



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



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
LA FIABILIDAD, APLICANDO LA NORMA IEC 60812:2006, PARA
EL ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN 0251, VILQUE -
MAÑAZO - PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

ALEXANDER RODRIGUEZ CALLO

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

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA FIABILIDAD, APLICANDO LA NORMA IEC 60812:2006, PARA EL ALIMENTADOR EN MEDIA TENSION 0251, VILQUE - MAÑAZO - PUNO

AUTOR

ALEXANDER RODRIGUEZ CALLO

RECuento de palabras

13888 Words

RECuento de caracteres

79403 Characters

RECuento de páginas

94 Pages

Tamaño del archivo

2.6MB

Fecha de entrega

Jul 15, 2024 11:55 AM GMT-5

Fecha del informe

Jul 15, 2024 11:56 AM GMT-5

● 19% 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
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 4% 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 10 palabras)


Marcos José Villanueva Cornejo
INGENIERO MECÁNICO Y ELECTRICISTA
C.I.P. 90153


M.Sc. Felipe Condori Chambilla
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
EPIME

Resumen



DEDICATORIA

La presente tesis la dedico con mucho amor a Dios, por brindarme esta gran oportunidad de vivir y de cuidar mi camino en el proceso de estudios e investigación para mi proyecto de tesis.

También dedico a nuestra prestigiosa Universidad Nacional del Altiplano, a mi querida escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por habernos permitido formarnos profesionalmente en ella; también por inculcarnos los conocimientos, valores y principios para el bien de la sociedad.

A mis docentes por ser el ejemplo y por realizar el sacrificio suficiente para brindarnos los conocimientos necesarios para la investigación de este proyecto de tesis.

A mi familia, a mis padres. Por ser el motor y motivo de superación ante las adversidades que ocurren en la sociedad.

A mis docentes, a todos aquellos docentes que lograron inculcarme como persona y como profesional, por brindarme los conocimientos necesarios para alcanzar este paso de la vida profesional satisfactoriamente, gracias queridos docentes.

Alexander Rodriguez Callo



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme lo más maravilloso que es, la vida. Por cuidar de mi integridad y salud y de mi camino. Y de librarme y proteger de todos los males existentes en este mundo.

Gracias a la Universidad Nacional del Altiplano, a mi escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por haberme permitido formarme profesionalmente en ella, por las oportunidades que me brindaron ante las dificultades presentadas en el proceso de investigación y estudio del presente proyecto de tesis. Por haberme mostrado un camino lleno de conocimientos e investigación, además de llevar hasta lo más alto mis capacidades en cada uno de los cursos de su plan de estudios de la escuela profesional.

A todos mis docentes por brindarme los conocimientos necesarios y también por los consejos brindados en horarios de clases. Puesto que con su apoyo estoy dando un gran paso en mi vida profesional.

A mis queridos padres y mi hermosa familia, por darme el apoyo y la fortaleza necesaria para continuar con mis estudios superior.

Alexander Rodriguez Callo



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.1.1. Hipótesis general.....	17
1.1.2. Hipótesis específicas	17
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	17
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. Mantenimiento	20
2.1.1.1. Teorías de mantenimiento	21
2.1.1.2. Mantenimiento de averías o de funcionamiento hasta el fallo ...	21
2.1.1.3. Mantenimiento preventivo o basado en el tiempo	22
2.1.1.4. Mantenimiento predictivo o basado en la condición.....	22
2.1.1.5. Mantenibilidad	24
2.1.1.6. Disponibilidad	25
2.1.1.7. Confiabilidad.....	26
2.1.1.8. Fiabilidad de los sistemas eléctricos de distribución	27
2.1.1.9. Falla.....	28
2.1.1.10. Causas de las fallas.....	29
2.1.1.11. Patrones de fallo.....	30
2.1.1.12. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	31
2.1.1.13. Análisis de los modos de fallo y efectos (AMEF)	33
2.1.1.14. Criticidad.....	36
2.1.2. El sistema de distribución eléctrica.....	37
2.1.2.1. Elementos de las redes de distribución	40
2.1.2.2. Soportes.....	40
2.1.2.3. Conductores.....	41
2.1.2.4. Aisladores.....	42
2.1.2.5. Crucetas	43



2.1.2.6. Ferrería	44
2.1.2.7. Protección del sistema eléctrico	45
2.1.2.8. Sistema de puesta a tierra	47
2.1.2.9. Sub estación de distribución.....	48

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES.....	50
3.1.1. Tipo de investigación	51
3.2 MÉTODO	52
3.2.1 Análisis de los modos efectos de falla y criticidad (FMECA).....	52
3.2.1.1.Análisis de modos y efectos de falla	54
3.2.1.2.Determinación de la criticidad.	54
3.2.1.3.Selección de elementos críticos	58
3.2.2 Plan de mantenimiento basado en el número de prioridad de riesgo (NPR),	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INDICADORES SAIDI Y SAIFI PROMEDIO DE LA LÍNEA	60
4.2. ANÁLISIS DE LOS MODOS EFECTOS DE FALLA Y CRITICIDAD (FMECA)	63
4.2.1. ANÁLISIS DE MODO DE FALLO, EFECTOS Y CRITICIDAD	63



4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADOS EN EL NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (RPN).....	78
V. CONCLUSIONES.....	84
VI. RECOMENDACIONES.....	85
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	90

Área : Ingeniería Eléctrica

Tema : Mantenimiento

Fecha de sustentación: 24 de julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Hoja de trabajo de AMEFC.....	54
Tabla 2 Ocurrencia.....	56
Tabla 3 Severidad.....	57
Tabla 4 Detectabilidad.....	58
Tabla 5 Criticidad.....	59
Tabla 6 Plan de Mantenimiento.....	59
Tabla 7 Función Estructuras.....	64
Tabla 8 AMEF Estructuras.....	65
Tabla 9 Función Conductores.....	65
Tabla 10 AMEF Conductores.....	66
Tabla 11 Función Aisladores.....	66
Tabla 12 AMEF Aisladores.....	67
Tabla 13 Función Crucetas y ménsulas.....	68
Tabla 14 AMEF Crucetas.....	68
Tabla 15 Función Sistema de protección.....	69
Tabla 16 AMEF Sistema de protección.....	70
Tabla 17 Función Transformador de distribución.....	71
Tabla 18 AMEF del transformador.....	71
Tabla 19 Consolidado de fallas.....	73
Tabla 20 Consolidado de fallas.....	74
Tabla 21 Criticidad postes.....	75
Tabla 22 Criticidad conductores.....	75



Tabla 23	Criticidad aisladores.....	76
Tabla 24	Criticidad crucetas.....	76
Tabla 25	Criticidad sistema de protección.....	77
Tabla 26	Criticidad transformador de distribución.....	78
Tabla 27	Propuesta de Mantenimiento Postes o estructuras.....	78
Tabla 28	Propuesta de Mantenimiento Conductores.....	79
Tabla 29	Propuesta de Mantenimiento Aisladores.....	80
Tabla 30	Acción de Mantenimiento Crucetas.....	80
Tabla 31	Propuesta de mantenimiento Protección.....	81
Tabla 32	Propuesta de mantenimiento Transformador.....	82



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Intervalo p-f.....	24
Figura 2 Proceso de desgaste de los equipos	29
Figura 3 Patrones de fallas.....	30
Figura 4 Tareas importantes del AMEF	36
Figura 5 Matriz de criticidad	37
Figura 6 Esquema del sistema eléctrico de potencia	39
Figura 7 Estructura de concreto	40
Figura 8 Carretes de conductor de aluminio.....	42
Figura 9 Aisladores de porcelana	43
Figura 10 Crucetas de F°G°	44
Figura 11 Ferretería	45
Figura 12 Pararrayos, seccionador fusible.....	47
Figura 13 Subestación de distribución eléctrica	49
Figura 14 Mapa líneas de distribución Vilque – Mañazo.....	51
Figura 15 Diagrama del método FMECA	53
Figura 16 Grafico de interrupciones por empresa distribuidora.....	62
Figura 17 SE Puno	63
Figura 18 Diagrama de Pareto fallas.	73
Figura 19 Diagrama de Pareto fallas	74



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. SAIDI Y SAIFI por departamentos - 2021	90
ANEXO 2. Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – COES	91
ANEXO 3. Diagrama unifilar del Sistema Eléctrico en Puno (Autocad)	92
ANEXO 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis	93
ANEXO 5. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.....	93



ACRÓNIMOS

AMEFC:	Análisis de modos y efectos de fallos y su criticidad
D:	Detectabilidad
DGE:	Dirección General de Electricidad
O:	Ocurrencia
PM:	Mantenimiento Preventivo
RCM:	Mantenimiento Basado en la Confiabilidad
RPN:	Número de Prioridad de Riesgo
S:	Severidad
V:	Voltios



RESUMEN

Las constantes fallas que se registra en el sistema eléctrico de media tensión del alimentador 0251 Vilque Mañazo, ocasiona que el sistema no tenga la calidad requerida, causando interrupciones en el sistema, perjuicio a los consumidores finales y penalidades a la empresa distribuidora, este problema es debido a la falta de un plan de mantenimiento adecuado que mejoraría la confiabilidad del sistema eléctrico; los métodos de mantenimiento adecuados mejoran la confiabilidad de los sistemas; en ese sentido, el presente proyecto pretende como objetivo principal proponer un plan de mantenimiento basado en la fiabilidad aplicando la norma IEC 60812, el que toma en consideración el estudio de la función de los elementos, el análisis de los modos, efectos de las fallas y la determinación de los elementos críticos que forman parte del sistema eléctrico de media tensión del alimentador 0251 Vilque Mañazo. Como metodología se aplicó el análisis de criticidad y número de prioridad de riesgo; el RPN para postes promedio es de 5, para conductores es de 112.8, aisladores es 42.93, cruceetas es 8, y en el de sistema de protección es de manera irregular, sobre todo en el sistema de puesta a tierra. También se determinaron las funciones de los sub sistemas del sistema eléctrico de media tensión del alimentador 0251 Vilque Mañazo, se analizó los datos de las fallas registrados obtenidos de campo en situaciones reales, se identificó los sub sistemas críticos que es el sistema de protección específicamente, el sistema de puesta a tierra y se propone el rediseño o un nuevo diseño del sistema de puesta a tierra, se propuso las acciones de mantenimiento adecuadas para el sistema.

Palabras clave: Confiabilidad, Criticidad, Disponibilidad, Mantenimiento, Riesgo.



ABSTRACT

The constant failures recorded in the medium voltage electrical system of the 0251 Vilque Mañazo feeder mean that the system does not have the required quality, causing interruptions in the system, harm to end consumers and penalties for the distribution company. This problem is due to the lack of a suitable maintenance plan that would improve the reliability of the electrical system; suitable maintenance methods improve the reliability of the systems; In this sense, the main objective of this project is to propose a maintenance plan based on reliability by applying the IEC 60812 standard, which takes into consideration the study of the function of the elements, the analysis of the modes, the effects of faults and the determination of the critical elements that form part of the medium voltage electrical system of feeder 0251 Vilque Mañazo. As a methodology, the criticality analysis and risk priority number were applied; The average RPN for poles is 5, for conductors it is 112.8, insulators is 42.93, crossarms is 8, and in the protection system it is irregular, especially in the grounding system. the functions of the sub-systems of the medium voltage electrical system of the 0251 Vilque Mañazo feeder were determined, the data on faults recorded in the field in real situations were analysed, the critical sub-systems were identified, which is the protection system, specifically the earthing system, and the redesign or new design of the earthing system was proposed, and the appropriate maintenance actions for the system were proposed.

Keywords: Criticality, Availability, Reliability, Risk, Maintenance.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de distribución de la energía eléctrica forman una parte muy importante en el sistema económico y productivo de la sociedad es un componente principal dentro de la industria. Sin embargo, la falta de mantenimiento de las redes de distribución ocasiona interrupciones del servicio causando pérdidas de producción considerables a los usuarios finales ocasionando una baja fiabilidad del sistema, lo que ocasiona un bajo nivel de calidad del servicio de electricidad lo que a su vez ocasiona sanciones económicas por parte de la empresa reguladora a la empresa de distribución.

Realizando acciones de mantenimiento adecuados a las redes de media tensión se logra mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico, esto se realiza mediante el estudio del estado actual de las redes que nos proporciona la información necesaria para poder obtener las variables de comportamiento de los subsistemas y permiten establecer las acciones de mantenimiento necesarias, de esta manera poder mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la red de distribución de energía eléctrica.

En ese sentido la elaboración del presente proyecto de tesis se justifica por cuanto que en la actualidad la falta de mantenimiento de las redes de distribución en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo del Servicio Eléctrico Puno, ocasiona interrupciones del servicio frecuentes causando pérdidas de producción considerables a los usuarios finales al mismo tiempo causa una baja fiabilidad y disponibilidad del sistema.

El contexto operativo en donde operan los diversos componentes del sistema de distribución eléctrica es muy variado en nuestra región, este contexto operativo varia de



un lugar a otro, si tenemos en cuenta que en nuestra región tenemos una geografía muy variada como por ejemplo zona de selva en la provincia de Sandia o zonas altoandinas como en Ananea, lo que ocasiona que la implementación de un mismo plan de mantenimiento no pueda ser eficaz en lugares distintos teniendo incluso los mismos componentes con calidades similares; es en ese sentido, que se justifica el estudio planteado.

1.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Hipótesis general

El análisis de la fiabilidad aplicando la norma IEC 60812, para el alimentador 0251, Vilque – Mañazo del Servicio Eléctrico Puno, mejora la confiabilidad del sistema.

1.1.2. Hipótesis específicas

- El análisis de los modos y efectos de fallas de los sub sistemas y componentes de las redes en media tensión permite identificar los componentes críticos.
- La determinación del número de prioridad del riesgo de los componentes críticos permite elaborar planes de mantenimiento preventivos basados en el riesgo.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El contexto operativo en donde operan los diversos componentes del sistema de distribución eléctrica es muy variado en nuestra región, este contexto operativo varia de un lugar a otro, si tenemos en cuenta que en nuestra región tenemos una geografía muy variada como por ejemplo zona de selva en la provincia de Sandia o zonas altoandinas



como en Ananea, lo que ocasiona que la implementación de un mismo plan de mantenimiento no pueda ser eficaz en lugares distintos teniendo incluso los mismos componentes con calidades similares; es en ese sentido, que se justifica el estudio planteado.

Los sistemas de distribución de la energía eléctrica forman una parte muy importante en el sistema económico y productivo de la sociedad es un componente principal dentro de la industria. Sin embargo, la falta de mantenimiento de las redes de distribución ocasiona interrupciones del servicio causando pérdidas de producción considerables a los usuarios finales ocasionando una baja fiabilidad del sistema, lo que ocasiona un bajo nivel de calidad del servicio de electricidad lo que a su vez ocasiona sanciones económicas por parte de la empresa reguladora a la empresa de distribución.

Realizando acciones de mantenimiento adecuados a las redes de media tensión se logra mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico, esto se realiza mediante el estudio del estado actual de las redes que nos proporciona la información necesaria para poder obtener las variables de comportamiento de los subsistemas y permiten establecer las acciones de mantenimiento necesarias, de esta manera poder mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la red de distribución de energía eléctrica.

En ese sentido la elaboración del presente proyecto de tesis se justifica por cuanto que en la actualidad la falta de mantenimiento de las redes de distribución en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo del Servicio Eléctrico Puno, ocasiona interrupciones del servicio frecuentes causando pérdidas de producción considerables a los usuarios finales al mismo tiempo causa una baja fiabilidad y disponibilidad del sistema.



1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Análisis de la fiabilidad aplicando la norma IEC 60812, para el alimentador 0251, Vilque – Mañazo del Servicio Eléctrico Puno.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el análisis de los modos, efectos de fallas y criticidad, mediante la norma IEC 60812, para los sub sistemas de las redes en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo.
- Elaborar el plan de mantenimiento basados en el número de prioridad de riesgo (NPR), para la red en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Mantenimiento

Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento (Garrido, 2003). El mantenimiento busca incrementar la confiabilidad de los activos y de los procesos, utilizando diferentes prácticas que van más allá de la reparación de máquinas como inicialmente nació, hoy en día su objetivo principal es la gestión de la planeación de las actividades, identificación de oportunidades de mejora, organizar y controlar la ejecución de las actividades de mantenimiento, de tal forma que se tengan adecuados sistemas de información que permitan la toma de decisiones (Tavares, 1996).

La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. (Gutiérrez, 2012).

El objetivo de mantenimiento es conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad y con una mínima degradación del medio ambiente (Gutiérrez, 2012).

Se trata de una función de apoyo tal como las funciones:

- Calidad
- Seguridad



- Recursos humanos, etc. (Rodrigo, 2005)

2.1.1.1. Teorías de mantenimiento

Estas teorías de mantenimiento suelen dividirse en cuatro categorías diferentes (Mackay, 2004).

Mantenimiento por avería o hasta el fallo, mantenimiento preventivo o basado en el tiempo, mantenimiento predictivo o basado en la condición, mantenimiento proactivo o preventivo (Mackay, 2004).

2.1.1.2. Mantenimiento de averías o de funcionamiento hasta el fallo

La teoría básica de esta estrategia de mantenimiento es permitir que el equipo funcione hasta el fallo y sólo reparar o sustituir el equipo dañado cuando se produzcan problemas evidente (Osarenren, 2015). Este enfoque funciona bien si las paradas de los equipos no afectan a la producción y si los costes de mano de obra y material no importan (Mackay, 2004). Son acciones de reparación realizadas como resultado de las condiciones observadas o medidas de un activo después o antes de la falla funcional (Gulati, 2009)

La ventaja de este enfoque es que funciona bien si las paradas de los equipos no afectan a la producción y si los costes de mano de obra y material no importan (Osarenren, 2015). La desventaja es que el departamento de mantenimiento opera perpetuamente en modo de no planificado solo cuando se producen interrupciones inesperadas de la producción las actividades de mantenimiento requieren un gran inventario de piezas de repuesto para reaccionar inmediatamente (Mackay, 2004).



2.1.1.3. Mantenimiento preventivo o basado en el tiempo

Esta metodología consiste en programar actividades de mantenimiento en intervalos de tiempo predeterminados en los que se sustituye el equipo dañado antes de que se produzcan problemas evidentes (Osarenren, 2015). Está basada en la inspección, la sustitución de componentes y la revisión a un intervalo fijo, independientemente de su condición en el momento (Gulati, 2009).

La teoría del mantenimiento preventivo consiste en programar las actividades de mantenimiento a intervalos de tiempo predeterminados, basados en días naturales u horas de funcionamiento de las máquinas; en este caso, la reparación o sustitución de los equipos dañados se lleva a cabo antes de que se produzcan problemas evidentes (Mackay, 2004).

La ventaja de este enfoque es que funciona bien para los equipos que no funcionan continuamente y el personal tiene suficiente conocimiento, habilidad y tiempo para realizar el trabajo de mantenimiento preventivo (Osarenren, 2015). La principal desventaja es que el mantenimiento programado puede dar lugar a la realización de demasiado pronto o demasiado tarde, los equipos se retirarían para su revisión a un determinado número de horas de funcionamiento; es posible que, sin ninguna evidencia de fallo funcional, se sustituyan los componentes cuando aún les queda algo de vida útil; por lo tanto, es muy posible que se produzca una reducción de la producción debido a un mantenimiento innecesario (Mackay, 2004).

2.1.1.4. Mantenimiento predictivo o basado en la condición

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle



(Smith & Hinchcliffe, 2004). La condición del equipo podría medirse mediante la vigilancia del estado, el control estadístico de los procesos o el rendimiento del equipo, o mediante el uso de los sentidos humanos (Gulati, 2009).

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle (Smith & Hinchcliffe, 2004). Se basa en el concepto de que hay suficiente tiempo entre el momento en que se detecta el fallo potencial y el fallo funcional para que la organización reaccione y evite el fallo funcional; este intervalo se conoce como intervalo p-f. (Osarenren, 2015). Este enfoque utiliza los principios de la estadística, control de procesos y análisis de tendencias para determinar en qué momento del futuro las actividades de mantenimiento serán apropiadas y rentables (Gulati, 2009).

Esta teoría consiste en programar las actividades de mantenimiento sólo cuando las condiciones mecánicas u operativas lo justifiquen, mediante la supervisión periódica de la maquinaria para detectar la vibración, la temperatura y la degradación de la lubricación excesiva, o la observación de cualquier otra tendencia no saludable que se produzca con el tiempo (Osarenren, 2015).

Es una estrategia basada en:

1. La medición de la condición del equipo a fin de evaluar si fallará durante algún período futuro y luego (Gulati, 2009).
2. La adopción de medidas apropiadas para evitar las consecuencias de esa falla (Gulati, 2009).

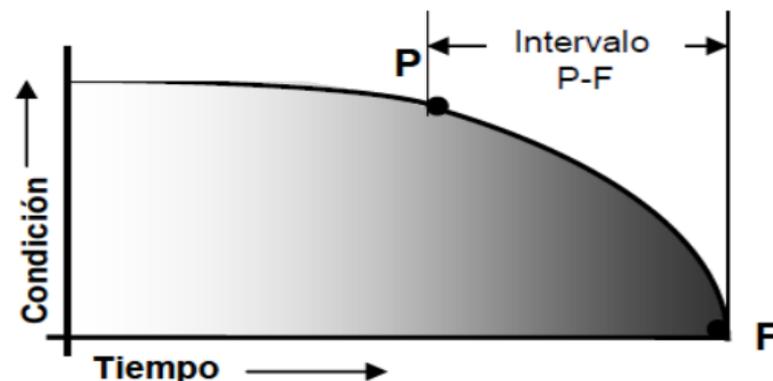
Las ventajas de este enfoque son que funciona muy bien si el personal tiene suficiente conocimiento, habilidad y tiempo para realizar el trabajo de

mantenimiento predictivo, las reparaciones del equipo pueden ser programadas de manera ordenada y permite un cierto tiempo de espera para adquirir los materiales para las reparaciones necesarias reduciendo la necesidad de un alto inventario de piezas (Osarenren, 2015).

Las desventajas son que el trabajo de mantenimiento puede en realidad aumentar si el personal evalúa incorrectamente el nivel de degradación del equipo, para observar las tendencias anormales de la vibración, la temperatura o la lubricación, este enfoque requiere que la instalación adquiera equipo para vigilar estos parámetros y proporcionar capacitación al personal (Osarenren, 2015).

Figura 1

Intervalo p-f.



Fuente: SAE JA 1012.

2.1.1.5. Mantenibilidad

Lograr una alta capacidad de mantenimiento en equipos y sistemas complejos requiere actividades apropiadas que deben iniciarse en la fase de diseño y coordinarse con un concepto de mantenimiento, a esto pertenece la partición de los equipos y sistemas en unidades independientes reemplazables en línea, detección y localización de fallos y el apoyo logístico (Biolini, 2017).

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 (Ben-Daya et al., 2009). Es una característica del elemento, expresada por la probabilidad de que se realice un mantenimiento preventivo o una reparación del elemento en un intervalo de tiempo para unos procedimientos y recursos determinados (Biolini, 2017).

2.1.1.6. Disponibilidad

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales (Gutiérrez, 2012). Es un término amplio que expresa la relación entre el servicio prestado y el esperado suele designarse por “A” y se utiliza para el valor asintótico y de estado estacionario de la disponibilidad puntual y media. (Biolini, 2017).

El cálculo de la disponibilidad suele ser difícil, ya que hay que tener en cuenta los aspectos humanos y el apoyo logístico además de la fiabilidad y el mantenimiento, se supone que los aspectos humanos y el apoyo logístico son ideales, lo que da lugar a la disponibilidad intrínseca. (Biolini, 2017)

Otros supuestos para los cálculos son el funcionamiento continuo y la renovación completa del elemento reparado; en este caso, la disponibilidad puntual $PA(t)$ de la estructura de un elemento converge rápidamente a un valor asintótico y de estado estacionario, dado por (Biolini, 2017):

$$PA = \frac{MTTF}{(MTTF + MTTR)}$$

- La media del tiempo de reparación se denota por MTTR
- La media del tiempo entre fallos se denota por MTTF (Biolini, 2017).



2.1.1.7. Confiabilidad

Confiabilidad es un término abstracto que significa resistencia, fiabilidad y buen rendimiento; para los sistemas de ingeniería, sin embargo, es más que un término abstracto; es algo que puede ser computado, medido, evaluado, planeado y diseñado en una pieza de equipo o un sistema, por fiabilidad se entiende la capacidad de un sistema para realizar la función para la que ha sido diseñado en las condiciones de funcionamiento que se dan durante su vida útil prevista (Chowdhury, 2009).

La fiabilidad puede definirse de varias formas:

- La capacidad de un producto o sistema para realizar una función requerida en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado (Osarenren, 2015).
- Es apto con respecto al tiempo.
- La capacidad de un dispositivo o sistema para funcionar como se ha diseñado.
- La resistencia al fallo.
- La probabilidad de que una unidad funcional realice su función durante un intervalo de tiempo determinado en las condiciones establecidas (Osarenren, 2015).

Es la probabilidad de que no se produzca ninguna interrupción operacional durante un intervalo de tiempo determinado; esto no significa que las partes redundantes no puedan fallar, tales piezas pueden fallar y ser reparadas en línea es decir, sin interrupción operacional (Birolini, 2017).



Los ingenieros de confiabilidad se basan en la teoría de la probabilidad y en la teoría de la fiabilidad a partir de la definición y las técnicas de fiabilidad; para explicar la ingeniería de la fiabilidad se utilizan muchas técnicas de ingeniería, como la predicción de la fiabilidad, el análisis de Weibull, la gestión térmica, las pruebas de fiabilidad, las pruebas de vida útil acelerada y la técnica de la herencia tecnológica (Osarenren, 2015).

2.1.1.8. Fiabilidad de los sistemas eléctricos de distribución

La función básica de un sistema de energía es suministrar a sus clientes energía eléctrica de la forma más económica y fiable posible (Chowdhury, 2009).

La matemática de la fiabilidad evoluciona constantemente para adaptarse a los cambios técnicos en las operaciones y configuraciones de los sistemas de energía; en la actualidad, las fuentes de energía renovable, como los sistemas eólicos y fotovoltaicos, tienen un impacto significativo en el funcionamiento de los sistemas de generación, transmisión y distribución (Chowdhury, 2009).

Es importante señalar que el sistema de distribución es un vínculo vital entre el sistema de energía y sus clientes, el circuito de distribución generalmente utiliza alimentadores principales y distribuidores laterales para suministrar las necesidades energéticas de los clientes; en el pasado, el segmento de distribución de un sistema de energía recibió una atención considerablemente menor en cuanto a la planificación de la fiabilidad en comparación con segmentos de generación y transmisión; la razón básica detrás de esto es el hecho de que los segmentos de generación y transmisión son muy intensivos en capital, y las interrupciones en estos pueden causar consecuencias económicas catastróficas generalizadas para la sociedad (Chowdhury, 2009).



2.1.1.9. Falla

El fallo de un componente se produce cuando hay una desviación significativa de su estado original que lo hace inaceptable para su usuario, se puede clasificar como fallo completo, parcial, intermitente, en el tiempo o exceso de rendimiento de la función (Ben-Daya et al., 2009).

Se produce un fallo cuando el equipo deja de cumplir su función requerida, por muy simple que sea esta definición, puede resultar difícil aplicarla a equipos complejos; entonces, los fallos deben clasificarse según el modo, la causa y el efecto (Birolini, 2017).

El modo de un fallo es el síntoma por el que se observa un fallo; por ejemplo, fallos abiertos, cortos, de deriva, funcionales para la electrónica, fractura, fluencia, pandeo, fatiga para los componentes o piezas mecánicas (Birolini, 2017).

La causa de un fallo puede ser intrínseca, debido a las debilidades del equipo y / o desgaste, o extrínseca, debido a errores, mal uso o mal manejo durante el diseño, producción o uso, las causas extrínsecas suelen dar lugar a fallos sistemáticos, que son deterministas y deben considerarse como defectos, los defectos están presentes en $t = 0$, los fallos aparecen siempre a tiempo, incluso si el tiempo hasta el fallo es corto como puede serlo con los fallos sistemáticos o tempranos (Birolini, 2017).

El efecto de un fallo puede ser diferente si se considera en el propio equipo o en un nivel superior, una clasificación habitual es: no pertinente, menor, mayor, crítico (que afecta a la seguridad); dado que un fallo también puede causar otros fallos, es importante distinguir entre el fallo primario y el secundario (Birolini, 2017).

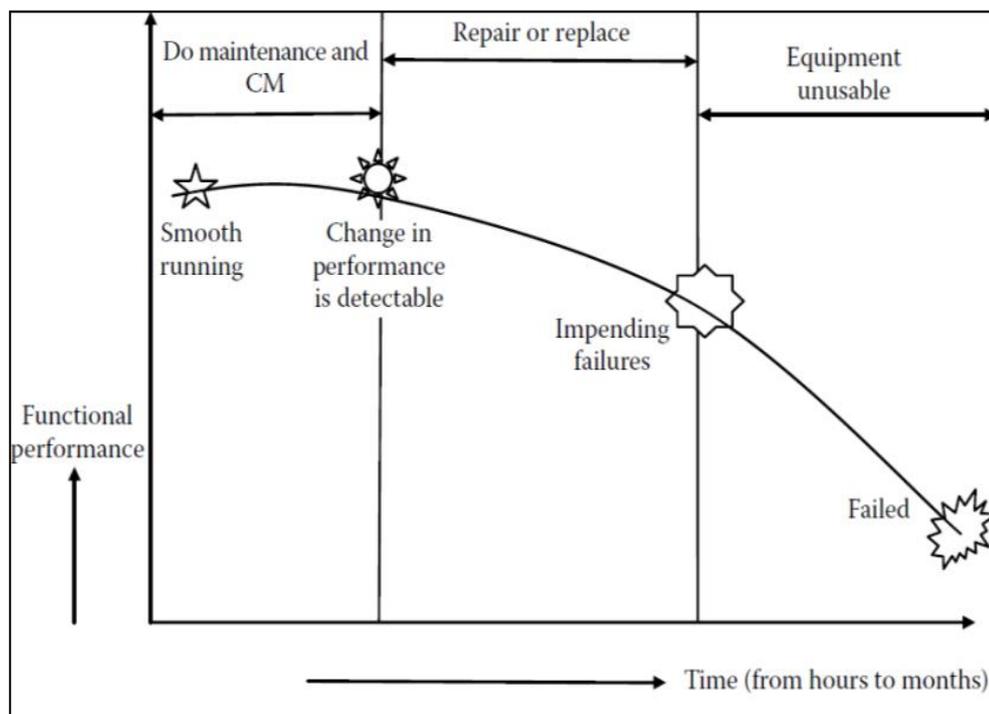
En el mundo de Mantenimiento centrado en la confiabilidad, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario; en adición a la incapacidad total para funcionar, esta definición abarca fallas parciales, donde el bien todavía funciona, pero a nivel inaceptable de desempeño (Moubray, 2004).

2.1.1.10. Causas de las fallas

Todos los fallos de los equipos se rigen por las simples leyes de la física presentes en la vida cotidiana; estas son: la fricción, la erosión, la corrosión, la tensión y el impacto son la base física de la mayoría de los fallos; por lo tanto, es la interacción del ser humano con el equipo la que determina si estas causas se producen de forma normal o anormal (Osarenren, 2015).

Figura 2

Proceso de desgaste de los equipos



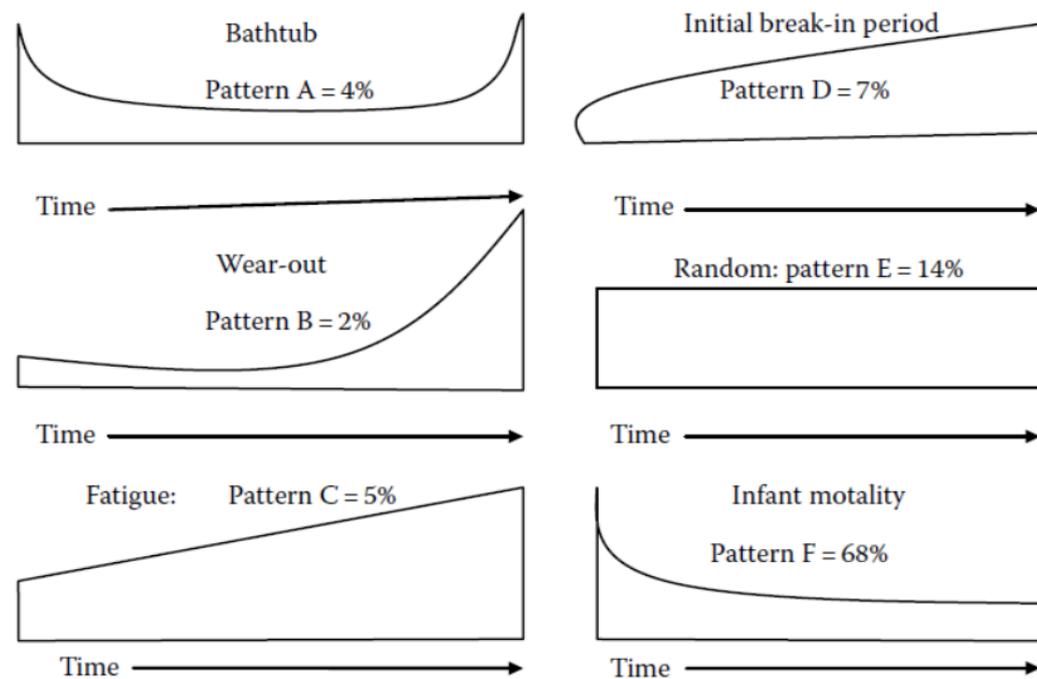
Fuente: (Osarenren, 2015).

2.1.1.11. Patrones de fallo

Los estudios sobre la edad y la fiabilidad de los componentes de las aeronaves realizados a lo largo de los años revelaron las seis relaciones básicas entre la edad y la fiabilidad que se muestran en la figura 3, el eje vertical de estas curvas representa la probabilidad condicional de fallo, y el eje horizontal representa el tiempo en servicio después de la instalación o revisión (Osarenren, 2015).

Figura 3

Patrones de fallas



Fuente: (Osarenren, 2015)

El patrón A es la tan conocida curva de la bañera, comienza con una incidencia alta de falla seguida por una probabilidad de falla condicional en lento o constante crecimiento, luego por la zona de desgaste (Moubray, 2004).

El patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste similar al gráfico (Moubray, 2004).



El patrón C muestra una probabilidad de falla creciente pero no hay una edad de desgaste identificable (Moubray, 2004).

El patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién comprado, y luego una suba rápida a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una permanente probabilidad condicional de fallas a cualquier edad (Moubray, 2004).

El patrón F comienza con una mortalidad infantil alta, que disminuye eventualmente a una probabilidad condicional de falla muy lenta (Moubray, 2004).

2.1.1.12. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), es un enfoque estructurado para garantizar que todos los datos y conocimientos disponibles se utilicen para llegar a un régimen de mantenimiento óptimo, como parte del tipo particular de estudio RCM realizado, se determina cuantitativamente la pérdida de producción incurrida durante el tiempo de inactividad del equipo y la frecuencia estimada de ocurrencia de diferentes modos de falla, estos datos pueden ser valiosos para mejorar el control de inventario, porque los costos de escasez de piezas de repuesto están claramente relacionados con los costos de tiempo de inactividad del equipo (Jaarsveld & Dekker, 2011).

El objetivo principal del análisis RCM es proporcionar una investigación exhaustiva, sistemática y documentada que establezca las condiciones de fallo importantes del sistema o sistemas de la maquinaria, las tareas de mantenimiento o los rediseños de sistemas/equipos elegidos para reducir la frecuencia de tales ocurrencias, y la justificación del inventario de repuestos. (Klasfikasi, 2012).



La sociedad de ingenieros de automoción ha desarrollado y publicado la norma SAE JA-1011, que proporciona cierto grado de estandarización para el proceso de RCM, la norma SAE JA-1011 define el proceso de RCM como la formulación de siete preguntas básicas a partir de las cuales se puede definir un enfoque de mantenimiento integral: (Ben-Daya et al., 2009).

1. ¿Cuáles son las funciones y las normas de rendimiento asociadas del activo en su contexto operativo actual?(Ben-Daya et al., 2009).
2. ¿De qué manera puede dejar de cumplir sus funciones? (Ben-Daya et al., 2009).
3. ¿Cuáles son las causas de cada fallo funcional? (Ben-Daya et al., 2009).
4. ¿Qué ocurre cuando se produce cada fallo? (Ben-Daya et al., 2009).
5. ¿Qué importancia tiene cada fallo? (Ben-Daya et al., 2009).
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada fallo? (Ben-Daya et al., 2009).y
7. ¿Qué hay que hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (Ben-Daya et al., 2009).

El equipo de RCM suele estar formado por personas con experiencia y conocimientos técnicos en las siguientes disciplinas (Klasfikasi, 2012):

1. Mantenimiento e inspección de maquinaria
2. Mecanismos de degradación y fallo de la maquinaria
3. Fiabilidad
4. Operaciones
5. Análisis de riesgos
6. Peligros del proceso de producción
7. Seguridad y salud



8. Materiales de construcción.

EL RCM tiene una metodología de siete pasos que garantiza la documentación que se registre exactamente cómo se seleccionaron las tareas de mantenimiento y por qué fueron la mejor selección posible entre una serie de alternativas que compiten entre sí (Ben-Daya et al., 2009):

1. La selección de sistemas y la recopilación de información;
2. Definición de los límites del sistema;
3. Descripción del sistema y diagrama de bloques funcionales;
4. Funciones del sistema y fallo funcional;
5. Modo de fallo y análisis efectivo (AMEF);
6. Análisis del árbol de decisiones lógicas; y
7. Selección de tareas (Ben-Daya et al., 2009).

2.1.1.13. Análisis de los modos de fallo y efectos (AMEF)

El análisis modal de fallos y efectos (AMEF) es una técnica de ingeniería que se utiliza para definir, identificar y eliminar problemas conocidos y/o potenciales, errores del sistema, diseño, proceso y/o servicio antes de que lleguen al cliente. (Ben-Daya et al., 2009)

Un AMEF / AMEFC consiste en el análisis sistemático de los modos de fallo (avería), sus causas, efectos (consecuencias) y criticidad, incluyendo también el modo común y la causa común; para aplicaciones críticas (por ejemplo, relacionadas con la seguridad), se investigan todas las partes del elemento considerado en una o en varias etapas (Birolini, 2017).

Es una técnica para examinar un activo, proceso o diseño para determinar las posibles formas en que puede fallar y los posibles efectos; y posteriormente



identificar las tareas de mitigación apropiadas para los riesgos de alta prioridad.(Gulati, 2009)

Para comprender el mecanismo de los fallos del sistema y para identificar los posibles puntos débiles de un concepto de seguridad o de un procedimiento de seguridad, es necesario realizar un análisis de los modos y efectos de los fallos, al menos cuando la redundancia y para las partes críticas del elemento considerado. Este análisis se denomina FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) o FMECA (Modos de Fallos, Efectos y Análisis de la Criticidad) si también interesa la gravedad del fallo; entonces, si hay que tener en cuenta los fallos y los defectos, deben utilizarse los modos de fallo, permitiendo que los errores / defectos como posibles causas también (Birolini, 2017).

De esta definición se desprende que el AMEF es una metodología sistémica destinada a realizar las siguientes actividades (Birolini, 2017):

1. Identificar y reconocer los fallos potenciales, incluyendo sus causas y efectos (Birolini, 2017);
2. Evaluar y priorizar los modos de fallo identificados, ya que los fallos no son no son iguales; y (Birolini, 2017).
3. Identificar y sugerir acciones que puedan eliminar o reducir la posibilidad de que los de que se produzcan los fallos potenciales. (Ben-Daya et al., 2009)

El análisis asume un punto de vista de fallo e identifica modos potenciales de fallo junto con su mecanismo de fallo, a cada modo de fallo y efecto resultante se le asigna una clasificación de criticidad, basada en la probabilidad de ocurrencia, su severidad y su detectabilidad; en el caso de los fallos que tienen

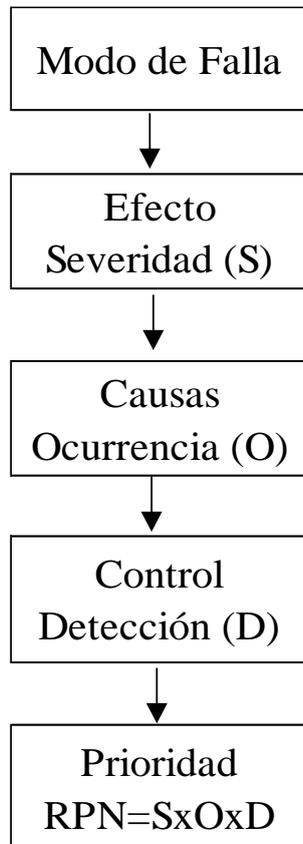


una puntuación alta en la clasificación de la criticidad, se recomiendan cambios de diseño para reducirla (Mobley, 1999).

Lo ideal es que los AMEF se lleven a cabo en las fases de diseño del producto o de desarrollo del proceso; sin embargo, su realización en productos y procesos existentes también puede resultar beneficioso, como en el caso de RCM para desarrollar un programa eficaz de mantenimiento preventivo (Ben-Daya et al., 2009).

Figura 4

Tareas importantes del AMEF



Fuente: (Ben-Daya et al., 2009)

2.1.1.14. Criticidad

Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad (Garrido, 2003):

- a. Equipos críticos. Son aquellos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa (Garrido, 2003).
- b. Equipos importantes. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles (Garrido, 2003).
- c. Equipos prescindibles, que son aquellos con una incidencia escasa en los resultados (Garrido, 2003).

Figura 5

Matriz de criticidad

Probabilidad de ocurrencia	5 (A)				Alto riesgo
	4 (B)		Modo de fallo 1		
	3 (C)				
	2 (D)			Modo de fallo 2	
	1 (E)	Bajo riesgo			
		I	II	III	IV
		Severidad			

Fuente: SAEJA 1012

2.1.2. El sistema de distribución eléctrica

Típicamente, un sistema de distribución se ha dividido en tres áreas casi independientes de operación (Chowdhury, 2009):

- Sistema de generación: instalaciones para la generación de electricidad a partir de fuentes de energía (Chowdhury, 2009).
- Sistema de transmisión: sistema de transporte para trasladar grandes cantidades de energía desde las instalaciones de generación a zonas geográficas específicas (Chowdhury, 2009).
- Sistema de distribución: dentro de un área geográfica específica, distribuir la energía a los consumidores individuales (Chowdhury, 2009).

Las redes de distribución forman una parte muy importante de los sistemas de potencia porque toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios y éstos se encuentran dispersos en grandes territorios (Juárez, 2002). Los

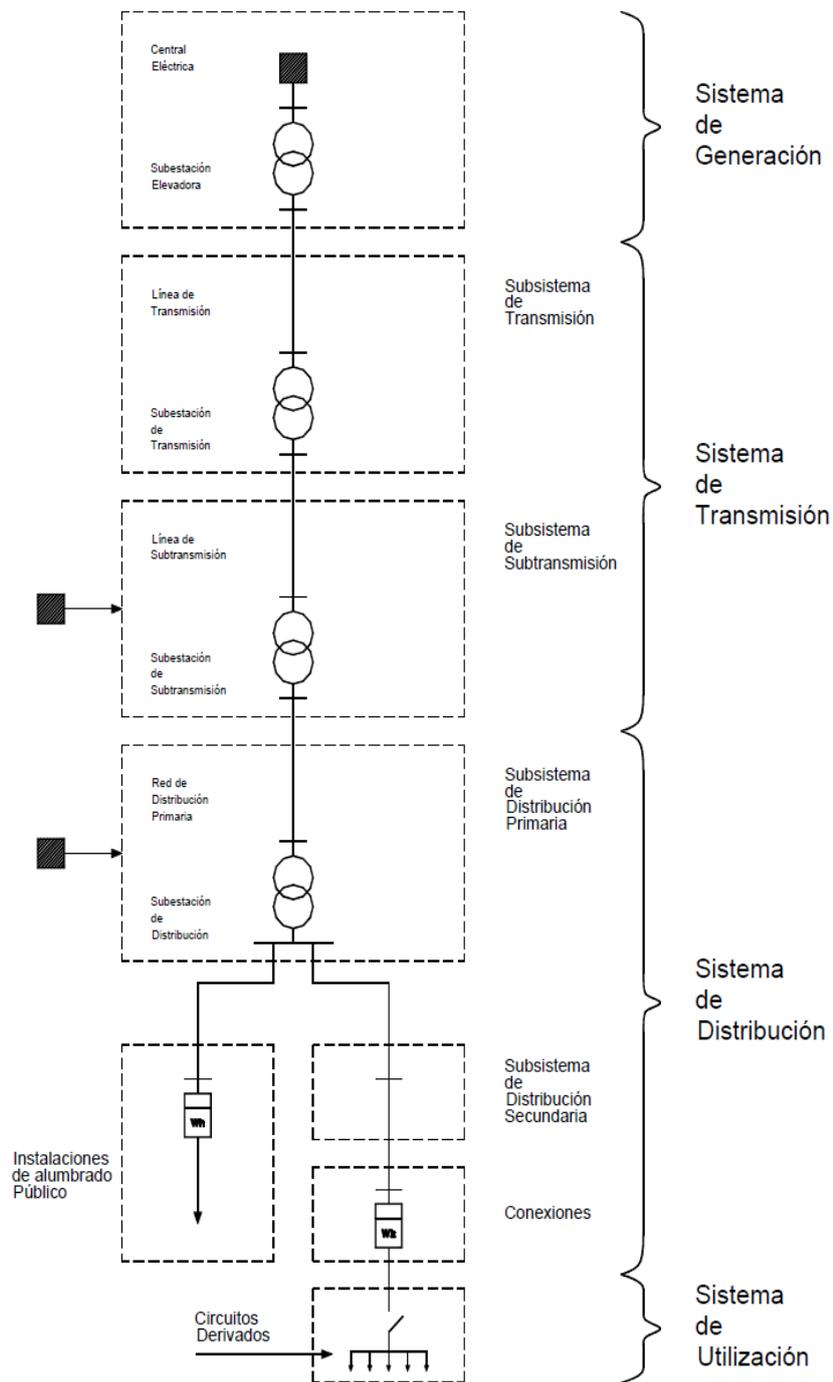


sistemas de distribución eléctrica son una parte esencial del sistema de energía eléctrica, transfieren la energía eléctrica desde una fuente de corriente alterna o continua al lugar donde se va a utilizar, se debe utilizar algún tipo de red de distribución y los sistemas de distribución suelen emplear equipos transformadores, y dispositivos de protección (Patrick & Stephen, 2009).

El funcionamiento exitoso con un buen suministro de energía eléctrica, el vínculo entre la fuente y el consumidor, el sistema de distribución, asume un papel cada vez más crítico, no sólo está llamado a suministrar cantidades cada vez mayores de energía eléctrica, sino que la demanda de normas de calidad cada vez más elevadas le impone requisitos cada vez más estrictos (Pansini, 2007).

Figura 6

Esquema del sistema eléctrico de potencia



Fuente: (MEM, 2012)

2.1.2.1. Elementos de las redes de distribución

2.1.2.2. Soportes

Los conductores necesitan soportes para ir de un sitio a otro, pueden ser torres, postes u otras estructuras; estas últimas, pueden estar hechas de acero, hormigón o madera, la elección del tipo de soporte depende del terreno que se vaya a atravesar y del tamaño de los conductores y equipos que se vayan a transportar; la disponibilidad y la economía, así como los elementos atmosféricos, determinan la elección del material (Pansini, 2007). 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 (Longatt, 2007).

Figura 7

Estructura de concreto



Elaboración propia



Normalmente se utilizan postes y torres de acero para las líneas de transmisión y postes de madera y hormigón para los circuitos de distribución (Pansini, 2007).

2.1.2.3. Conductores

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 (Longatt, 2007). Los conductores de la línea pueden variar de tamaño según el voltaje nominal, el número de conductores encadenados en un poste depende del tipo de circuitos que se utilizan; esto debido a que dan una buena combinación de conductividad y economía, el cobre, el aluminio y el acero son los materiales conductores más utilizados (Pansini, 2000). Los conductores utilizados para la distribución de energía son, normalmente, cables de aluminio o cables de aluminio con conductor de acero reforzado (ACSR) para la transmisión a larga distancia, y cables de cobre aislados para distancias más cortas. (Patrick & Stephen, 2009). Las combinaciones de aluminio acero o cobre acero y aluminio se han hecho populares para los conductores en circunstancias particulares, las aleaciones de aluminio también se utilizan como conductores (Pansini, 2000).

Figura 8

Carretes de conductor de aluminio



Elaboración propia

2.1.2.4. Aisladores

Los conductores de la línea están aislados eléctricamente entre sí también a partir del poste o la torre por medio de no conductores que se denominan aislantes (Pansini, 2000). Los aislantes cumplen la función de sujetar mecánicamente los conductores a las estructuras que los soportan, asegurando el aislamiento eléctrico entre estos dos elementos (Longatt, 2007). Para determinar si se puede utilizar un aislante, se debe considerar la fuerza mecánica y las propiedades eléctricas (Pansini, 2000). Los aisladores se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, según el material elegido para su manufactura: aisladores de vidrio, porcelana o de goma (Longatt, 2007).

Los aislantes de polímero no están tan limitados y tienen la ventaja de ser más ligeros que la porcelana o el vidrio (Pansini, 2007).

La porcelana puede soportar una gran carga en la compresión, pero se rompe fácilmente bajo la tensión, es decir, cuando se separa; por lo tanto, al usar

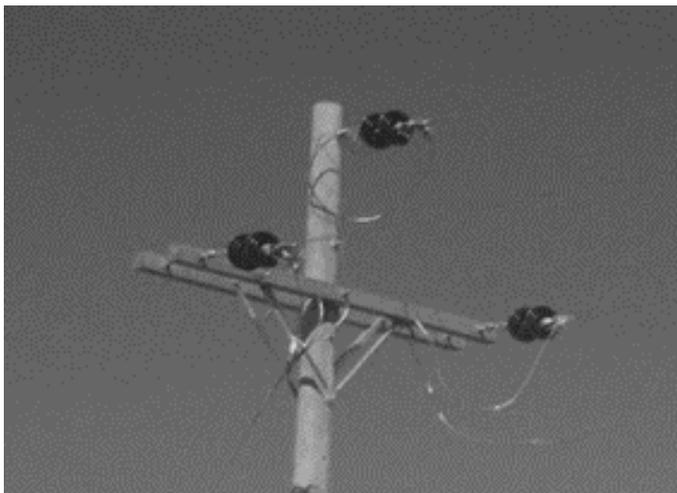
un aislante de porcelana, hay que tener cuidado de que las fuerzas que actúan sobre ella se compriman y no se separen, lo mismo ocurre generalmente con el vidrio (Pansini, 2000).

La porcelana tiene dos ventajas sobre el vidrio (Pansini, 2000):

1. Puede soportar mayores diferencias de temperatura, es decir, no se agrieta cuando se somete a temperaturas muy altas o muy bajas (Pansini, 2000);
2. La porcelana no es tan frágil como el vidrio y no se rompe tan fácilmente en la manipulación o durante instalación (Pansini, 2000).

Figura 9

Aisladores de porcelana



Elaboración propia

2.1.2.5. Crucetas

Las crucetas y las ménsulas son utilizadas para sostener los conductores aéreos y mantener la separación entre las fases, los materiales más utilizados son la madera el concreto y el acero, en los casos en los que se produce una carga inusualmente pesada, como en los postes de cambio de dirección o de derivación, pueden ser necesarios brazos dobles, es decir, uno a cada lado del poste (Pansini, 2007).

Figura 10

Crucetas de F°G°



Elaboración propia

2.1.2.6. Ferretería

Los herrajes o ferretería 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 para redes de distribución pueden ser (Longatt, 2007):

- De Fijación de cadena de aisladores.
- Unión de la cadena de aisladores y los conductores.
- Proteger los aisladores.
- Mordazas de amarre y suspensión

Figura 11

Ferretería



Elaboración propia

2.1.2.7. Protección del sistema eléctrico

Hay muchos dispositivos que se usan para proteger el sistema de distribución eléctrica de los daños debidos a condiciones anormales; por ejemplo, los interruptores, fusibles, disyuntores, pararrayos y relés de protección, algunos de estos dispositivos desconectan automáticamente el equipo de las líneas eléctricas antes de que se produzca cualquier daño, otros dispositivos detectan cambios en el funcionamiento normal del sistema y realizan los cambios necesarios para compensar las condiciones anormales de los circuitos (Patrick, 2013).

La protección de las instalaciones de los sistemas de distribución, 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 (Pinto et al., 2014). Existen varios dispositivos que se usan para proteger el sistema de distribución eléctrica de los daños debidos a condiciones anormales; así como, los sistemas de puesta a tierra, interruptores, seccionadores fusibles y pararrayos. El propósito de cualquier tipo de dispositivo de protección es hacer que un conductor de corriente se vuelva inoperante cuando una cantidad excesiva de corriente fluye a través de él. (Patrick & Stephen, 2009).

El problema eléctrico más común que requiere protección es el de los cortocircuitos, otros problemas incluyen la sobretensión, la baja tensión y los cambios en la frecuencia; para ello, se utiliza más de un método de protección para proteger los circuitos eléctricos de las condiciones defectuosas; entonces, el propósito de cualquier tipo de dispositivo de protección es hacer que un conductor de corriente se vuelva inoperante cuando una cantidad excesiva de corriente fluye a través de él. (Patrick, 2013).

En las salidas para redes de distribución primaria se emplea los seccionadores interruptores de fusibles tipo "CUT-OUT" para proteger los transformadores de distribución. (Pinto et al., 2014). El propósito de los pararrayos en las redes de distribución es la conducción a tierra de voltajes excesivamente altos que son causados por rayos principalmente, deben tener una conexión rígida a tierra en un lado y el otro lado del pararrayos está conectado a una línea de energía (Patrick & Stephen, 2009).

Figura 12

Pararrayos, seccionador fusible



Elaboración propia

2.1.2.8. Sistema de puesta a tierra

Los sistemas de puesta a tierra deberán ser diseñados para minimizar peligros eléctricos al personal y deberán tener resistencias a tierra suficientemente bajas para permitir la rápida operación de los dispositivos de protección de circuitos, pueden consistir de conductores enterrados y de varios tipos de electrodos de puesta a tierra (MEM, 2012).

Los sistemas de puesta a tierra son elementos importantes en las redes de distribución, porque además de permitir de forma segura la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por descargas atmosféricas, anomalías del sistema o electricidad estática, poseen la capacidad de dispersión y disipación de fallas, sin la presencia en la superficie de potenciales peligrosos (Mohamed & Hawary, 2008). En sistemas de distribución multiaterrado, la resistencia de puesta



a tierra del neutro en los puntos más desfavorables, no deberá superar los valores siguientes: En centro urbano o urbano rural 6 ohm y en localidades aisladas o zonas rurales 10 ohm. (MEM, 2012)

2.1.2.9. Sub estación de distribución

La función de una subestación de distribución, es recibir energía eléctrica de un sistema de transmisión de alto voltaje y convertirla en niveles de voltaje adecuados para uso industrial, comercial o residencial, el principal componente funcional de una subestación es el transformador; sin embargo, hay muchos otros tipos de equipos especializados que se requieren para el funcionamiento de una subestación (Dale R. Patrick, 2009).

Las subestaciones sirven como fuentes de suministro de energía para las áreas locales de distribución en las que se encuentran (Anthony J. Pansini, E.E., 2007). Las subestaciones tienen algunas funciones adicionales; proporcionan puntos donde se pueden instalar dispositivos de seguridad para desconectar circuitos o equipos en caso de problemas (Pansini, 2007).

Figura 13

Subestación de distribución eléctrica



Elaboración propia



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Como material de la investigación tenemos a las redes eléctricas del alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo - Puno, esta interconectado al sub sistema de sub transmisión mediante la subestación Totorani 138/60/22.9 KV, y este a su vez al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) mediante las redes de transmisión eléctrica.

- Características del sistema de distribución

- Subestación de transformación y sistema de puesta a tierra:

El alimentador en media tensión 0251 es alimentado por la SET Totorani 138/60/22.9 KV, este sistema está puesto efectivamente a tierra en la subestacion de potencia, y en todas las subestaciones de distribución.

- Alimentador 0251:

El alimentador 0251 presenta las siguientes características:

- Longitud de la red:
 - La troncal principal cuenta con 80.5 km.
 - Sus derivaciones suman un total de 369.9 km.
- Tensión nominal de la red: 22.9 kV.
- Tensión máxima de servicio: 25.0 kV.
- Configuración: 3 ϕ , 2 ϕ y 1 ϕ , por sectores.
- Frecuencia nominal: 60 Hz.
- Factor de potencia: 0.9 (atraso)
- Conexión del neutro: efectivamente puesto a tierra en la SET.

Figura 14

Mapa líneas de distribución Vilque - Mañazo



Fuente: OSINERGMIN

3.1.1. Tipo de investigación

El presente proyecto de tesis es una investigación de campo cuyo enfoque es cuantitativo, el método para cada objetivo específico es de tipo no experimental, transversal, descriptivo.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis; es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (Sampieri, 2010).



Los estudios correlacionales, tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular, en ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables, los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después, cuantifican y analizan la vinculación, tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba (Sampieri et al., 2010).

3.2 MÉTODO

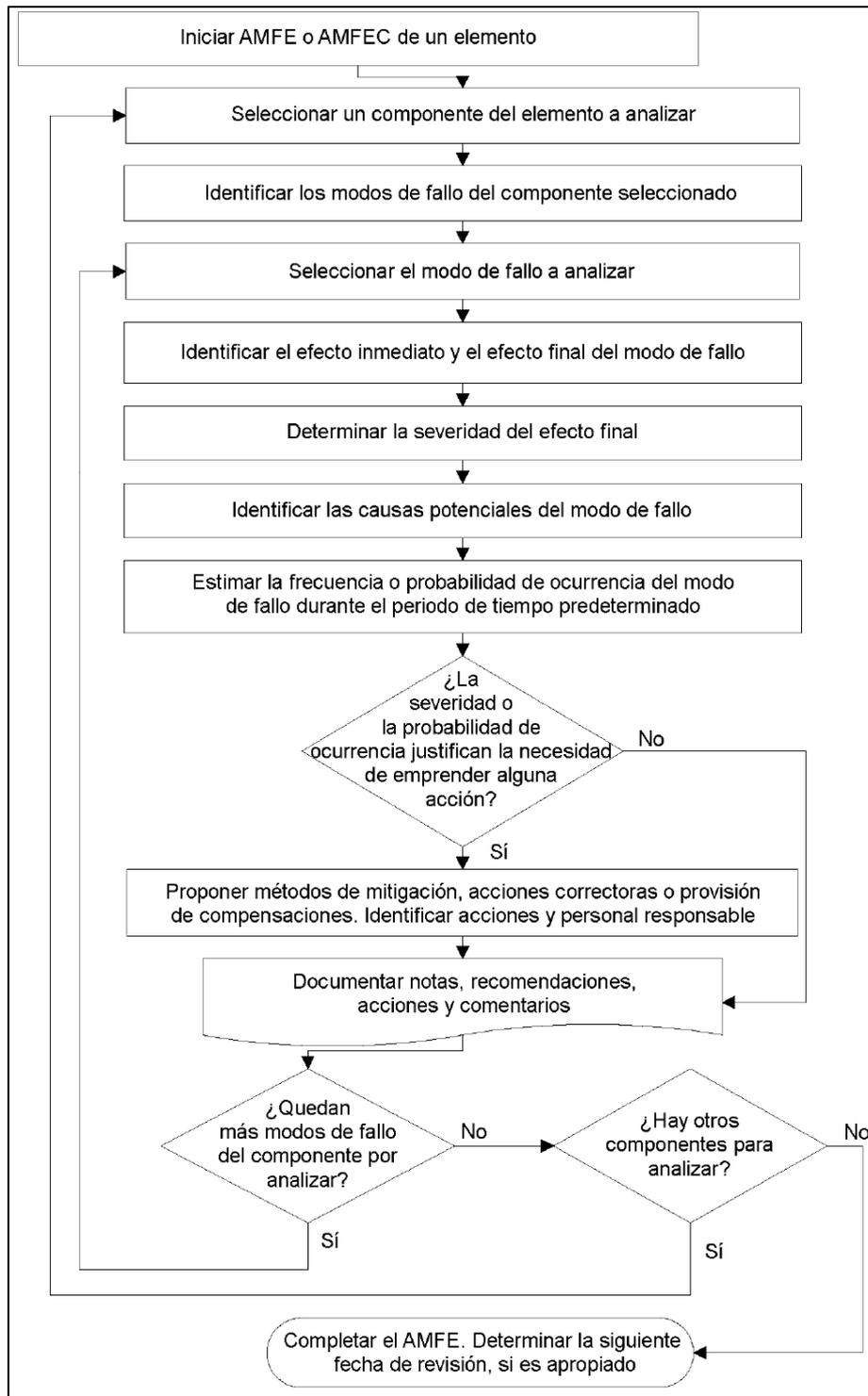
3.2.1 Análisis de los modos efectos de falla y criticidad (FMECA).

Se utiliza el método de Análisis de Modo de Fallo, Efectos y Criticidad (FMECA) para identificar los modos de fallo de los componentes y los impactos en su desempeño, esta herramienta se convirtió en objeto de normalización en muchas áreas industriales; la herramienta de análisis asume que un modo de falla ocurre en un equipo o componente a través de algunos mecanismos de fallo que pueden ser eliminados a través de acciones de mantenimiento, en cuanto a la criticidad el método propone el uso de la Número de prioridad de Riesgo (RPN)(Melani et al., 2018).

Para el análisis de los modos y efectos de falla y criticidad de los sub sistemas y componentes del alimentador en media tensión 0251, Vilque – Mañazo utilizamos el procedimiento establecido en norma IEC 60812.

Figura 15

Diagrama del método FMECA



Fuente: (IEC60812, 2006)

3.2.1.1. Análisis de modos y efectos de falla

Para el realizar el análisis de los modos y efectos de fallo utilizaremos la hoja de trabajo AMEFC que se muestra en la tabla 1.

En la tabla se registra las funciones secundarias, primarias, fallas y los modos de fallas del alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo.

Tabla 1

Hoja de trabajo de AMEFC

Sistema: Alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo		AMEF	AMEFC				
Subsistema:		Criticidad					
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	O	S	D	C

Fuente: IEC 60812

3.2.1.2. Determinación de la criticidad.

La criticidad usando FMECA definida por el RPN que es la combinación de las siguientes calificaciones: severidad de los efectos (S), Ocurrencia (O), y detección (D) (Yssaad et al., 2012).

De acuerdo a la NORMA IEC 60812, se determina la criticidad de acuerdo al concepto de Riesgo y Número de Prioridad de Riesgo (RPN). (Lazzaroni et al., 2013)

El riesgo se determina mediante una evaluación de la gravedad de la frecuencia y de una estimación de la probabilidad esperada de que el propio modo de fallo se manifieste en un intervalo de tiempo previamente determinado (IEC60812, 2006).



La evaluación de la RPN, en cambio, viene dada por la siguiente ecuación:
(IEC60812, 2006)

$$RPN = S * O * D$$

Donde:

O (Ocurrencia) es la probabilidad de que un modo de fallo se manifieste en un tiempo establecido que suele coincidir con la vida útil del componente que se examina (IEC60812, 2006).

Puede definirse como un número de clasificación (o número índice) en lugar de que la probabilidad real de ocurrencia (IEC60812, 2006).

Mediante un cambio de diseño es posible eliminar o limitar uno o varios modos de fallo (IEC60812, 2006).

Esta es la única forma posible manera de reducir el ranking de ocurrencia (IEC60812, 2006).

Tabla 2

Ocurrencia

Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, falla aislada, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, suele fallar	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto, muchas fallas	10

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

S (Severidad) representa la estimación de la intensidad de los efectos de un fallo sobre el sistema o el usuario (IEC60812, 2006).

Se trata de la gravedad o criticidad del fallo y se expresa generalmente en niveles de criticidad (IEC60812, 2006).

Caracteriza la duración de la interrupción causada por el modo de fallo (IEC60812, 2006).

Tabla 3*Severidad*

Duración del servicio o 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	Mucho menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
<30 min	Muy pequeña	0.2

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

D (Detectabilidad) es la estimación de la posibilidad de identificar/diagnosticar y eliminar/prevenir el inicio de una avería antes de que sus efectos se manifiesten sobre el sistema o el personal (IEC60812, 2006).

Este número se suele clasificar en orden inverso de los números de gravedad o de ocurrencia: cuanto más alto sea el número de detección D, menos probable es la posibilidad de identificar la avería y viceversa (IEC60812, 2006).

Partiendo de estas consideraciones, la menor probabilidad de detección conduce a un mayor RPN; esto indica la necesidad de resolver el modo de fallo con la máxima prioridad y rapidez (IEC60812, 2006).

La capacidad de detección se obtiene o se planifica principalmente en la fase de diseño, los controles de diseño típicos son la verificación o validación del diseño como la revisión del diseño (IEC60812, 2006).

La detección es una evaluación de la capacidad de la revisión del diseño para detectar una posible causa o mecanismo o debilidad de diseño (IEC60812, 2006).

Tabla 4

Detectabilidad

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

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

3.2.1.3. Selección de elementos críticos

La criticidad usando FMECA definida por el RPN que es la combinación de las siguientes calificaciones: severidad de los efectos (S), Ocurrencia (O), y detección (D) (Yssaad et al., 2012).

Tabla 5*Criticidad*

Criticidad		Riesgo
Nivel de criticidad	Valor	
Bajo	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., 2014)

3.2.2 Plan de mantenimiento basado en el número de prioridad de riesgo (NPR)

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo basado en el número prioritario de riesgo (NPR) establecido en la norma IEC 60812, se aplicará en base a la criticidad de los elementos de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 6*Plan de Mantenimiento*

Plan de Mantenimiento basado en la criticidad		
Elemento	Criticidad (C)	Acción de mantenimiento
	0-24	Correctivo
	25 - 180	Preventivo sistemático
	181-324	Revisión del diseño completo
	>324	

Fuente: (Yssaad et al., 2012).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la obtención de los resultados y discusión aplicaremos la metodología de la fiabilidad, aplicando la norma IEC 60812; para ello se realizará el estudio del análisis de los modos, efectos de fallas y la determinación de los elementos críticos que conforman el sistema de distribución eléctrico y realizar el cálculo del número de prioridad de riesgo RPN; para luego ejecutar sus respectivos planes de mantenimiento para cada uno.

Por lo tanto, se buscará la recolección de datos y manejar los registros necesarios para el análisis de los mismos; utilizando el procedimiento establecido en norma IEC 60812.

Se tiene los resultados conforme a los objetivos propuestos para la presente investigación.

4.1. INDICADORES SAIDI Y SAIFI PROMEDIO DE LA LÍNEA

La empresa de distribución eléctrica Electro Puno S.A.A. proporciona el servicio de suministro de energía eléctrica para las localidades de Puno, mediante los sistemas eléctricos.

Según Electro Puno S.A.A. Indica que la calidad de la energía eléctrica suministrada a todos sus clientes, se reflejan en los indicadores SAIDI y SAIFI, los cuales comprenden la duración y frecuencia media de las interrupciones por usuario del servicio eléctrico. En si estas cifras han sido calculadas utilizando la información de las operaciones que fueron reportadas al OSINERGMIN, como parte del proceso de



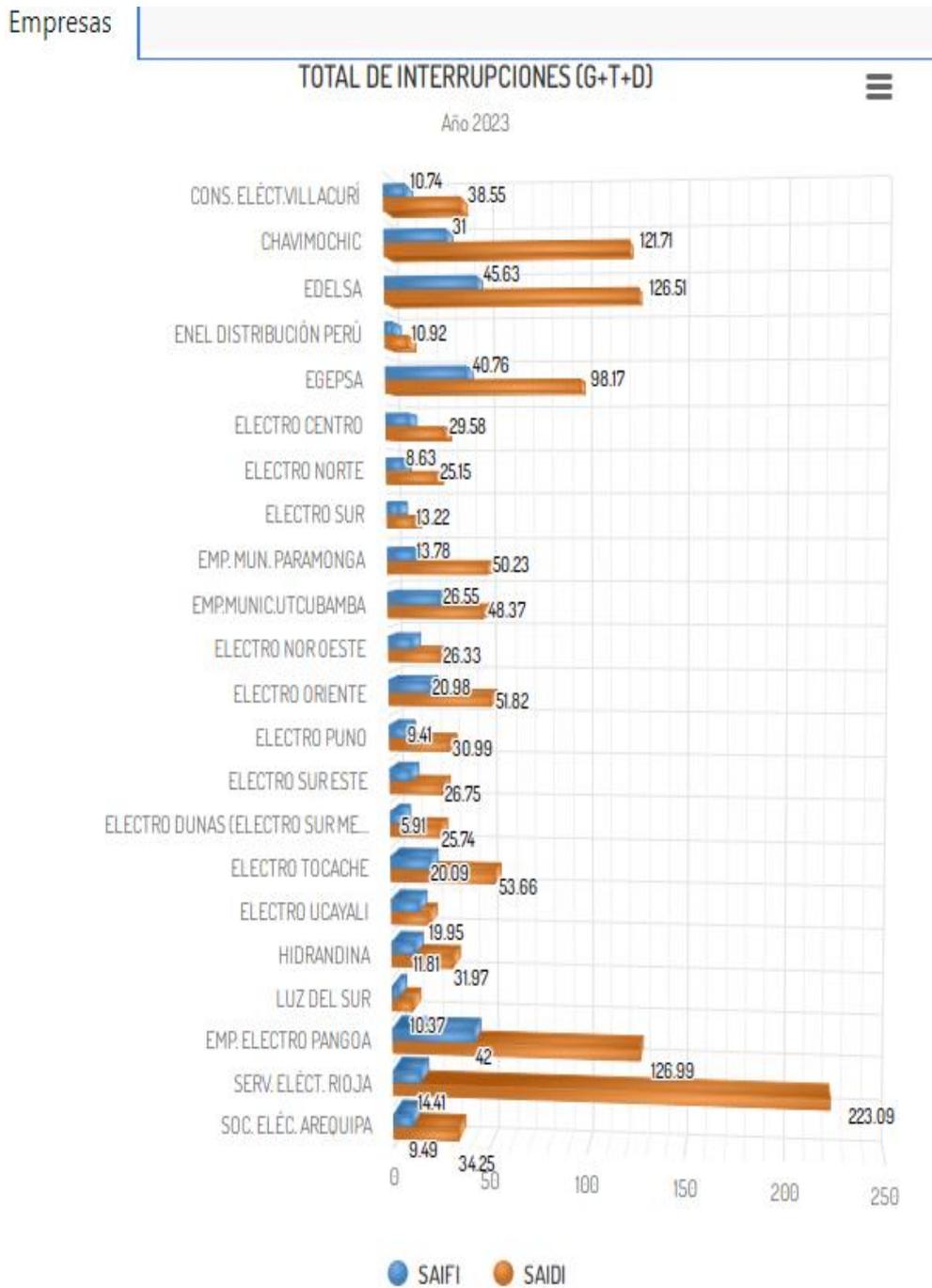
fiscalización, en un determinado tiempo, excluyendo las interrupciones producidas por fuerza mayor y por responsabilidad de terceros.

En la figura 16, podemos apreciar los diferentes indicadores SAIFI y SAIDI para todas las empresas de distribución de suministro de energía eléctrica de nuestro país.

Por lo que apreciamos que la empresa Electro Puno S.A.A. tiene como indicadores SAIFI y SAIDI; 9.41 Y 30.99 respectivamente.

Figura 16

Gráfico de interrupciones por empresa distribuidora



Fuente: OSINERGMIN

Por lo que la población de Vilque es de 2874 habitantes aproximadamente, y la de Mañazo es de 5149 habitantes, en total harían 8023 habitantes en los dos distritos de la provincia de Puno.

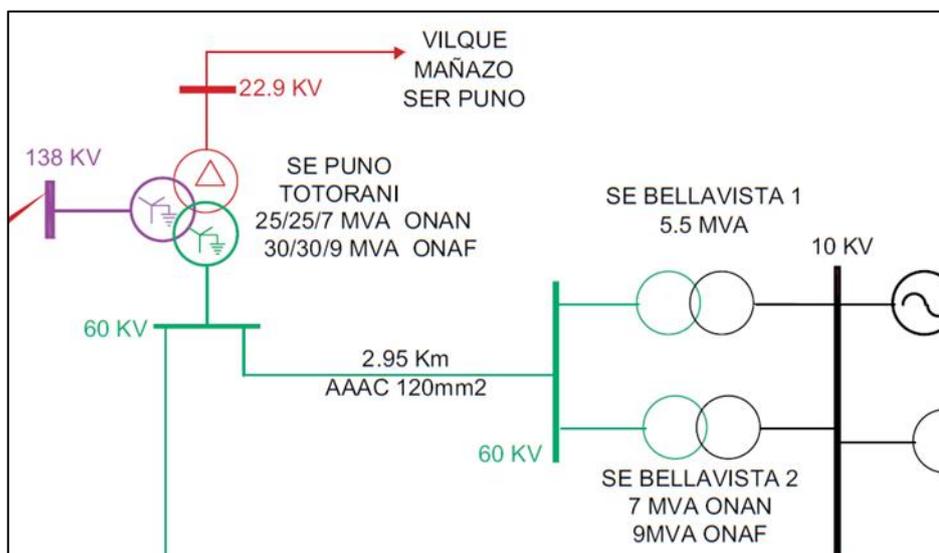
En el departamento de Puno tiene una población de 1238435 habitantes, por lo que, si realizamos los cálculos para ver los indicadores SAIFI Y SAIDI de la línea 0251 Vilque Mañazo, serían 9.5 a más en SAIFI y 31.0 a más en el indicador SAIDI.

4.2. ANÁLISIS DE LOS MODOS EFECTOS DE FALLA Y CRITICIDAD (FMECA)

El alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo, se alimenta de la SE Puno Totorani mediante la barra en 22.9 KV, como se muestra en el diagrama unifilar.

Figura 17

SE Puno



Fuente: OSINERGMIN

4.2.1. Análisis de Modo de Fallo, Efectos y Criticidad

Realizamos el análisis de modos y efectos de falla de acuerdo a lo planteado en el método de la presente investigación.



Para las estructuras (postes), tenemos lo siguiente:

Tabla 7

Función Estructuras

Sistema: Alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Sub sistema: Estructuras

	Función		Falla funcional
1	Sostener redes eléctricas aéreas en media tensión.	A	Incapaz de sostener las redes eléctricas aéreas en media tensión.
2	Mantener las distancias mínimas de seguridad conforme con lo establecido en la normatividad.	A	Incapaz de mantener las distancias mínimas de seguridad conforme con lo establecido en la normatividad.
		B	Estructura de menor longitud que la requerida

Elaboración propia

El análisis de los modos y efectos de fallas, para las estructuras (postes), tenemos lo siguiente:



Tabla 8

AMEF Estructuras

		AMEF
MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
	Destrucción	
1A1	de la estructura o soporte	Los cables a tierra lo que provoca la interrupción del servicio.
1A2	Inclinación de la estructura	Las redes aéreas de distribución se aproximan al suelo, no cumplen con las distancias mínimas de seguridad, se pone en peligro a las personas, animales o equipos.
1B1	No cumple con la norma	Las redes aéreas de distribución se aproximan al suelo, no cumplen con las distancias mínimas de seguridad, se pone en peligro a las personas, animales o equipos.

Elaboración propia

Para los conductores, tenemos lo siguiente:

Tabla 9

Función Conductores

Sistema: Alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Sub sistema: Conductores

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL
2 Transportar la energía desde la Subestación de distribución A hasta los usuarios finales	Incapaz de transportar la energía desde la Subestación de distribución hasta los usuarios finales

Elaboración propia

El análisis de los modos y efectos de fallas, para los conductores eléctricos, tenemos lo siguiente:

Tabla 10

AMEF Conductores

AMEF

MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
2A1 Contacto entre fases, factores climáticos y externos	Efecto dinámico del viento, lo que provoca la interrupción del servicio.
2A2 Rotura del conductor	conductor a tierra provoca la interrupción del servicio.
2A3 Deslizamiento de los empalmes	Interrupción de la transmisión de la energía en una, dos o tres fases.

Elaboración propia

Para los aisladores, tenemos lo siguiente:

Tabla 11

Función Aisladores

Sistema: Alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Sub sistema: Aisladores

Función	Falla funcional
3 Aislar los conductores de la red aérea de las estructuras y tierra	A Incapaz de aislar los conductores de la red aérea de las estructuras y tierra

Elaboración propia



El análisis de los modos y efectos de fallas, para los aisladores eléctricos, tenemos lo siguiente:

Tabla 12

AMEF Aisladores

		AMEF
MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA
3A1	Conductividad superficial (Polución)	La acumulación de polvo u otro elemento provoca que la corriente fluya a través del aislador al apoyo, lo que provoca la interrupción del servicio.
3A2	Perforación de la masa del aislador	La corriente fluye por perforación de la masa del aislador y hace contacto con la estructura lo que provoca la interrupción del servicio.
3A3	Por descarga disruptiva a través del aire.	El campo eléctrico rompe la rigidez dieléctrica del aire que provoca el arco eléctrico en la red, provoca interrupción del servicio
3A4	Falla del aislador tipo cadena	Pandeo del conductor existe peligro de rotura del conductor
3A5	Perforación por descarga atmosférica	Fuga de corriente a tierra, causa interrupción del servicio.
3A6	Desprendimiento del aislador	Fugas de corriente a tierra, causa interrupción del servicio.

Elaboración propia

Para las crucetas y ménsulas, tenemos lo siguiente:

Tabla 13

Función Crucetas y ménsulas

Sistema: Alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Sub sistema: Crucetas y ménsulas

Función	Falla funcional
4 Sostener la ferretería y los aisladores	A Incapaz de sostener la ferretería y los aisladores
4 Separar las fases de la red eléctrica de acuerdo Distancia Media Geométrica	B Incapaz de separar las fases de las redes aéreas

Elaboración propia

El análisis de los modos y efectos de fallas, para los aisladores eléctricos, tenemos lo siguiente:

Tabla 14

AMEF Crucetas

AMEF

MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA
4A1 Fractura de la cruceta	Las redes aéreas se acercan entre si lo que provoca la interrupción del servicio. Los conductores hacen contacto con la estructura lo que provoca la interrupción del servicio
4B1 Fractura de la cruceta	Las redes aéreas se acercan entre si lo que provoca la interrupción del servicio. Los conductores hacen contacto con la estructura lo que provoca la interrupción del servicio

Elaboración propia

Para el sistema de protección, tenemos lo siguiente:

Tabla 15

Función Sistema de protección

Sistema: Alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Sub sistema: Sistema de protección

Función	Falla funcional
5 Protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas, sobre tensiones, corrientes de falla, sobrecargas.	A Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas
	B Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.
	C Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica de corrientes de falla.
	D Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica contra sobre corrientes.

Elaboración propia



El análisis de los modos y efectos de fallas, para el sistema de protección tenemos lo siguiente:

Tabla 16

AMEF Sistema de protección

		AMEF
MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA
5A1	Mal dimensionamiento del pararrayos	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.
5A2	Explosión del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.
5A3	Flameo del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.
5B1	Mal dimensionamiento del descargador	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.
5C1	Discontinuidad del sistema de puesta a tierra	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.
5C2	Alta resistencia del sistema de puesta a tierra	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.
5D1	El fusible no se funde	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.
5D2	El seccionador fusible cut aut no actúa	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.

Elaboración propia

Para transformador de distribución, tenemos lo siguiente:

Tabla 17

Función Transformador de distribución

Sistema: Alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Sub sistema: Transformador de distribución

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL
6 Elevar o disminuir la tensión de una fuente de tensión alterna a limites utilizables por los centros de consumo	A Incapaz de elevar o disminuir la tensión de una fuente de tensión alterna a limites utilizables por los centros de consumo

Elaboración propia

El análisis de los modos y efectos de fallas, para el transformador tenemos lo siguiente:

Tabla 18

AMEF del transformador

AMEF	
MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
6A1 Baja resistencia de aislamiento	Cortocircuito, no entrega energía a los centros de consumo.
6A2 Falla del sistema de refrigeración	Calentamiento de enrollamientos, fuera de servicio.
6A3 Sobrecarga	Actúa el sistema de protección, fuera de servicio.

Elaboración propia



4.2.2. Análisis de criticidad de las redes de distribución del alimentador en media tensión 0251 Vilque - Mañazo

El sistema realiza el cálculo del número de prioridad de riesgo RPN para cada modo de fallo de una función de la siguiente manera.

- Se selecciona el efecto con la mayor gravedad S.
- Se selecciona la causa con la mayor probabilidad de ocurrencia O.
- En el caso que se asignen una o más acciones de detección a la causa de fallo, el sistema selecciona la probabilidad más alta de detección D, de todas las acciones de detección asignadas que tengan al menos el estado confirmado.

El número de prioridad de riesgo RPN, se calcula de la siguiente manera:

$$RPN = S * O * D$$

Se realiza el cálculo del RPN con los datos de las fallas de las redes de distribución del alimentador en media tensión 0251, Vilque – Mañazo, presentados en el periodo de estudio.

En la tabla 19 se consolida el registro de las fallas de acuerdo a las causas para el alimentador en media tensión 0251, Vilque – Mañazo.

Tabla 19

Consolidado de fallas

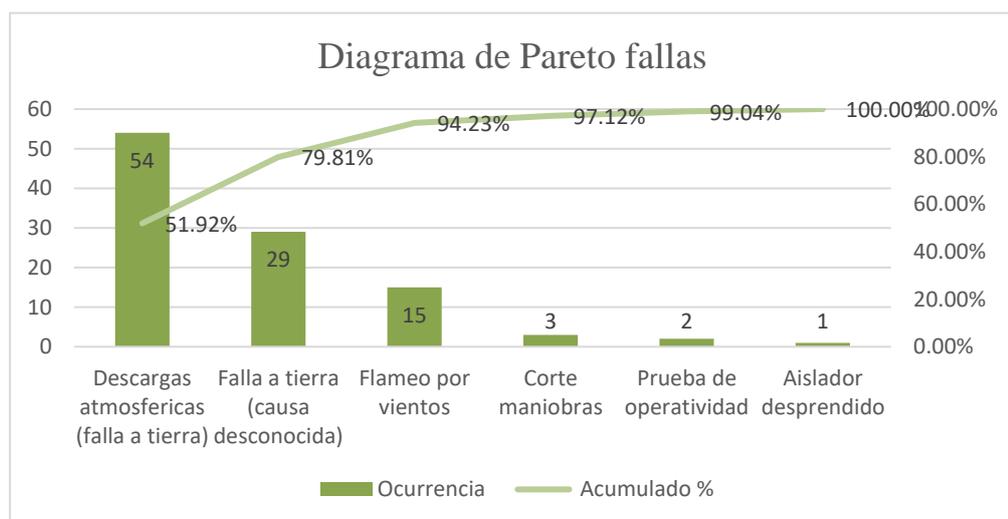
Falla	Ocurrencia	Acumulado	%
Descargas atmosféricas (falla a tierra)	54	54	51.92%
Falla a tierra (causa desconocida)	29	83	79.81%
Flameo por vientos	15	98	94.23%
Corte maniobras	3	101	97.12%
Prueba de operatividad	2	103	99.04%
Aislador desprendido	1	104	100.00%

Elaboración propia

En la figura N° 18, se muestra el diagrama de Pareto de las fallas de acuerdo a el nivel de importancia, para el alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Figura 18

Diagrama de Pareto fallas.



Elaboración propia

En la tabla 20 se consolida el registro de las fallas de acuerdo al tiempo, para el alimentador en media tensión 0251, Vilque - Mañazo

Tabla 20

Consolidado de fallas

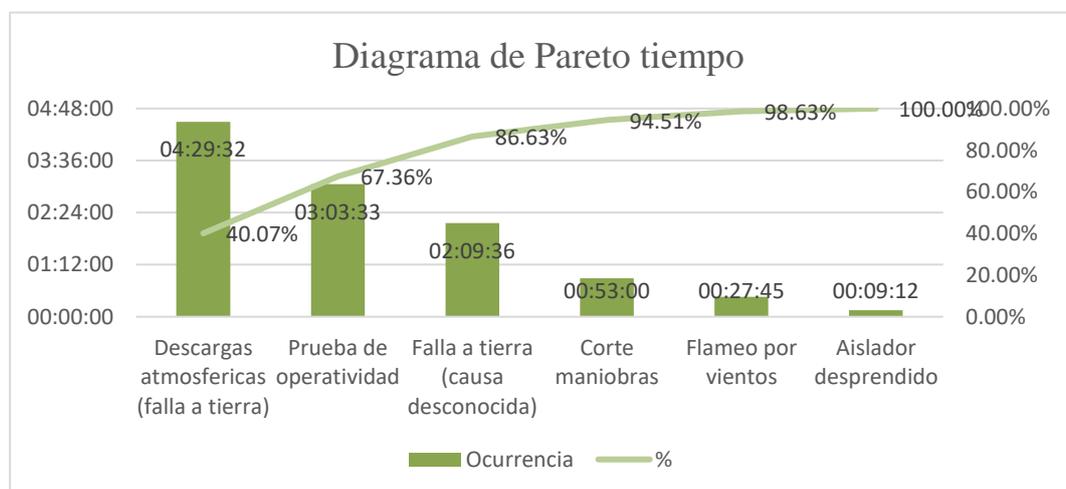
Falla	Ocurrencia	Acumulado	%
Descargas atmosféricas (falla a tierra)	04:29:32	04:29:32	40.07%
Prueba de operatividad	03:03:33	07:33:05	67.36%
Falla a tierra (causa desconocida)	02:09:36	09:42:41	86.63%
Corte maniobras	00:53:00	10:35:41	94.51%
Flameo por vientos	00:27:45	11:03:26	98.63%
Aislador desprendido	00:09:12	11:12:38	100.00%

Elaboración propia

En la figura N° 19, se muestra el diagrama de Pareto de las fallas de acuerdo a el tiempo de duración, para el alimentador en media tensión 0251, Vilque – Mañazo.

Figura 19

Diagrama de Pareto fallas



Elaboración propia

Con estos registros y de acuerdo al método planteado realizamos el análisis de criticidad de los diferentes sub sistemas de la red de distribución eléctrica en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo.

El nivel de criticidad para los postes se muestra en la tabla 21.

Tabla 21

Criticidad postes

Análisis de Criticidad Postes						
Código	O	S	D	RPN	Riesgo	Nivel de criticidad
1A1	1	1	5	5	Aceptable	Bajo
1A2	1	1	5	5	Aceptable	Bajo
1B1	1	1	5	5	Aceptable	Bajo

Elaboración propia

El nivel de criticidad para los conductores se muestra en la tabla 22.

Tabla 22

Criticidad conductores

Análisis de Criticidad Conductores						
Código	O	S	D	RPN	Riesgo	Nivel de criticidad
2A1	8	8	0.6	38.4	Tolerable	Medio
2A2	2	5	5	50	Tolerable	Medio
2A3	2	5	5	50	Tolerable	Medio

Elaboración propia

El nivel de criticidad para los aisladores se muestra en la tabla 23.

Tabla 23*Criticidad aisladores*

Análisis de Criticidad Aisladores						
Código	O	S	D	RPN	Riesgo	Nivel de criticidad
3A1	1	8	4	32	Tolerable	Medio
3A2	2	8	3	48	Tolerable	Medio
3A3	2	8	3	48	Tolerable	Medio
3A4	2	8	2	32	Tolerable	Medio
3A5	2	8	4	64	Tolerable	Medio
3A6	7	0.6	8	33.6	Tolerable	Medio

Elaboración propia

El nivel de criticidad para las crucetas se muestra en la tabla 24.

Tabla 24*Criticidad crucetas*

Análisis de Criticidad Crucetas						
Código	O	S	D	RPN	Riesgo	Nivel de criticidad
4A1	1	4	2	8	Aceptable	Bajo
4B1	1	4	2	8	Aceptable	Bajo

Elaboración propia

El nivel de criticidad para el sistema de protección se muestra en la tabla 25.

Tabla 25*Criticidad sistema de protección*

Análisis de Criticidad Sistema de protección						
Código	O	S	D	RPN	Riesgo	Nivel de criticidad
5A1	1	8	8	64	Tolerable	Alto
5A2	1	8	8	64	Tolerable	Alto
5A3	1	8	8	64	Tolerable	Alto
5B1	1	8	5	40	Aceptable	Medio
5C1	7	7	5	245	Inaceptable	Crítico
5C2	8	7	5	280	Inaceptable	Crítico
5D1	1	8	2	16	Aceptable	Bajo
5D2	1	8	2	16	Aceptable	Bajo

Elaboración propia

Podemos observar que en el sistema de protección de la red de distribución eléctrica en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo, tenemos dos elementos críticos del que se realizara el análisis correspondiente para proponer las acciones de mantenimiento necesarias con la finalidad de corregir y establecer un nivel de criticidad aceptable para de esta manera mejorar la fiabilidad del sistema de distribución eléctrica.

El nivel de criticidad para el transformador de distribución se muestra en la tabla 26.

Tabla 26

Criticidad transformadora de distribución

Análisis de Criticidad Transformador de distribución						
Código	O	S	D	RPN	Riesgo	Nivel de criticidad
6A1	2	8	2	32	Tolerable	Medio
6A2	2	8	2	32	Tolerable	Medio
6A3	2	8	2	32	Tolerable	Medio

Elaboración propia

4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADOS EN EL NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (RPN)

Con los niveles del análisis de criticidad proponemos las acciones de mantenimiento de acuerdo al método establecido.

Tabla 27

Propuesta de Mantenimiento Postes o estructuras

Código	RPN	Propuesta de mantenimiento
1A1	5	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
1A2	5	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
1B1	5	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.

Elaboración propia

La propuesta de mantenimiento para las estructuras, de acuerdo al análisis de criticidad, corresponde trabajos de mantenimiento correctivos que necesariamente son



inspecciones, limpiezas y verificación de la operatividad, conforme a los planes de mantenimiento.

Para los conductores procedemos de acuerdo al método planteado, tenemos lo siguiente:

Tabla 28

Propuesta de Mantenimiento Conductores

Código	RPN	Propuesta de mantenimiento
2A1	38.4	Mantenimiento preventivo sistemático
2A2	50	Mantenimiento preventivo sistemático
2A3	50	Mantenimiento preventivo sistemático

Elaboración propia

La propuesta de mantenimiento para los conductores, de acuerdo al análisis de criticidad, corresponde trabajos de mantenimiento preventivo que necesariamente son sustitución sistemática de acuerdo a la vida útil de los conductores, inspecciones, limpiezas y verificación de la operatividad, conforme a los planes de mantenimiento.

Para los aisladores eléctricos procedemos de acuerdo al método planteado, tenemos lo siguiente:

Tabla 29*Propuesta de Mantenimiento Aisladores*

Código	RPN	Propuesta de mantenimiento	
3A1	32	Mantenimiento sistemático	preventivo
3A2	48	Mantenimiento sistemático	preventivo
3A3	48	Mantenimiento sistemático	preventivo
3A4	32	Mantenimiento sistemático	preventivo
3A5	64	Mantenimiento sistemático	preventivo
3A6	33.6	Mantenimiento sistemático	preventivo

Elaboración propia

La propuesta de mantenimiento para los aisladores, de acuerdo al análisis de criticidad, corresponde trabajos de mantenimiento preventivo que necesariamente son sustitución sistemática de acuerdo a la verificación del estado de operación de los aisladores, inspecciones, limpiezas y verificación de la operatividad, conforme a los planes de mantenimiento.

Para las crucetas procedemos de acuerdo al método planteado, tenemos lo siguiente:

Tabla 30*Acción de Mantenimiento Crucetas*

Código	RPN	Propuesta de mantenimiento
4A1	8	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
4B1	8	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.

Elaboración propia

La propuesta de mantenimiento para las crucetas, de acuerdo al análisis de criticidad, corresponde trabajos de mantenimiento correctivos que necesariamente son inspecciones, limpiezas y verificación de la operatividad, conforme a los planes de mantenimiento.

Para el sistema de protección procedemos de acuerdo al método planteado, tenemos lo siguiente:

Tabla 31

Propuesta de mantenimiento Protección

Código	RPN	Propuesta de mantenimiento
5A1	64	Mantenimiento preventivo sistemático
5A2	64	Mantenimiento preventivo sistemático
5A3	64	Mantenimiento preventivo sistemático
5B1	40	Acción correctiva
5C1	245	Rediseño, realizar el estudio de resistividad del terreno para determinar el método de tratamiento del sistema de puesta a tierra.
5C2	280	Rediseño, realizar el estudio de resistividad del terreno para determinar el método de tratamiento del sistema de puesta a tierra.
5D1	16	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
5D2	16	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.

Elaboración propia

La propuesta de mantenimiento para los elementos críticos, de acuerdo al análisis de criticidad, corresponde trabajos de rediseño, en el sistema de puesta a tierra corresponde realizar el estudio de resistividad del terreno para determinar el método de tratamiento del sistema de puesta a tierra y garantizar que el pozo a tierra este dentro de los parámetros permitidos por la norma.

Para el transformador de distribución procedemos de acuerdo al método planteado, tenemos lo siguiente:

Tabla 32

Propuesta de mantenimiento Transformador

Código	RPN	Propuesta de mantenimiento	
6A1	32	Mantenimiento sistemático	preventivo
6A2	32	Mantenimiento sistemático	preventivo
6A3	32	Mantenimiento sistemático	preventivo

Elaboración propia

La propuesta de mantenimiento para los aisladores, de acuerdo al análisis de criticidad, corresponde trabajos de mantenimiento preventivo que necesariamente son sustitución sistemática de acuerdo a la verificación del estado de operación de los aisladores, inspecciones, limpiezas y verificación de la operatividad, conforme a los planes de mantenimiento.

4.4. DISCUSIÓN

(Ordoñez, 2016) En su tesis de la universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil “Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución”, concluye lo siguiente: Para los mantenimientos de los sistemas eléctricos de distribución existen diversos tipos de análisis que promueven a realizar una maniobra de trabajo basándose en normas de trabajo, reglas de seguridad a cumplir para la revisión de los mismos, análisis estadísticos basados en datos tomados en campo y a diario por la empresa, y junto con todo esto el



conocer con que equipos y herramientas se debe trabajar con el fin de precautelar la vida del trabajador y solventar el correcto funcionamiento del sistema.

(Farinango, 2014) En la Universidad Nacional del Centro del Perú; en su tesis: “Determinación del periodo límite de mantenimiento de un sistema eléctrico de distribución radial en media tensión” explica lo siguiente: Que para continuar operando un sistema de energía eléctrica es básico efectuar mantenimientos de manera constante, a cada uno y tipo de componentes del sistema eléctrico.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Se tuvo que realizar el análisis de los modos, efectos de fallas y criticidad, mediante la norma IEC 60812, para los sub sistemas de las redes en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo, que permitió identificar los elementos críticos que para el presente estudio y de acuerdo al análisis de criticidad tenemos el sistema de protección que de acuerdo a el análisis realizado corresponde específicamente al sistema de puesta a tierra de las instalaciones eléctricas.

SEGUNDA: Se propuso el plan de mantenimiento basados en el número de prioridad de riesgo (RPN), para la red en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo, que corresponde a acciones de mantenimiento correctivas para los elementos con criticidad baja, acciones de mantenimiento preventivo para los elementos con criticidad tolerable y acciones de rediseño para los elementos con criticidad alta, que en este caso corresponde al sistema de protección específicamente al sistema de puesta a tierra.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a la empresa de servicio eléctrico, implementar los planes de mantenimiento propuestos en la presente investigación, con el fin de mejorar la confiabilidad y la calidad del servicio de la red de distribución en media tensión alimentador 0251, Vilque – Mañazo; Además realizar el rediseño del sistema de puesta a tierra.

SEGUNDA: A los egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica realizar el estudio del sistema de puesta a tierra de las redes de distribución en media tensión del alimentador 0251, Vilque – Mañazo.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anthony J. Pansini, E.E., P. E. (2007). *Electrical Distribution Engineering* (E. distribution Engineering (ed.); 3rd Editio). The Fairmont Press, Inc.
www.fairmontpress.com
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009).
Handbook of Maintenance Management and Engineering (Springer Dordrecht Heidelberg London New York (ed.); 1°). www.springer.com
- Biolini, A. (2017). Reliability Engineering. In Springer (Ed.), *Reliability Engineering* (8th Editio, Vol. 34, Issue 4). Springer Nature. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.89>
- Chowdhury, A. (2009). *Power Distribution System Reliability Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications* (I. Institute of Electrical and Electronics Engineers & Published (eds.); Second Edi). Published by John Wiley & Sons, Inc.
- Chowdhury, A. A. (2009). *POWER DISTRIBUTION Practical Methods and Applications* (IEEE Press Editorial Board (ed.); 1°). Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. www.wiley.com.
- Garrido, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (2003 Reservados Santiago García Garrido (ed.); Ediciones).
<http://www.diazdesantos.es/ediciones>
- Gulati, R. (2009). Maintenance and Best Practices Reliability. In I. Industrial Press (Ed.), *Reliability* (1°). Industrial Press, Inc.
- Gutiérrez, A. M. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (COLDI (ed.); Segunda ed). Fuentes Litográficas Limitada.



- IEC60812. (2006). Australian Standard ® Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). *Standards*, 3.
- Juárez, J. (2002). *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica* (S. S. Editores (ed.); Primera ed, Vol. 52, Issue 1). Sans Serif Editores.
- Klasfikasi, B. (2012). *GUIDANCE FOR SURVEY BASED ON RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE* (BKI (ed.); 1°).
- Lazzaroni, M., Cristaldi, L., Peretto, L., Rinaldi, P., & Catelani, M. (2013). Reliability Engineering Basic Concepts and Applications in ICT. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°, Vol. 53, Issue 9). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Longatt, F. M. G. (2007). *Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas*. 5546954, 1–9.
- Mackay, S. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance* (Primera (ed.); Steve Mack). Steve Mackay.
<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Melani, A. H. A., Murad, C. A., Caminada Netto, A., Souza, G. F. M. de, & Nabeta, S. I. (2018). Criticality-based maintenance of a coal-fired power plant. *Energy*, 147, 767–781. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.048>
- MEM. (2012). *ELECTRICIDAD* (Issue CÓDIGO NACIONAL DE (SUMINISTRO 2011) ELECTRICIDAD MINIST, p. 326). MEM.
- Mobley, R. K. (1999). Root Cause Failure Analysis. In Butterworth-Heinemann (Ed.), *Plant engineering maintenance series* (2°). British Library.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809272-9.00035-9>



- Mohamed E, & El-Hawary. (2008). *Introduction to Electrical Power Systems*
(Mohamed E. El-Hawary (ed.); Second Edi). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken,
New Jersey. www.wiley.com.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.: Vol. I* (I. P. Inc.
(ed.); Segunda Ed). Industrial Press Inc.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated reliability Condition Monitoring and Maintenance of
equipment* (F. 33487-2742 CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken
Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton & © (eds.); 1°). CRC Press.
<http://www.taylorandfrancis.com>
- Pansini, A. J. (2000). Guide to electrical power distribution systems. In M. D. Press
(Ed.), *The Fairmont Press, Inc.: Vol. I* (6th ed.). The Fairmont Press, Inc.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Patrick, D. R., & Stephen, W. F. (2009). *Electrical distribution systems* (Crcpress (ed.);
2nd ed.). The Fairmont Press, Inc. uk.tandf@thomsonpublishingservices.co.uk
- Pinto, A. J. G., Costa, E. C. M., Kurokawa, S., Monteiro, J. H. A., De Franco, J. L., &
Pissolato, J. (2014). Analysis of the electrical characteristics and surge protection
of EHV transmission lines supported by tall towers. *International Journal of
Electrical Power and Energy Systems*, 57, 358–365.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.12.015>
- Rodrigo, P. (2005). El arte de mantener. *Universidad de Chile*, 835.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Baptista, L. M. del P. (2010). *METODOLOGÍA DE
LA INVESTIGACIÓN* (S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA
EDITORES (ed.); Quinta edi). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA
EDITORES, S.A. DE C.V.



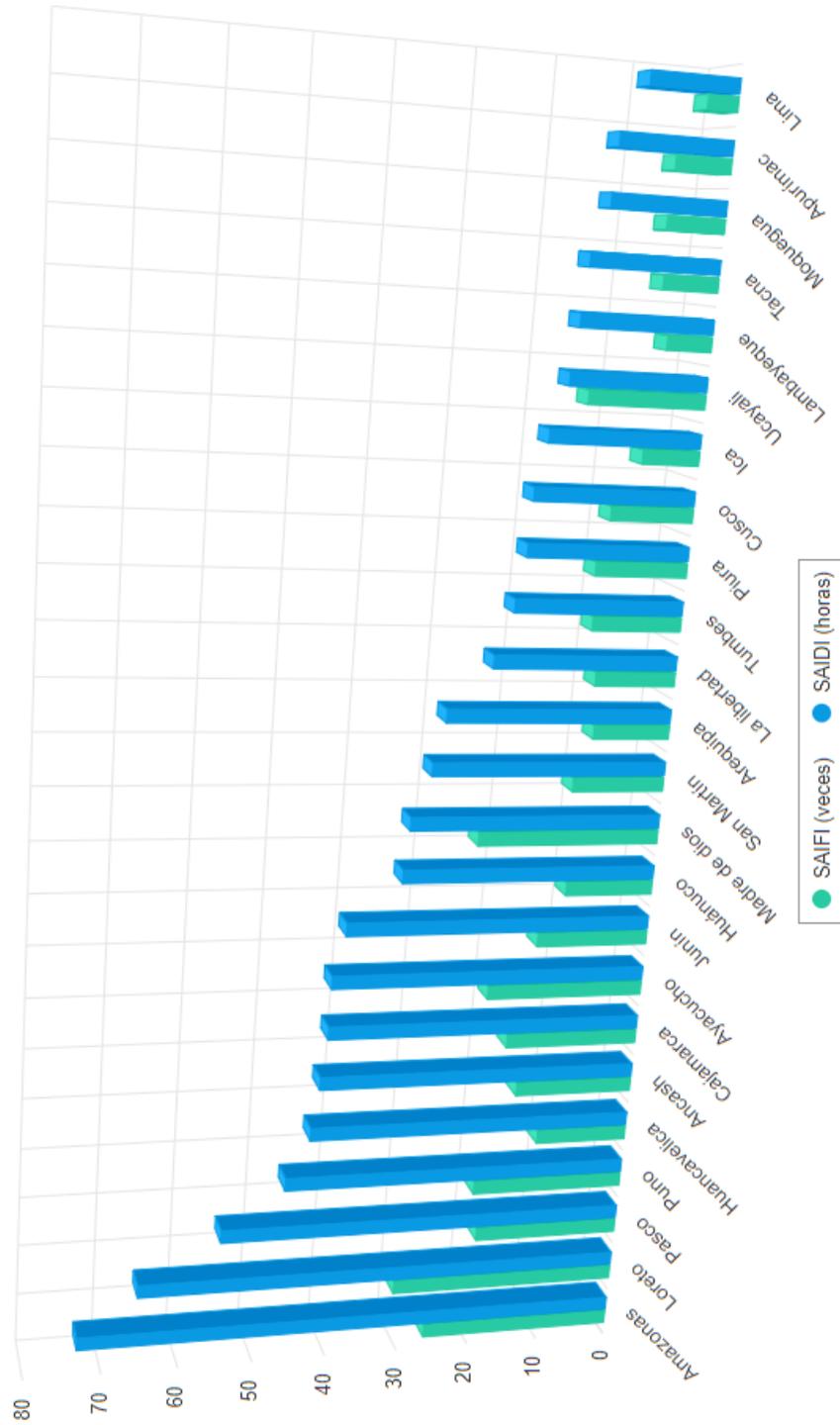
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). The “R” in RCM—Pertinent Reliability Theory and Application. *Rcm*, 39–56. <https://doi.org/10.1016/b978-075067461-4/50006-x>
- Van Jaarsveld, W., & Dekker, R. (2011). Spare parts stock control for redundant systems using reliability centered maintenance data. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(11), 1576–1586. <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.06.015>
- W, F. S., & Patrick, D. R. (2013). Electrical Power System Techniligy 3ed. In *CRC press* (Vol. 84). <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2014). Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 55, 108–115.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.08.025>

ANEXOS

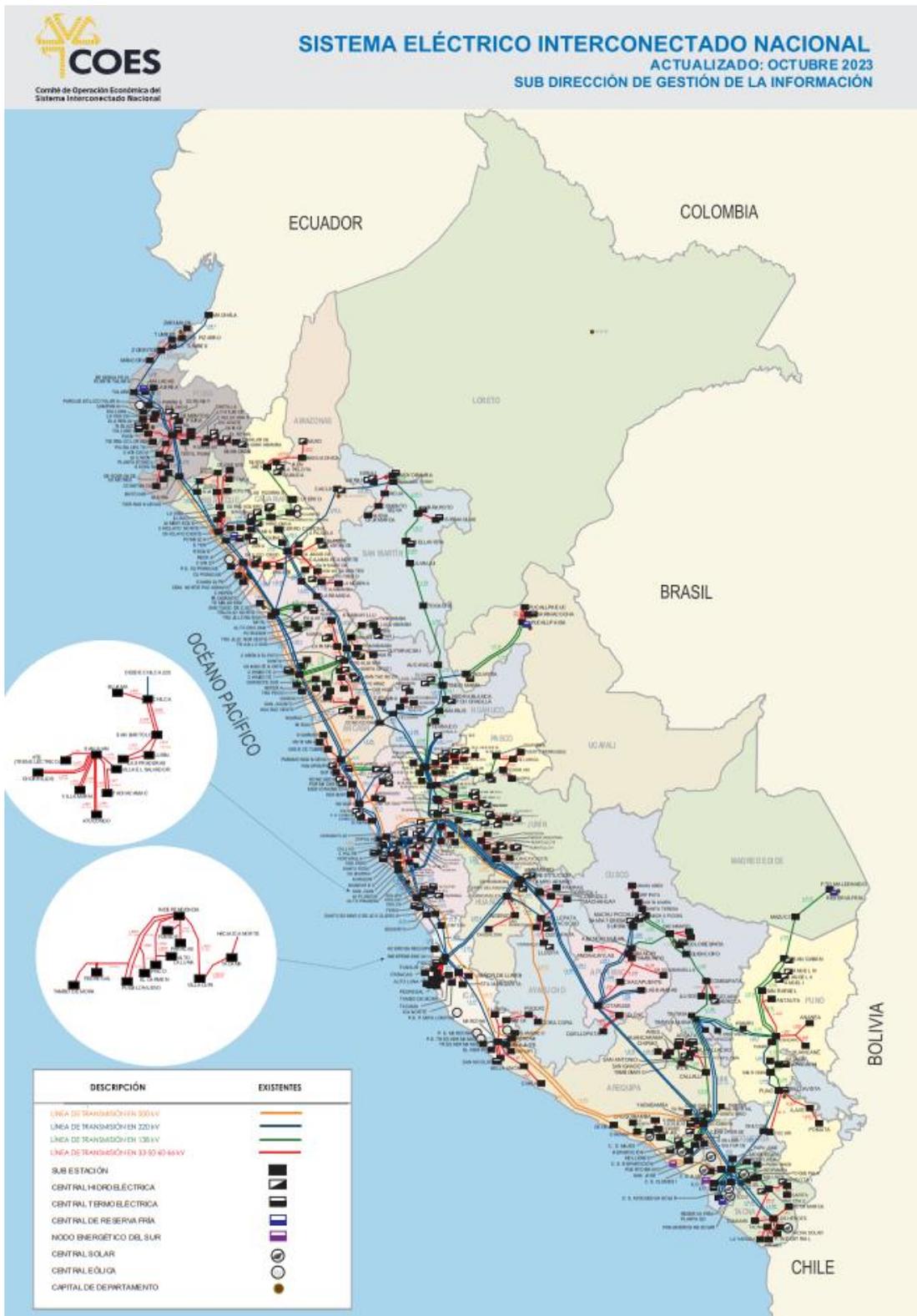
ANEXO 1. SAIDI Y SAIFI por departamentos - 2021

SAIDI y SAIFI por departamentos - 2021

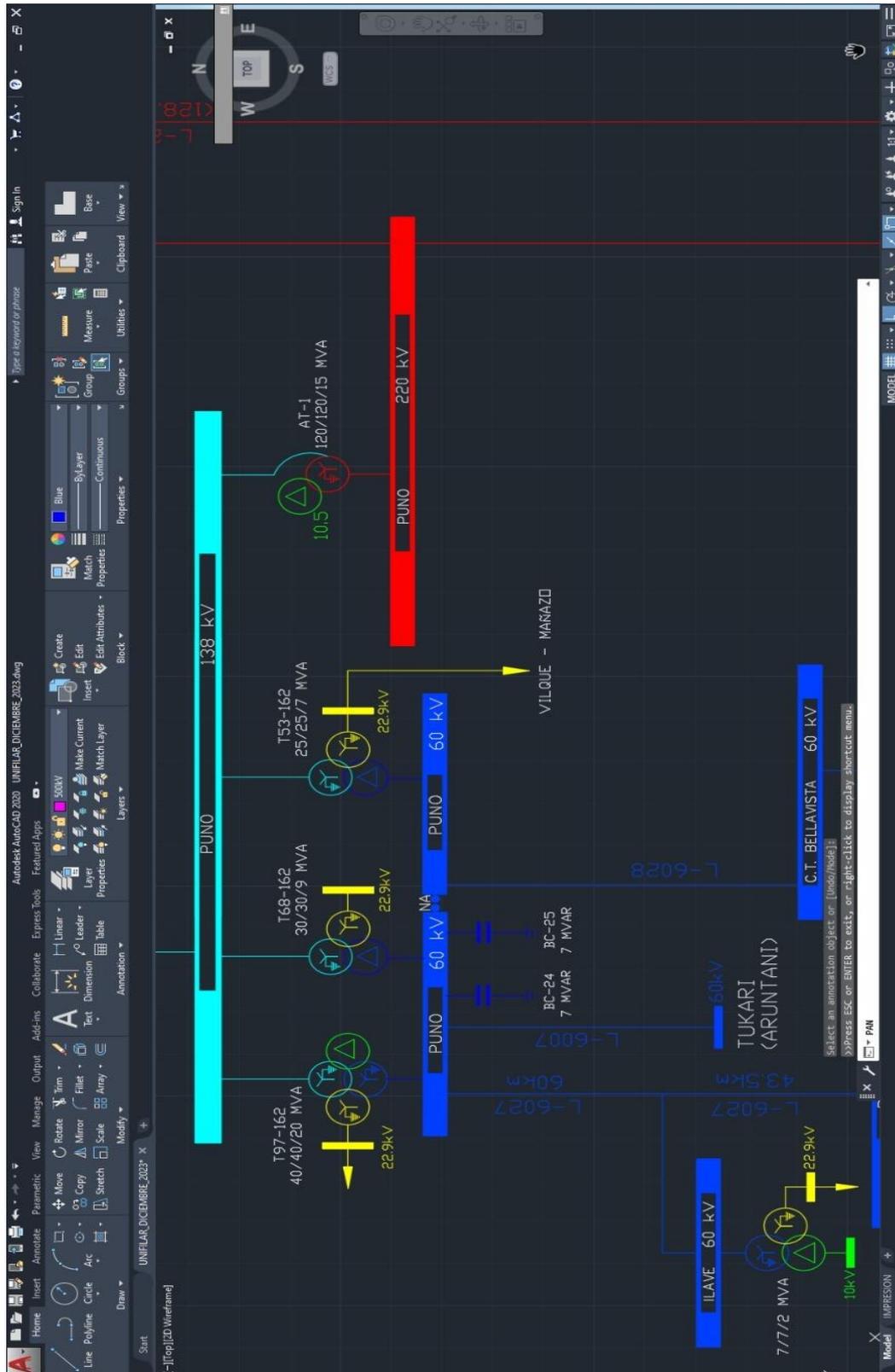
Fuente: DSR-Osinergmin



ANEXO 2. Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – COES



ANEXO 3. Diagrama unifilar del Sistema Eléctrico en Puno (Autocad)





ANEXO 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo RODRIGUEZ CALLO ALEXANDER
identificado con DNI 72638128 en mi condición de egresado de:

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

“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA FIABILIDAD
APLICANDO LA NORMA IEC 60812:2006, PARA EL ALIMENTADOR
EN MEDIA TENSIÓN 0251, VILQUE - MAÑAZO - PUNO”

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 01 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 5. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo RODRIGUEZ CALLO ALEXANDER,
identificado con DNI 72638128 en mi condición de egresado de:

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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA FIABILIDAD,
APLICANDO LA NORMA IEC 60812:2006, PARA EL ALIMENTADOR FN
MEDIA TENSIÓN 0251, VILQUE - MAÑAZO - PUNO ”

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 01 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella