GRAVE			7 a 8	MODERADA	4,5,6	PEQUEÑA	7 a 8	EXTREMADAMENTE 502 a 1000							
ESTREMADAMENTE GRAVE			9 a 10	ALTA	7, 8	MUY PEQUEÑA	9								
				MUY ALTA	9,10	REMOTA	10								

ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC)															
Item/ Funcion	Modo de Falla	Efectos de Falla	Sev	Causa	Ocu.	Controles Actuales	Det.	NPR	Accion Recomendada	Responsable/ Fecha	Acciones Tomadas	Sev.	Ocu.	Det.	NPR
1.2. Motor parte en vacio, pero falla al aplicarse carga. Parte muy lentamente y no alcanza la rotacion nominal.	Arranque en el motor	posible roptura en el acople	10	Tension de alimentacion muy vaja	6	Mantenimiento preventivo del motor	7	420	Medir la tension de alimentacion ,ajustar en valor correcto	M.Gomez 01.03.2017	cambio de cable desde la matriz				
				Caida muy grande de la tension en los cables					Verificar el calculo de la instalacion(transformador ,gruesor del cable)	C.Contreras 01.03.2017					
				Rotor en barras falladas o interrumpidas					Verificar y arreglar las bobinas del rotor (jaula)	M.Gomez 01.03.2017					
1.3. Calentamiento localizados en las bobinas del estator	No actua el sensor	daño al estator	6	Corto circuito entre espiras	4	Prueba de indicador del nivel de temperatura	6	144	Reembobinar	M.Gomez 01.03.2017	Rebobinar el estator				
				Interrupcion de alambres o fases de las bobinas del estator					Rehacer la conexión	C.Contreras 01.03.2017					
1.4. Ruido anormal durante el funcionamiento en carga	falla en el inducido	daño al personal de mantenimiento	5	Causas mecanicas	3	Ninguno	8	120	El ruido normalmente disminuye con la caída de rotacion;ver tambien: funcionamiento ruidoso cuando desacoplado	C.Contreras 01.03.2017					
				Causas electricas					El ruido desaparece al desconectarse el motor	C.Contreras 01.03.2017					
1.5. la corriente en vacio esta muy alta	falla de corriente	calentamiento de las bobinas	4	Tension de conexión muy elevada	2	Medicion de corriente(cada mantenimiento preventivo del motor)	8	64	Medir tension de conexión y ajustarle al valor correcto	C.Contreras 01.03.2017					

ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC)															
Item/ Funcion	Modo de Falla	Efectos de Falla	Sev	Causa	Ocu	Controles Actuales	Det	NPR	Accion Recomendada	Responsable/ Fecha	Acciones Tomadas	Sev	Ocu	Det	NPR
1.6. Bobinas del estator calientan mucho con carga muy baja.	Falla estatorica	Quemadura de bobinas del estator	9	Refrigeracion insuficiente debido a los canales de aire sucios	7	Pruebas electricas(bobinas del estator)	7	441	Abrir y limpiar los canales de pasaje de aire	M.Gomez 01.03.2017					
				Tension muy alta, como consecuencia, las perdidas en el hierro son muy altas					No sobrepasar a 110 % de la tension nominal	C.Contreras 01.03.2017					
				Rotor se arrastra contra el estator					Verificar el entrehierro, condiciones de funcionamiento(vibraciones condiciones de los soportes)	M.Gomez 01.03.2017					
1.7. Vibraciones al equilibrio de sus partes giratorias	Falla en el motor	Desequilibrio del rotor	8	Una asimetria en el entrehierro	7	Mantenimineto correctivo	9	504	Mayor control en el rotor y estator	M.Gomez 01.03.2017					
									Verificar el entrehierro.	C.Contreras 01.03.2017					
1.8. Operación ruidosa cuando desacoplado	Falla en acople	Falla del motor interrupcion de servicio	5	Desbalanciamiento	4	Inspeccion del motor	6	120	El ruido continua durante la desaceleracion despues de desconectar la tension; hacer nuevo balenciamiento	C.Contreras 01.03.2017					
				Tornillos de fijacion sueltos					Reapretar y trabar los tornillos	C.Contreras 01.03.2017					
1.9.Calentamiento localizado en el rotor	Falla en el motor	Falla del rotor	8	Interrupciones en las bobinas del rotor	8	Inspeccion del motor	9	576	Arreglar las bobinas del rotor o sustituirlas	C.Contreras 01.03.2017					

Tabla 3.1: Fallas en el Motor Eléctrico de 300 Hp (Ene-Abrí 2016)

FALLAS DEL MOTOR ELECTRICO DE 300 HP														CONTROL: 2016			
MESES	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Rotor																	
Barra de Montaje																	
Alabes																	
Rodamientos Delanteros																X	
Rodamientos Trasero			X														
Eje																	
Estator																	
Nucleo del Estator																	
Bobinas del Estator							X										
Arrollamiento Estatorico																	
Ranuras Dientes																	
Auxiliares																	
Ventilador																	
Caja de Bornes											X						
Terminales Alimentador																	
Casquete de Soporte				X													
Tapa del Ventilador																	
Casquete de Soporte Lado Principio de Arbol																	

Tabla: 3.2. Fallas en el Motor Eléctrico de 300 Hp (May-Agos2016)

FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS																CONTROL: 2016	
MESES	MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Rotor																	
Barra de Montaje																X	
Alabes																X	
Rodamientos Delanteros																	
Rodamientos Trasero																	
Eje				X													
Estator																	
Nucleo del Estator																	
Bobinas del Estator											X					X	
Arrollamiento Estatorico																	
Ranuras Dientes															X		
Auxiliares																	
Ventilador																	
Caja de Bornes							X										
Terminales Alimentador																	
Casquete de Soporte																	
Tapa del Ventilador															X		
Casquete de Soporte Lado Principio de Arbol																	

Tabla: 3.3 Fallas en el Motor Eléctrico de 300 Hp (Set-Dic. 2016)

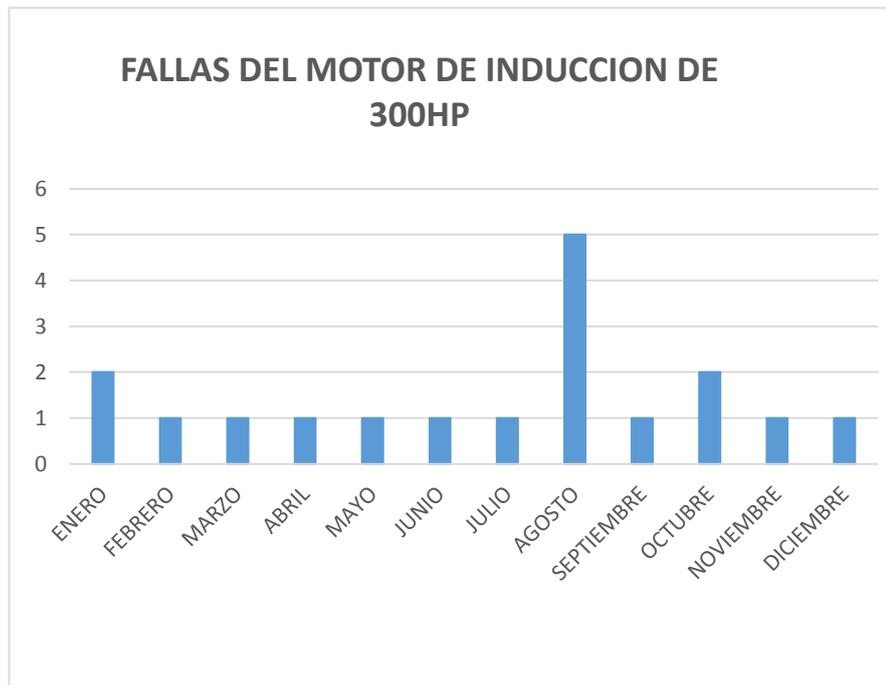
FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS																CONTROL: 2016	
MESES	SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Rotor																	
Barra de Montaje																	
Alabes															X		
Rodamientos Delanteros																	
Rodamientos Trasero							X										
Eje																	
Estator																	
Nucleo del Estator																	
Bobinas del Estator																	
Arrollamiento Estatorico																	
Ranuras Dientes							X										
Auxiliares																	
Ventilador																	
Caja de Bornes																	
Terminales Alimentador										X							
Casquete de Soporte				X													
Tapa del Ventilador																	
Casquete de Soporte Lado Principio de Arbol																	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.4 Motor de Inducción de 300 Hp Número de Fallas

Nº	Mes	Día	Falla
1	Enero	22	2
2	Febrero	20	1
3	Marzo	21	1
4	Abril	20	1
5	Mayo	22	1
6	Junio	20	1
7	Julio	21	1
8	Agosto	23	5
9	Septiembre	22	1
10	Octubre	21	2
11	Noviembre	21	1
12	Diciembre	22	1
TOTAL		255	18

Figura: 3.2 Grafica Falla Vs Tiempo



Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF)

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}} = \frac{15 \times 255}{18}$$

TMEF= 212 días

Tiempo Medio para la Reparación (TMPR)

Cada falla se repara en 0.5 día

$$\text{TMPR} = \frac{\text{Demora de Tiempo por Fallas}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}} = \frac{0.5 \times 18 \times 76}{18}$$

$$\text{TMPR} = 8 \text{ días}$$

Disponibilidad

$$\text{DISP} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} = \frac{226.17}{226.17 + 18}$$

$$\text{DISP} = 85\%$$

El porcentaje de tiempo muerto:

$$T_m = (100 - 85)$$

$$T_m = 15\%$$

Tasa de Falla

$$X_F = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{212}$$

$$X_F = 0.005$$

Confiabilidad

$$R(t) = e^{-xt} = e^{-(0.005 \times 255)}$$

$$R(t) = 27\%$$

Nº	Partes del Motor 300 HP	Nº Fallas	Nº Componentes
1	Barra de Montaje	1	1
2	Alabes	2	1
3	Rodamientos Delanteros	1	1
4	Rodamientos Trasero	2	1
5	Eje	1	1
6	Núcleo del Estator	1	1

Tabla 3.5 Resumen de Fallas del Motor de 300 Hp

Nº	Partes del Motor 300 HP	Nº Fallas	Nº Componentes
1	Barra de Montaje	1	1
2	Alabes	2	1
3	Rodamientos Delanteros	1	1
4	Rodamientos Trasero	2	1
5	Eje	1	1
6	Núcleo del Estator	1	1
7	Arrollamiento Estatorico	1	1
8	Ranuras Dientes	1	1
9	Bobinas del Estator	2	1
10	Caja de Bornes	2	1
11	Terminales Alimentador	1	1
12	Casquete de Soporte	2	1
13	Tapa del Ventilador	1	1
TOTAL		18	13

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de Confiabilidad por Componentes del Motor sin AMFEC

Barra de Montaje del Rotor

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$TMEF = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N° de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Alabes del Motor

- N° de fallas= 2
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{2} = 128 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{128} = 7.81 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(7.81 \times 10^{-3})(255)} = 0.13$$

Rodamientos Delanteros

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Rodamientos Traseros

- N° de fallas= 2
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{2} = 128 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{128} = 7.81 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(7.81 \times 10^{-3})(255)} = 0.13$$

Eje

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Núcleo del Estator

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Bobinas del Estator

- N° de fallas= 2
- N° de equipo= 1

$$V = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{2} = 128 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{128} = 7.81 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(7.81 \times 10^{-3})(255)} = 0.13$$

Arrollamiento Estatorico

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Ranuras

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Caja de Bornes

- N° de fallas= 2
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{2} = 128 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{128} = 7.81 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(7.81 \times 10^{-3})(255)} = 0.13$$

Terminales de Alimentación.

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Casquete de Soporte

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{212} = 4.71 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(4.71 \times 10^{-3})(212)} = 0.30$$

Tapa del Ventilador

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 255}{1} = 255 \text{ días}$$

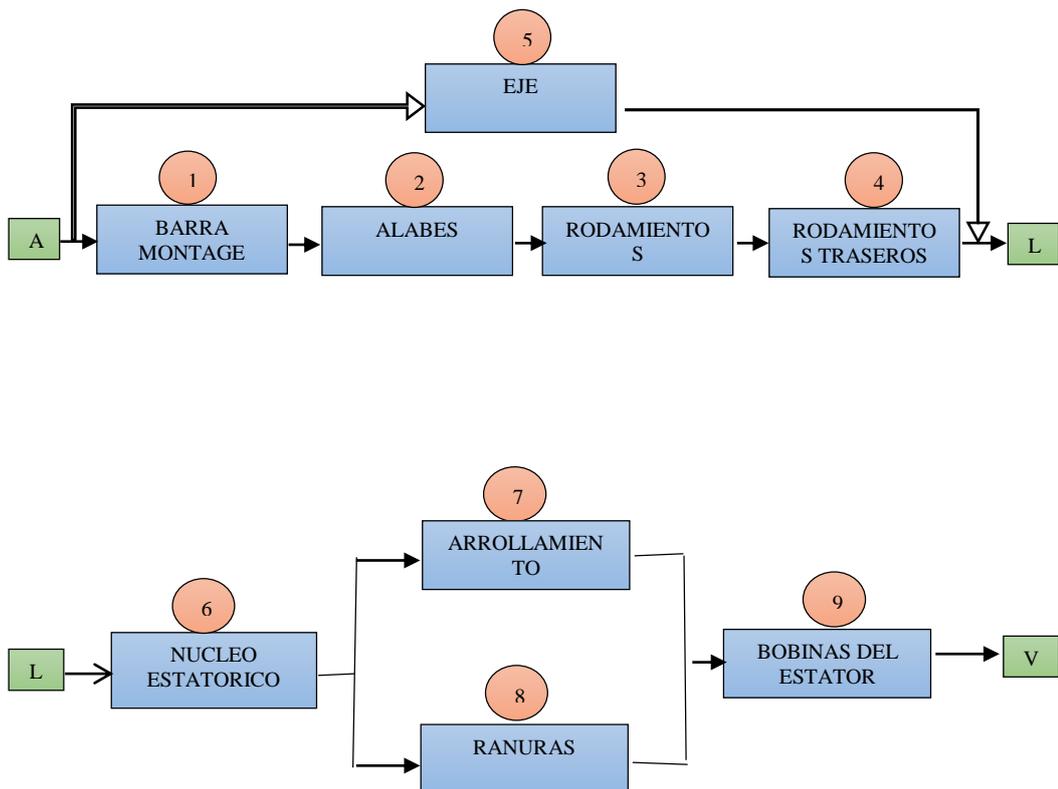
$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{255} = 3.92 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.92 \times 10^{-3})(255)} = 0.36$$

Tabla 3.6 Resumen de MTBF, Tasa de Fallas y Confiabilidad

Nº	Partes del Motor 300 HP	TMEF	X	R
1	Barra de Montaje	255	3.92×10^{-3}	0.36
2	Alabes	128	7.81×10^{-3}	0.13
3	Rodamientos Delanteros	255	3.92×10^{-3}	0.36
4	Rodamientos Trasero	128	7.81×10^{-3}	0.13
5	Eje	255	3.92×10^{-3}	0.36
6	Núcleo del Estator	255	3.92×10^{-3}	0.36
7	Arrollamiento Estatorico	255	3.92×10^{-3}	0.36
8	Ranuras Dientes	255	3.92×10^{-3}	0.36
9	Bobinas del Estator	128	7.81×10^{-3}	0.13
10	Caja de Bornes	128	7.81×10^{-3}	0.13
11	Terminales Alimentador	255	3.92×10^{-3}	0.36
12	Casquete de Soporte	128	7.81×10^{-3}	0.13
13	Tapa del Ventilador	255	3.92×10^{-3}	0.36

Estructura del Motor Eléctrico de Inducción de 300 Hp



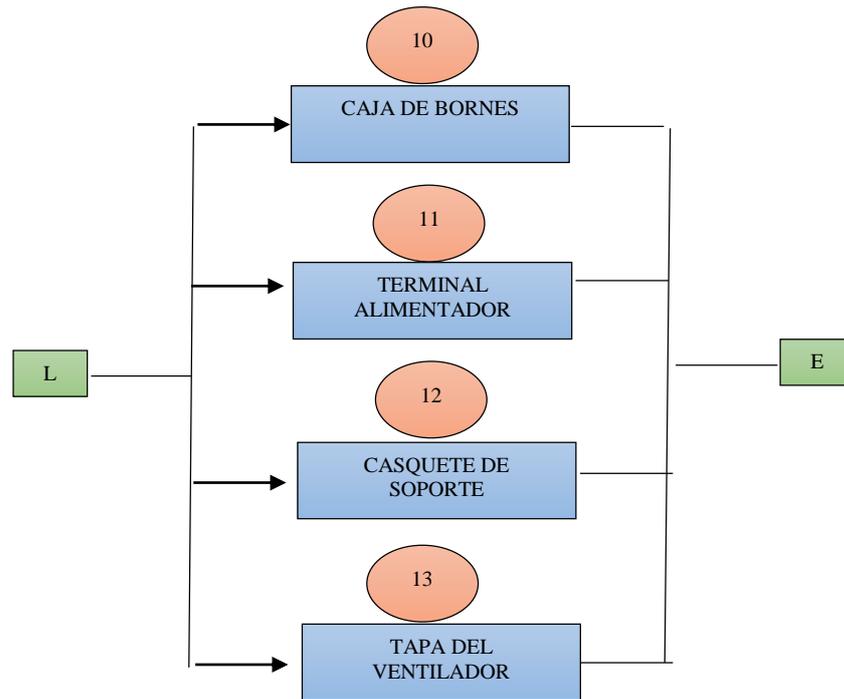
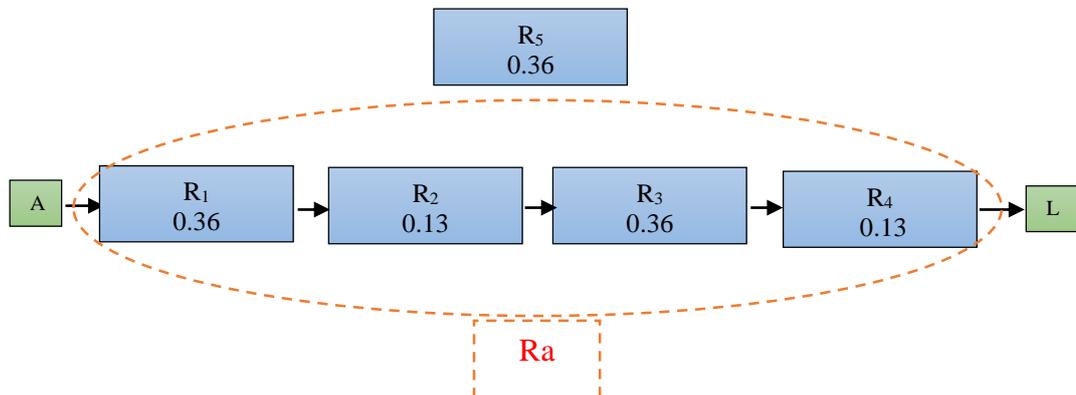


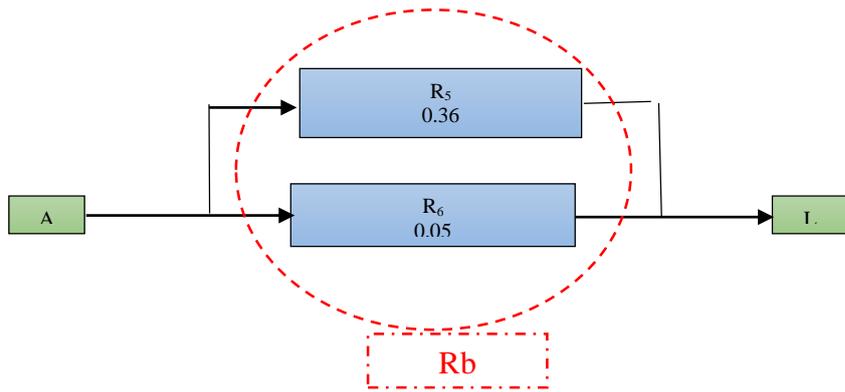
Figura 3.2. Estructura del motor de inducción de 300 HP



$$R_a = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_a = 0.36 + 0.13 + 0.36 + 0.13$$

$$\underline{R_a = 0.0021}$$

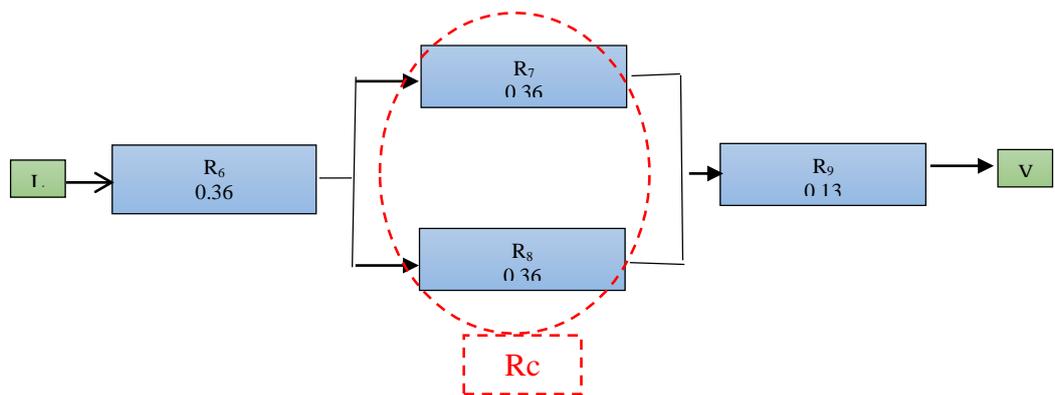


$$1-R_b = (1-R_5) (1-R_6)$$

$$1-R_b = (1-0.36) (1-0.0021)$$

$$1-R_b = (0.64) (0.9979)$$

$$\mathbf{R_b = 0.36}$$

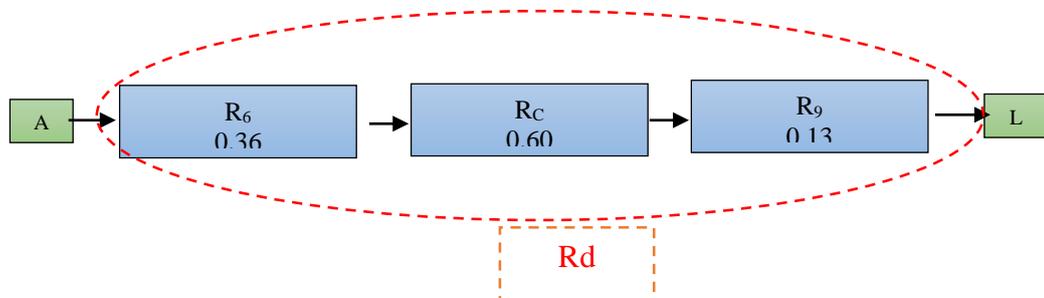


$$1-R_c = (1-R_7) (1-R_8)$$

$$1-R_c = (1-0.36) (1-0.36)$$

$$1-R_c = (0.64) (0.64)$$

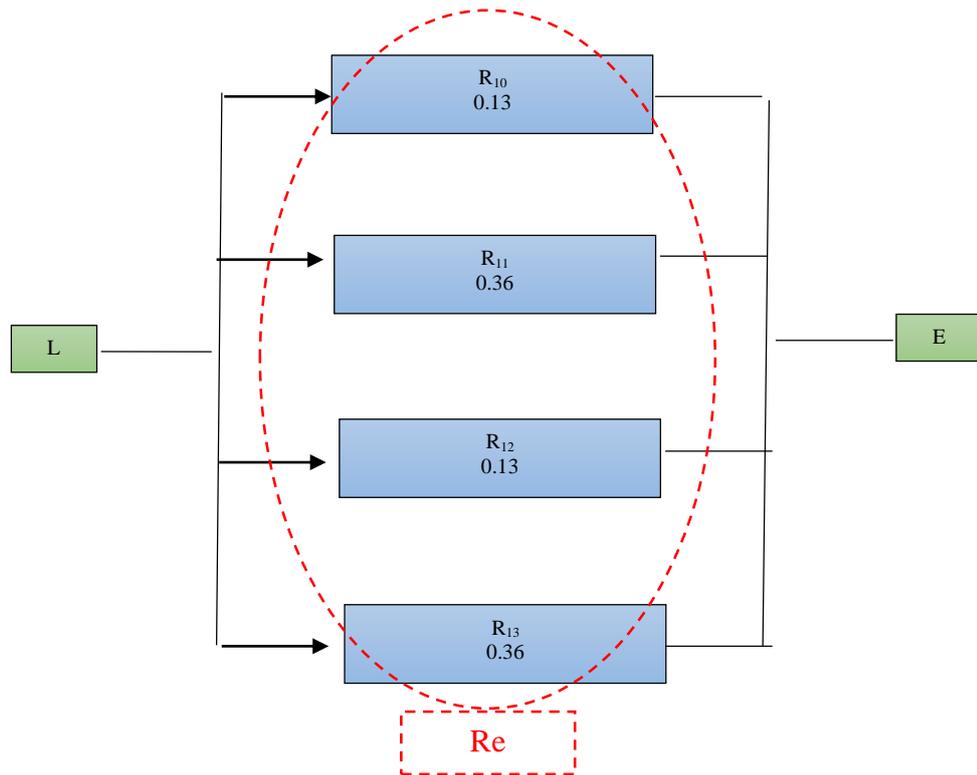
$$\mathbf{R_c = 0.60}$$



$$R_d = R_6 R_c R_9$$

$$R_d = 0.36 \times 0.60 \times 0.13$$

$$\mathbf{R_d = 0.028}$$



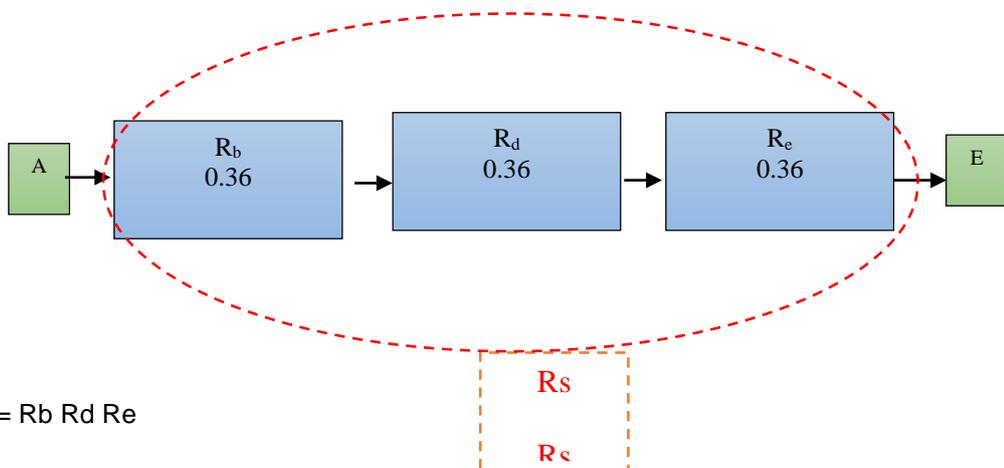
$$1-Re=(1-R_{10}) (1-R_{11}) (1-R_{12}) (1-R_{13})$$

$$1-Re= (1-0.13) (1-0.36) (1-0.13) (1-0.36)$$

$$1-Re= (0.87) (0.64) (0.87) (0.64)$$

Re=0.69

Finalmente, la confiabilidad total del motor de 300 HP del sistema Rs



$$Rs= R_b R_d R_e$$

$$Rs= 0.36 \times 0.36 \times 0.69$$

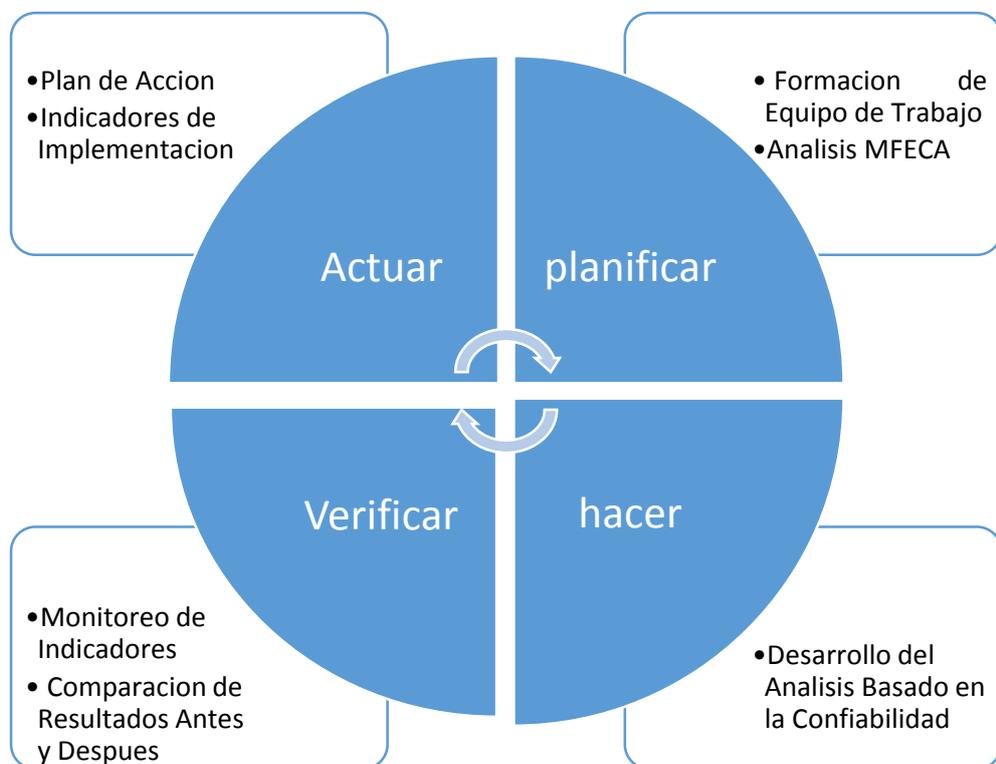
Rs=0.0069

3.3.2. Metodología Propuesta.

El diseño de un sistema de control propuesto se desarrollará utilizando la metodología FMECA centrado en la confiabilidad y el ciclo de Deming.

Para este tipo de sistema de control de mantenimiento propuesto se divide en 4 etapas (planificar, hacer, Verificar, Actuar)

Figura 3.3: Matriz de Desarrollo para la Solución de la Investigación



Fuente: Ciclo de Deming.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PRUEBA DE HIPOTESIS GENERAL

Para la verificación de la hipótesis, se tuvo en cuenta los estándares de la norma IEC 60300-3-11 donde es un sistema de control centrado en la confiabilidad.

Para determinar un sistema de control que permitirá mejorar la confiabilidad operacional del motor de inducción de 300 HP de la compañía minera casapalca se aplicará la metodología AMFEC que permitirá evaluar y analizar los resultados del antes y después el nivel de confiabilidad operacional del motor y acudiendo a los resultados de registro de falla obtenidos desde el mes de setiembre 2016 a agosto 2017

Tabla 4.1 Motor de 300 hp Número de Fallas (Sep.- Ago. 2017)

Nº	Mes	Día	Falla
1	Septiembre	23	0
2	Octubre	22	1
3	Noviembre	21	1
4	Diciembre	21	1
5	Enero	22	2
6	Febrero	21	1
7	Marzo	23	1
8	Abril	22	2
9	Mayo	22	1
10	Junio	21	3
11	Julio	23	0
12	Agosto	22	1
TOTAL		263	14

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.1 Falla Vs Tiempo

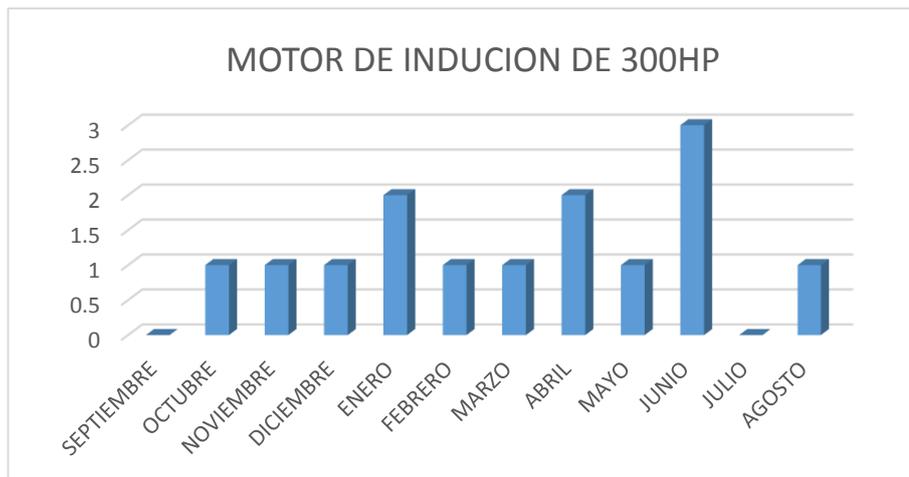


Tabla 4.2 Fallas en el Motor Eléctrico Aplicado MFECA (Set- Dic 2017)

FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS														CONTROL: 2017			
MESES	SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Rotor																	
Barra de Montaje								X									
Alabes												X					
Rodamientos Delanteros															X		
Rodamientos Trasero																	
Eje																	
Estator																	
Nucleo del Estator																	
Bobinas del Estator																	
Arrollamiento Estatorico																	
Ranuras Dientes																	
Auxiliares																	
Ventilador																	
Caja de Bornes																	
Terminales Alimentador																	
Casquete de Soporte																	
Tapa del Ventilador																	
Casquete de Soporte Lado																	
Principio de Arbol																	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.3 Fallas en el Motor Eléctrico Aplicando MFECA (Ene- Abr 2017)

FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS																CONTROL: 2017	
MESES	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Rotor																	
Barra de Montaje																	
Alabes																	
Rodamientos Delanteros																	
Rodamientos Trasero				X													
Eje								X									
Estator																	
Nucleo del Estator				X													
Bobinas del Estator											X						
Arrollamiento Estatorico															X		
Ranuras Dientes																	
Auxiliares																	
Ventilador																X	
Caja de Bornes																	
Terminales Alimentador																	
Casquete de Soporte																	
Tapa del Ventilador																	
Casquete de Soporte Lado Principio de Arbol																	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.4 Falas en el Motor Eléctrico Aplicado MFECA (May- Ago. 2017)

FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS																CONTROL: 2017	
MESES	MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Rotor																	
Barra de Montaje																	
Alabes																	
Rodamientos Delanteros																	
Rodamientos Trasero																	
Eje																	
Estator																	
Nucleo del Estator																	
Bobinas del Estator																	
Arrollamiento Estatorico								X									
Ranuras Dientes			X														
Auxiliares																	
Ventilador																	
Caja de Bornes								X									
Terminales Alimentador																	
Casquete de Soporte																	
Tapa del Ventilador								X									
Casquete de Soporte Lado Principio de Arbol																X	

Se observa que aplicando la metodología análisis de fallas da como resultado una variación de fallas por lo que se reduce de 18 a 13 fallas anuales.

Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF)

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}} = \frac{15 \times 263}{14}$$

TMEF = 303 días

Tiempo Medio Para La Reparación (TMPR)

Cada falla se repara en 0.5 día

$$\text{TMPR} = \frac{\text{Demora de Tiempo por Fallas}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}} = \frac{0.5 \times 13 \times 15}{13}$$

$$\text{TMPR} = 7 \text{ días}$$

Disponibilidad

$$\text{DISP} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} = \frac{303.46}{303.46 + 13}$$

$$\text{DISP} = 96\%$$

Tasa de Falla

$$X_F = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{303.46}$$

$$X_F = 0.0033$$

Confiabilidad

$$R(t) = e^{-xt} = e^{-(0.0033 \times 263)}$$

$$R(t) = 43\%$$

El análisis de modos de fallas implica cumplir con estándares mínimos de niveles de interrupciones de fallas tanto en duración, así como frecuencia lo que muestra un nivel de confiabilidad mayor con la aplicación de la metodología.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Para verificar si el análisis de confiabilidad cumple con las normas estipuladas ISO 17359-2011 en el análisis de modos de falla y efectos, criticidad hacia las partes eléctricas del motor ya que permitirá tener mejor el nivel de confiabilidad operacional del motor, se tiene el siguiente cuadro con los valores de resultados obtenidos ya aplicados la metodología AMFEC a las partes del motor.

Tabla N° 4.5 Resumen de Fallas del Motor Aplicado

N°	Partes del Motor 300 HP	N° Fallas	N° Componentes
1	Barra de Montaje	1	1
2	Alabes	1	1
3	Rodamientos Delanteros	1	1
4	Rodamientos Trasero	1	1
5	Eje	1	1
6	Núcleo del Estator	1	1
7	Arrollamiento Estatorico	1	1
8	Ranuras Dientes	1	1
9	Bobinas del Estator	1	1
10	Caja de Bornes	1	1
11	Terminales Alimentador	1	1
12	Casquete de Soporte	1	1
13	Ventilador	1	1
TOTAL		13	13

Barra de montaje

- N° de fallas= 1
- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N° de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-xt} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Alabes del Motor

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Rodamientos Delanteros

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Rodamientos Traseros

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Eje

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{No de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Núcleo del Estator

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Bobinas del Estator

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Arrollamiento Estatorico

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Ranuras

- N° de fallas= 1

- N° de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N° de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Caja de Bornes

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N° de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Terminales de Alimentación.

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N° de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-\lambda t} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Casquete de Soporte

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N° de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = e^{-xt} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

Ventilador

- No de fallas= 1
- No de equipo= 1

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Equipos} \times \text{Tiempo Operativo}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} = \frac{1 \times 263}{1} = 263 \text{ días}$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{TMEF}} = \frac{1}{263} = 3.80 \times 10^{-3}$$

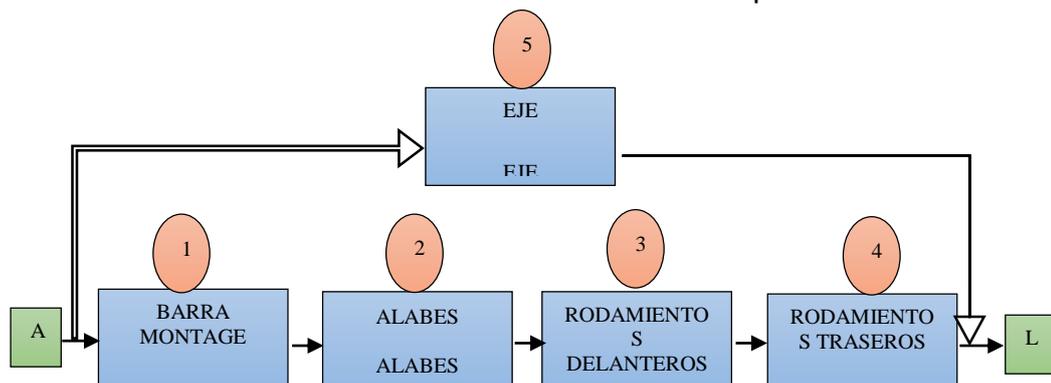
$$R_1 = e^{-xt} = e^{-(3.80 \times 10^{-3})(263)} = 0.36$$

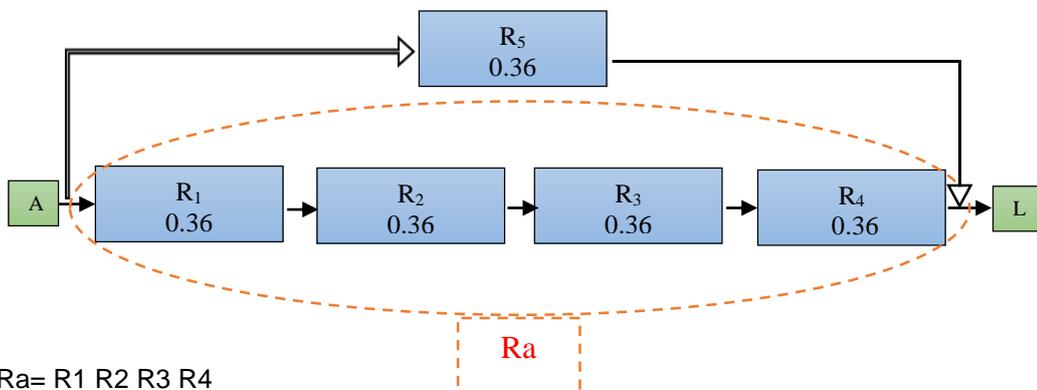
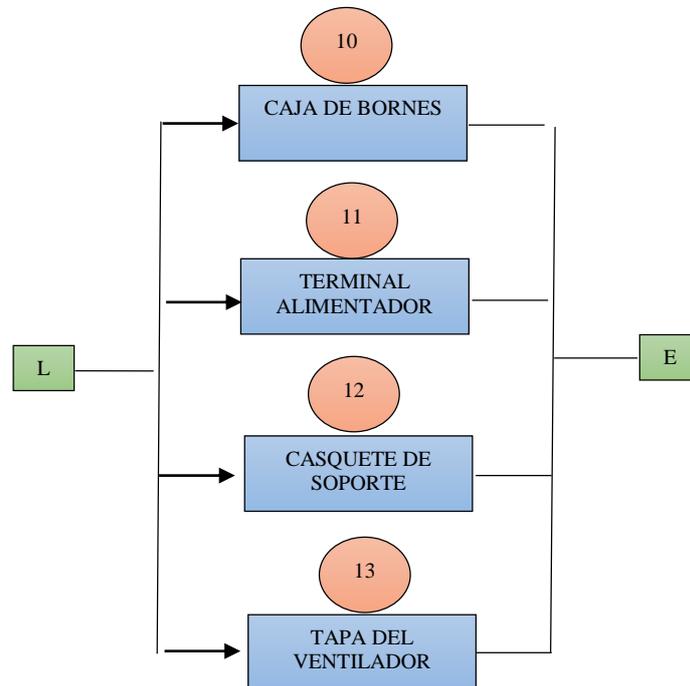
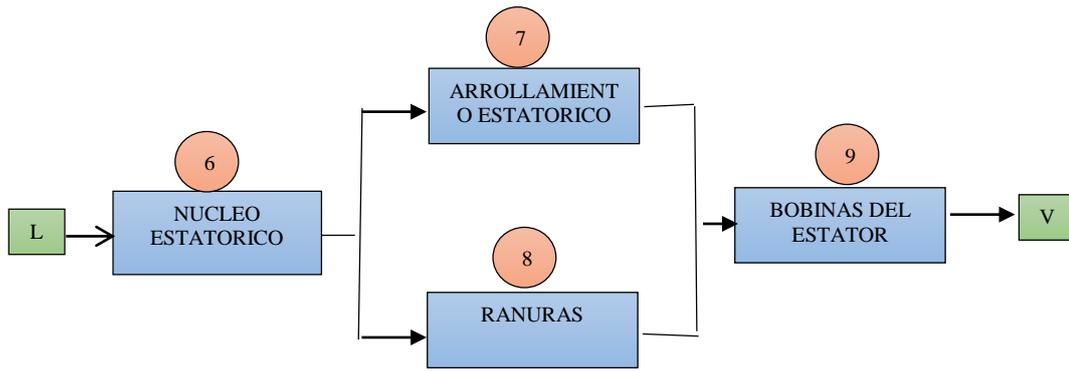
Tabla 4.6 Resumen de TMEF, Tasa de Fallas y Confiabilidad

Nº	Partes del Motor 300 HP	MTBF	X	R
1	Barra de Montaje	263	3.80×10^{-3}	0.36
2	Alabes	263	3.80×10^{-3}	0.36
3	Rodamientos Delanteros	263	3.80×10^{-3}	0.36
4	Rodamientos Trasero	263	3.80×10^{-3}	0.36
5	Eje	263	3.80×10^{-3}	0.36
6	Núcleo del Estator	263	3.80×10^{-3}	0.36
7	Arrollamiento Estatorico	263	3.80×10^{-3}	0.36
8	Ranuras Dientes	263	3.80×10^{-3}	0.36
9	Bobinas del Estator	263	3.80×10^{-3}	0.36
10	Caja de Bornes	263	7.73×10^{-3}	0.36
11	Terminales Alimentador	263	3.80×10^{-3}	0.36
12	Casquete de Soporte	263	3.80×10^{-3}	0.36
13	Tapa del Ventilador	263	3.80×10^{-3}	0.36

Fuente: Elaboración Propia

Estructura del Motor Eléctrico de Inducción de 300 Hp

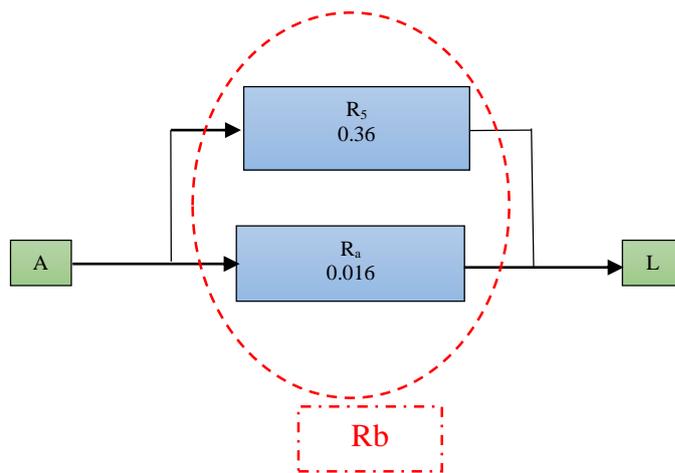




$$R_a = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_a = 0.36 + 0.36 + 0.36 + 0.36$$

$$\mathbf{R_a = 0.016}$$

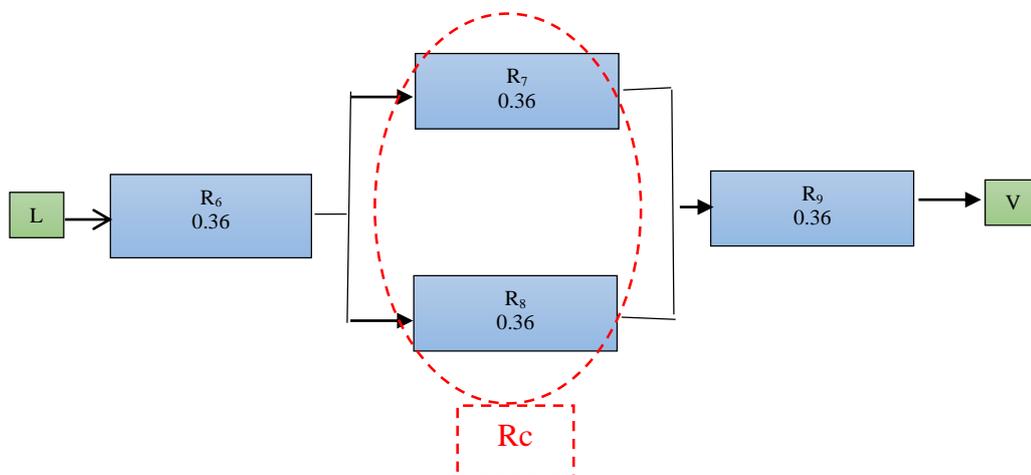


$$1-R_b = (1-R_5) (1-R_a)$$

$$1-R_b = (1-0.36) (1-0.016)$$

$$1-R_b = (0.64) (0.984)$$

$$\mathbf{R_b = 0.37}$$

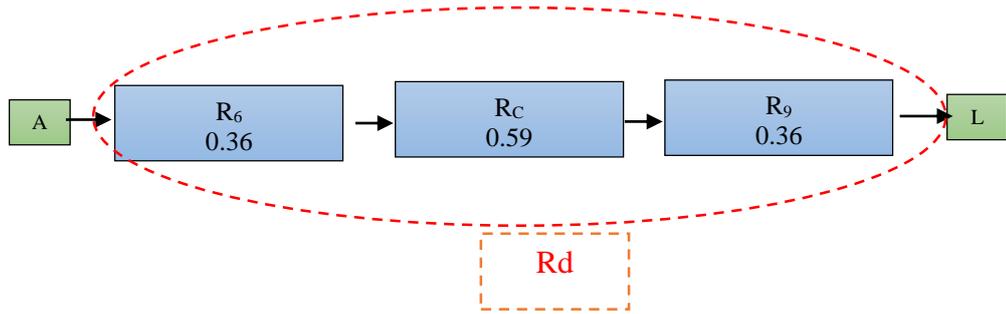


$$1-R_c = (1-R_7) (1-R_8)$$

$$1-R_c = (1-0.36) (1-0.36)$$

$$1-R_c = (0.64) (0.64)$$

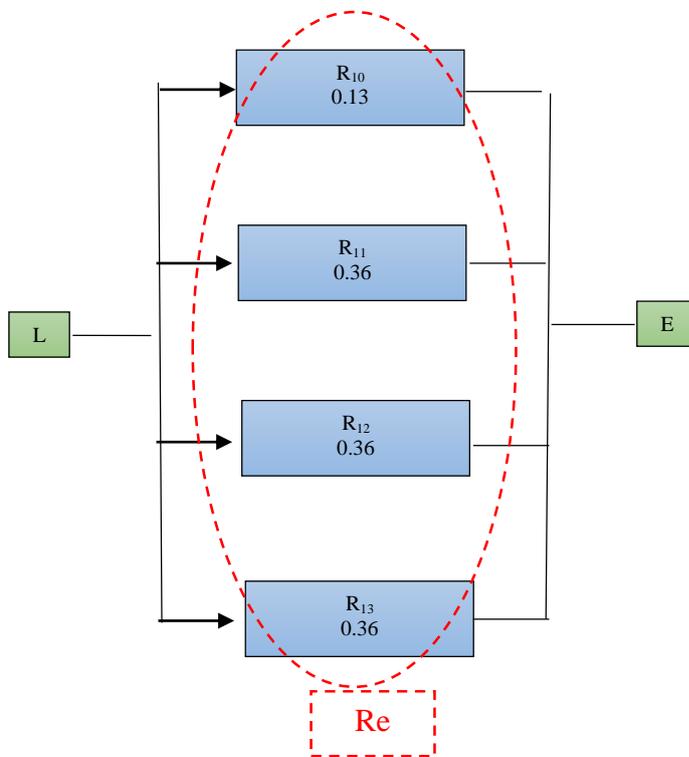
$$\mathbf{R_c = 0.59}$$



$$R_d = R_6 R_C R_9$$

$$R_d = 0.36 \times 0.59 \times 0.36$$

$$\mathbf{R_d = 0.076}$$



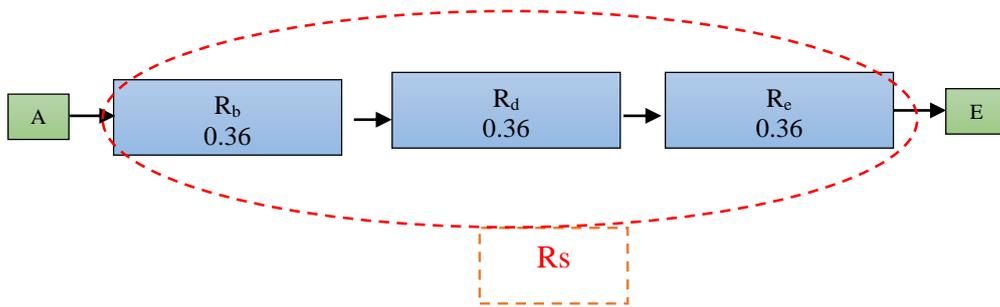
$$1 - R_e = (1 - R_{10}) (1 - R_{11}) (1 - R_{12}) (1 - R_{13})$$

$$1 - R_e = (1 - 0.36) (1 - 0.36) (1 - 0.36) (1 - 0.36)$$

$$1 - R_e = (0.64) (0.64) (0.64) (0.64)$$

$$\mathbf{R_e = 0.83}$$

Finalmente, la confiabilidad total del motor de 300 HP del sistema Rs



$$R_s = R_b \cdot R_d \cdot R_e$$

$$R_s = 0.37 \times 0.076 \times 0.83$$

$$\underline{R_s = 0.023}$$

4.2.1. Cuadro Comparativos del Análisis de Estudio.

Cuadro de Resumen de Fallas 2016-2017

CUADRO COMPARATIVO DE FALLAS			
Nº	MESES	Antes 2016	Aplicado AMFEC
		Fallas	Fallas
1	Enero	2	2
2	Febrero	1	1
3	Marzo	1	1
4	Abril	1	2
5	Mayo	1	1
6	Junio	1	3
7	Julio	1	0
8	Agosto	5	1
9	Septiembre	1	0
10	Octubre	2	1
11	Noviembre	1	1
12	Diciembre	1	1
TOTAL DE NUMERO DE FALLAS		18	13

Cuadro de Resumen de Tasas de Fallas / Confiabilidad

CUADRO COMPARATIVO DE TASAS DE FALLA / CONFIABILIDAD							
Nº	Motor de 300 hp	Antes 2016			Después 2017		
1	Fallas en el motor	18			14		
Nº	Partes del motor de 300hp	ANTES 2016			APLICADO AMFEC		
		TMEF	X	R	TMEF	X	R
1	Barra de Montaje	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36
2	Alabes	128	7.81X10 ⁻³	0.13	263	3.80X10 ⁻³	0.36
3	Rodamientos Delanteros	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36
4	Rodamientos Trasero	128	7.81X10 ⁻³	0.13	263	3.80X10 ⁻³	0.36
5	Eje	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36
6	Núcleo del Estator	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36
7	Arrollamiento Estatorico	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36
8	Ranuras Dientes	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36
9	Bobinas del Estator	128	7.81X10 ⁻³	0.13	263	3.80X10 ⁻³	0.36
10	Caja de Bornes	128	7.81X10 ⁻³	0.13	263	7.73X10 ⁻³	0.36
11	Terminales Alimentador	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36
12	Casquete de Soporte	128	7.81X10 ⁻³	0.13	263	3.80X10 ⁻³	0.36
13	Tapa del Ventilador	255	3.92X10 ⁻³	0.36	263	3.80X10 ⁻³	0.36

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro de Resumen de Resultados de Porcentajes de Confiabilidad Operacional.

CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS MOTOR ELECTRICO DE 300 HP			
NO	ANALISIS DE MODOS DE FALLAS EFECTOS DE CRITICIDAD	ANTES	APLICADO AMFEC
1	Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF)	212 dias	303 dias
2	Tiempo Medio para la Reparación (TMPR)	8 dias	7 dias
3	Disponibilidad	85%	96%
4	Tasa de Falla	0.005	0.003
5	Confiabilidad	27%	43%

4.3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADO

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que el sistema de control, mediante la aplicación de un Análisis de Modos de Falla, Efectos Criticidad, permitirá tener un análisis

del nivel de confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp de la compañía minera Casapalca.

En lo que respecta El motor de 300 hp. Perteneciente a la compañía minera casapalca su nivel de confiabilidad mejora de 27% en el año 2016 a 43 % luego de la aplicación del AMFEC.

En la presente tesis se llega a una comparación de resultados desarrollado el 2016 como indicador de evaluación y el periodo 2017 luego de la aplicación de la metodología de AMFEC basado en la confiabilidad.

Nº	Análisis de Estudio del Motor 300 hp	Antes	Después
1	% de Confiabilidad	27%	43%

Podemos inferir que como resultado positivo la implementación del sistema de control aplicado los conceptos del FMECA se mejoró el nivel de organización del control operativo y que permitió mejorar la disponibilidad del motor en estudio.

CONCLUSIONES

1. El motor de 300 hp. Perteneciente a la compañía minera casapalca tiene 18 interrupciones promedio el valor obtenido para el año 2016 y aplicado la metodología de análisis de modos de falla el valor obtenido para el año 2017 es de 13 interrupciones el valor establecido según el estudio Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad
2. Los alabes del motor tiene de 2 fallas el valor obtenido para el año 2016 y su confiabilidad es de 0.13 y aplicado la metodología de análisis de modos de falla el valor obtenido para el año 2017 es de 1 falla y su confiabilidad es de 0.36 valor establecido según el estudio Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad
3. Los rodamientos traseros del motor tienen de 2 fallas el valor obtenido para el año 2016 y su confiabilidad es de 0.13y aplicado la metodología de análisis de modos de falla el valor obtenido para el año 2017 es de 1 falla y su confiabilidad es de 0.36 el valor establecido según el estudio
4. La bobina del motor tiene de 2 fallas el valor obtenido para el año 2016 y su confiabilidad es de 0.13 y aplicado la metodología de análisis de modos de falla el valor obtenido para el año 2017 es de 1 falla el valor establecido según el estudio AMFEC
5. La caja de bornes tiene de 2 fallas el valor obtenido para el año 2016 y su confiabilidad es de 0.13 y aplicado la metodología de análisis de modos de falla el valor obtenido para el año 2017 es de 1 y su confiabilidad es de 0.36 falla el valor establecido según el estudio AMFEC
6. El casquete de soporte tiene de 2 fallas el valor obtenido para el año 2016 y su confiabilidad es de 0.13 y aplicado la metodología de análisis de modos de falla el valor obtenido para el año 2017 es de 1 falla y su confiabilidad es de 0.36 el valor establecido según el estudio AMFEC
7. El total del nivel de confiabilidad del motor eléctrico de 300hp para el año 2016 tuvo un 27% y para el 2017 un 40 % aplicando la metodología de análisis de modos de falla, Pero es necesario que se debe seguir aplicando de manera continua los predictivos en el mantenimiento al motor.

RECOMENDACIONES

1. La compañía minera casapalca debe invertir en estudios hacia sus motores instalados en su empresa para saber sus modos de fallas y su nivel de confiabilidad que tiene cada equipo ya que esto nos permite tener estos datos en tiempo real y poder realizar las intervenciones con mayor eficiencia
2. Se recomienda realizar el mantenimiento predictivo de los componentes instalados en el motor en base a la performance de los indicadores de modos de fallas por cuanto es necesario resaltar que a partir del año 2017 la producción de mineral se incrementara, eso hace que el motor tendrá mayores horas de trabajo
3. La inoperatividad del motor por las interrupciones, generadas genera retrasos en la producción de mineral por las horas muertas del motor, por lo que es necesario priorizar en el mantenimiento predictivo de las partes del motor donde se tenga los valores más altos de fallas.
4. Se debe priorizar en realizar labores de mantenimiento predictivos que se realizaran al motor en estudio para crear un sistema de control ordenada y contar con una información oportuna en beneficio para la empresa.
5. Se recomienda seguir aplicando la metodología AMFEC en todas las partes que lo componen al motor, ya que se tiene un nivel de confiabilidad del 40% obtenido hasta agosto del año 2017. lo cual se desea seguir incrementando su nivel de confiabilidad del motor, con el objetivo de tener una confiabilidad operacional del motor eléctrico de 300 hp al 100 %.

BIBLIOGRAFIA

1. HUERTA, R. (2004). **Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación**. Seminario Customer Care. Datastream. Bogotá. Colombia.
2. CIRO, E. (2010). Metodología De Investigación Tecnológica. Primera edición. Perú: Imagen gráfica SAC.
3. FABIANA, B. (2005). Gestión De Mantenimiento. Primera edición. Colombia: Pearson Prentice Hall.
4. MURILLO, Williams M. (2003). Modelo en Confiabilidad Basado en análisis de Fallas. V Congreso Internacional de Mantenimiento. ACIEM. 12 Y 13 de junio de 2003. Bogotá. Colombia.
5. TARANTINO, R. y ARANGUREN, S. (2004). Confiabilidad en Procesos de Automatización. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada.
6. AMENDOLA, L. (2002). Modelos Mixtos de Confiabilidad. Datastream. España.
7. CAMPOS AVELLA, J.C., y otros.. (2001). Calidad de la Energía Electrica Universidad del Atlántico, Colombia. Imagen gráfica SAC.
8. HOLGUIN, y GÓMEZ COELLO, D, C. (2010) Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingeniería eléctrica (2010)- Ecuador.

ANEXOS

ANEXO N° 1

FORMATOS DE INSPECCION DE MANTENIMIENTO

N de serie _____	Caballos de fuerza _____	Tipo _____
Velocidad _____	Voltage _____	Amperios _____
Clase de aislamiento _____	Temperatura _____	C

TIPO DE MAQUINA	COJINETES			EXTENSION DEL EJE		
<input type="checkbox"/> Horizontal <input type="checkbox"/> Vertical <input type="checkbox"/> Abierta a prueba de goteo <input type="checkbox"/> Totalmente cerrada <input type="checkbox"/> A prueba de explosiones <input type="checkbox"/> A prueba de interperie	<input type="checkbox"/> De bola <input type="checkbox"/> De rodillo <input type="checkbox"/> De manguito Tamaño: Extremo de la transmision (DE) _____ Extremo opuesto a la transmision (ODE) _____ Lubricacion _____			longitud _____ Diametro _____ Rosca interna _____ Rosca externa _____ Chavetero _____		
Fecha de instalacion	Ubicación		Aplicación			
Fecha de reparacion o remplazo	Reparacion de piezas reemplazadas	Fallas		Reparado por		
Nombre de la pieza	Cant. Por motor	N: de siemens	Fecha	Cant. Remplazo	Costo	Fecha
Rotor						
Bobinas del estator						
Cojinete DE						
Cojinete ODE						
Otros						
Inspeccion						
Fecha de control						
Cojinetes						
Lubricacion						
Calentamineto excesivo						
Ruido excesivo						
Velocidad						
Tension						
Amperios						
Aislamiento						
Limpieza						
Alineacion						
Vibracion						
Temperatura						

Fuente: Elaboración Propia

FORMATO DE PLAN DE MANTENIMIENTO

PARTE DEL MOTOR	Semanal	Mensual	3 meses	Anual	3 años	
ESTATOR						
inspección visual del estator				X		
control de limpieza				X		
inspección de las cunas de las ranuras					X	
verificación de la fijación de los terminales del estator				X		
medición de la resistencia de aislamiento del devanado				X		
ROTOR						
Inspección visual				X		
control de limpieza				X		
inspección del eje (desgaste, incrustaciones)					X	
COJINETES						
control del ruido, vibración , flujo de aceite, pérdidas y temperatura		X				
control de calidad del lubricante				X		
inspección de los casquillos y dela pista del eje (cojinete de deslizamiento)					X	
cambio de lubricante						Conforme periodo indicado en la placa de características de cojinete
ESCOBILLAS, PORTAESCOBILLAS Y ANILLOS COLECTORES						
inspección y limpieza del comportamiento de las escobillas	X					
verificación del área de contacto de los anillos colectores			X			
verificación del desgaste de las escobillas y su sustitución, si fuera necesario		X				
inspección del sistema de levantamiento de las escobillas (si existe)						
SISTEMA ELECTRICO DE MEDICION						
corriente eléctrica y voltaje		X				
velocidad (rpm)		X				
EQUIPOS DE PROTECCION Y CONTROL						
registro de los valores	X					
prueba de funcionamiento			X			
desmontaje y prueba de funcionamiento				X		
ACOPLAMIENTO						
inspección de la alineación			X			verificar tras la primera semana de funcionamiento
inspección del cableado del acoplamiento			X			
MOTOR COMPLETO						
inspección de ruido y vibración	X					
drenaje de agua condensada			X			
reapriete de los tornillos				X		
limpieza de la caja de conexión				X		
reapriete de las conexiones eléctricas y de la puesta a tierra				X		

Fuente: Weg motores universales

PROGRAMA DE INSPECCIONES, TAREAS Y CONTROL DE AVANCE

SISTEMA DE ACTIVO: MOTOR DE INDUCCION DE 300 HP
MARCA / TENSION : WEG/4160 V

TALLER: PLANTA CONCENTRADORA 01
AÑO: 2017

ACTIVO: MOTOR DE INDUCCION DE 300 HP			N° DE SERIE: E090004643																											
N°	VERIFICACIÓN Y TAREAS	FRECUENCIA	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
01	VERIFICAR TERMINALES	T											0																0	
02	VERIFICAR BORNES DE CONEXIÓN	T											0																0	
03	VERIFICAR CABLE DE ALIMENTACION	T											0																0	
04	VERIFICAR PULSADORES ESTAR Y ESTOP	T											0																0	
05	VERIFICAR LOS PILOTOS DE SEÑALIZACION	T											0																0	
06	VERIFICAR LOS INTERRUPTORES TERMOG.3ø	T											0																0	
07																														
08																														
09																														
10																														
FECHA DE LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO																														
FIRMA DEL ENCARGADO DEL MANTENIMIENTO																														
OBSERVACIONES:												FRECUENCIA : S = Semanal Q = Quincenal M = Mensual T = Trimestral Sm = Semestral						CLAVE : O = A inspeccionar V = Conforme X = Con falla												

PROGRAMA DE INSPECCIONES, TAREAS Y CONTROL DE AVANCE

SISTEMA DE ACTIVO: MOTOR DE INDUCCION DE 300 HP

TALLER: PLANTA CONCENTRADORA 01

MARCA / TENSION : WEG/4160 V

AÑO: 2017

DENOMINACIÓN: MODULO DE AUTOMATISMOS ELECTRICOS 2			Nº DE SERIE: EO90004643																											
Nº	VERIFICACIÓN Y TAREAS	FRECUENCIA	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
01	VERIFICAR TERMINALES	T											O																O	
02	VERIFICAR BORNES DE CONEXIÓN	T											O																O	
03	VERIFICAR CABLE DE ALIMENTACION	T											O																O	
04	VERIFICAR PULSADORES ESTAR Y ESTOP	T											O																O	
05	VERIFICAR LOS PILOTOS DE SEÑALIZACION	T											O																O	
06	VERIFICAR LOS INTERRUPTORES TERMOG.1ø 3ø	T											O																O	
07																														
08																														
09																														
10																														
FECHA DE LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO																														
FIRMA DEL ENCARGADO DEL MANTENIMIENTO																														
OBSERVACIONES:												FRECUENCIA : S = Semanal Q = Quincenal M = Mensual T = Trimestral Sm = Semestral								CLAVE : O = A inspeccionar V = Conforme X = Con falla										

ANEXO N° 2

ANALISIS DE MODOS DE FALLA DE ACTIVOS

Formato 1: *Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC)*

ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)															
SISTEMA DE ACTIVO:					RESP. DEL ACTIVO:					REVISION:					
ACTIVO:					DPTO.RESPONSABLE:					PAGINA:					
MARCA /MODELO/NIVEL DE TENSION :					FMECA PREPARADO POR:					FECHA DE REVISION:					
Item/ Funcion	Modo de Falla	Efectos de Falla	Serv	Causa	Ocu.	Controles Actuales	Det.	NPR	Accion Recomendada	Responsable/ Fecha	Acciones Tomadas	Serv.	Ocu.	Det.	NPR

SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETENCION	RIESGO
APENAS PERCEPTIBLE 1	MUY REMOTA 1	MUY ALTA 1	BAJO 1 a 135
POCA IMPORTANCIA 2 a 3	MUY PEQUEÑA 2	ALTA 2 a 3	MODERADO 136 a 150
MODERADAMENTE GRAVE 4 a 6	PEQUEÑA 3	MODERADA 4 a 6	ALTO 151 a 501
GRAVE 7 a 8	MODERADA 4,5,6	PEQUEÑA 7 a 8	EXTREMADAMENTE 502 a 1000
ESTREMADAMENTE GRAVE 9 a 10	ALTA 7,8	MUY PEQUEÑA 9	
	MUY ALTA 9,10	REMOTA 10	

Fuente: Elaboración Propia

Clasificar los modos de falla de acuerdo al número de prioridad de riesgo a fin de priorizar la atención

Tabla 8: Tratamiento de Riesgo de Activos

NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)	ESCALA
BAJO	1 a 136
MODERADO	237 a 250
ALTO	251 a 500
EXTREMADAMENTE ALTO	501 a 1000

Fuente: Elaboración Propio

ANEXO N° 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Sistema de Control para Mejorar la Confiabilidad Operacional de un Motor de 300 Hp en la Compañía Minera Casapalca

Planteamiento del problema	Marco teórico	Metodología
Problema general ¿Qué sistema de control existente, no permite mejorar la confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca?	Antecedentes NACIONAL AGUILAR BONIFACIO, R. Propuesta de mejora en la gestion del mantenimiento de subestaciones de transmicion en una empresa de distribucion de energia electrica. Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2016. Este trabajo presenta una de las alternativas en la determinación de gestión llegando a determinar un método modificado que se aplicará a los activos de mayor grado de criticidad en el estudio es de vital importancia porque contribuye en la al estudio de criticidad y a la solución de los problemas en el cumplimiento de las normas legales del mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico. CORDOVA MORALES C.R .Implantacion del mantenimiento centrado en las confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores peirce smith de la funcion de cobre de southern peru copper corporation. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, 2005. En la presente investigación, se pretende la aplicación de la metodología propuesta, para dar un aporte a la solución de los problemas encontrados en la aplicación del control de la presente tesis DA COSTA BURGA M .Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en posos de alta produccion. Tesis de grado, Pontificia Universidad Catolica del Peru, Lima, 2010. En la presente investigación, nos enseña a dar un aporte a la solución de los problemas suscitados en la presente tesis de estudio y la verificación de los componentes con mayor grado de criticidad.	Método de la investigación Estudio Analítico Tipo de la investigación Básico Nivel de la investigación Estudio descriptivo Diseño de la investigación No experimental (Observacional) En éste caso no se aplica la correlación porque, la teoría de metodología demuestra físico matemáticamente esa relación mediante las fórmulas de cálculo del porcentaje total y los indicadores.
Problemas específicos <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué sistema de control metodológico existente, no permite mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca? • ¿Qué sistema de control de estudio de criticidad existente, no permite mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca? 	INTERNACIONALES GARCIA GONZALES Q.J.Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generacion de energia electrica. Tesis de master, Universidad Pontificia Comillas, Madrid (España), 2004. En este trabajo de investigación se llevó a cabo el desarrollo de una metodología de control que será de mucho apoyo para realizar nuestra tesis con respecto al mantenimiento basado en el riesgo (RBM). LEONARDO MONTAÑA, R.Diseño de un sistema de control con base en analisis de criticidad y analisis de modos y efectos de falla en la planta de coquede fabricacion primaria en la empresa acerias del rio S.A.. Tesis de grado, Universidad Pedagogica y Tecnologica, Colombia, 2006. En lo referente a la experimentación se efectuaron ensayos de control, además se realizaron ensayos con el motor eléctrico trifásico trabajando al vacío y a plena carga. Son diseñados para un trabajo dado.	Variables VI: sistema de control del motor de 300 hp VD: Confiabilidad Operacional Población El objeto de estudio en la presente investigación es el motor trifásico de inducción de 300 hp de la compañía minera casapalca.
Objetivo general Realizar el estudio de un sistema de control, mediante la aplicación de la metodología AMFEC que permitirá evaluar y mejorar la confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp de la compañía minera Casapalca.		Muestra Debido a que la población es un solo objeto de estudio, se considera como muestra la adquisición de los valores de tiempo medio entre fallas (TMEF) y tiempo para la reparación (TMPR) y la disponibilidad con la finalidad de saber su nivel de confiabilidad del motor siguiendo la norma IEC 60300-3-11 el registro de datos se programó para un tiempo

<p>Objetivo específico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los modos de falla a través de las partes del motor que permitirá obtener resultados en mejora de la confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp en la compañía minera Casapalca • Elaborar una metodología PHVA, aplicable al estudio del motor de 300 hp que permitirá tener un sistema de control en mejora de la confiabilidad operacional y beneficiosa para la compañía minera Casapalca. 	<p>GONZALES ROJAS R, M. Diseño estrategia centrada en la confiabilidad para minería Spence S.A. Tesis de grado, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas del Departamento de Ingeniería Industrial, 2006. Entre los objetivos de la realización de esta tesis de Calidad de estrategia centrada en la confiabilidad es encontrar soluciones efectivas para corregir los disturbios y variaciones y proponer conclusiones para corregir las fallas o problemas que se presenten en el estudio.</p> <p>CERRA VERGARA M,A. y PACHECO TERAN, L,D. Mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en técnicas predictivas: vibraciones, termografía y mediciones de parámetros eléctricos; para las máquinas e instalaciones eléctricas presentes en los activos y servicios de Cotcmar. Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Bolívar Facultad de Ingeniería, 2012. El propósito de extraer esta tesis fue con un propósito de apoyo para plantear una metodología para obtener el grado de criticidad de objeto en estudio, y por medio de la información que éste arroja, analizar y dar soluciones a las perturbaciones de las ondas de tensión y corriente, desbalance de carga, factor de utilización de los transformadores, sobretensiones, análisis del factor de potencia, eventos de tensión y otros parámetros correspondientes a la calidad del suministro eléctrico, además especificar el impacto económico de dichas deficiencias.</p> <p>MENDOZA CARVAJAL C. Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores eléctricos de inducción. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, 2016. Con este trabajo se pretende dar a conocer las fuentes y efectos principales de estudio centrados en los motores eléctricos de inducción, así como también exponer la metodología básica de análisis del problema críticos. Normalmente las metodologías centradas en la confiabilidad se reducen sólo a niveles permisibles y seguros, normalizados por estándares, En los estudios críticos se modelan equivalentes mediante paquetes computacionales con los que se obtiene valiosa información del comportamiento del motor, en este trabajo.</p>	<p>de 1 año conocido como periodo de medición, comenzando el lunes 23 de setiembre de 2016 y culminando el domingo 22 de agosto de 2017, el muestreo se realizó a inicio de la cuarta semana de cada mes como lo establece la norma, conocido como intervalo de medición, obteniéndose 12 muestras.</p> <p>Técnicas e instrumentos de medición Observación Directa. La observación directa permitió conocer e identificar cada una de las actividades, tecnología, metodologías y procedimientos de mantenimiento realizados en el taller central de la planta UM- 2 de la compañía minera.</p> <p>Entrevista. Fueron realizadas de una manera estructurada y abierta, mediante esta práctica fue posible recopilar información técnica, de gran importancia para el desarrollo de esta investigación. Por medio de conversaciones con el personal técnico, operadores de planta, personal de mantenimiento, entre otros. Con la finalidad de obtener una información no sesgada, precisa y detallada acerca de las fallas, labores de mantenimiento y funcionamiento de los equipos, por medio de una serie de preguntas abiertas y aleatorias surgidas de las necesidades pertinentes a dudas o temas específicos, que permitieron realizar un diagnóstico de la situación actual.</p>
<p>Hipótesis general</p> <p>El sistema de control, mediante la aplicación del MFCA, que permitirá tener un análisis del nivel de confiabilidad operacional del motor de inducción de 300hp de la compañía minera Casapalca.</p>		
<p>Hipótesis específica</p> <ul style="list-style-type: none"> • El análisis de confiabilidad hacia las partes del motor en estudio permitirá tener resultados de modos de falla y efectos, criticidad de cada componente. • La aplicación de la metodología PHVA permite desarrollar un proceso de análisis para llegar a la solución al problema que se viene estudiando, en mejora y beneficio hacia la compañía minera Casapalca. 	<p>Teoría básica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor de Inducción <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grado de Criticidad ▪ Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF) ▪ Tiempo Para la Reparación (TMPR) ▪ Disponibilidad ▪ Confiabilidad <p>Definición conceptual</p> <p>VI: sistema de control del motor de 300 hp Es un conjunto de lineamientos con el fin de llevar un control del objeto o equipo en estudio</p> <p>VD: Confiabilidad Operacional Es una serie de procesos de mejora continua a través de metodologías de análisis</p> <p>Definición operacional</p>	<p>Técnicas de Análisis de Datos</p> <p>Inspección Directa Visual y Lectura de Resultados e Indicadores.</p> <p>Metodología Propuesta</p> <p>El diseño de un sistema de control propuesto se desarrollará utilizando la metodología</p>

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS
sistema de control del motor de 300 hp	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor • Estator • Eje • Devanados • Caja de bornes 	<ul style="list-style-type: none"> • Torque eléctrico • Campo magnético • Torque de trabajo • Bobinas • Diagrama de conexiones 	Registro de datos automatizado en el equipo electrónico, Analizador de calidad de energía HIOKI 3197.
Confiabilidad Operacional	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de falla • Tiempo de reparación • Disponibilidad • Confiabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • El resultado de la confiabilidad operacional se medirá en porcentajes de nivel de confiabilidad. 	Registro de datos automatizado en el equipo electrónico, Analizador de calidad de energía HIOKI 3197.

MFECA centrado en la confiabilidad y el ciclo de Deming.

Para este tipo de sistema de control de mantenimiento propuesto se divide en 4 etapas (**planificar, hacer, Verificar, Actuar**)

ANEXO N° 4

Figura 4.15 Procesos de Extracción de Mineral de la Cia Minera Casapalca



Figura 4.15 Ingreso a la Línea Productiva de Chancado (Primario, Secundario, Terciario)



Figura 4.16 Alimentador Vibratorio



Figura 4.17 Motor de 300 Hp de la Compañía Minera Casapalca



Figura 4.18 Línea de Espesamiento



ANEXO N° 5

COSTOS DE REPARACION DEL MOTOR DE 300HP



Breña, 14 de Diciembre del 2016

PRESUPUESTO N° 0015530 - 16

N/Referencia N° :01

V/Referencia N° :01

Señores:

COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S.A.

Presente.-

Atención: **Ing. DANIEL AMAYA**

ASUNTO: SERVICIO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL MOTOR ELECTRICO DE 300HP

Cordialmente nos dirigimos a Usted para presentarle nuestro presupuesto por el servicio de pruebas realizadas al motor eléctrico de 300hp, según lo siguiente:

PRUEBAS A REALIZAR (motor eléctrico de 300hp)

> Inspección visual del motor

Estator

- Evaluación de la condición de los aislamientos del bobinado del estator con equipo digital BAKER DR12
 - o Pruebas de resistencia Óhmica
 - A cada una de las fases
 - o Pruebas de Aislamiento Bobina - Masa
 - Medida de la resistencia de aislamiento – prueba Mega Ohm (IEEE 43-200)
 - Medida del índice de absorción (IEEE 43-2000)
 - Medida del índice de polarización (IEEE 43-200)
 - Pruebas HIPOT - DC (Nema MG-1)
 - o Prueba de Impulso (SURGE) - Nema MG-1
 - Para detección de corto circuito entre espiras, bobinas, grupos y fases del bobinado
- Emisión de protocolo de pruebas

Rotor

- Pruebas de aislamiento con respecto a masa
- Medida de la resistencia de aislamiento - pruebas Mega Ohm (IEEE 43-200)

> Emisión de protocolo de pruebas, informe técnico



FASEEL S.A.C.

FABRICACIONES Y SERVICIOS ELECTRO-ELECTRONICOS S.A.C.

ITEM	CANT	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO US\$	COSTO TOTAL US\$
1	1	MOTOR ASINCRONO DE 300HP - 2D300V - 60HZ	1,250.00	1,250.00

PRECIO TOTAL: US\$ 1,250.00

Condiciones Comerciales:

- El Precio no incluye I.G.V.
- Tiempo de Entrega : 02 días en planta
: 10 días en gabinete
- Forma de pago : Factura 30 días
- Validez de Oferta : 15 días
- Garantía : No aplica

Atentamente,

Ing. WILDER RODRIGUEZ O.
Gerente A.

Breña, 23 de Abril del 2017

PRESUPUESTO N° 0016529 - 18

N/Referencia N° :

V/Referencia N° :

Señores:

COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S.A.

Presente.-

Atención: Ing. SEBASTIAN CORREA

ASUNTO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN SITIO DEL MOTOR ASINCRONO

DE 300HP

4160V - 3 FASES - 60HZ - 900RPM MARCA: WEG

MOLINO N° 1

Cordialmente nos dirigimos a Usted para presentarle nuestro presupuesto por el servicio de mantenimiento correctivo en sitio de motor, según lo siguiente:

TRABAJOS A REALIZAR

- Verificación del motor
- Inspección visual del motor asíncrono de 300 hp
- Ejecución del Lock out del tablero de arranque del motor
- Desconexión de los cables de alimentación del motor
- Desacoplamiento del rotor de su carga por cuenta del personal de CASAPALCA
- Retiro de fundas de protección de estator (bobinas)
- Pruebas previas
- Limpieza con solvente dieléctrico la cabeza de las bobinas de rotor y estator y zonas accesibles.
- Tratamiento térmico con resistencias de calefacción.
- Suministro y cambio de cables de salida de rotor al anillo del rotor (6 mts N° 06 +terminal empalme)
- Acondicionamiento de empalme en el conexionado trifásico (cinta semiconductiva, remicaflex, vulcanizantes 3M)
- Barnizado de estator y rotor con anti flash
- Acondicionamiento de porta escobillas, cambio de carbones (suministrado por el cliente)
- Pruebas de la condición aislamiento de los arrollamientos del estator y rotor con quipo digita baker DR12 midiendo:
 - o Pruebas de resistencia óhmica
 - A cada fase del arrollamiento
 - o Pruebas de aislamiento Bobina - Masa
 - Medida de la resistencia de aislamiento (IEEE43 - 2000)
 - Medida del índice de absorción (IEEE43 - 2000)
 - Medida del índice de polarización (IEEE43-2000)
 - Prueba HIPOT - DC (IEEE Stándar 95)



FASEEL S.A.C.

FABRICACIONES Y SERVICIOS ELECTRO-ELECTRONICOS S.A.C.

- o Pruebas de Impulso (Surge: Norma MG-1.Acapite 20-35.5)
 - Para detección de cortos circuitos entre espiras, bobinas, grupos y fases de los arrollamientos.
 - Verificación del juego axial del motor en funcionamiento.
 - Verificación de la luz diametral del entre hierro entre estator y rotor
 - Izamiento de tapas superior de chumaceras (ambos lados) para inspección de chumaceras, asientos y anillos de lubricación.
 - Suministro y cambio de aceite lubricante de chumaceras
 - Acoplamiento de motor a su carga. (Por CASAPALCA)
 - Montaje de fundas de protección de bobinas
 - Conexión de cables de alimentación del motor al tablero.
 - Pruebas en vacío
 - Puesta en servicio
 - Emisión de protocolo de pruebas.

... Precio : US\$ 7,650.00

Dcto 5%

... Precio : US\$ 7,267.50

Condiciones Comerciales:

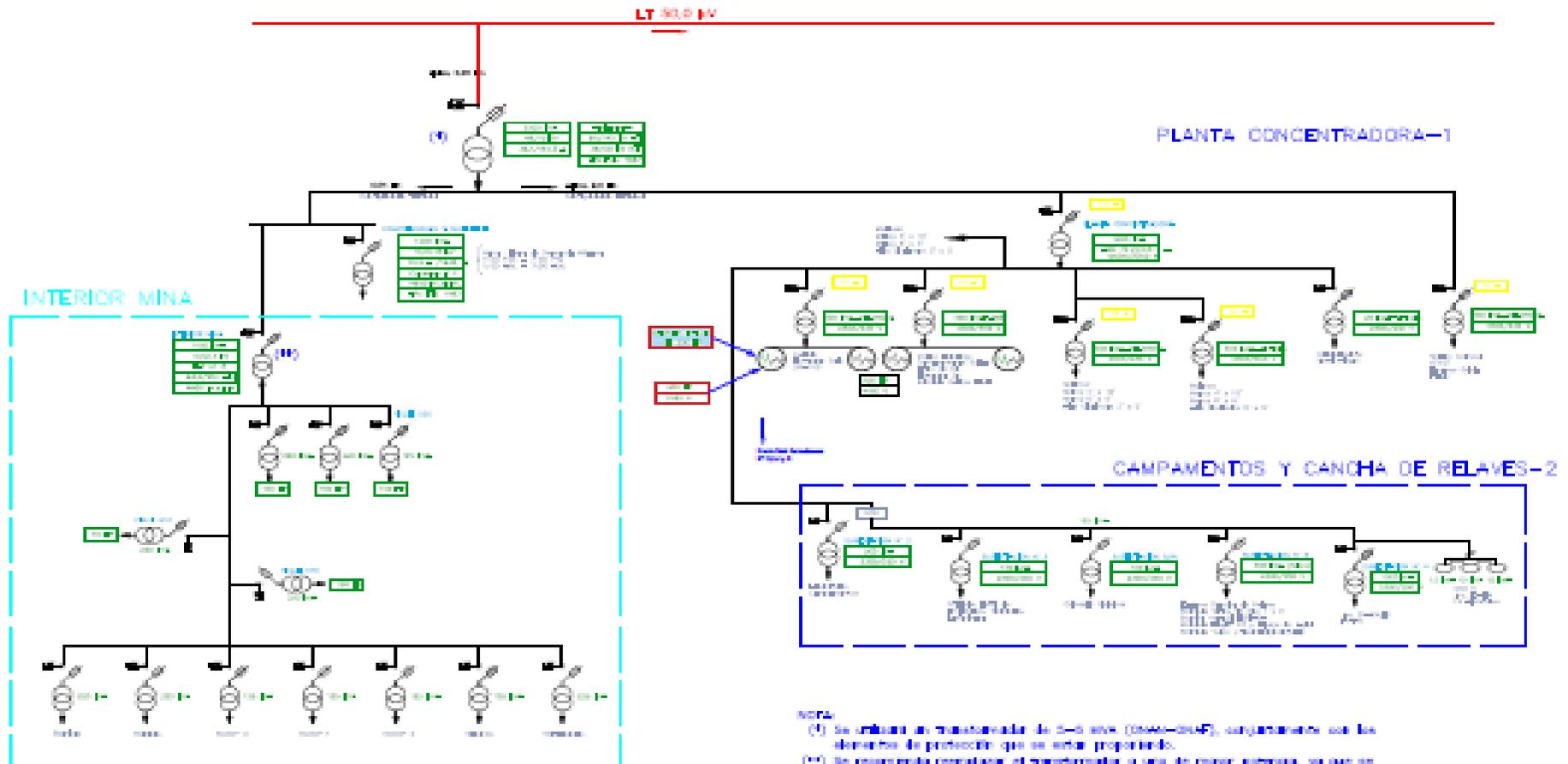
- El Precio no incluye I.G.V.
- Tiempo de Entrega : 03 días
- Forma de pago : Factura 30 días
- Validez de Oferta : 15 días
- Garantía : 12 meses

Atentamente,

Ing. WILDER RODRIGUEZ O.
Gerente A.

ANEXO N° 6

Figura 4.19 Diagrama Unifilar de la Planta Concentradora de la Compañía Minera Casapalca



				SOCIEDAD MINERA CASAPALCA S.A.C	SISTEMA ELÉCTRICO DE LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S.A.C	AGOSTO 2017	ANEXO
AUTOR	REVISOR	AJUSTE	VERIFICACIÓN	A-01	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA
AUTOR	REVISOR	AJUSTE	VERIFICACIÓN	A-01	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA
AUTOR	REVISOR	AJUSTE	VERIFICACIÓN	A-01	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA
AUTOR	REVISOR	AJUSTE	VERIFICACIÓN	A-01	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	INGENIERO EN ENERGÍA ELÉCTRICA