



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SUB SISTEMA DE  
DISTRIBUCIÓN PRIMARIA EN 22.9 KV TAMBOPATA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**SAMUEL SUCASACA QUECARA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SUB SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA EN 22.9 KV TAMBOPATA**

AUTOR

**SAMUEL SUCASACA QUECARA**

RECuento DE PALABRAS

**15136 Words**

RECuento DE CARÁCTERES

**88469 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**94 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.3MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 15, 2023 7:58 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 15, 2023 7:59 PM GMT-5**

### ● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

  
Ing. Julio Freddy Chura Acera  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
CIP: 13514C  
Sub. Dirección de Investigación  
EPIME

  
Asesor

Resumen



## DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, por enseñarme amar, a querer y respetar. Eres quien guía el destino de mi vida.

A mis padres, Damián Sucasaca P. y Fernanda Quecara M. que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica; los amo y los respeto con todo mi corazón, personas que me apoyaron desde el comienzo.

A mí amada compañera de la vida quien siempre me motiva y ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor a Nancy Pandia M. Con su apoyo incondicional, dedicación, entusiasmo y alegría lograron que esta meta se cumpliera.

A mis hermanos, sobrinos, amigos, compañeros y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitario.

Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma.

**SAMUEL SUCASACA QUECARA**



## AGRADECIMIENTOS

Trabajo de mi esfuerzo que no hubiese sido posible concretar sin el apoyo de muchas personas. A Dios, el que en todo momento está conmigo ayudándome para llegar ser un profesional.

A mis padres, por el cariño, amor, esfuerzos que en todo momento pudieron demostrar conmigo. Gracias por ser hijo de ustedes este logro se lo dedico.

A mis hermanos Froilán, Luz Marina y Bacilio que en paz descanse. Gracias por estar ahí cuando los necesité, me motivaron constantemente para hacer mejor persona.

A la Universidad del Altiplano-Puno, me dio la bienvenida, agradezco mucho por la ayuda mis docentes en especial a la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, también a mi asesor de tesis el M.Sc. Armando Tito Cruz Cabrera por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de tesis. Gracias ingeniero que Dios me la cuide y la protejan hoy y siempre.

**SAMUEL SUCASACA QUECARA**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ACRÓNIMOS**

**RESUMEN .....13**

**ABSTRACT.....14**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 OBJETIVOS .....16**

1.1.1 Objetivo general.....16

1.1.2 Objetivos específicos .....16

**1.2 HIPÓTESIS DEL TRABAJO .....16**

1.2.1 Hipótesis general.....16

1.2.2 Hipótesis específicas .....16

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN .....17**

**2.2 ELEMENTOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA. ....18**

2.2.1 Conductores .....18

2.2.2 Aisladores .....19

2.2.3 Soportes o Estructuras.....21

2.2.4 Herrajes en Línea de Transmisión Aéreas .....22



2.2.4.1	Herrajes que Forman Arreglos o Conjuntos.....	22
2.2.4.2	Herrajes para Unir entre sí los elementos de la cadena de aisladores y los conductores .....	23
2.2.4.3	Herrajes Independientes .....	23
2.2.5	Sistemas de puesta a tierra .....	24
2.2.5.1	Electrodo de tierra .....	25
2.2.5.2	Funciones del electrodo de tierra.....	26
<b>2.3</b>	<b>CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>28</b>
2.3.1	Gestión y Mantenimiento.....	28
2.3.1.1	El mantenimiento Preventivo .....	31
2.3.1.2	Mantenibilidad.....	32
2.3.1.3	Disponibilidad Operacional.....	33
2.3.1.4	Confiabilidad .....	34
2.3.1.5	Falla .....	35
2.3.1.6	Consecuencias de falla .....	35
2.3.1.7	Categorías de fallas evidentes .....	36
2.3.1.8	Consecuencias ambientales y para la seguridad.....	37
2.3.1.9	Consecuencias operacionales. ....	37
2.3.1.10	Consecuencias no operacionales .....	39
<b>2.4</b>	<b>METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>40</b>
2.4.1	Tipo metodológico .....	40
2.4.2	Técnicas de recolección de datos .....	40
2.4.3	Instrumentos de recolección de datos .....	41



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	43
3.1.1 Tipo de investigación .....	43
3.1.2 Técnicas de recolección de datos .....	44
3.1.3 Técnicas de análisis de datos .....	45
3.1.4 Método de la investigación. ....	45
<b>3.2 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	46
3.2.1 Diagnóstico de la situación actual.....	46
3.2.2 Componentes críticos .....	47
3.2.2.1 Análisis de Modo y Efectos de Fallas (AMEF).....	47
3.2.2.2 Hoja de información .....	51
3.2.2.3 Fallas del sistema de distribución.....	51
2.2.3 Hoja de decisión.....	52
2.2.4 Determinación de los intervalos de mantenimiento preventivo.....	53
4.1.1 Gráfico Weibull .....	54

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b> .....	57
4.1.1 Aspectos Generales .....	57
4.1.2 Análisis de las salidas de la SS.EE. Puerto Maldonado.....	59
4.1.3 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) .....	62
4.1.4 Análisis de criticidad.....	64
4.1.5 Determinación de los intervalos de mantenimiento .....	70
4.1.5.1 Intervalo de mantenimiento para los conductores eléctricos.....	70



4.1.5.2 Intervalos de mantenimiento para los aisladores.....	76
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

**Área : Eléctrica**

**Tema : Mantenimiento**

**Fecha de Sustentación: 08 de enero 2020**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema general de la red o sistema eléctrico .....	18
<b>Figura 2:</b> Conductor eléctrico de cobre. ....	19
<b>Figura 3:</b> Aislador de porcelana tipo PIN.....	20
<b>Figura 4:</b> Poste de Concreto Armado Centrifugado .....	22
<b>Figura 5:</b> Ferretería Eléctrica .....	24
<b>Figura 6:</b> Pozo a tierra .....	25
<b>Figura 7:</b> Sistema de protección Sub Estación de distribución .....	27
<b>Figura 8:</b> Ubicación Geográfica .....	58
<b>Figura 9:</b> Diagrama Unifilar Sistema Eléctrico Puerto Maldonado .....	58
<b>Figura 10:</b> Diagrama Causa Efecto .....	64
<b>Figura 11:</b> Gráfico de Weibull Conductor Eléctrico .....	73
<b>Figura 12:</b> Gráfico de Confiabilidad Conductor Eléctrico .....	75
<b>Figura 13:</b> Gráfico de Infiabilidad conductores eléctricos .....	75
<b>Figura 14:</b> Gráfico de densidad de fallas .....	76
<b>Figura 15:</b> Gráfico de Weibull Aisladores.....	79
<b>Figura 16:</b> Gráfico de Confiabilidad Aisladores .....	80
<b>Figura 17:</b> Gráfico de Infiabilidad Aisladores.....	81
<b>Figura 18:</b> Gráfico de densidad de fallas Aisladores.....	81



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Diagnóstico de las redes .....	47
<b>Tabla 2:</b> Parámetros AMEF (Ocurrencia).....	49
<b>Tabla 3:</b> Parámetros AMEF (Severidad). ....	49
<b>Tabla 4:</b> Parámetros AMEF (Detectabilidad) .....	50
<b>Tabla 5:</b> Criticidad .....	50
<b>Tabla 6:</b> Cuadro AMEF .....	51
<b>Tabla 7:</b> Espina de pescado .....	52
<b>Tabla 8:</b> Hoja de decisión .....	53
<b>Tabla 9:</b> Salidas de la Sub estación Puerto Maldonado.....	59
<b>Tabla 10:</b> Salida PM1 .....	60
<b>Tabla 11:</b> Salida PM2 .....	60
<b>Tabla 12:</b> Salida PM3 .....	61
<b>Tabla 13:</b> Salida PM6 .....	61
<b>Tabla 14:</b> Salida PM6 .....	62
<b>Tabla 15:</b> AMEF Salida PM 6 .....	63
<b>Tabla 16:</b> AMEF (Ocurrencia). ....	65
<b>Tabla 17:</b> AMEF (Severidad) .....	66
<b>Tabla 18:</b> AMEF (Detectabilidad).....	66
<b>Tabla 20:</b> Resumen de equipos críticos .....	69
<b>Tabla 21:</b> Registro de fallas Conductores Eléctricos.....	70
<b>Tabla 23:</b> Valores rango medio.....	72
<b>Tabla 24:</b> Valores Obtenidos Weibull .....	73
<b>Tabla 25:</b> Registro de fallas Aisladores .....	77
<b>Tabla 26:</b> Valores de menor a mayor.....	77



<b>Tabla 27:</b> Valores rango medio Conductores .....	78
<b>Tabla 28:</b> Valores Obtenidos Weibull Aisladores .....	78



## ACRÓNIMOS

RCM	Mantenimiento basado en la confiabilidad
R (t).	Confiabilidad
F (t).	Infiabilidad
MTTB	Tiempo Promedio entre fallas
Pieza	Elemento físico no divisible de un mecanismo.
Equipo	Conjunto de componentes interconectados de una instalación.
Hr.	Horas



## RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo principal Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base al análisis de los componentes críticos que constituyen la Red de distribución Primaria en media tensión Tambopata para de esta manera mejorar su la operación del sistema eléctrico que alimenta a la ciudad de Puerto Maldonado; como objetivos específicos se realizara el Diagnostico la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Red de Distribución Primaria en 22.9 Kv, para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla para Identificar los componentes críticos. El proyecto de investigación se organiza de la siguiente manera: En primer lugar, se realiza un levantamiento exhaustivo de la bibliografía relacionada con el mantenimiento industrial y las redes de distribución, se realiza un diagnóstico de la situación actual para identificar los componentes clave y los programas de mantenimiento preventivo que se pueden aplicar a las redes de distribución. para mejorar su fiabilidad, listo para funcionar. Las redes de distribución eléctrica están ubicadas en el Distrito de Tambopata Provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios, en las coordenadas UTM 479809. Latitud sur y 8609676 longitud oeste cuadrante 19L a una altura de 500 metros sobre el nivel del mar.

**Palabras clave:** Criticidad; confiabilidad, disponibilidad, fallas funcionales, mantenimiento, mantenimiento preventivo.



## ABSTRACT

The main objective of this thesis project is to design a preventive maintenance plan based on the analysis of the critical components that make up the Tambopata Medium Voltage Primary Distribution Network in order to improve the operation of the electrical system that feeds the city of Puerto Maldonado. The specific objectives are to diagnose the current situation of the systems, sub systems and components of the 22.9 Kv Primary Distribution Network, to determine their functions, functional failures and failure modes in order to identify the critical components. The research project is organized as follows: First, a comprehensive literature survey related to industrial maintenance and distribution networks is conducted, a diagnosis of the current situation is performed to identify the key components and preventive maintenance programs that can be applied to the distribution networks. to improve their reliability, ready to operate. The electrical distribution networks are located in the Tambopata District, Tambopata Province in the department of Madre de Dios, at UTM coordinates 479809. South latitude and 8609676 west longitude 19L quadrant at an altitude of 500 meters above sea level.

**Key words:** criticality; reliability, availability, functional failures, maintenance, preventive maintenance.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de Tambopata Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios, cabe mencionar que en la zona de estudio se encuentra en la región selvática y las redes de distribución de energía eléctrica provienen de la línea de transmisión eléctrica en 138 KV Mazuco Puerto Maldonado, las mismas que abastecen a las poblaciones de esta zona de selva del departamento de Madre de Dios.

El estudio propuesto se justifica porque la falta de un mantenimiento preventivo planificado de las redes de distribución de media tensión genera interrupciones constantes en los servicios de energía eléctrica, provocando pérdidas importantes y, lo más importante, afectando la calidad de vida de los pobladores beneficiarios de la energía eléctrica.

La aplicación de conceptos de mantenimiento adecuados combinados con el control estadístico nos brinda información para capturar variables de comportamiento de los equipos que permitan diseñar estrategias de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos de la red de distribución. La aplicación de un sistema de mantenimiento organizado nos permitirá reducir, si no eliminar, el tiempo de inactividad no planificado.

Cabe mencionar que en la actualidad no se cuenta con plan de mantenimiento preventivo elaborado para las redes de distribución de energía de la provincia de Tambopata, es por eso que se decidió contemplar la presente investigación como contribución al mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico de la zona.



## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

Realizar el Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los Equipos críticos del Sub Sistema de Distribución Primaria en 22.9 KV Tambopata.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes del sistema eléctrico.
- Identificar los componentes críticos.
- Determinar la confiabilidad mediante los parámetros de la distribución Weibull con el historial de fallas.

## **1.2 HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

### **1.2.1 Hipótesis general**

Mediante el “Diseño de un plan de Mantenimiento Preventivo para los Equipos críticos del Sub Sistema de Distribución Primaria en 22.9 KV Tambopata, se mejorará la confiabilidad.

### **1.2.2 Hipótesis específicas**

- El diagnostico de los sistemas, sub sistemas y componentes de las redes de distribución permitirá determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Se identificará los componentes más críticos.
- Se determinará los parámetros característicos de la distribución Weibull haciendo uso del historial de fallas.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Un sistema eléctrico de potencia incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, y su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos.

Aproximadamente las 2/3 partes de la inversión total del sistema de potencia, están dedicados a la parte de distribución (Gigante Invisible), lo que implica necesariamente un trabajo cuidadoso en el planeamiento, diseño y construcción y en la operación del sistema de distribución, lo que requiere manejar una información voluminosa y tomar numerosas decisiones, lo cual es una tarea compleja, pero de gran trascendencia.

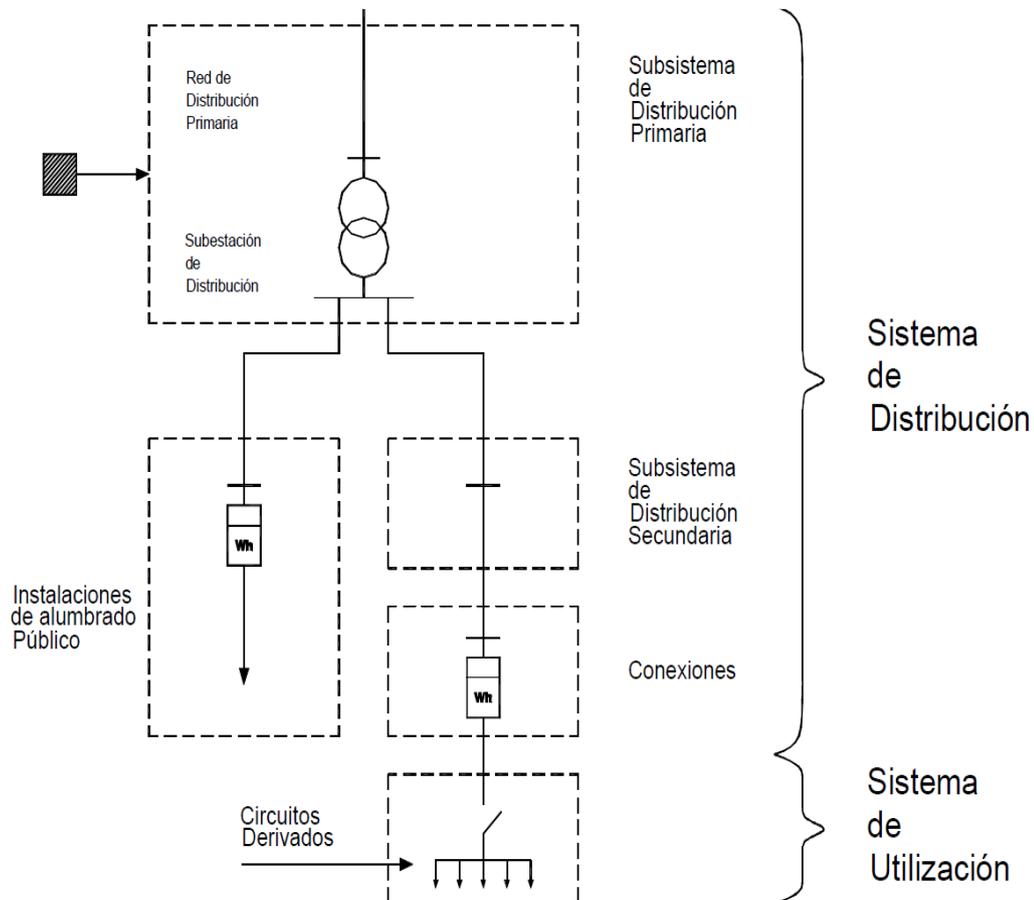
Nótese que es en esta parte donde se producen los porcentajes más grandes de pérdidas de energía en todas sus manifestaciones debido al gran volumen de elementos que lo conforman, y a los bajos niveles de tensión que se manejan. (CASTAÑO, 2010).

Un sistema eléctrico es el conjunto de máquinas, de aparatos, de barras y de líneas que constituyen un circuito con una determinada tensión nominal. Los sistemas eléctricos pueden clasificarse por su nivel de tensión y se utiliza la siguiente división donde los límites de la clasificación no son estrictos, dependen de criterios y de normas.

Según la normatividad del Perú tenemos los siguientes niveles de tensión:

- Media tensión (M.T.) Cualquier conjunto de niveles de tensión comprendidos entre la alta tensión y la baja tensión Los límites son  $1 \text{ kV} < U < 30 \text{ kV}$
- Baja tensión (B.T.) Conjunto de niveles de tensión utilizados para la distribución de la electricidad. Su límite superior generalmente es  $U \leq 1 \text{ kV}$

Siendo: U: Tensión Nominal.



**Figura 1:** Esquema general de la red o sistema eléctrico

**Fuente:** NORMA DGE – TERMINOLOGIA EN ELECTRICIDAD

## 2.2 ELEMENTOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.

### 2.2.1 Conductores

Consiste de un cuerpo o un medio adecuado, utilizado como portador de corriente eléctrica. El material que forma un conductor eléctrico es cualquier sustancia que puede conducir una corriente eléctrica cuando este conductor se ve sujeto a una diferencia de potencial entre sus extremos. Esta propiedad se llama conductividad, y las sustancias con mayor conductividad son los metales. Los materiales comúnmente utilizados para conducir corriente eléctrica son en orden de importancia: cobre, aluminio, aleaciones de cobre, hierro, acero.

La selección de un material conductor determinado es, esencialmente, un problema económico, el cual no solo considera las propiedades eléctricas del conductor, sino también otras como: propiedades mecánicas, facilidad de hacer conexiones, su mantenimiento, la cantidad de soportes necesarios, las limitaciones de espacio, resistencia a la corrosión del material y otros. Los metales más comúnmente utilizados como conductores eléctricos son:

**Cobre:** Material maleable, de color rojizo, la mayoría de los conductores eléctricos están hechos de cobre.

**Aluminio:** Los conductores de aluminio son muy usados para exteriores en líneas de transmisión y distribución y para servicios pesados en subestaciones. (Francisco González-Longatt, 2007).



**Figura 2:** Conductor eléctrico de cobre.

**Fuente:** (Francisco González-Longatt, 2007)

### 2.2.2 Aisladores

Los aisladores en las líneas de transmisión de alta tensión sirven fundamentalmente para sujetar a los conductores, de manera que estos no se muevan en sentido longitudinal o transversal. Como su nombre lo indica, deben evitar la derivación de la corriente de la línea hacia tierra, ya que un aislamiento defectuoso acarrea pérdidas de energía y en consecuencia un aumento del gasto de explotación comercial del sistema.

Los aislantes cumplen la función de sujetar mecánicamente los conductores a las estructuras que los soportan, asegurando el aislamiento eléctrico entre estos dos elementos.

Así pues, por algunas décadas, las cualidades eléctricas y mecánicas de los aisladores no deberán ser destruidas, por ninguno de los esfuerzos de todo tipo que estarán sometidos. Además, deberán facilitar todo trabajo que pudiera efectuarse en la línea, aun mantenida en tensión eléctrica, sin perjudicar la recepción de las señales electromagnéticas, radio, televisión y otros, ni la estética si fuera posible. Los aisladores se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, según el material elegido para su manufactura: aisladores de vidrio, porcelana o de plástico. Según su uso de tiene aisladores de intemperie y aisladores de recintos cubiertos, aislador de suspensión o aisladores de amarre, así como también aisladores de apoyo. También se diferencia entre aisladores de corriente continua y de corriente alterna. (Francisco González-Longatt, 2007).



**Figura 3:** Aislador de porcelana tipo PIN

**Fuente:** (Francisco González-Longatt, 2007)



### 2.2.3 Soportes o Estructuras

La función de los soportes es mantener los conductores alejados entre sí y con el suelo, para evitar arcos entre conductores o problemas debajo y al lado de los mismos. La naturaleza de los soportes es muy variada, en los sistemas de transmisión suelen ser metálicos, concreto o madera, y su selección depende de un análisis económico. La materia prima de las estructuras ha sido siempre una respuesta a las facilidades de los recursos naturales lo cual ha desarrollado técnicas muy particulares en cada país. Venezuela en su etapa de iniciarse en estas nuevas técnicas ha tenido la oportunidad de ensayar experiencias de diferentes países y buscar costos menores. Los soportes deben ser resistentes a los agentes externos, tales como vientos, nieve, lluvia, etc., y además deben de brindar una facilidad de instalación.

En el diseño de una línea de transmisión deben considerarse no apartar más de lo necesario los conductores de los soportes, ya que la línea más económica resulta de un buen diseño de estas distancias.

Los soportes son estructuras destinadas para mantener en las líneas de transmisión aéreas, los conductores separados entre sí y de tierra. Los soportes pueden ser básicamente de dos tipos:

- Postes.
- Torres.

La escogencia del tipo de soporte a utilizar en el diseño de una línea de transmisión y una configuración específica dependen de una multitud de factores relacionados. (Francisco González-Longatt, 2007).



**Figura 4:** Poste de Concreto Armado Centrifugado

**Fuente:** (Francisco González-Longatt, 2007)

#### 2.2.4 Herrajes en Línea de Transmisión Aéreas

Los Herrajes son estructuras metálicas que acompañan la estructura de soporte de las líneas de transmisión aéreas, y que poseen muy variadas funciones. Una de las clasificaciones más común empleada es aquella que los incluye en dos grandes grupos:

- Herrajes que forman arreglos o conjuntos
- Herrajes independientes

Entre la ferretería más importante utilizada tenemos la siguiente:

##### 2.2.4.1 Herrajes que Forman Arreglos o Conjuntos

Los herrajes que forman arreglos son conjuntos de piezas metálicas que se agrupan para llevar a cabo una función muy particular. La selección de cada uno de los herrajes que conforman el arreglo no puede ser realizada sin tomar en cuenta el conjunto y los elementos a los cuales acopla. Los herrajes en arreglos pueden ser:

- De Fijación de cadena de aisladores a torre.
- Para unir entre sí los extremos de la cadena de aisladores y los conductores.
- Para proteger los aisladores.
- Mordazas de amarre y suspensión
- Para el cable de guarda.



#### **2.2.4.2 Herrajes para Unir entre sí los elementos de la cadena de aisladores y los conductores**

Además de los elementos que se utilizan para fijar directamente la cadena de aisladores a la torre, en las cadenas de aisladores se emplea una serie de herrajes que permiten unir entre sí mecánicamente los diversos elementos que conforman la cadena.

En estos herrajes del ensamble de las cadenas de aisladores y los conductores se incluyen:

- Ojo bola y anilla bola.
- Yugos.
- Rótula ojo, Rótula anilla y Rótula Horquilla.
- Horquilla ojo y Horquilla Bola.
- Doble ojo, Doble ojo Revirado, Ojo Anilla Revirado.
- Eslabón o Anilla.

#### **2.2.4.3 Herrajes Independientes**

Aquí las características de cada herraje solo tienen que ver con la función a la cual está destinado el herraje en particular.

Los herrajes individuales que se colocan a lo largo de las líneas y están destinados a distintas funciones, son fundamentalmente:

- Amortiguadores
- Varilla de Armar
- Empalmes (Francisco González-Longatt, 2007)



**Figura 5:** Ferretería Eléctrica

**Fuente:** (Francisco González-Longatt, 2007)

### 2.2.5 Sistemas de puesta a tierra

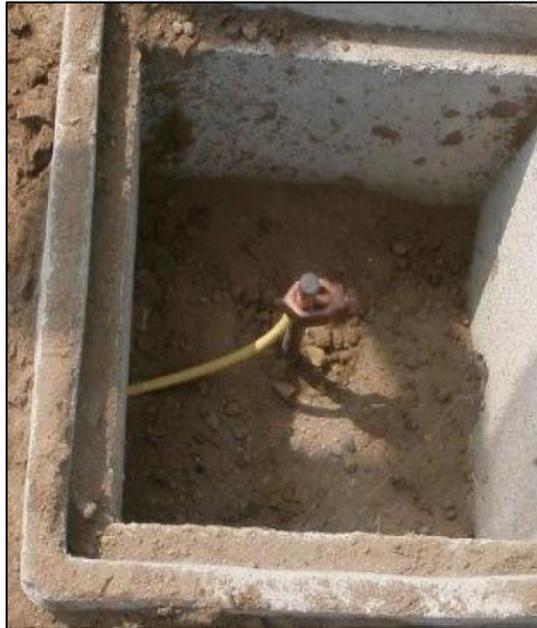
Las puestas a tierras disminuyen las tensiones de objetos metálicos que se encuentran influenciados por inducciones eléctricas. Es el conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico puntual sin ningún tipo de interrupciones, protecciones como fusibles, interruptores, que conecta los equipos eléctricos con una masa metálica y el terreno.

Al presentarse una falla a tierra o una descarga atmosférica proporciona un camino seguro para la corriente eléctrica de falla y del rayo, cumpliendo el objetivo fundamental de los sistemas de puesta a tierra que es la seguridad de las personas.

Los sistemas de puesta a tierra son elementos muy importantes en los sistemas eléctricos, porque además de permitir de forma segura la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por rayos, anomalías del sistema o electricidad estática, poseen la capacidad de dispersión y disipación de fallas, sin la presencia en la superficie de potenciales peligrosos.

Según el Reglamento Técnico de las Instalaciones Eléctricas toda instalación eléctrica que esté citada en este, debe contar con un sistema de puesta a tierra, que asegure

que cualquier punto exterior o interior por donde puedan estar o transitar personas sea considerado seguro desde el punto de vista del sometimiento de estas a tensiones de paso, de contacto o transferidas; esto por el hecho de que no se deben superar los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla. (Guzmán, 2012).



**Figura 6:** Pozo a tierra

**Fuente:** (Guzmán, 2012)

#### **2.2.5.1 Electrodo de tierra**

El término electrodo se utiliza para identificar a las terminales de una batería, las cuales indican la trayectoria para la circulación de los electrones dentro y fuera de la misma. El electrodo de tierra de una instalación eléctrica es el medio por el cual entran al suelo las corrientes indeseadas.

Esta podría ser una tubería metálica de agua enterrada con continuidad eléctrica, en contacto directo con la tierra en una longitud mínima de 3 m. En caso de que algún medidor, por ejemplo, el de agua, fuese deshabilitado por mantenimiento y por lo tanto se perdiera la continuidad, se debe conectar un conductor como puente entre las dos tuberías que conectan dicho medidor.



La estructura o armazón metálica del edificio puede utilizarse como electrodo de tierra cuando se conecta en forma efectiva. Si la estructura se encuentra en contacto directo con el suelo homogéneo, se considera conectado a tierra en forma efectiva.

#### **2.2.5.2 Funciones del electrodo de tierra**

Las funciones del electrodo de tierra son diversas, de las cuales se podría mencionar que mantienen un buen contacto con el suelo, de tal forma que las partes metálicas de la instalación que no conducen corriente y que se conectan al sistema, se mantengan al potencial cero.

Otra de las funciones es proporcionar muchas trayectorias a tierra a gran cantidad de electrones generados por una descarga atmosférica o un sobre voltaje transitorio, de tal forma que sean disipadas en forma instantánea, así como drenar las corrientes de fuga, lo mismo que las descargas electrostáticas, las cuales pueden acumularse en las cubiertas metálicas de los equipos por falla en aislamiento de conductores. (Ajín, 2012).

#### **Sistemas de Protección**

La protección de las instalaciones de los sistemas de potencia, en general y en su aplicación a las subestaciones en particular, debe ser considerada como una prima de seguro que se invierte con el objeto de salvaguardar las instalaciones de daños, cuyas consecuencias socio-económicas serían muy graves en caso de no limitarlos al mínimo. En este sentido el dinero que se gasta en protección puede significar un porcentaje razonable del costo de las instalaciones que se quiere proteger.

## Interrupidores de Recierre Múltiple (RECLOSER)

Técnicamente es una solución confiable, en el sistema de protección de las redes de distribución primaria que permite seccionamiento de línea, tanto como protección como por necesidad de mantenimiento de las líneas y otorga flexibilidad en la operación. Son de fácil montaje y maniobra, económicamente es una solución atractiva.

En las salidas para redes de distribución primaria se emplea los seccionadores interruptores de fusibles tipo "CUT-OUT" para proteger los transformadores de distribución.

Los "RECLOSERS", fusibles de potencia j tipo "POWER FUSE" y los fusibles tipo "CUT OUT" son de instalación aérea y pueden ser colocados en el mismo poste de las líneas; además permitirán una adecuada selectividad en la protección, así como un seccionamiento selectivo de la línea para su mantenimiento. (Beyer, 1983).



**Figura 7:** Sistema de protección Sub Estación de distribución

**Fuente:** (Beyer, 1983).



## 2.3 CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO

### 2.3.1 Gestión y Mantenimiento

En el libro *Mantenimiento Industrial Efectivo* de Alberto Mora Gutiérrez, 2012 nos manifiesta lo siguiente: La palabra gestión se relaciona con la dirección de empresas, aplicada a un sistema técnico y social cuya función básica es crear bienes y/o servicios que contribuyan a elevar el nivel de vida de la humanidad. La expresión empresa se entiende como un conjunto formado por hombres, máquinas, tecnología, información, planeación y recursos financieros o de cualquier índole que procura alcanzar unos objetivos establecidos con antelación (eficacia y eficiencia), al manipular adecuadamente los recursos disponibles (eficiencia) a la vez que se protege la naturaleza con la mayor efectividad. La gestión es el integrador para lograr estas premisas (De Miguel, 1990).

La eficiencia con que la gestión de mantenimiento contribuye para alcanzar la producción total mediante la dotación de capacidades y fiabilidad del parque industrial, se plasma al maximizar la disponibilidad de los equipos (Rey, 1996).

La gestión de una empresa se refiere a su administración, y está relacionada con las desagregaciones que hace Fayol: planear, organizar, dirigir, coordinar y controlar (Fayol, y otros, 1996); las cuales se sintetizan abruptamente en general por las escuelas modernas de gestión en: planear, ejecutar y controlar.

La gestión involucra el concepto de conducción o dirección aplicada por diferentes personas al través de la organización, en las empresas formales está diseminada en todos los niveles de la estructura y se ejerce en todas las divisiones de ella, no es propia de algo, incluye personas o grupos de personas.

En mantenimiento es necesario reconocer dos aspectos básicos: gestión y operación, la primera se refiere al manejo de los recursos, a su planeación y a su control, mientras que la segunda es la realización física del servicio de mantenimiento.



Los autores Navarro, Pastor y Mugaburu enuncian que la gestión de mantenimiento debe enfocarse en dos direcciones: una de ellas es en la gestión que realiza mantenimiento con los demás departamentos enmarcado dentro de los objetivos de la empresa y el segundo nivel en la gestión integral e interna propia del departamento.

La primera de ellas define las pautas que se siguen en las buenas relaciones que debe tener mantenimiento para poder operar dentro de un marco integral de la empresa, con el fin de buscar mejores niveles de colaboración y de trabajo en equipo al seguir las pautas de la organización; en el segundo bloque de gestión integral interna depende exclusivamente de cómo disponga sus recursos productivos para generar un buen servicio de mantenimiento al menor costo posible y con la mayor calidad al lograr excelentes niveles de satisfacción al cliente.

Lorick se refiere a la gestión de mantenimiento, como la organización de un área gerencial de mantenimiento que exige la necesidad de establecer sistemas de gestión y operación mediante procesos, apoyándose en sistemas computarizados para manejar las actividades inherentes a mantenimiento. Los pasos que se requieren para implementar este proceso sistémico son: establecer una organización que permita gerenciar el sistema de mantenimiento, de tal forma que se pueda tener una planeación detallada global y específica de las rutas y actividades del mantenimiento a realizar, utilizar el sistema de información para definir en forma anticipada todos los servicios y los recursos necesarios para la operación del mantenimiento, instaurar metodologías que permitan el mejoramiento permanente tanto de las actividades como de la gestión, conformar grupos interactivos de análisis y operación del mantenimiento, desarrollar sistemas de monitoreo de todas las actividades y del control de la gestión global incluidos sus costos, con permanentes reportes de indicadores de toda índole; indudablemente todo esto contribuye a elevar la eficiencia (Lorick, y otros, 1998) (González, 2004).



El autor Sourís afirma que las diversas funciones para la gestión de mantenimiento parecen coincidir en que es el área encargada de asegurar la disponibilidad de equipos a producción, mediante la ponderación de las imperfecciones de diseño, de las obsolescencias tecnológicas y de la acción del tiempo. La gestión de mantenimiento debe estar enmarcada dentro de los objetivos de la empresa, lo cual se concreta en un presupuesto según la actividad industrial de la empresa origen. Las limitaciones de mantenimiento varían con el tipo de industria, pero dependen de: disponibilidad financiera, políticas de utilización del parque industrial, niveles de productividad, fiabilidad de los equipos, vida útil de los equipos, obsolescencia tecnológica de las máquinas, calificación y calidades del personal de mantenimiento.

Por otro lado, Reiter expresa que la gestión de mantenimiento debe proveer un sistema que planifique, organice, dirija, controle y administre todas las actividades inherentes al mantenimiento a la vez que debe permitir un negocio eficaz, fiable, ágil, capaz de responder a las necesidades de producción, que procure la competitividad y la productividad de la empresa y tenga activa participación de sus empleados (Reiter, y otros, 1994).

El esquema moderno de mantenimiento implica la vinculación de herramientas propias de la gestión, el concepto integral se maneja desde la base de utilizar en forma eficaz y eficiente los factores productivos en forma individual y conjunta, para aplicarlos mediante una adecuada gestión de mantenimiento (correctiva, modificativa, preventiva, predictiva o combinación de ellas), con la definición de metas concretas a lograr en cada una de las variables importantes de mantenimiento, al utilizar el concepto de servicio al cliente, para centrar la organización en el desarrollo de habilidades y competencias esenciales en el recurso humano motivado, para satisfacer los requerimientos del usuario de mantenimiento interno o externo (Mora, 2007).



Se resalta la importancia de que mantenimiento deja de trabajar bajo el enfoque de manejar un presupuesto a tener que salir a buscar sus propios ingresos (gestión de activos), para lo cual debe desarrollar estrategias de mercadeo que le permitan alcanzar niveles de productividad y competitividad (Dounce, 1998); mediante el establecimiento de planes estratégicos de alta dirección como empresa independiente que tiende a convertirse en generadora de ingresos propios y adicionales a la empresa de su origen. La gestión de mantenimiento contempla la planeación, organización, coordinación, dirección, ejecución y control de todas las actividades inherentes a mantenimiento con el fin de cumplir su misión. (Mora, 2012)

### **2.3.1.1 El mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos con el fin de detectar condiciones y estados inadecuados de esos elementos que puedan ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están en estado inicial de desarrollo. (Álvarez, 2004)

En algunos casos, vale la pena sustituir un dispositivo que funciona antes de que falle. En general, el motivo por el que se sustituye un dispositivo que funciona es que el coste de hacerlo es pequeño en comparación con el coste de responder a un fallo que ocurra durante el funcionamiento del dispositivo, un fallo en el campo. Históricamente, se han definido dos tipos de políticas de mantenimiento preventivo. Se designan como «sustitución por edad» y «sustitución en bloque». Ambas pueden ser analizadas utilizando los conceptos de procesos de renovación desarrollados anteriormente. Más recientemente,



se ha hecho la distinción entre una «reparación mínima», en la que un dispositivo que ha fallado se pone de nuevo en funcionamiento sin que ello modifique el riesgo, y una reparación completa que resulta en una función de riesgo correspondiente a un nuevo dispositivo. Los nuevos resultados relativos a la reparación mínima y a varios otros (Nachlas, 1995)

El objetivo del mantenimiento preventivo es aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo llevando a cabo un mantenimiento planeado, basado en las inspecciones planificadas y programadas de los posibles puntos a falla. (Àlvares, 2004).

### **2.3.1.2 Mantenibilidad**

En la literatura técnica podemos encontrar varias definiciones de la mantenibilidad. En esta monografía se usa la siguiente:

La mantenibilidad es la característica inherente de un elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica.

Para poder usarla en la práctica de ingeniería, la definición anterior de mantenibilidad debe ser expresada numéricamente. De esta forma, las características cualitativas deben ser «traducidas» en medidas cuantitativas. De acuerdo con Blanchard se puede expresar en términos de factores de frecuencia de mantenimiento, tiempo empleado en mantenimiento y coste de mantenimiento. Estos términos pueden ser presentados como características diferentes; por tanto, la mantenibilidad puede definirse según una combinación de factores como:

1. Una característica de diseño e instalación, expresada como la probabilidad de que un elemento sea conservado o recuperado en una condición especificada, a lo largo de un



período dado del tiempo empleado en el mantenimiento, cuando éste se realiza de acuerdo con los procedimientos y recursos prescritos.

2. Una característica de diseño e instalación, expresada como la probabilidad de que no se necesitará mantenimiento más de  $x$  veces en un período dado, cuando se opera el sistema de acuerdo con procedimientos prescritos.
3. Una característica de diseño e instalación, expresada como la probabilidad de que el coste de mantenimiento de un sistema no supere una cantidad de dinero especificada, cuando se opera el sistema de acuerdo con procedimientos prescritos.

Aunque estas tres maneras de cuantificar la mantenibilidad son teóricamente posibles, el enfoque basado en el tiempo empleado en el mantenimiento es, de lejos, el más usado en la práctica. (Knezevic, 1996).

### **2.3.1.3 Disponibilidad Operacional**

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales, en un entorno real de soportes logísticos y, abarca por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos que se causan por los retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación e, incluye el mantenimiento programado y no planeado. Le interesan todas las demoras, los mantenimientos planeados y los no planeados. (Mora, 2012).



#### 2.3.1.4 Confiabilidad

La medida de la confiabilidad de un equipo, es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo (ESREDA-Industrial, 1998). Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable.

Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento, no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores: diseños, montajes y mantenimientos; fallan alguna vez (Bazovsky, 2004).

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La calidad puede ser definida cualitativamente como la cantidad de satisfacción, de los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento, después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada.

La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno, se define como confiabilidad (Blanchard, 1995) (Blanchard, y otros, 1994) (Ebeling, 2005) (Nachlas, 1995) (Ramakumar, 1996) (Sotskov, 1972) (Leemis, 1995) (O'Connor, 2002) (Kececioglu, 1995) (Kelly, y otros, 1998) (Dounce, 1998) (Rey, 1996) (Halpern, 1978) (Forcadas, 1983) (Modarres, 1993) (Barlow, 1998) (Barlow, y otros, 1996) (Bazovsky, 2004) (Lewis, 1995) (Nakajima, y otros, 1991).



La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que definen su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones específicas. (Mora, 2012).

### **2.3.1.5 Falla**

En la concepción del mantenimiento de equipos falla podemos definir como una condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe. Es decir, la falla producirá que el equipo se detenga en su función primaria y deje de producir.

### **2.3.1.6 Consecuencias de falla**

Se puede plantear realizando las siguientes preguntas:

1. ¿cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacer para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

La naturaleza y la gravedad de las fallas definen las consecuencias de la falla. En otras palabras, define la manera en la que los dueños y los usuarios de los activos creerán que cada falla es importante.

Si las consecuencias son serias, entonces se harán esfuerzos considerables para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias; sobre todo, si la falla puede herir o matar a una persona, o si tiene efectos serios sobre el medio ambiente. Esto también es válido



si las fallas interfieren con la producción o las operaciones, o si pueden causar daños secundarios significativos.

Por otro lado, si la falla sólo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva, y que la falla simplemente sea reparada una vez que ocurra.

Este enfoque sobre las consecuencias hace que RCM comienza el proceso de selección de tareas asignado los efectos de cada modo de falla. El próximo paso es encontrar una tarea proactiva que sea físicamente posible de realizar y si podemos encontrar dicha tarea, se dice que es técnicamente factible. Si la respuesta es sí, diremos que una tarea merece la pena; y si no es posible encontrar una tarea positiva adecuada, la naturaleza de las consecuencias de fallas también indican que acción " a falta de " debería ser tomada.

Una tarea proactiva merece la pena así reducir las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla. (Moubray J. , 2004)

### **2.3.1.7 Categorías de fallas evidentes**

Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente:

- **Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien, tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional. (Moubray J. , 2004)
- **Consecuencias operacionales.** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción o a las operaciones (volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente con costo operacional, además del costo directo de la reparación). (Moubray J. , 2004)



- **Consecuencias no operacionales.** Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, de modo que sólo involucra el costo directo de la operación. (Moubray J. , 2004)

#### **2.3.1.8 Consecuencias ambientales y para la seguridad**

Se considera primero las implicancias de cada modo de falla evidente, sobre la seguridad y del medio ambiente. (Moubray J. , 2004)

Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad si causa una pérdida de función y otro daño que pudiera lesionar o matar a alguien. (Moubray J. , 2004)

Un modo de falla tiene consecuencias ambientales que causan una pérdida de función u otro daño que pudiera Conducir a la infracción de cualquier normativa o reglamento ambiental conocido. (Moubray J. , 2004)

#### **2.3.1.9 Consecuencias operacionales.**

La función primaria de la mayoría de los equipos en la industria está vinculada de algún modo con la necesidad de producir ingresos o de apoyar alguna actividad económica. (Moubray J. , 2004)

Las fallas que afectan las funciones primarias de estos activos físicos afectan la capacidad de generación de ingresos de la compañía, la magnitud de estos efectos depende de la carga de máquina y de la disponibilidad de alternativas; en la mayoría de los casos los efectos son mayores frecuentemente mucho mayores que el costo de reparar las fallas, esto también se aplica a los equipos de las industrias de servicio, tales como entretenimiento, comercio y hasta la industria bancaria. (Moubray J. , 2004)

Comúnmente afectan las operaciones de 4 formas:

- “Afectan al volumen de producción total, esto ocurre cuando el equipo deja de funcionar o cuando trabaja demasiado lento. Esto resulta en el incremento de Los costos de producción en el caso en que la planta tenga que trabajar horas extras para



cumplir con la producción, o en la pérdida de ventas si la planta está trabajando a su máxima capacidad”. (Moubray J. , 2004)

- “Afectan la calidad del producto, cuando una máquina no puede mantener las tolerancias de un producto o si una falla hace que el material se deteriore, dará como resultado trabajos costosos, en el sentido más general, la calidad también abarca conceptos como la precisión de sistemas de navegación, la puntería de sistemas de balística, y otros más”. (Moubray J. , 2004)
- “Afectan el servicio al cliente, las fallas afectan a los clientes de muchas maneras, comenzando por las demoras en la entrega de los pedidos hasta los retrasos en los vuelos comerciales; cuando los retrasos son importantes o frecuentes pueden traer aparejados importantes penalidades, aunque en la mayoría de los casos no redunda en una pérdida de ganancia y media; de cualquier modo, los problemas de servicios crónicos tarde o temprano hacen que los clientes pierdan confianza y busquen otros proveedores”. (Moubray J. , 2004)
- “Incremento del costo operacional sumado al costo directo de la reparación, por ejemplo, la falla puede hacer que aumente el consumo de energía o que debe usarse un proceso más costoso para realizar la producción”. (Moubray J. , 2004)

La severidad de este tipo de consecuencia lleva a que, si una falla evidente no representa una amenaza a la seguridad o el medio ambiente, el proceso RCM se enfoque a las consecuencias operacionales de la falla. (Moubray J. , 2004)

Una falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional. (Moubray J. , 2004)

El efecto económico global De cualquier modo de falla que tiene consecuencias operacionales depende de dos factores: (Moubray J. , 2004)



- Cuando ocurre la falla cada vez que ocurre, en términos de su efecto sobre la capacidad operacional, más el costo de reparación. (Moubray J. , 2004)
- Con qué frecuencia ocurre.

Si las consecuencias de las fallas son económicas, el costo total es afectado por la frecuencia con la que se producen dichas consecuencias, es decir, para evaluar la trascendencia económica de estas fallas, debemos evaluar cuánto pueden costar a lo largo de un periodo de tiempo. (Moubray J. , 2004)

Para modos de falla con consecuencias operacionales, merece la pena realizar una tarea proactiva sí a lo largo de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla que pretende evitar. (Moubray J. , 2004)

#### **2.3.1.10 Consecuencias no operacionales**

Las consecuencias de una falla evidente que no ejerce un efecto adverso directo para la seguridad, o la capacidad operacional, son clasificadas como no operacionales; las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación, con lo que estas consecuencias también son económicas. (Moubray J. , 2004)

Para modos de falla con consecuencias no operacionales, merece la pena realizar tareas proactivas si, en un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar las fallas que pretenden prevenir. (Moubray J. , 2004)

Es necesario considerar también cuando se realizan fallas con consecuencias no operacionales. (Moubray J. , 2004)

- “Daños secundarios, en ciertos modos de falla pueden causar si no se los evita o previene, un daño secundario considerable, lo que se suma a sus costos de reparación; una tarea proactiva puede llevar a prevenir o anticipar la falla y evitar ese riesgo”. (Moubray J. , 2004)



- “Funciones protegidas, podríamos decir que una falla no tiene consecuencias operacionales porque dispone de un dispositivo redundante o de reserva, si es razonable asumir que el dispositivo de protección será funcional cuando la falla ocurra; esto significa, por supuesto, que un programa de mantenimiento apropiado debe ser aplicado al dispositivo de protección”. (Moubray J. , 2004)

## 2.4 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.4.1 Tipo metodológico

“Para el presente proyecto de tesis el método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo, que abarca los siguientes niveles”.

(Cazau, 2006)

**De Campo,** La información de campo es primaria y conduce a una comprensión más veraz del problema ya que se tiene acceso directo a la realidad, en la investigación de este estudio las técnicas a utilizar son las encuestas y observaciones de campo ya que su desarrollo es más complejo y así se obtienen resultados fáciles de interpretar y analizar.

(Cazau, 2006)

**Documental,** el propósito de la revisión documental bibliográfica en la presente investigación tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema de investigación basándose en los documentos y publicaciones referentes al presente proyecto, las que permiten hacer un vínculo entre los antecedentes históricos y lo actual. (Cazau, 2006)

### 2.4.2 Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos para la presente Investigación se obtendrá mediante los siguientes instrumentos de recolección de datos:



### **2.4.3 Instrumentos de recolección de datos**

#### **a) Análisis documental**

Mediante el cual se recopilará datos e información necesaria para desarrollar y sustentar este estudio; básicamente como su nombre lo indica a través del análisis de documentos existentes. (Cazau, 2006)

Se utilizará como fuente los datos, libros, informes, separatas, páginas de internet, etc., referente a temas relacionados con la investigación. (Cazau, 2006)

#### **b) Encuesta**

Mediante esta técnica se logrará obtener información directamente desde la muestra, es un proceso a través del cual conseguiremos datos de información primaria que nos permitan explicar el problema y lograr los objetivos de la investigación mediante preguntas al personal de mantenimiento. (Cazau, 2006)

#### **c) Observación**

La observación científica es aquella observación que se realiza como parte de un proyecto de investigación científica, se caracteriza porque tiene objetivos definidos y concretos, y porque deliberadamente procura ser objetiva. En este ítem se examinan cuestiones relativas al registro de la observación, los tipos de observación, las precauciones en el empleo de esta técnica de recolección de datos y algunas de sus ventajas y limitaciones. (Cazau, 2006)

#### **d) Internet**

No existe duda sobre las posibilidades que hoy ofrece internet como una técnica de obtener información; es más, hoy se ha convertido en uno de los principales medios para captar información. Por consiguiente, analizamos temas que tienen que ver con el proceso de mantenimiento.



Cuando que se tiene la información se analiza e interpreta, correlacionándolos con las diferentes partes de la investigación, en especial con los objetivos del presente estudio.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Tipo de investigación

- **Investigación**, es el conjunto de actividades que desarrollamos para obtener conocimientos nuevos, es decir datos o informaciones que no poseemos, que desconocemos; y que necesitamos para tomar decisiones que contribuyan a resolver problemas cuyas soluciones desconocemos. (Rodríguez, 2012)
- **Investigación Científica**, es una estructura racional que integra como elementos indispensables a la investigación y a la ciencia ya establecida; y en ese orden necesario, es decir, privilegiando la investigación de problemas nuevos que afectan a la realidad, pero que son nuevos respecto a la ciencia ya establecida, o al conjunto de conocimientos ya provisoriamente establecidos y sistematizados por la humanidad; que permite obtener conocimientos nuevos, que como aportes se suman a la ciencia ya establecida. (Rodríguez, 2012)

En ese sentido para el presente proyecto de investigación según lo descrito por los diferentes autores referidos a la investigación científica moderna podemos decir que la presente investigación se enmarca dentro de la investigación descriptiva correlacional la que se describen a continuación. (Rodríguez, 2012)

- **Investigación descriptiva**

La Investigación Descriptiva responde a las preguntas: ¿Cómo son?, ¿Dónde están?, ¿Cuánto son?, ¿Quiénes son?, etc.; es decir nos dice y refiere sobre las características, cualidades internas y externas, propiedades y rasgos esenciales de los hechos y fenómenos de la realidad, en un momento y tiempo histórico concreto y determinado. (Rodríguez, 2012)



En un estudio descriptivo se seleccionan una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas; estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno. (Rodríguez, 2012).

Los estudios descriptivos miden de forma independiente las variables, y aun cuando no se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de investigación. (Arias, 1999).

- **Investigación correlacional**

Este tipo de investigación tiene como propósito medir el grado de relación que exista entre dos o más conceptos o variables. (SIAMPERI, 2014)

Tiene como finalidad medir el grado de relación que eventualmente pueda existir entre dos o más conceptos o variables, en los mismos sujetos, más concretamente, buscan establecer si hay o no una correlación, de qué tipo es y cuál es su grado o intensidad (cuán correlacionadas están). (SIAMPERI, 2014)

En otros términos, los estudios correlacionales pretenden ver cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí. (SIAMPERI, 2014)

### **3.1.2 Técnicas de recolección de datos**

Los instrumentos de investigación y recolección de datos son los medios utilizados por el investigador, para medir el comportamiento o atributos de las variables. (Chavez, 2004)

El procedimiento que se utiliza en el presente proyecto de investigación es documental.

El procedimiento documental se utiliza para la elaboración del marco conceptual, del mismo ayuda a reunir datos de archivos y documentos.



Para la recolección de información se utiliza las técnicas:

- Observaciones directas.
- Hojas de reporte.

En la técnica empírica se utilizará para recolectar datos del mismo objeto de estudio a través de la observación y medición., todos ellos permiten extraer datos de la operación, empleando fichas de registro, reportes. (Guerra, 2017)

### **3.1.3 Técnicas de análisis de datos**

En este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso. (Arias, 1999)

Un lo referente al análisis, se definirán las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis, síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), que serán empleadas para descifrar lo que revelan los datos que sean recogidos. (Arias, 1999)

Conforme lo planteado en el párrafo anterior las técnicas que se aplicarán son de dos tipos, las de campo; debido a que se requiere acumular información primaria para después analizar y cuantificarla, y las bibliográficas; para obtener información de documentos y libros referentes al tema. (Arias, 1999)

Es el presente trabajo de investigación, se tuvo en cuenta la población, muestra y el análisis de variables, en el procedimiento consideró también los resultados de la investigación y se realizó el análisis estadístico de dichos resultados considerando los objetivos planteados. (Arias, 1999)

### **3.1.4 Método de la investigación.**

El diseño de investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. (SIAMPERI, 2014)



El método utilizado para para el presente proyecto “Diseño de un plan de Mantenimiento Preventivo para los Equipos críticos del Sub Sistema de Distribución Primaria en 22.9 KV Tambopata”, tiene fundamentalmente de los siguientes pasos:

- Diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta para determinar el AMEF.
- Identificar los elementos críticos.
- Definir la fiabilidad con los parámetros de Weibull con el historial de fallas.

## **3.2 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1 Diagnóstico de la situación actual**

El diagnóstico de la situación actual está determinado por la configuración actual del sistema eléctrico de Puerto Maldonado y su operación, así como las características de configuración y niveles de tensión de la subestación de Puerto Maldonado a la red. que se describirá de acuerdo con la tabla a continuación.



**Tabla 1:** Diagnóstico de las redes

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ESTADO
TIPO DE ESTRUCTURA		
TIPO DE RED ELETRICA		
TIPO DE SISTEMA		
NUMERO DE CONDUCTORES		
MATERIAL DE CONDUCTOR		
SECCION DEL CONDUCTOR		
LONGITUD DE LA RED		
AÑO DE PUESTA EN SERVICIO		

Elaboración propia

### 3.2.2 Componentes críticos

Para establecer los componentes críticos de las redes de distribución eléctrica de Tambopata, aplicamos la metodología que nos permite identificar a qué sistemas y sub sistemas se deben dirigir todos los esfuerzos y metodologías del mantenimiento preventivo; para la identificación de los componentes más críticos utilizaremos el análisis de modo y efectos de falla, planteada por (Moubray J. , 2004)

La que está constituida por la hoja de información y la hoja de decisión, las que se detallan brevemente a continuación: (Moubray J. , 2004)

#### 3.2.2.1 Análisis de Modo y Efectos de Fallas (AMEF)

“El objetivo básico del AMEF, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o



efectos de fallas en función de tres criterios básicos para el mantenimiento”. (Moubray J. , 2004)

“AMEF significa Análisis de Modos de Falla y sus Efectos, su concepto está relacionado con la herramienta utilizada para indicar dónde puede ocurrir un fallo en un proceso o en un equipo; esta herramienta dirige las principales posibilidades de fallas, demostrando el grado de impacto de cada una”. (Moubray J. , 2004)

Para la evaluación de modos de falla, usando los parámetros usuales del FMEA; la frecuencia 'O' caracteriza los modos de falla de ocurrencia, la severidad 'S' caracteriza la duración de la interrupción causada por la detección de modo de falla y 'D', caracteriza la probabilidad de detectar la falla antes de que comience a tomar acciones correctivas o preventivas; de los tres parámetros anteriores, definimos criticidad 'C' o número de prioridad de riesgo RPN, que se calcula mediante el producto de tres factores O, S y D. Permite analizar el riesgo y establecer el umbral de aceptabilidad para cada modo de falla. (HAMADACHE, 2010).

$$RPM = S * O * D \quad (1)$$

Las siguientes tablas resumen la evaluación para cada parámetro, frecuencia O, severidad S, detectabilidad D y criticidad C



**Tabla 2: Parámetros AMEF (Ocurrencia)**

OCURRENCIA (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	La falta cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de fallos, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo no logran	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, falla ocasional	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, el fallo frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto, fracaso	10

**Fuente:** (HAMADACHE, 2010).

**Tabla 3: Parámetros AMEF (Severidad).**

SEVERIDAD (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
>8h	Muy catastrófica	8
7h	Catastrófico	7
6h	Muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	Muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0,6
<30 minutos	Muy pequeña	0,2

**Fuente:** (HAMADACHE, 2010).



**Tabla 4:** Parámetros AMEF (Detectabilidad)

DETECTABILIDAD (D)		
Nivel de detectabilidad	Criterio de detectabilidad	Valor
No detectable	Imposible	10
Difícil de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
Detectar al azar (improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	Tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	Inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

**Fuente:** (HAMADACHE, 2010).

**Tabla 5:** Criticidad

CRITICIDAD C		RIESGO O PELIGRO
Nivel De	VALOR	
Criticidad		
Menor	<b>0-30</b>	Aceptable
Medio	31-60	Tolerable
Alto	61-180	
Muy Alto	181-252	Inaceptable
Critico	253-324	
Muy Critico	>324	

**Fuente:** (HAMADACHE, 2010).

### 3.2.2.2 Hoja de información

Se registrará la información recopilada en los primeros cuatro pasos del RCM, como son:

- Funciones
- Fallas funcionales
- Modos de fallas
- Efectos de las fallas.

**Tabla 6:** Cuadro AMEF

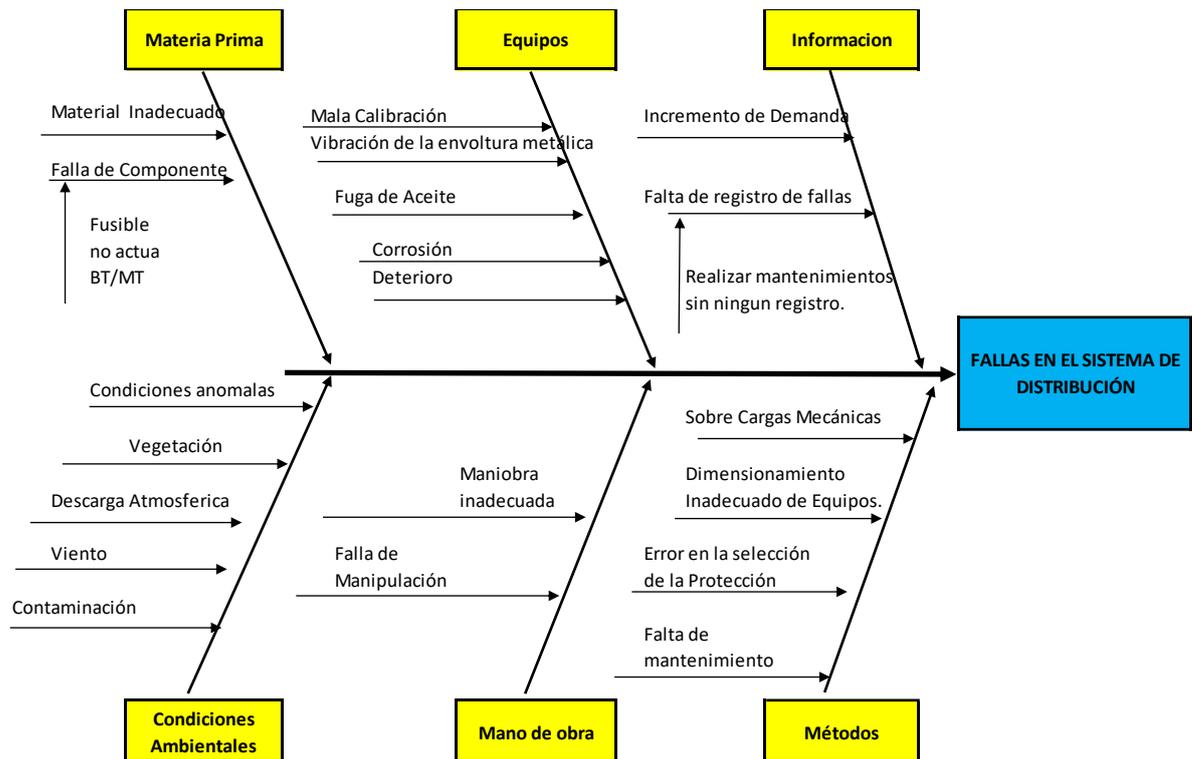
Sistema	Subsistema	Equipo	Función	Modos de falla	Causa	Efecto	Detec ción	O	S	D	E	Plan de manteni miento
---------	------------	--------	---------	-------------------	-------	--------	---------------	---	---	---	---	------------------------------

Fuente: (Moubray J. , 2004)

### 3.2.2.3 Fallas del sistema de distribución.

En el primer paso, todas las causas de interrupción del sistema de distribución se asignan y tabulan, luego se clasifican por tipo. Para una mejor selección de las fallas, se clasifican en perturbaciones de equipos, sobrecargas, conductores, etc. En un diagrama de espina de pescado, podemos visualizar este enfoque.

**Tabla 7: Espina de pescado**



Elaboración propia

<https://plantillaarbolgenealogico.net/diagramas/ishikawa/>

### 2.2.3 Hoja de decisión

Con la información procesada en los tres últimos pasos del RCM, de acuerdo a la referencia de la hoja de información, en ella se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla (fallas ocultas, para la seguridad y el medio ambiente, operacionales y no operacionales); y el tipo de tarea preventiva que se va a realizar. En el cuadro se muestra una hoja de decisión. (Moubray J. , 2004)

**Tabla 8:** Hoja de decisión

Sistema	Sub sistema	Equipos	Ocurrencia	Severidad	Detectabilidad	Criticidad
			[O]	[S]	[D]	[C]
Sistema de distribución energía	Sistema de transporte de energía	Conductores eléctricos				
	Sistema aislamiento	Aisladores				
	Sistema de transformación	Transformadores				
	Sistema de protección	Pararrayos Descargadores Puestas a tierra Fusibles Interruptor automático Seccionadores				
	Sistema de medición	Transformador de medición Medidores de energía				
	Sistema de soporte	Ferretería Soportes				

Elaboración propia

#### 2.2.4 Determinación de los intervalos de mantenimiento preventivo

Para determinar los periodos de mantenimiento utilizamos la metodología del análisis de Weibull, seguimos el siguiente procedimiento:

#### 4.1.1 Gráfico Weibull

Para la estimación de la confiabilidad de los equipos importantes se realiza por medio del Análisis de los parámetros de Weibull.

Para poder construir el gráfico de Weibull fue necesario comenzar con el cálculo del Rango medio o de mediana según el tamaño de la muestra como indica la fórmula de Bernard. (HAMADACHE, 2010)

Tenemos la ecuación de rango medio, para muestras mayores a catorce datos.

$$F(i) = \left\lfloor \frac{i}{(n+1)} \right\rfloor \quad (2)$$

En donde:

n: tamaño de la muestra

i: Numero de la muestra

Para la muestra menor a 14, se utiliza la ecuación de la mediana, que es la siguiente:

$$F(i) = \left\lfloor \frac{(i-0.3)}{(i+0.4)} \right\rfloor \quad (3)$$

En donde:

i: Numero de la muestra

Es necesario linealizar de forma doble los parámetros de rango medio, tanto en X e Y, de manera de graficar esta linealización en un gráfico de dos variables, y al mismo tiempo incorporarle una línea de tendencia para asegurarse que la correlación de los datos es por lo menos fuerte en la muestra. (HAMADACHE, 2010)

Seguidamente se calculó la tasa de fallas, utilizando la siguiente formula:

$$\lambda = \left( \frac{\beta}{\eta} \right) \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (4)$$

Dónde:

$\beta$ : Es el parámetro de forma que determina la forma de la distribución.

t: El tiempo de operación.

D: Es un parámetro de escala expresado en horas.

Calculamos la función de Weibull mediante la siguiente expresión:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (5)$$

Los parámetros característicos que definen la distribución de Weibull son los siguientes:

$\gamma$  (gamma) la función densidad de probabilidad es cero para  $t \leq \gamma$ .

La forma general de la distribución de Weibull es considerando  $\gamma = 0$ , en cuyo caso el análisis coincide con el inicio del funcionamiento del equipo o componente.

La Función Distribución Acumulativa de la distribución de Weibull es de la siguiente forma:

$$F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (6)$$

Cuando  $t - \gamma = \eta$ , el valor de  $F(t)$  es 63.2% y la función acumulativa no depende de los valores que pueda tomar  $\beta$ .

La función de Confiabilidad está definida por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (7)$$

Por lo tanto, la Función de Confiabilidad de la distribución de Weibull es:

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (8)$$

La función Tasa de Riesgo (Tasa instantánea de falla) quedará definida como:



$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (9)$$

De acuerdo a los valores que tome el parámetro  $\beta$  la tasa de riesgo tendrá diferentes comportamientos (Curva de la Bañera).

$\beta < 1$              $h(t)$  decrece, período de Mortalidad Infantil

$\beta = 1$              $h(t)$  es constante, fallas aleatorias

$1.5 < \beta < 2.5$  fenómeno de fatiga

$3 < \beta < 4$         fenómeno de desgaste

Una característica en confiabilidad es el tiempo medio entre fallas (MTBF), el cual se aplica a unidades reparables. (HAMADACHE, 2010)

$$MTBF = e^{\frac{-1}{\eta}} \quad (10)$$



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se obtiene los resultados correspondientes a los objetivos planteados en el presente proyecto conforme a la metodología planteada en el capítulo anterior.

#### 4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

##### 4.1.1 Aspectos Generales

El sistema eléctrico de Tambopata inicia las operaciones el año 2008, se integra al sistema interconectado nacional mediante la línea de transmisión San Gabán - Mazuko – Puerto Maldonado en 138 kV. Para luego llegar a la sub Estación de Puerto Maldonado 138/22.9/10 kV.

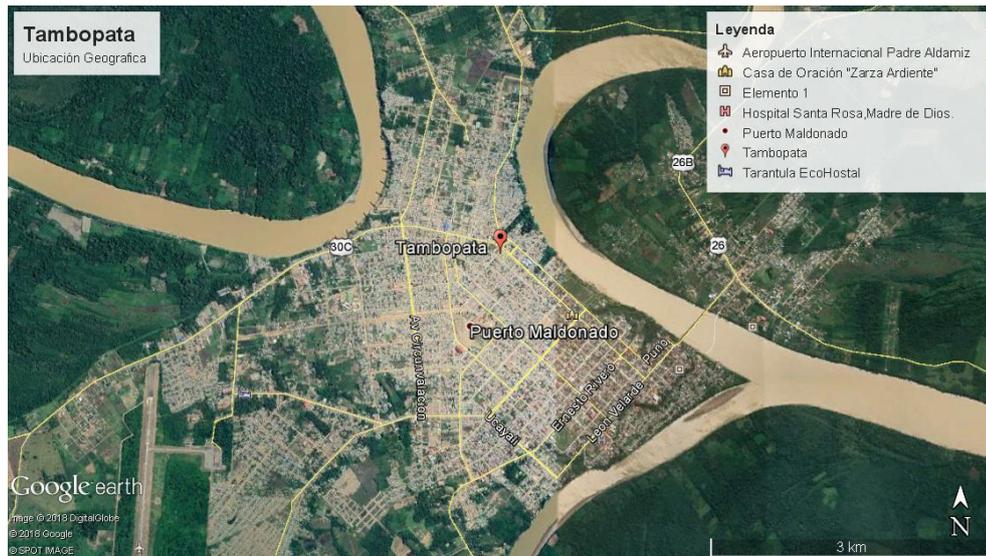
El S.E. de Tambopata (Puerto Maldonado), está constituido por 2 subestaciones de transformación, las cuales están ubicadas en diferentes lugares dentro de la ciudad de puerto Maldonado, suministrando energía con tensiones de 10 y 22.9 kV. Las cuales son repartidas para el sector urbano y para el sector de la red de distribución de Tambopata en 22.9 KV respectivamente.

##### Ubicación geográfica

La zona de estudio se ubica dentro de las coordenadas Latitud Sur: 12.587417°

Longitud Oeste: 69.218822°, tiene las siguientes características geográficas:

- Temperatura promedio: 28 (°C)
- Altitud: 139.00 msnm.

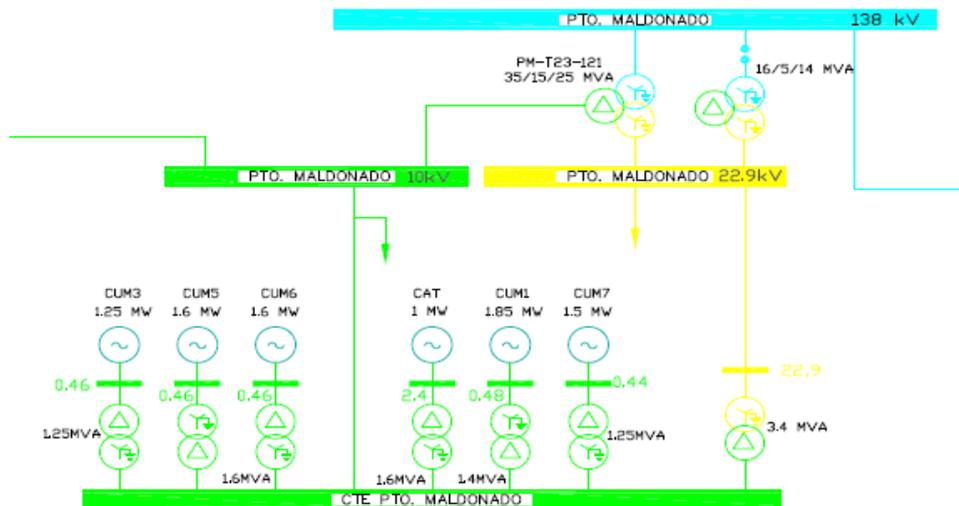


**Figura 8:** Ubicación Geográfica

Fuente: Google earth.

### Subestación de Puerto Maldonado

La SET de Puerto Maldonado correspondiente a la empresa de servicios eléctricos de distribución Electro Sur Este S.A.A, tiene en su configuración de esquema unifilar con un transformador de potencia de 15 MVA de potencia, 03 Barras (138 kV, 22.9 kV, 10 kV) y seis salidas en media tensión.



**Figura 9:** Diagrama Unifilar Sistema Eléctrico Puerto Maldonado

Fuente: COES

## SALIDAS DE LA SUBESTACIÓN DE PUERTO MALDONADO

El Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado está alimentada por la Línea en 138 KV proveniente de la subestación de MAZUCO, hasta la subestación de PUERTO MALDONADO y tiene cinco salidas en media tensión, PM-01, PM-02, PM-03, PM-06, PM-07 las que se detalla en el cuadro a continuación:

**Tabla 9:** Salidas de la Sub estación Puerto Maldonado

SALIDAS DE LA SUB ESTACIÓN PUERTO MALDONADO		
SALIDA	NIVEL DE TENSIÓN KV	RECORRIDO DE LA RED
PM 1	10	SUR OESTE DE LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO
PM 2	10	CENTRO NORTE DE LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO
PM 3	10	SUR ESTE DE LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO
PM 6	229	TAMBOPATA, INAMBARI Y LABERINTO
PM 7	229	LAS PIEDRAS Y TAHUAMANU

**Fuente:** ELSE

### 4.1.2 Análisis de las salidas de la SS.EE. Puerto Maldonado

Para el diagnostico de las salidas de la subestación Puerto Maldonado se realizó el respectivo recorrido de los equipos que detallamos a continuación teniendo en consideración la situación actual de los equipos antigüedad y principalmente el nivel de uso, en los siguientes cuadros detallamos:



**Tabla 10: Salida PM1**

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ESTADO
Tipo De Estructura	CAC.	Operativo
Tipo De Red Eléctrica	AÉREA	Operativo
Tipo De Sistema	TRIFASICO	Operativo
Número De Conductores	3	Operativo
Material De Conductor	AAAC	Operativo
Sección Del Conductor	120,70,50,35,25 y 16 MM2	Operativo
Longitud De La Red	21 KM	Operativo
Año De Puesta En Servicio	2011	Operativo

**Fuente: ELSE**

**Tabla 11: Salida PM2**

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ESTADO
Tipo De Estructura	CAC_	Operativo
Tipo De Red Eléctrica	Aérea	Operativo
Tipo De Sistema	Trifásico, Bifásico	Operativo
Número De Conductores	2, 3	Operativo
Material De Conductor	AAAC	Operativo
Sección Del Conductor	120,70,50,35,25 y 16 MM2	Operativo
Longitud De La Red	20 KM	Operativo
Año De Puesta En Servicio	2011	Operativo

**Fuente: ELSE**



**Tabla 12: Salida PM3**

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ESTADO
Tipo De Estructura	CAC.	Operativo
Tipo De Red Eléctrica	Aérea	Operativo
Tipo De Sistema	Trifásico, Bifásico	Operativo
Número De Conductores	2, 3	Operativo
Material De Conductor	AAAC	Operativo
Sección Del Conductor	120,70,50,35,25 y 16 MM2	Operativo
Longitud De La Red	14 KM	Operativo
Año De Puesta En Servicio	2011	Operativo

**Fuente: ELSE**

**Tabla 13: Salida PM6**

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ESTADO
Tipo De Estructura	CAC.	Operativo
Tipo De Red Eléctrica	Aérea	Operativo
Tipo De Sistema	Trifásico, Bifásico	Operativo
Número De Conductores	2, 3	Operativo
Material De Conductor	AAAC	Operativo
Sección Del Conductor	120,70,50,35,25 y 16 MM2	Operativo
Longitud De La Red	14 KM	Operativo
Año De Puesta En Servicio	2011	Operativo

**Fuente: ELSE**



**Tabla 14:** Salida PM6

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ESTADO
Tipo De Estructura	CAC.	Operativo
Tipo De Red Eléctrica	Aérea	Operativo
Tipo De Sistema	Trifásico, Bifásico	Operativo
Número De Conductores	2, 3	Operativo
Material De Conductor	AAAC	Operativo
Sección Del Conductor	120,70,50,35,25 y 16 MM2	Operativo
Longitud De La Red	117 KM	Operativo
Año De Puesta En Servicio	2011	Operativo

**Fuente:** ELSE

#### **4.1.3 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)**

Con la información obtenida realizamos el análisis de efectos y modo de fallas (AMEF), que de acuerdo a la metodología planteada por B. YSSAAD nos da los siguientes análisis:

En el cuadro se muestra el análisis de efectos y modo de fallas (AMEF), para los equipos componentes de la salida PM6 correspondiente al objeto de estudio de esta investigación.

**Tabla 15:** AMEF Salida PM 6

Sistema	Subsistema	Equipo	Función	Modos de falla	
Sistema de distribución de energía	Sistema de transporte de energía	Conductores eléctricos	Transporte de energía	Contacto entre líneas, rotura+E2:E14 de conductores	
	Sistema de aislamiento	Aislante de vidrio o cerámica o polímeros	Aislamiento	Perforación por descarga atmosférica, Polución	
	Transformación	Transformador	Se usa para subir o bajar el nivel de voltaje de una fuente de alimentación alternativa	Baja resistencia de aislamiento, Falla del sistema de enfriamiento, Sobrecarga	
	Protección		Pararrayos	Protección contra descargas atmosféricas	Sobretensiones
			Descargadores	Protección contra sobretensiones	Sobretensiones
			Puesta a tierra	Disipar corrientes de falla	Discontinuidad, alta resistencia
			Fusibles	Protección contra sobre corrientes	No se funde
			Interruptor Automático	Protección contra fallas	No disparo
	Medición		Seccionadores	Protección para realizar maniobras	Mala programación del tiempo de reconexión
			Transformador de medición	Se usa para subir o bajar el nivel de voltaje de una fuente de alimentación alternativa	Baja resistencia del aislamiento
Soporte		Medidores de energía	Cuantificar y registrar cantidades de energía y potencia	Error de precisión	
		Ferretería	Fijar elementos de transporte y sujeción	Rotura	

**Fuente:** ELSE

#### 4.1.4 Análisis de criticidad

Inicialmente se tabulan todas las causas de interrupción del sistema de distribución de energía, se clasifica por tipo. Para una preferible selección de fallas, se seleccionaron las mismas como interferencia vegetal, sobrecarga, conductor, entre otras. (Yssaad et al., 2012)

La grafica representa las causas de cortes de energía y fallas del sistema eléctrico, graficando de un modo lógico las proposiciones indicadas.

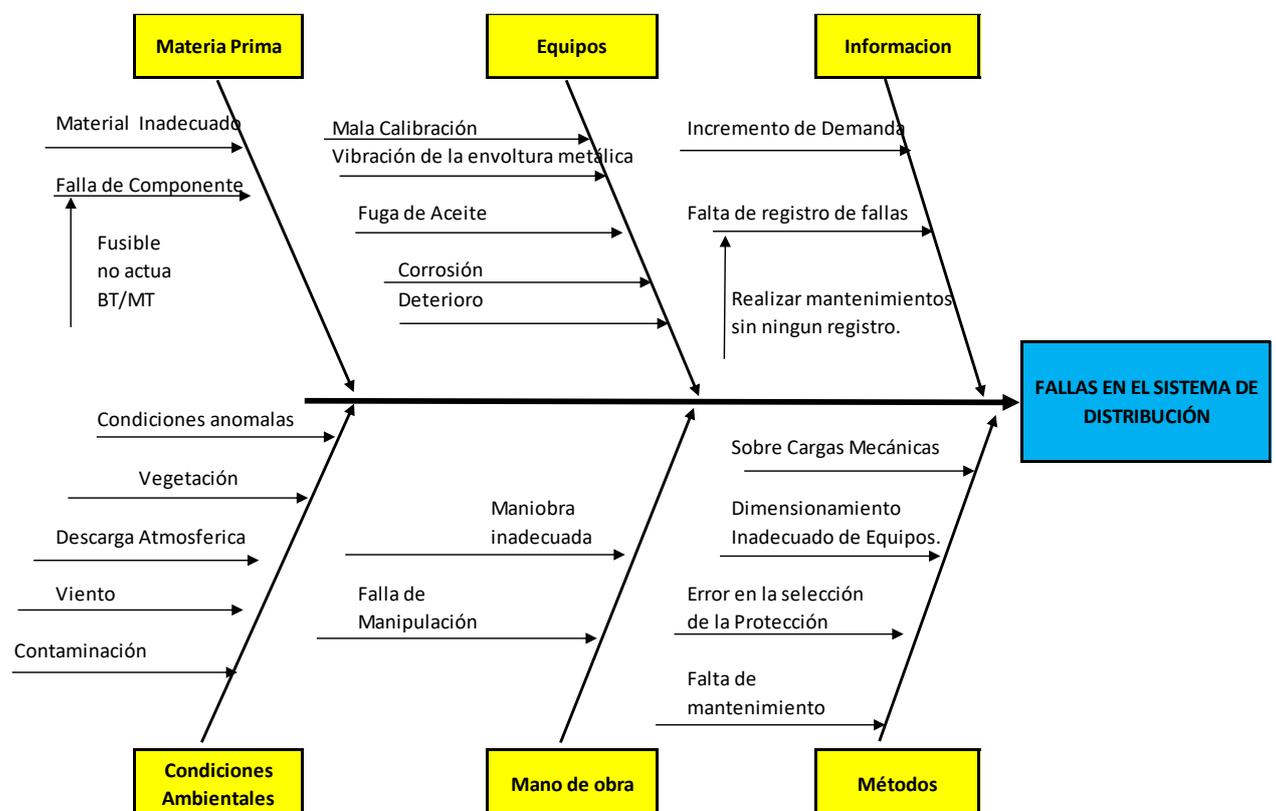


Figura 10: Diagrama Causa Efecto

Elaboración propia

Para realizar el análisis de criticidad de los equipos como segundo paso se identificaron los motivos de interrupción del sistema de distribución y de la avería de los mismos, se utilizó la herramienta AMEF para determinar las causas prioritarias en términos de mantenimiento nos remitimos a la metodología planteada en el capítulo III,

de acuerdo a los criterios ya descritos obtenemos los siguientes resultados que mostramos a continuación: (Yssaad et al., 2012)

- Para la evaluación de modos de falla, usando los parámetros usuales del FMEA. La frecuencia 'O' caracteriza los modos de falla de ocurrencia, la severidad 'S' caracteriza la duración de la interrupción causada por la detección de modo de falla y 'D', caracteriza la probabilidad de detectar la falla antes de que comience a tomar acciones correctivas o preventivas. (Yssaad et al., 2012) De los tres parámetros anteriores, definimos criticidad 'C' o número de prioridad de riesgo RPN, que se calcula mediante el producto de tres factores O, S y D. Permite analizar el riesgo y establecer el umbral de aceptabilidad para cada modo de falla. (Yssaad et al., 2012)

$$RPM = S * O * D$$

Las siguientes tablas resumen la evaluación para cada parámetro. (Yssaad et al., 2012)

**Tabla 16:** AMEF (Ocurrencia).

OCURRENCIA (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	La falta cerca del cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de fallos, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo no logran	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, falla ocasional	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, el fallo frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto, fracaso	10

**Fuente:** (Yssaad et al., 2012)

**Tabla 17: AMEF (Severidad)**

SEVERIDAD (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
>8h	Muy catastrófica	8
7h	Catastrófico	7
6h	Muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	Muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0,6
<30 minutos	Muy pequeña	0,2

**Fuente:** (Yssaad et al., 2012)

**Tabla 18: AMEF (Detectabilidad).**

Nivel de detectabilidad	Criterio de detectabilidad	Valor
No detectable	Imposible	10
Difícil de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
Detectar al azar (improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	Tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	Inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

**Fuente:** (Yssaad et al., 2012)



Seguidamente evaluamos la criticidad de acuerdo al criterio definido teniendo en cuenta el cuadro de criticidad.

CRITICIDAD C		RIESGO O PELIGRO
NIVEL DE	VALOR	
CRITICIDAD		
MENOR	0-30	ACEPTABLE
MEDIO	31-60	TOLERABLE
ALTO	61-180	
MUY ALTO	181-252	INACEPTABLE
CRITICO	253-324	
MUY CRITICO	>324	

**Fuente:** (Yssaad et al., 2012)

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 19:** Jerarquías de Criticidad

Sistema	Sub sistema	Equipos	Ocurrencia [O]	Severidad [S]	Detectabilidad [D]	Criticidad [C]	
Sistema de distribución energía	Sistema de transporte de energía	Conductores eléctricos				288	
		Sistema aislamiento	Aisladores			270	
	Sistema de transformación	Transformadores				168	
			Sistema de proteccion	Pararrayos			27
				Descargadores			30
	Sistema de proteccion	Puestas a tierra				30	
			Fusibles			54	
			Interruptor automático			168	
			Seccionadores			36	
	Sistema de medición	Transformador de medición				24	
			Medidores de energía			24	
	Sistema de soporte	Ferretería				24	
			Soportes			30	

**Fuente:** (B. YSSAAD, 2012).

Observamos que tenemos dos sub sistemas críticos que son el sub sistema de transporte de energía y los aisladores.

**Tabla 19:** Resumen de equipos críticos

Equipos	Ocurrencia [O]	Severidad [S]	Detectabilidad [D]	Criticidad [C]
Conductores eléctricos	6	6	8	288
Aisladores	6	5	9	270
Transformadores	4	6	7	168
Pararrayos	3	3	3	27
Descargadores	5	2	3	30
Puestas a tierra	5	2	3	30
Fusibles	6	3	3	54
Interruptor automático	4	7	6	168
Seccionadores	3	4	3	36
Transformador de medición	2	3	4	24
Medidores de energía	3	2	4	24
Ferretería	3	4	2	24
Soportes	3	5	2	30

**Fuente:** (B. YSSAAD, 2012).

Aplicaremos mantenimiento preventivo a los dos subsistemas críticos de la red de distribución de energía Tambopata.



#### 4.1.5 Determinación de los intervalos de mantenimiento

Para poder determinar el intervalo de mantenimiento de los subsistemas críticos utilizaremos la metodología del análisis de Weibull que describimos en el capítulo anterior esto con la aplicación de la hoja de cálculo Excel.

##### 4.1.5.1 Intervalo de mantenimiento para los conductores eléctricos.

En el cuadro mostramos el registro de fallas según lo registrado en el periodo de estudio. (Farinango, 2014)

**Tabla 20:** Registro de fallas Conductores Eléctricos

Fecha de falla	Modo
23-Dic-17	V
18-10-17	V
27-sep-17	V
20-Jul-17	V
8-Jun-17	V
20-Abr-17	V
28-Feb-17	V
17-Dic-16	V
16-Oct-16	V
8-Ago-16	V
20-Jul-16	V
2-Abr-16	V
16-Ene-16	V

**Fuente:** ELSE

Seguiremos el procedimiento siguiente:

- i. se ordena las horas de operación de menor a mayor, en este caso son días de operación. (Farinango, 2014)



**Tabla 22:** Valores de menor a mayor

t	Modo
20	V
21	V
42	V
49	V
51	V
62	V
67	V
69	V
69	V
73	V
77	V
108	V

**Fuente:** ELSE

- ii. Para construir el gráfico de Weibull es necesario comenzar con el cálculo del Rango medio o de mediana según el tamaño de la muestra como indica la fórmula de Bernard. (Farinango, 2014)

$$r_i = \frac{j_i - 0.3}{N + 0.4} \quad (11)$$



**Tabla 21:** Valores rango medio

T (hrs)	$r_1 = \frac{j_1 - 0.3}{N + 0.4}$
19.61111	5.22%
20.61111	12.69%
42.04167	20.15%
48.91319	27.61%
51	35.07%
61.73611	42.54%
66.51042	50.00%
68.73611	57.46%
69.04167	64.93%
73.30903	72.39%
77.08542	79.85%
10.84042	87.31%

Elaboración propia (para gráfico de Weibull)

- iii. Para graficar estos rangos medios los valores del eje X se obtienen aplicando logaritmo natural al tiempo entre fallas (T) y los valores del eje Y aplicando doble logaritmo al rango medio  $F(t)$ , como se muestra en el cuadro 24. (Farinango, 2014)

**Tabla 22:** Valores Obtenidos Weibull

T (Dias)	$r_i = \frac{j_i - 0.3}{N + 0.4}$	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$ y	R(t)
20	5.22%	2.9760963	-2.925223234	94.78%
21	12.69%	3.0258303	-4.4599756029	87.31%
42	20.15%	3.73866119	-1.491606142	79.85%
49	27.61%	3.89004719	-1.129704207	72.39%
51	35.07%	3.93182563	-0.839487848	64.93%
62	42.54%	4.12286903	-0.59052854	57.46%
67	50.00%	4.19735858	-0.36651292	50.00%
69	57.46%	4.2302747	-0.15690117	42.54%
69	64.93%	4.23471019	0.046589839	35.07%
73	72.39%	4.29468376	0.252253233	27.61%
77	79.85%	4.34491411	0.47125468	20.15%
108	87.31%	4.68586653	0.724949317	12.69%

Elaboración propia (para gráfico de Weibull)

De la ecuación resultante de la correlación, se obtiene como parámetro  $\beta$  el valor que acompaña a la variable independiente.



**Figura 11:** Gráfico de Weibull Conductor Eléctrico

Elaboración propia

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

$\beta$	<b>2.012</b>
$\gamma$	<b>0</b>
$\eta$	<b>74</b>

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente, terminando su vida útil. (Farinango, 2014)

El coeficiente de correlación ( $R^2$ )= 0.8271 que está cercano a uno, por lo tanto, hay dependencia lineal de los datos. (Farinango, 2014)

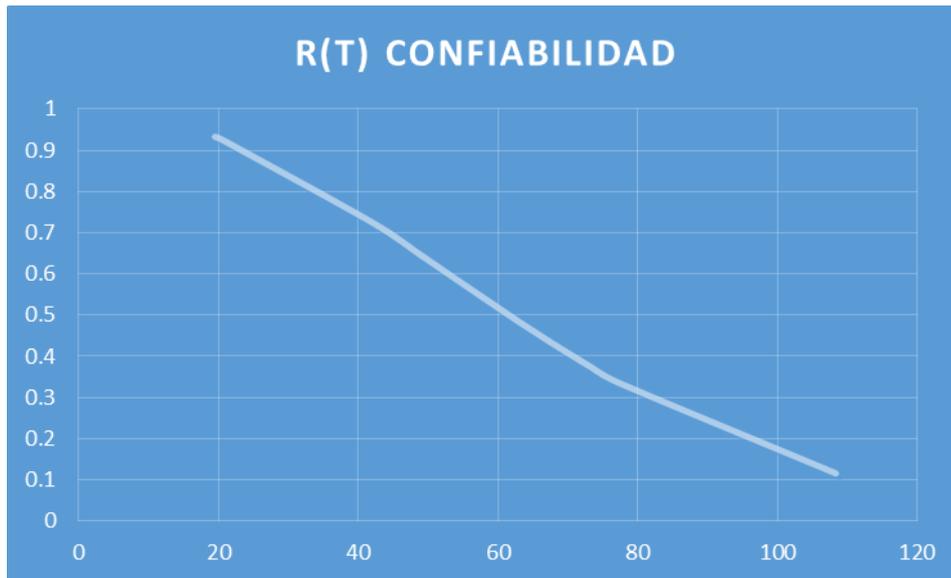
Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en el análisis anterior, se obtiene la confiabilidad  $R(t)$ , que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t. (Farinango, 2014)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

t		45
R(t)	<b>69.25%</b>	Confiabilidad
MTTF	90.56	Tiempo promedio de fallas

Podemos señalar que la confiabilidad es la probabilidad de que el sistema funcione correctamente un periodo determinado de tiempo, para nuestro caso podemos concluir que el equipo funcionara correctamente un periodo de 45 días con una confiabilidad del 70%, teniendo en consideración que el tiempo promedio entre fallas es de 90 días; se deberá realizar el mantenimiento preventivo cada 45 días que consistirá en trabajos de poda de la vegetación que es la causa que ocasiona la falla del sistema. (Farinango, 2014)

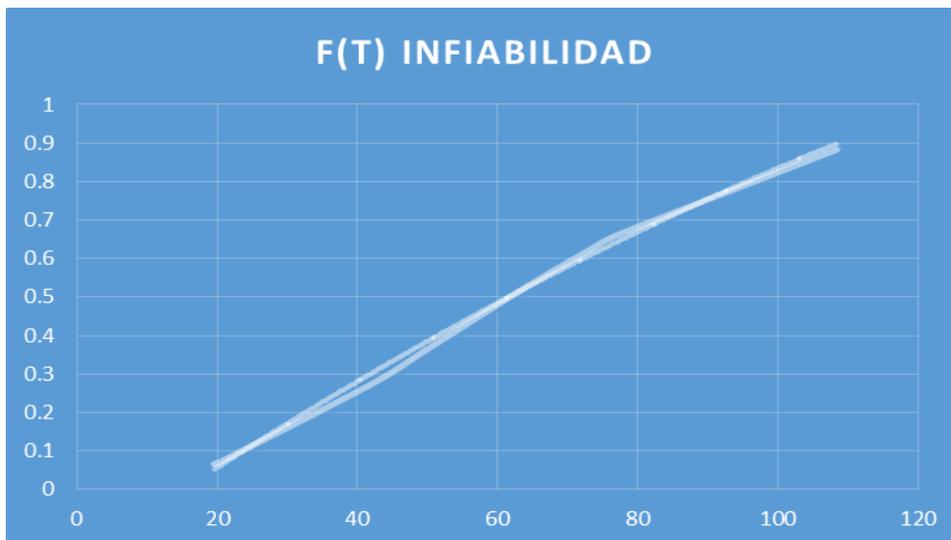
Podemos observar en el gráfico de confiabilidad que esta descende con el transcurso de tiempo.



**Figura 12:** Gráfico de Confiabilidad Conductor Eléctrico

Elaboración propia

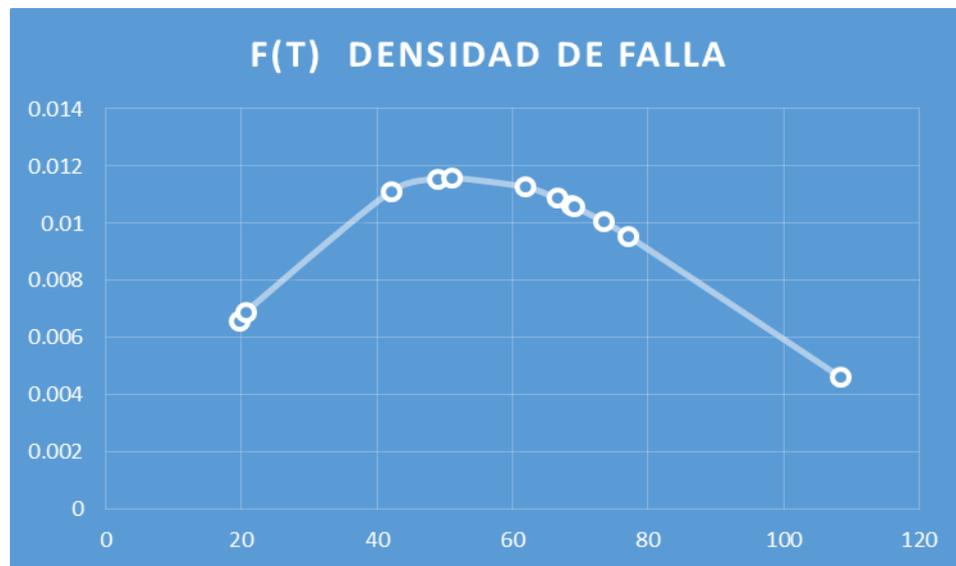
Para la función de Infiabilidad tenemos el siguiente gráfico, podemos notar que esta función es contraria al gráfico de la función de confiabilidad por lo que expresa la probabilidad de fallas del equipo en el tiempo. (Farinango, 2014)



**Figura 13:** Gráfico de Infiabilidad conductores eléctricos

Elaboración propia

También se ha obtenido el gráfico de la densidad de fallas para el conductor lo que nos muestra una curva típica



**Figura 14:** Gráfico de densidad de fallas

Elaboración propia

Con la prueba de Kolmogorov Smirnov (KS) que es una prueba de bondad de ajuste, es decir, del grado en que la distribución observada difiere de otra distribución, podemos aceptar los resultados. (Farinango, 2014)

KOLMOGOROV	
$D_{max}$	$D_{alfa}$
<	
 0.151	 0.325

#### 4.1.5.2 Intervalos de mantenimiento para los aisladores

Seguimos el mismo procedimiento para el cálculo de los intervalos de mantenimiento de los aisladores

En el cuadro mostramos el registro de fallas según lo registrado en el periodo de estudio.



**Tabla 23:** Registro de fallas Aisladores

Fecha de falla	Modo
13-10-17	V
18-Jul-17	V
23-Jun-17	V
10-Abr-17	V
12-Ene-17	V
20-Nov-16	V
12-sep-16	V
17-Jun-16	V
27-Mar-16	V
3-Ene-16	V
18-Oct-15	V

**Fuente:** ELSE

- i. Ordenamos las horas de operación de menor a mayor, en este caso son días de operación.

**Tabla 24:** Valores de menor a mayor

t	Modo
25	V
53	V
60	V
69	V
74	V
78	V
82	V
84	V
87	V
88	V
88	V

**Fuente:** ELSE

- ii. Cálculo del Rango medio.

**Tabla 25:** Valores rango medio Conductores

T (Dias)	$r_1 = \frac{j_1 - 0.3}{N + 0.4}$
25	5.65%
53	13.71%
60	21.77%
69	29.84%
74	37.90%
78	45.97%
82	54.03%
84	62.10%
87	70.16%
88	78.23%
88	86.29%

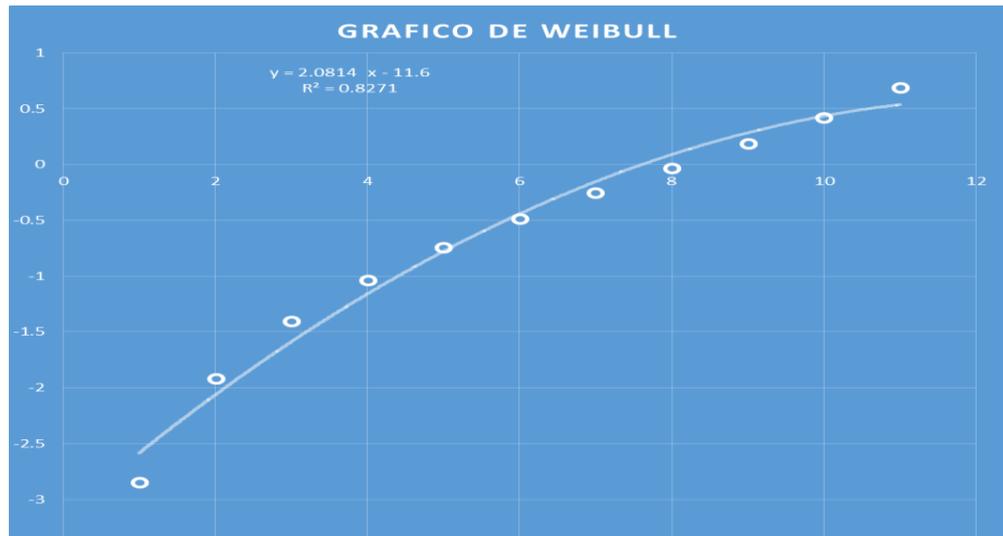
Elaboración propia

iii. Calculo de los valore X e Y para la gráfica de la función de Weibull.

**Tabla 26:** Valores Obtenidos Weibull Aisladores

T (Dias)	$r_1 = \frac{j_1 - 0.3}{N + 0.4}$	$\ln(t)$ X	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$ y	R(t)
25	5.65%	3.203198	-2.845458285	94.35%
53	13.71%	3.96865273	-1.91424762	86.29%
60	21.77%	4.0944603	-1.404170849	78.23%
69	29.84%	4.2341065	-1.037403987	70.16%
74	37.90%	4.30049265	-7.41337623	62.10%
78	45.97%	4.3517106	-4.85175833	54.03%
82	54.03%	4.4034959	-2.52018579	45.97%
84	62.10%	4.4313127	-0.03032111	37.90%
87	70.16%	4.46945387	0.190094315	29.84%
88	78.23%	4.47175783	0.421630212	21.77%
88	86.29%	4.47781019	0.686660297	13.71%

Elaboración propia



**Figura 15:** Gráfico de Weibull Aisladores

Elaboración propia

De la ecuación resultante de la correlación, se obtiene como parámetro  $\beta$  el valor que acompaña a la variable independiente.

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

$\beta$	<b>2.616</b>
$\gamma$	<b>0</b>
$\eta$	<b>88</b>

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente, terminando su vida útil.

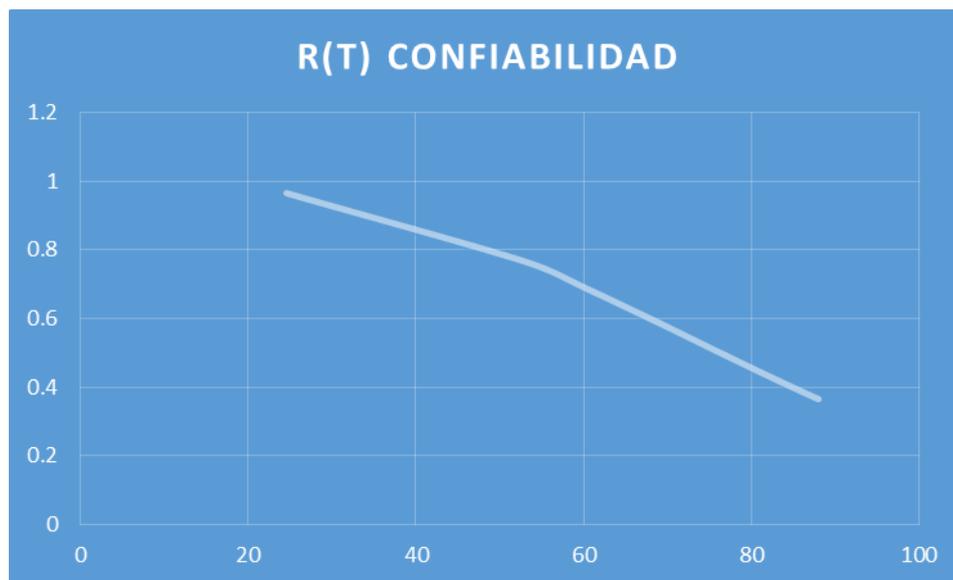
El coeficiente de correlación ( $R^2$ )= 0.8271 que está cercano a uno, por lo tanto, hay dependencia lineal de los datos.

Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en el análisis anterior, se obtiene la confiabilidad  $R(t)$ , que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

t	60	
R(t)	69.20%	Confiabilidad
MTTF	103.36	Tiempo promedio de fallas

Podemos señalar que la confiabilidad es la probabilidad de que el sistema funcione correctamente un periodo determinado de tiempo, para nuestro caso podemos concluir que el equipo funcionara correctamente un periodo de 60 días con una confiabilidad del 70%, teniendo en consideración que el tiempo promedio entre fallas es de 103 días; se deberá realizar el mantenimiento preventivo cada 60 días que consistirá en trabajos de poda de la vegetación que es la causa que ocasiona la falla del sistema.

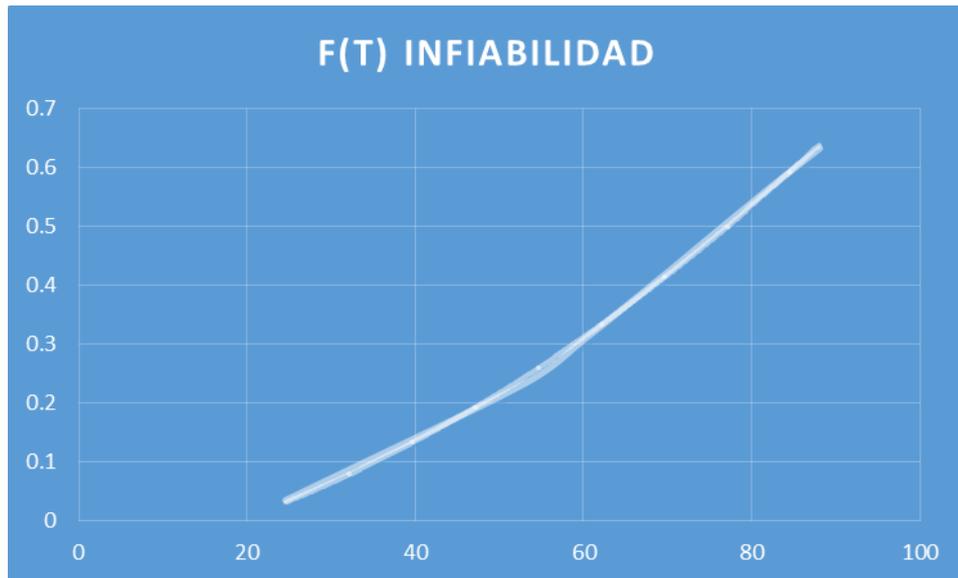
Podemos observar en el gráfico de confiabilidad que esta descende con el transcurso de tiempo.



**Figura 16:** Gráfico de Confiabilidad Aisladores

Elaboración propia

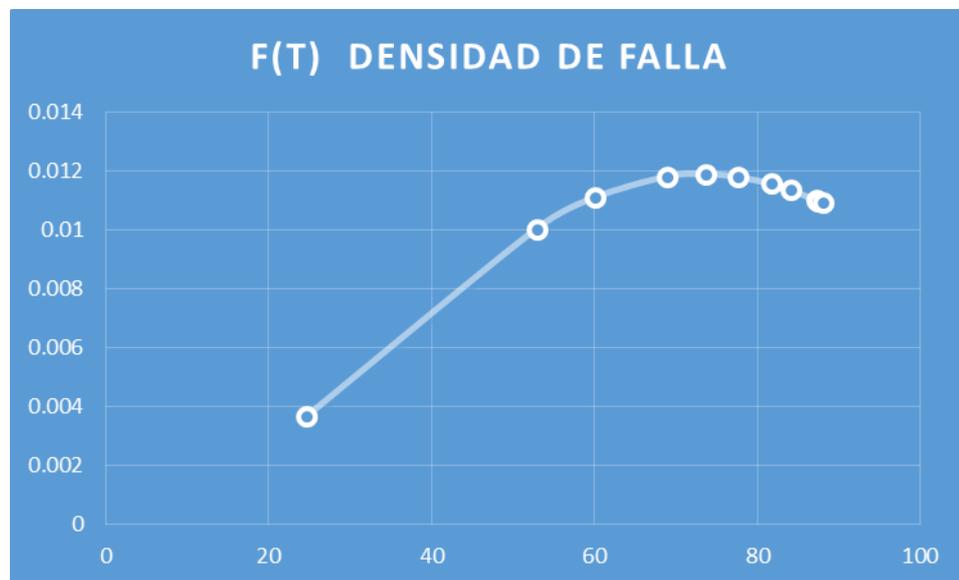
Para la función de Inviabilidad tenemos el siguiente gráfico, podemos notar que esta función es contraria al gráfico de la función de confiabilidad por lo que expresa la probabilidad de fallas del equipo en el tiempo. (Farinango, 2014)



**Figura 17:** Gráfico de Infiabilidad Aisladores

Elaboración propia

También se ha obtenido el gráfico de la densidad de fallas para el conductor lo que nos muestra una curva típica. (Farinango, 2014)



**Figura 18:** Gráfico de densidad de fallas Aisladores

Elaboración propia



Con la prueba de Kolmogorov Smirnov (KS) que es una prueba de bondad de ajuste, es decir, del grado en que la distribución observada difiere de otra distribución. Podemos aceptar los resultados. (Farinango, 2014)

<i>KOLMOGOROV</i>	
<i>D max</i>	<i>D alfa</i>
<	
 0.229	 0.338



## V. CONCLUSIONES

**Primera.** Se Realizó la propuesta del plan de mantenimiento preventivo para los sistemas críticos del Sub Sistema de Distribución Primaria en 22.9 KV Tambopata, mejorando así su disponibilidad y confiabilidad.

**Segunda.** Se logró Diagnostico la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Sub Sistema de Distribución Primaria en 22.9 KV Tambopata, así como sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.

**Tercera.** Se estableció los elementos críticos mediante el análisis de criticidad de los sub sistemas que conforman el Sub Sistema de Distribución Primaria en 22.9 KV Tambopata. Se pudo determinar que existe dos sub sistemas críticos que son los subsistemas de conductores y el subsistema de aisladores.

**Cuarta.** Se determinó los intervalos de mantenimiento de los equipos críticos, tenemos dos sub sistemas críticos los cuales son los conductores y los aisladores, se plantea en base a los resultados obtenidos los periodos de mantenimiento preventivo en el primer caso con intervalo de 30 días y en el segundo caso con un intervalo de 60 días.



## VI. RECOMENDACIONES

**Primera.** Es conveniente estimar los costos para poder estimar la viabilidad de los periodos de mantenimiento preventivo y de esta manera tomar la decisión de implementar el plan de mantenimiento propuesto.

**Segunda.** A los egresados de la Escuela continuar con la línea de investigación relacionado al mantenimiento de las redes eléctricas en media, baja y alta tensión e implementar el estudio de los costos asociados al mantenimiento.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABTN. (2002). Calculo e Fabricacao de Comportas Hidraulicas . Rio de Janeiro-Brasil:  
Associacao Brasileira de Normas Tecnicas.
- Aguilar, P. R. (2006). Curso de Confinabilidad. Mexico.
- Ajín, M. (2012). ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA  
SUBESTACIÓN GUATEMALA ESTE. GUATEMALA: USCG.
- ALCOSER, L. J. (2007). MANUAL DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE  
FUNCIONAMIENTO EN MAQUINARIA PESADA DE CONSTRUCCIÓN  
CIVIL. QUITO, ECUADOR: UPN.
- ÁLVARES, G. (2004). Programa de Mantenimiento Preventivo Para la Empresa  
Metalmeccànica Industrias AVM S.A. Bucaramanga : UIS.
- Àlvares, G. A. (2004). Programa de Mantenimiento Preventivo Para la Empresa  
Metalmeccànica Industrias AVM S.A. Bucaramanga: UIS.
- AMADOR, L. (2005). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
PREDICTIVO PARA LA FLOTA DE EQUIPOS PESADOS DE LA  
GERENCIA DE PMH DE LA EMPRESA C.V.G. FERROMINERA ORINOCO  
C.A. PUERTO ORDAZ: UNEP.
- Amaguaya, E. S. (2009). DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA PICO CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA. Riobamba Ecuador: ESPC.
- Arias, F. (1999). EL PROYECTO DE INVESTIGACION. CARACAS: ORIAL  
EDICIONES.



- B. YSSAAD, M. K. (2012). Maintenance Optimization for Equipment of Power Distribution System Based on FMECA Method. EE.UU: Mediamira Science Publisher.
- Beyer, F. (1983). Diseño de Subestaciones Rurales, Adaptación a la Subestación San Marcos de 100KV--33/13;2VK Provincia de Huarí, Departamento de Ancash. Lima: UNI.
- CASTAÑO, S. R. (2010). Redes de Distribución de Energía (TERCERA ed.). MANIZALES COLOMBIA: UNC.
- Castaño, S. R. (2014). Análisis de Datos de Falla. Manizales Colombia: UNC.
- Cazau, P. (2006). INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS SOCIALES (TERCERA ed.). BUENOS AIRES, ARGENTINA.
- Chinchay, A. P. (2010). Texto de técnicas de Mantenimiento Predictivo. Callao-Peru: UNC.
- CRISTHIAN GUERRA HUAMALI. (2017). ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA EN LOS SCOOPTRAMS DE LA EMPRESA MINERA ATACOCHA. Huancayo: UCP.
- Farinango, L. (2014). ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) DE LA CENTRAL HIDRÁULICA ILLUCHI N° 2. Latagunca: ESPE.
- Francisco González-Longatt. (2007). Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas. Venezuela: UM.



- Garrido, S. G. (2009). Mantenimiento Correctivo Organizaci3n y Gest3n de la Reparaci3n de Aver3as. Madrid Espa1a : RENOVETEC.
- Garrido, S. G. (2009). T3cnicas Avanzadas de Gest3n de Mantenimiento en la Industria . Madrid Espa1a: RENOVETEC.
- Gutierrez, A. M. (2005). Mantenimiento Estrategico para empresas de Servicios y/o Industriales . Mexico : AMG.
- Guti3rrez, A. M. (2005). Mantenimiento estrat3gico para empresas de servicios y/o industriales. Mexico: EP.
- Guzm3n, R. D. (2012). DISE1O DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA APLICANDO LAS REGLAMENTACIONES VIGENTES. Barranquilla: UC.
- HAMADACHE, M. (2010). D3termination des besoins pour l'3laboration d'une strat3gie de maintenance des 3quipements automatis3s du r3seau. Montr3al.
- IRRARAZABAL, M. C. (2017). M3TODO BASADO EN RCM, PARA LA GESTION DE MANTENIMIENTO EN TRACTORES AGR3COLAS: CASO MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE COLQUEPATA. AREQUIPA PER3: UNSA.
- Knezevic, J. (1996). Mantenibilidad (Edici3n 4 ed.). Madrid Espa1a: Isdefe.
- Le3n, J. V. (2007). MICRO-HIDROEL3CTRICA TIPO MICHELL BANKI,. Guatemala: USCG.
- Lizarazo, E. M. (2010). La recolecci3n de datos. M3xico: MCGRAW-HILL.
- LOPEZ, A. L. (2004). Manual de Hidraulica. Alicante: Publidisa.



LUZ JANNETH MALES ALCOSER, D. D. (2007). MANUAL DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE FUNCIONAMIENTO EN MAQUINARIA PESADA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL. Caracas : UPN.

Martínez, J. L. (2006). Diseño de Estrategias de Mantenimiento para la gestión de Activos Físicos en Empresas Distribuidoras de Energía Eléctrica en Argentina. Buenos Aires: UTN.

Mora, A. (2012). Mantenimiento Industrial Efectivo. Medellin Colombia: COLDI.

MOTT, R. L. (2002). Diseño de Elementos de Maquinas (Segunda ed.). Mexico: Pretince Hall.

Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reability centred Maintenance). Buenos Aires- Argentina: Aladon LLC.

Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. Carolina del Norte: Aladon LLC.

Nachlas, J. A. (1995). Fiabilidad. Madrid España: Isdefe.

Ortiz, D. L. (2013). DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE VERIFICACIÓN DE UN REGLOSCOPIO. Madrid España: UCM.

Palmer, R. D. (2010). Maintenance Planing and Scheduling Handbook (Segunda Edición ed.). New York: McGraw-Hill.

Parra, C. (1998). Course of Reliability Centered Maintenance. Mérida Venezuela: UA.

Ramírez, S. (2014). Análisis de Datos de Falla. Manizales Colombia: UNC.

Reyes, I. (2005). Método de Recolección de Datos. Carabao Venezuela: UC.



Rodríguez, H. A. (2012). “METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA APLICADO A LA INGENIERÍA”. CALLAO-LIMA: UNAC.

Serrano, N. (2002). Manual de Oleohidráulica. Mexico: McGraw Hill.

SHAMES, I. H. (1995). Mecanica de Fluidos (Tercera Edicion ed.). Santa Fe de Bogota, Colombia: McGRAW-HILL.

SHIGLEY, J. E. (2008). Diseño en Ingenieria Mecanica (8 Th ed.). Mexico: MCGRAW HILL.

SIAMPERI, R. (2014). Metodologia de la Investigacion . Mexico, D.F.: MCGRAW-HILL.

SOTELO, G. A. (2002). Hidraulica de Canales (Primera ed.). Mexico: UNAM.

TOVAR, E. A. (1993). Hidraulica Elemental (Primera ed.). Chapingo Mexico: UAC.

# ANEXOS

## HOJA AMEF

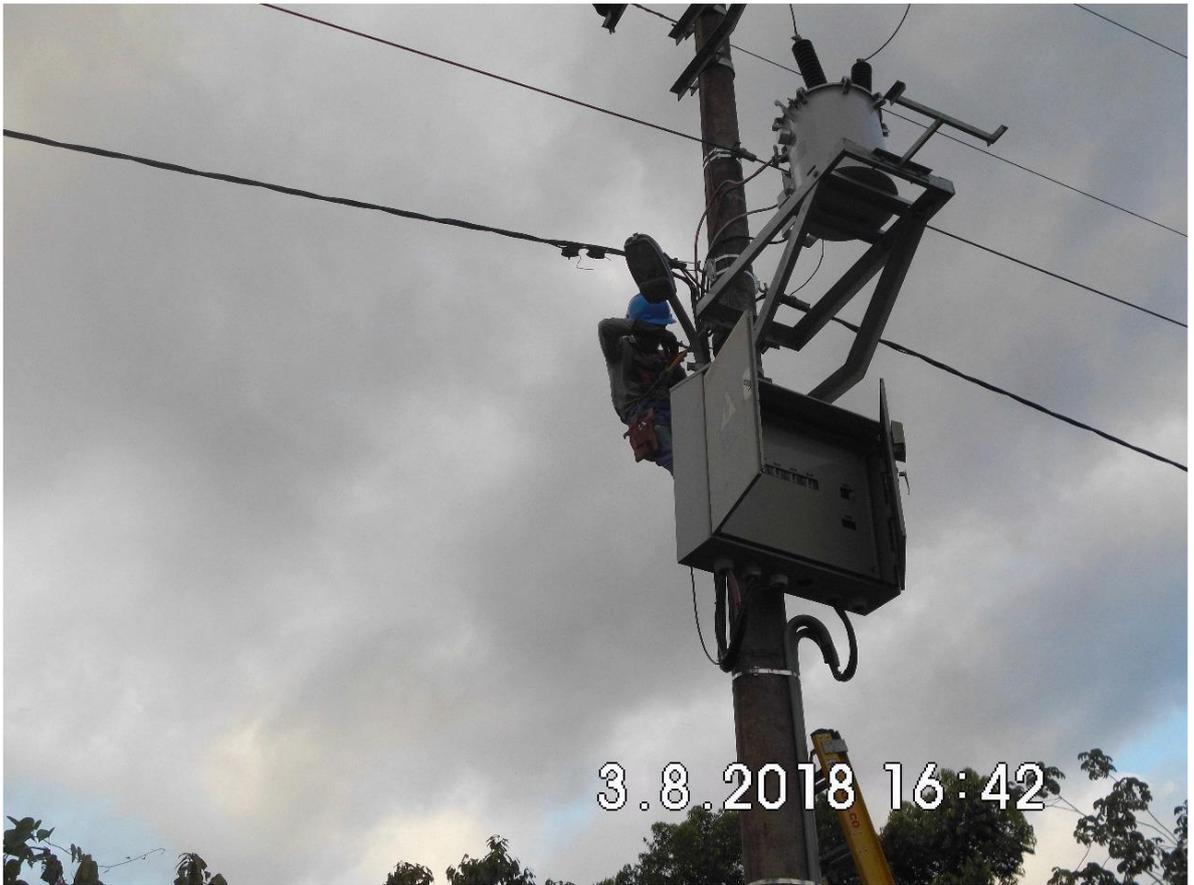
Sistema	Subsistema	Equipo	Función	Modos de falla	Causa	Efecto	Detección	O	S	D	C	Plan de mantenimiento
Sistema de Distribución de energía	Sistema de transporte energía	Conductores eléctricos	Transporte de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contacto entre líneas</li> <li>• Rotura de conductores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto dinámico del viento</li> <li>• Efecto galope</li> <li>• Manguito de Hielo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconexión de la línea</li> <li>• Sobretensiones y desbalance de fases</li> </ul>	Visual	6	6	8	288	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción correctiva: si la falla es menor.</li> <li>• Acción preventiva de mantenimiento sistemático</li> <li>• Un nuevo estudio, utilizando cables del mismo material (reemplazo)</li> </ul>
	Sistema de aislamiento	Aislante de vidrio o cerámica o poliméricos	Aislamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perforación por descarga atmosférica</li> <li>• Polución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descarga atmosférica</li> <li>• Contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fugas de corriente a tierra</li> </ul>	Visual Calor	6	5	9	270	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción preventiva de mantenimiento sistemático</li> <li>• Un nuevo estudio, usando aislador compuesto (reemplazo)</li> </ul>
	Transformación	Transformador	Se usa para subir o bajar el nivel de voltaje de una fuente de alimentación alternativa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja resistencia de aislamiento</li> <li>• Fala del sistema de enfriamiento</li> <li>• Sobrecarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La vibración de la envoltura metálica, los juegos de barras.</li> <li>• Fuga de aceite</li> <li>• Incremento de demanda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortocircuito</li> <li>• Calentamiento de enrollamientos</li> </ul>	Visual Ruido	4	6	7	168	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el estado mecánico del transformador.</li> <li>• Mediciones de ruido.</li> <li>• Revisa la determinación de la placa.</li> <li>• Revisar la definición de transformadores de corriente.</li> <li>• Realice una inspección visual y un diagnóstico con medición de la resistencia de aislamiento de los devanados.</li> </ul>
	Protección	Pararrayos	Protección contra descargas atmosféricas	Sobretensiones	Dimensionamiento inadecuado	Falla de equipos	Visual	3	3	3	27	Verificar visualmente periódicamente y después de las descargas atmosféricas como acción preventiva
		Descargadores	Protección contra sobretensiones	Sobretensiones	Dimensionamiento inadecuado	Falla de equipos	Visual	5	2	3	30	Verificar visualmente periódicamente y después de las descargas atmosféricas como acción preventiva
		Puesta a tierra	Disipar corrientes de falla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discontinuidad</li> <li>• Alta resistencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión</li> <li>• Deterioro</li> </ul>	Falla de equipos	Visual	5	2	3	30	Establecer un grupo de pruebas rutinarias periódicas que permitan hacer historia y seguimiento para ver la humedad, contaminación y falla mecánica.
		Fusibles	Protección contra sobre corrientes	• No se funde	Dimensionamiento inadecuado	Falla de equipos	Visual	6	3	3	54	Verificar de forma visual y periódicamente
		Interruptor automático	Protección contra fallas	• No disparo	Dimensionamiento inadecuado	Falla de equipos	Visual	5	7	6	210	Verificar de forma visual y periódicamente
		Seccionadores	Protección para realizar maniobras	• Mala programación del tiempo de reconexión	Mala maniobra	Continuidad de corriente	Visual	3	4	3	36	Verificar de forma visual y periódicamente
		Medición	Transformador de medición	Se usa para subir o bajar el nivel de voltaje de una fuente de alimentación alternativa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja resistencia de aislamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La vibración de la envoltura metálica, los juegos de barras.</li> </ul>	Cortocircuito	Ruido Visual	2	3	4	24
	Medidores de energía		Cuantificar y registrar cantidades de energía y potencia	Error de precisión	Mala calibración	Mal registro	Visual	3	2	4	24	Contrastar los equipos de medición periódicamente según las especificaciones del fabricante
	Soporte	Ferretería	Fijar elementos de transporte y sujeción	Rotura	Viento	Desconexión de equipos	Visual	3	4	2	24	Ver periódicamente las condiciones de los elementos de transporte y sujeción.
		Soportes	Mantener distancias de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisura en estructuras</li> <li>• Roturas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrecargas mecánicas</li> </ul>	caída de soporte	Visual	3	5	2	30	Ver periódicamente las condiciones estándares de los soportes.

## PANEL FOTOGRÁFICO













## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Samuel Sucasaca Quecara, identificado con DNI 44399870 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SUB SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA EN 22.9 KV TAMBOPATA”**

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 08 de Junio del 2023





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Samuel Sucasaca Quecaca, identificado con DNI 44399870 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SUB SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA EN 22.9 KV TAMBOPATA”**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 08 de Junio del 2023

