



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



TESIS

**PROPUESTA DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL ANÁLISIS DE
MODOS, EFECTOS DE FALLAS Y CRITICIDAD, PARA EL SISTEMA
ELÉCTRICO EN MEDIA TENSIÓN ILAVE**

PRESENTADA POR:

ENOC EDISON JILAJA CARITA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGÍSTER SCIENTIAE EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA
CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
SISTEMAS ELÉCTRICOS**

PUNO, PERÚ

2022



DEDICATORIA

Agradecer a Dios quien me dio la fuerza y la fe, la fortaleza y salud para seguir siempre adelante.

Con gran amor y cariño a mis Padres, hermanos y todos mis seres queridos, por su apoyo incondicional los cuales han permitido realizar este anhelo compartido para seguir siempre hacia adelante, contribuyendo con mi formación personal y profesional.



AGRADECIMIENTOS

- A mi Alma Mater prestigiosa Universidad Nacional del Altiplano, quien me acogió en sus aulas durante los años de mi formación personal y profesional.
- Con gran aprecio y profundo reconocimiento a los Docentes integrantes del Jurado Calificador por su orientación constante para el enriquecimiento teórico y práctico de la presente investigación.
- Por su dirección continua y asesoramiento que han sido esenciales en la culminación de nuestras aspiraciones profesionales.
- A mis Padres, hermanos, amigos y compañeros por brindarnos su amistad y consejo, apoyo cuando más lo necesitaba.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Concepto de mantenimiento	3
1.1.2 Organización del mantenimiento	5
1.1.3 Fiabilidad de equipos	6
1.1.4 El sistema de distribución	15
1.1.5 Elementos constructivos de las redes de distribución	18

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema	37
2.1.1 Descripción de la realidad problemática.	38
2.1.2 Territorio	38
2.2 Enunciados del problema	39
2.2.1 Enunciado general	39
2.2.2 Enunciados específicos	39
2.3 Justificación	39
2.4 Objetivos	39
2.4.1 Objetivo General	39
2.4.2 Objetivos Específicos	40
2.5 Hipótesis	40
2.5.1 Hipótesis General	40

...



2.5.2 Hipótesis Específicas	40
2.5.3 Variables	40
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Lugar de estudio	41
3.2 Población	42
3.3 Muestra	42
3.4 Método de investigación	42
3.4.1 Método propuesto	42
3.4.2 Análisis de modos efectos de fallas (AMEF)	42
3.4.3 Determinar el número de probabilidad de riesgo (RPN)	44
3.4.4 Selección de elementos críticos	47
3.4.5 Diagrama de Pareto	47
3.4.6 Propuesta del plan de mantenimiento mediante el análisis de criticidad	49
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	49
3.5.1 Tipo de investigación	49
3.5.2 Técnicas de recolección de datos	50
3.5.3 Técnicas de análisis de datos	51
3.5.4 Método de la investigación	51
3.5.5 Unidades de información	51
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Análisis de modos efectos de fallas y criticidad del sistema eléctrico en media tensión llave.	52
4.1.1 Descripción del caso de estudio	52
4.1.2 Análisis de modos efectos de fallas (AMEF)	54
4.1.3 Selección de acciones de mantenimiento.	78
4.2 Discusión de resultados	85
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	95

Puno, 26 de julio de 2022

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica.

TEMA: Propuesta de Mantenimiento Basado en el Análisis de Modos, Efectos de Fallas y Criticidad, para el Sistema Eléctrico en media Tensión llave.

LÍNEA: Mantenimiento de Sistemas Eléctricos.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Parámetros FMECA (Ocurrencia).	45
2. Parámetros FMECA (Severidad).	46
3. Parámetros FMECA (Severidad).	46
4. Parámetros AMEFC (Criticidad).	47
5. Parámetros AMEFC (Criticidad).	49
6. Fallos funcionales estructuras	55
7. Fallos funcionales crucetas	55
8. Fallos funcionales aisladores	56
9. Fallos funcionales conductores	56
10. Fallos funcionales transformador de distribución	56
11. Fallos funcionales transformador de distribución	57
12. Efectos y modo de falla de estructuras	57
13. Efectos y modo de falla de crucetas	58
14. Efectos y modo de falla de aisladores	58
15. Efectos y modo de falla de conductores	59
16. Efectos y modo de falla de Transformadores de Distribución	59
17. Efectos y modo de falla de Protección	60
18. Registro de fallas: Tipo de falla	61
19. Registro de fallas: Cantidad de fallas	62
20. Registro de fallas: Duración de la falla	63
21. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), estructuras	64
22. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), crucetas	65
23. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), aisladores	66
24. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), conductores	67
25. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), transformador de distribución	67
26. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), Protección	68
27. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), sub sistema de distribución.	69
28. Numero de probabilidad de riesgo (RPN), sub sistema de distribución codificado	71
29. Parámetros AMEFC (Criticidad).	71
30. Nivel de criticidad, estructuras	72
31. Nivel de criticidad, crucetas	73



32. Nivel de criticidad, aisladores	74
33. Nivel de criticidad, conductores	75
34. Nivel de criticidad, transformador de distribución	75
35. Nivel de criticidad, transformador de protección	76
36. Nivel de criticidad, Sistema de distribución llave	77
37. Parámetros AMEFC (Criticidad)	78
38. Acciones de mantenimiento, estructuras	79
39. Acciones de mantenimiento, crucetas.	80
40. Acciones de mantenimiento, aisladores.	81
41. Acciones de mantenimiento, conductores.	82
42. Acciones de mantenimiento, transformador de distribución	83
43. Acciones de mantenimiento, protección.	84



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Proceso de degradación de los equipos	5
2. Organización del mantenimiento en función del proceso de gestión	6
3. Proceso de degradación de los equipos.	9
4. Proceso de árbol de fallos.	10
5. Diagrama de Ishikawa o de espina de pescado.	10
6. Formulario típico de análisis del sistema RCM.	12
7. Tareas importantes del AMEF.	15
8. Esquema del Sistema de Potencia	17
9. Estructura de concreto (Cáncora Conduriri)	18
10. Crucetas	19
11. Aisladores (Tramo Acora)	20
12. Herrajes (Tramo Acora)	21
13. Conductores aéreos (Tramo Acora)	22
14. Sistema Pararrayos, seccionador- fusible (Tramo Acora)	23
15. Conjunto Pararrayos, seccionador- fusible	24
16. Sistema de puesta a tierra	25
17. Sub Estación de Distribución en media tensión (Acora)	26
18. Provincia del Collao-Ilave.	41
19. El marco del árbol de jerarquía del sistema.	43
20. Hoja de trabajo AMEF	44
21. Diagrama Pareto	48
22. Parámetros AMEFC (Criticidad).	48
23. Diagrama Unifilar S.E. Puno	53
24. Diagrama unifilar SET Ilave	54
25. Diagrama bloques SET Ilave	55
26. Tipo de falla	61
27. Cantidad de fallas	62
28. Duración de la falla	63
29. Sub Estación Ilave	99
30. Salidas 1001, 1002 y 1003	99



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Registro de fallas	96
2. Panel Fotográfico	99



RESUMEN

Las constantes interrupciones existentes en el sistema de distribución de energía eléctrica Ilave han disminuido la confiabilidad y la calidad de servicio de la red de distribución eléctrica. Estas fallas de acuerdo al registro de las interrupciones existentes nos indica que en las salidas 1001 y 1003 es en donde se tiene mayor incidencia de interrupciones del servicio afectando la calidad de vida de los habitantes de estas zonas afectadas. La confiabilidad del sistema de distribución de energía eléctrica es uno de los índices más importantes para evaluar la calidad del servicio que prestan las empresas de distribución de energía eléctrica. El mantenimiento centrado en la confiabilidad utiliza un enfoque de análisis de efectos y modos de falla que permite el procesamiento de cada análisis individual de un subcomponente del sistema. Para lograr el realizar la propuesta de mantenimiento se tiene como objetivos específicos realizar el análisis de los modos de falla efectos y determinación de la criticidad de los diferentes subsistemas que componen el sistema de distribución eléctrica Ilave. Del estudio realizado se tiene como resultado del análisis se ha logrado determinar que los sub sistemas de conductores y el de protección contra sobrecorriente y descargas atmosféricas son los subsistemas críticos y la acción de mantenimiento es el rediseño.

Palabras clave: calidad, confiabilidad, efecto, falla, mantenimiento y sistema eléctrico.



ABSTRACT

The constant interruptions in the Ilave electric power distribution system have reduced the reliability and quality of service of the electric distribution network. These failures, according to the record of existing interruptions, indicate that outlets 1001 and 1003 have the highest incidence of service interruptions, affecting the quality of life of the inhabitants of these affected areas. The reliability of the electric power distribution system is one of the most important indexes for evaluating the quality of service provided by electric power distribution companies. Reliability-centered maintenance uses an effects and failure modes analysis approach that allows the processing of each individual analysis of a subcomponent of the system. In order to achieve the maintenance proposal, the specific objectives are to perform the analysis of failure modes, effects and determination of the criticality of the different subsystems that make up the Ilave electric distribution system. As a result of the analysis, it has been determined that the subsystems of conductors and protection against overcurrent and atmospheric discharges are the critical subsystems and the maintenance action is the redesign.

Keywords: effect, electrical system, failure, maintenance, quality and reliability.

INTRODUCCIÓN

Las empresas de distribución de energía eléctrica deben ofrecer servicios de suministro de energía con calidad, niveles de voltaje adecuados y una tasa de interrupción baja. La confiabilidad del sistema de distribución es uno de los índices más importantes para evaluar la calidad del servicio de las empresas distribuidoras de energía eléctrica.(Piasson *et al.*, 2016). A la dificultad de aplicar las diferentes técnicas de mantenimiento de forma óptima a un coste económico razonable se suma la dificultad de hacerlo en instalaciones industriales complejas.(Sainz y Sebastián, 2013). El mantenimiento preventivo programado, basado simplemente en la experiencia, fue implementado por los primeros constructores y operadores de equipos industriales. Sin embargo, a medida que la tecnología evolucionó y con el desarrollo de ingeniería de confiabilidad particularmente por la industria electrónica, es pronto quedó claro que sería posible utilizar más precisa métodos en PM en lugar de confiar en la experiencia y el juicio(Melani *et al.*, 2018). El mantenimiento preventivo convencional se programa periódicamente en función de la experiencia del técnico y, a menudo, tiene el mismo intervalo de tiempo para acciones de mantenimiento. Sin embargo, es generalmente imperfecto y no puede restaurar el sistema como nuevo.(Zhou *et al.*, 2007). La optimización del mantenimiento es un tema popular para los investigadores. Se han desarrollado e implementado muchas estrategias de mantenimiento óptimas para mejorar la confiabilidad del sistema, prevenir fallas en el sistema y reducir los costos de mantenimiento.(Zhou *et al.*, 2007). Muchas empresas de energía eléctrica instalan programas de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para establecer los requisitos de mantenimiento. Se necesitan muchos datos y una amplia experiencia para llevar a cabo con éxito el mantenimiento centrado en la confiabilidad. A pesar de que existe desde hace mucho tiempo, su aplicación en el sector eléctrico aún se encuentra en una etapa inicial. (Mkandawire, Ijumba, & Saha, 2015). El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología ampliamente aceptada que ha estado disponible en la industria durante más de 30 años y ha demostrado ofrecer una estrategia eficiente para la optimización del mantenimiento preventivo. (Selvik y Aven, 2011). El mantenimiento centrado en la confiabilidad 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 del mantenimiento centrado en la confiabilidad realizado por la empresa, 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.(Van Jaarsveld y Dekker, 2011). El mantenimiento centrado en la confiabilidad utiliza un enfoque de análisis de efectos y modos de falla (AMEF) que permite el procesamiento de cada análisis individual de un subcomponente del sistema. Este análisis identifica los diversos modos de falla que afectan a cada parte, junto con las causas y consecuencias, y todo el sistema.(Villarini *et al.*, 2017). Para garantizar el éxito de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, no sólo se necesita una teoría y un método científicos como guía, sino también herramientas técnicas eficaces y convenientes. Por lo tanto, la investigación y la aplicación actuales del mantenimiento centrado en la confiabilidad conceden gran importancia al papel de apoyo de los modelos matemáticos y los métodos de análisis aplicables que han llevado a cabo una investigación clasificada desde diferentes ángulos para el MCR .(Tang *et al.*, 2017). El objetivo principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad es reducir los costos de mantenimiento y al mismo tiempo aumentar la confiabilidad y la seguridad. (Selvik y Aven, 2011). En ese sentido se plantea en la presente investigación proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad utilizando en análisis de los modos de fallas sus efectos y criticidad para la red de distribución eléctrica Ilave.



CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Concepto de mantenimiento

El mantenimiento define el conjunto de acciones realizadas sobre el equipo para conservarlo o devolverlo a un estado determinado. Así pues, el mantenimiento se refiere al mantenimiento preventivo, realizado a intervalos predeterminados, por ejemplo, para reducir los fallos de desgaste, y al mantenimiento correctivo, realizado en el momento del fallo y destinado a llevar el equipo a un estado en el que pueda realizar la función requerida. (Larrucea *et al.*, 2017).

Al igual que en el caso de la fiabilidad, la capacidad de mantenimiento debe incorporarse a los equipos y sistemas durante la fase de diseño y desarrollo. Esto, en particular, porque una mejora de mantenimiento a menudo requiere cambios importantes en el diseño o la construcción del elemento (sistema) considerado, y la mantenibilidad no puede predecirse fácilmente con métodos analíticos. Por ello, la consecución de una mantenibilidad prescrita en equipos y sistemas complejos requiere, por lo general, la planificación y realización de un concepto de mantenimiento (Ben-Daya *et al.*, 2009).

El objetivo de un mantenimiento preventivo debe ser también detectar y reparar los fallos y defectos ocultos (por ejemplo, fallos no detectados en elementos redundantes). El mantenimiento correctivo, también conocido como reparación, incluye la detección, la localización, la corrección y la revisión (Larrucea *et al.*, 2017).

Casi todas las organizaciones de mantenimiento establecen algún tipo de objetivo de eliminación de fallos. El problema es que a menudo este objetivo se establece sin entender del todo lo que es un fallo. En algunas organizaciones, los equipos no se consideran fallados a menos que sea totalmente inoperante. En otros, se considera que el equipo ha fallado si hay alguna pérdida parcial de su función, como una reducción de la tasa de producción o una producción de baja calidad fuera de sus objetivos normales. Constantemente surgen discusiones sobre si realmente se ha producido un fallo o no. La eliminación de los fallos requiere una visión ligeramente diferente de lo que constituye un fallo. (Osarenren, 2015)

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 función mantención cubre el conjunto de actividades que deben existir en una planta para obtener un costo global de mantención mínimo durante la vida prevista para los equipos.

Según Rodrigo (2005), se trata de una función de apoyo tal como las funciones:

- Calidad
- Seguridad
- Recursos humanos, etc.

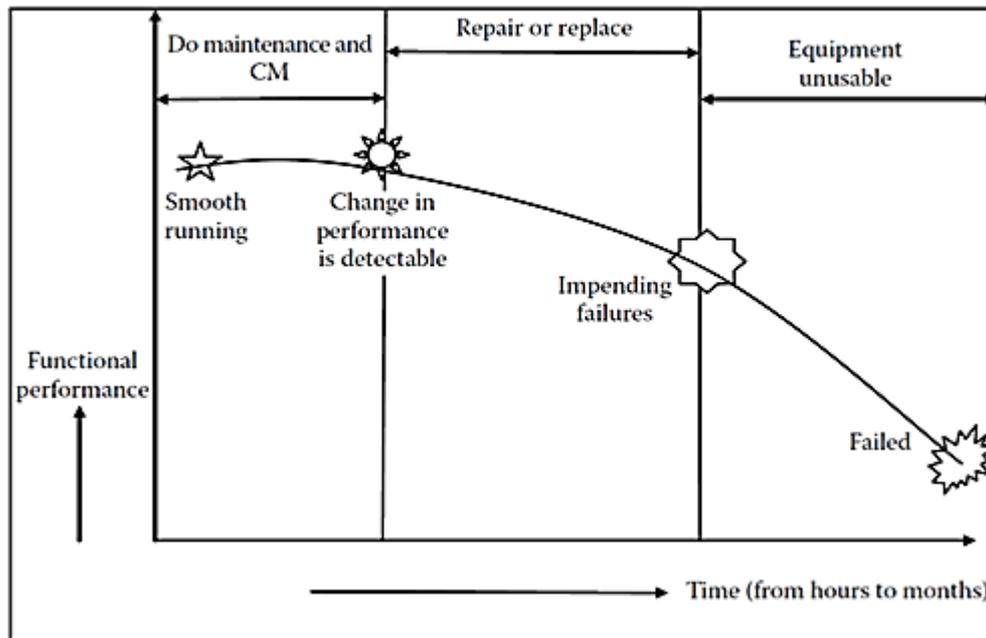


Figura 1. Proceso de degradación de los equipos

Fuente: (Osarenren, 2015)

1.1.2 Organización del mantenimiento

Organizar es el proceso de preparar los recursos (personas, materiales, tecnología etc.) para alcanzar juntos los objetivos de la organización. La forma en que las diversas partes de una organización están formalmente dispuestas se denomina estructura de la organización. Es un sistema que implica la interacción de los insumos y resultados. Se caracteriza por la asignación de tareas, el flujo de trabajo, las relaciones de información, y canales de comunicación que unen el trabajo de diversos individuos y grupos. Cualquier estructura debe asignar tareas a través de una división del trabajo y facilitar la coordinación de los resultados. Sin embargo, tenemos que admitir que no hay una estructura mejor que satisfaga las necesidades de todas las circunstancias. Las estructuras de la organización deben considerarse como entidades dinámicas que continuamente evolucionan para responder a los cambios en la tecnología, los procesos y el medio ambiente.

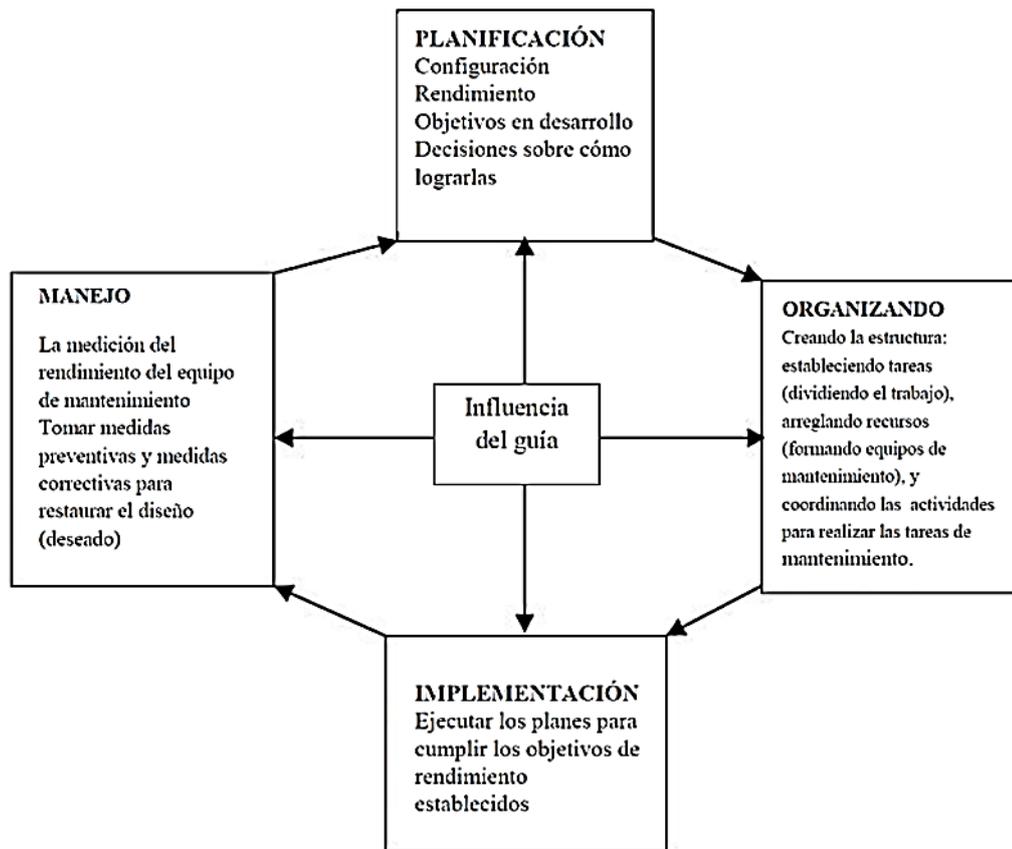


Figura 2. Organización del mantenimiento en función del proceso de gestión

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

1.1.3 Fiabilidad de equipos

Para Osarenren (2015), la fiabilidad puede definirse de varias maneras:

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

La Fiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. Una baja calidad del producto implica

una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada (Gutiérrez, 2012).

Los ingenieros de fiabilidad 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).

Un proceso de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) identifica sistemáticamente todas las funciones y fallos funcionales de los activos. También identifica todas las causas probables de esos fallos (Mobley y Wikoff, 2008).

1.1.3.1 Funciones del sistema y fallo funcional

El objetivo de mantenimiento es que los bienes continúen cumpliendo sus funciones del modo en que lo requieren sus usuarios. El grado en que cualquier usuario pretende que un bien funcione, puede ser definido por un criterio mínimo de desempeño. Si pudiéramos fabricar un bien que lograra ese mínimo nivel de desempeño sin deteriorarse para nada, ese sería el fin del problema. El equipo podría trabajar continuamente sin necesidad de mantenimiento. (Moubray, 2004)

En este paso se identifican las funciones que deben ser preservadas por el sistema. Un punto importante a tener en cuenta es que estas declaraciones son para definir las funciones del sistema y no los equipos. Con la definición de las funciones del sistema vienen los fallos funcionales. De hecho, no conservar una función del sistema constituye lo que se denomina un fallo funcional. Esto nos lleva al paso de cómo se puede denotar a una función del proceso. Esto requiere dos cosas: mantener el centrarse en la pérdida de la función y no en el equipo y que los fallos funcionales son más que una simple declaración de pérdida de función. (Ben-Daya *et al.*, 2009).

1.1.3.2 Fallo funcional

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. (Larrucea *et al.*, 2017).

En los casos en que el fallo sea evidente y no haya una tarea programada apropiada, el modo de fallo asociado no tendrá consecuencias para la seguridad o el medio ambiente. En otras palabras, el proceso no debe permitir que sus usuarios seleccionen la modalidad de fallo, o el fallo múltiple asociado, si tiene consecuencias de seguridad o ambientales. (Mobley y Wikoff, 2008)

En el mundo de Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), 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, (incluyendo también los casos donde no se alcanza el nivel de precisión o calidad). Pero éstas solo pueden ser identificadas una vez que las funciones y desempeño estándares hayan sido definidas con claridad (Moubray, 2004).

1.1.3.3 Función requerida

La función requerida especifica la tarea del elemento (del sistema). Su definición es el punto de partida de cualquier análisis, ya que define los fallos. A efectos prácticos los parámetros deben definirse con tolerancias y no simplemente como valores fijos. Además de la función requerida, las condiciones ambientales a nivel del sistema deben definirse también. (Larrucea *et al.*, 2017)

1.1.3.4 Causas de las fallas

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

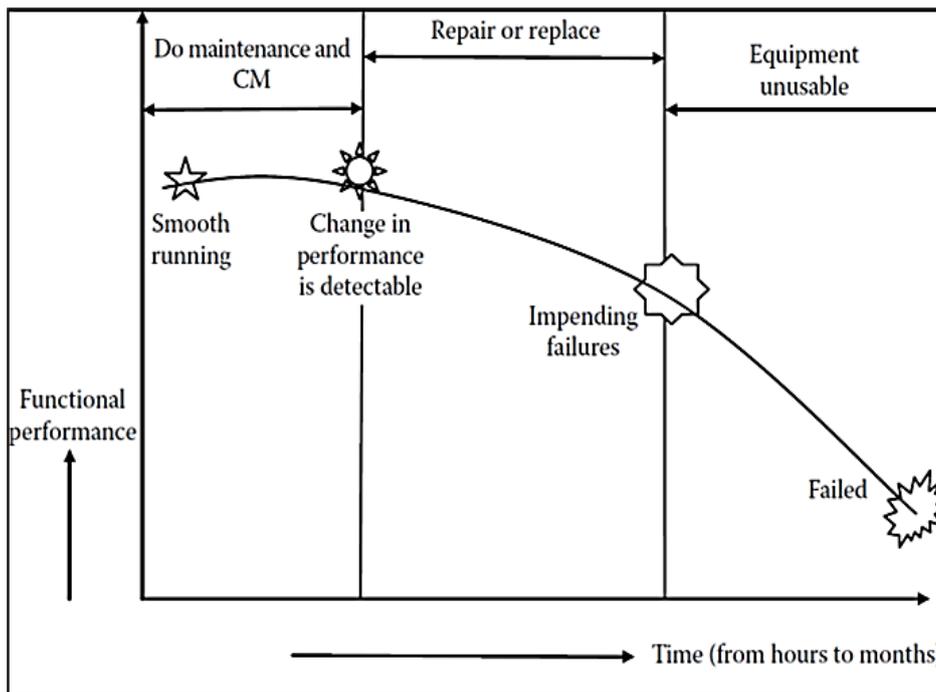


Figura 3. Proceso de degradación de los equipos.

Fuente: (Osarenren, 2015).

1.1.3.5 Análisis del árbol de fallos

El análisis del árbol de fallos es un método para analizar la fiabilidad y la seguridad de los sistemas. Proporciona una base objetiva para analizar el diseño del sistema, justificar los cambios del sistema, realizar estudios de compensación, analizar modos de fallo comunes y demostrar el cumplimiento con los requisitos de seguridad y medioambientales. La Figura muestra los pasos necesarios para realizar un análisis del árbol de fallos.

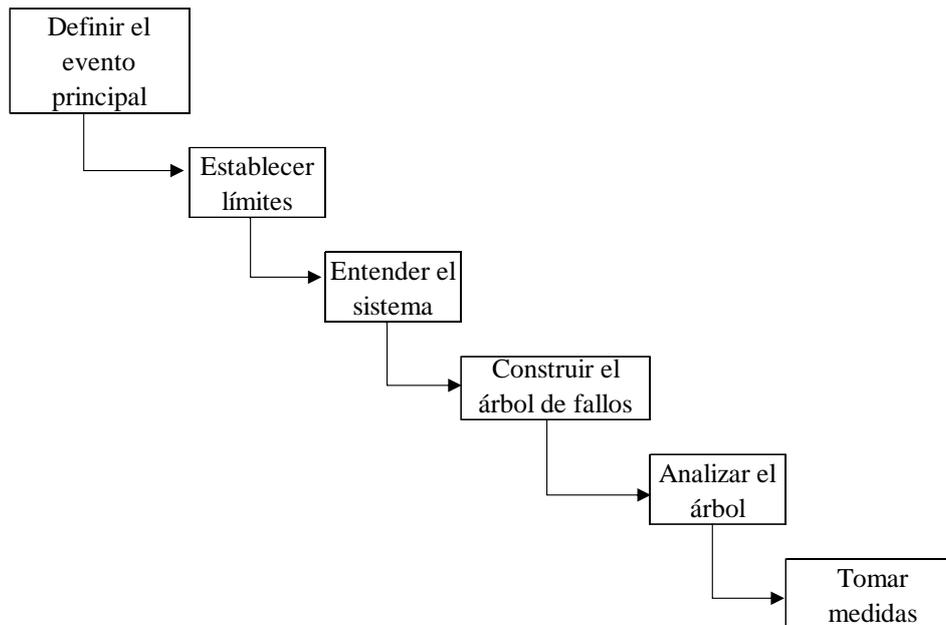


Figura 4. Proceso de árbol de fallos.

Fuente: (Bloch, 2017)

1.1.3.6 Análisis de causa y efecto

El análisis de causa y efecto es un enfoque gráfico del análisis de fallos. También se conoce como análisis de espina de pescado, nombre derivado del patrón en forma de pez utilizado para de la relación entre los diversos factores que contribuyen a un evento específico. Por lo general, el análisis de espina de pescado traza cuatro grandes clasificaciones de causas potenciales (humano, máquina, material y método), pero puede incluir cualquier combinación de categorías. La figura 4 ilustra un análisis sencillo.

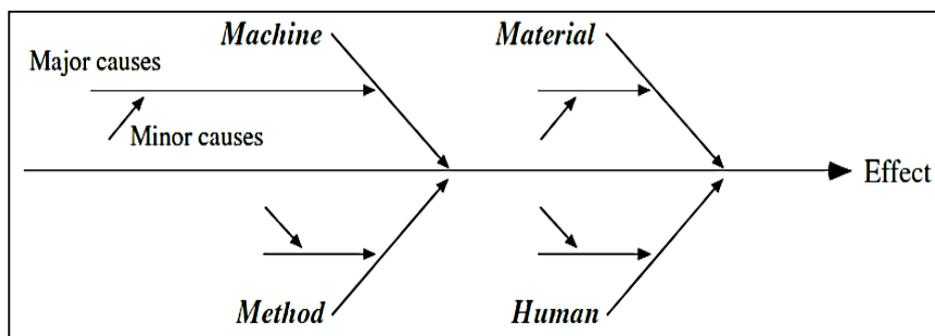


Figura 5. Diagrama de Ishikawa o de espina de pescado.

Fuente: (Larrucea *et al.*, 2017)

1.1.3.7 Metodología de análisis de la causa raíz de un fallo

El análisis causa raíz de un fallo es una secuencia lógica de pasos que conduce al investigador a través del proceso de aislar los hechos que rodean a un evento o fallo. Una vez definido el problema, el análisis determina sistemáticamente el mejor curso de acción para resolver el evento y asegurar que no se repita. Debido al coste asociado a la realización de un análisis de este tipo, hay que tener cuidado antes de emprender una investigación (Mobley y Wikoff, 2008).

1.1.3.8 Metodología de RCM

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. (Klasifikasi, 2012).

La RCM tiene una metodología de siete pasos. Esta metodología garantiza la documentación que 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. Estos siete pasos incluyen:

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 (FEMA);
6. Análisis del árbol de decisiones lógicas; y
7. Selección de tareas. (Ben-Daya et al., 2009)

El equipo de RCM suele estar formado por personas con experiencia y conocimientos técnicos en las siguientes disciplinas:

- i. Mantenimiento e inspección de maquinaria
- ii. Mecanismos de degradación y fallo de la maquinaria
- iii. Fiabilidad
- iv. Operaciones
- v. Análisis de riesgos
- vi. Peligros del proceso de producción (si procede)
- vii. Seguridad y salud
- viii. Materiales de construcción (Klasifikasi, 2012).

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 por la empresa, 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.(Van Jaarsveld y Dekker, 2011).

RCM System Analysis (system description)		
Date:	Plant:	Location:
System Name:	RCM Analyst(s):	
System ID:	1.	
System Location:	2.	
Functional Description		
Key Parameters		
Key equipment		
Redundancy Features		
Safety Features		

Figura 6. Formulario típico de análisis del sistema RCM.

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

Para comprender mejor este cambio de mentalidad e introducir una definición formal de RCM, 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?
2. ¿De qué manera puede dejar de cumplir sus funciones?
3. ¿Cuáles son las causas de cada fallo funcional?
4. ¿Qué ocurre cuando se produce cada fallo?
5. ¿Qué importancia tiene cada fallo?
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada fallo? y
7. ¿Qué hay que hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

1.1.3.9 Requisitos del análisis RCM

El análisis consiste en un Análisis Modal de Fallos y Efectos Críticos (AMEFC), un plan de mantenimiento preventivo, un plan de mantenimiento de repuestos y un proceso de mantenimiento. El proceso de mantenimiento RCM debe diseñarse de forma que se revise y perfeccione continuamente el plan de mantenimiento preventivo a medida que la maquinaria, se realicen modificaciones durante su vida útil o cambie el contexto operativo (Klasifikasi, 2012).

1.1.3.10 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.(Larrucea *et al.*, 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. 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 (Larrucea *et al.*, 2017).

De esta definición se desprende que el AMEF es una metodología sistémica destinada a realizar las siguientes actividades:

1. Identificar y reconocer los fallos potenciales, incluyendo sus causas y efectos;
2. Evaluar y priorizar los modos de fallo identificados, ya que los fallos no son no son iguales; y
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 (Bloch, 2017).

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).

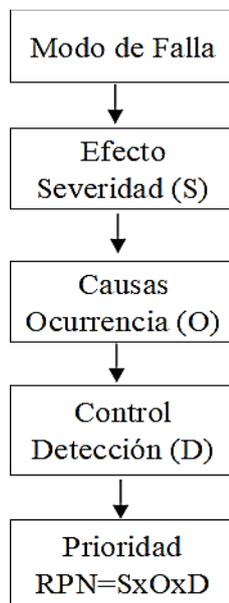


Figura 7. Tareas importantes del AMEF.

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

1.1.4 El sistema de distribución

Los sistemas de distribución eléctrica son una parte esencial del sistema de energía eléctrica. Para transferir 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. Sin embargo, el método utilizado para distribuir la energía desde donde se produce hasta donde se utiliza puede ser bastante sencillo. Por ejemplo, una batería puede conectarse directamente a un motor, con sólo un conjunto de cables para para conectarlos. Sin embargo, se utilizan sistemas de distribución de energía más complejos para transferir la energía eléctrica desde la central eléctrica a las industrias, los hogares y edificios comerciales. Los sistemas de distribución suelen emplear equipos transformadores, y dispositivos de protección (Patrick y Stephen, 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. Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes. Por esta razón el sistema de distribución resulta todavía más complejo que el sistema de potencia (Juárez, 2002).

Según Chowdhury (2009), un sistema de energía se divide en tres áreas de operación de la siguiente manera:

- a) Sistema de generación.
- b) Sistema de transmisión.
- c) Sistema de distribución

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).

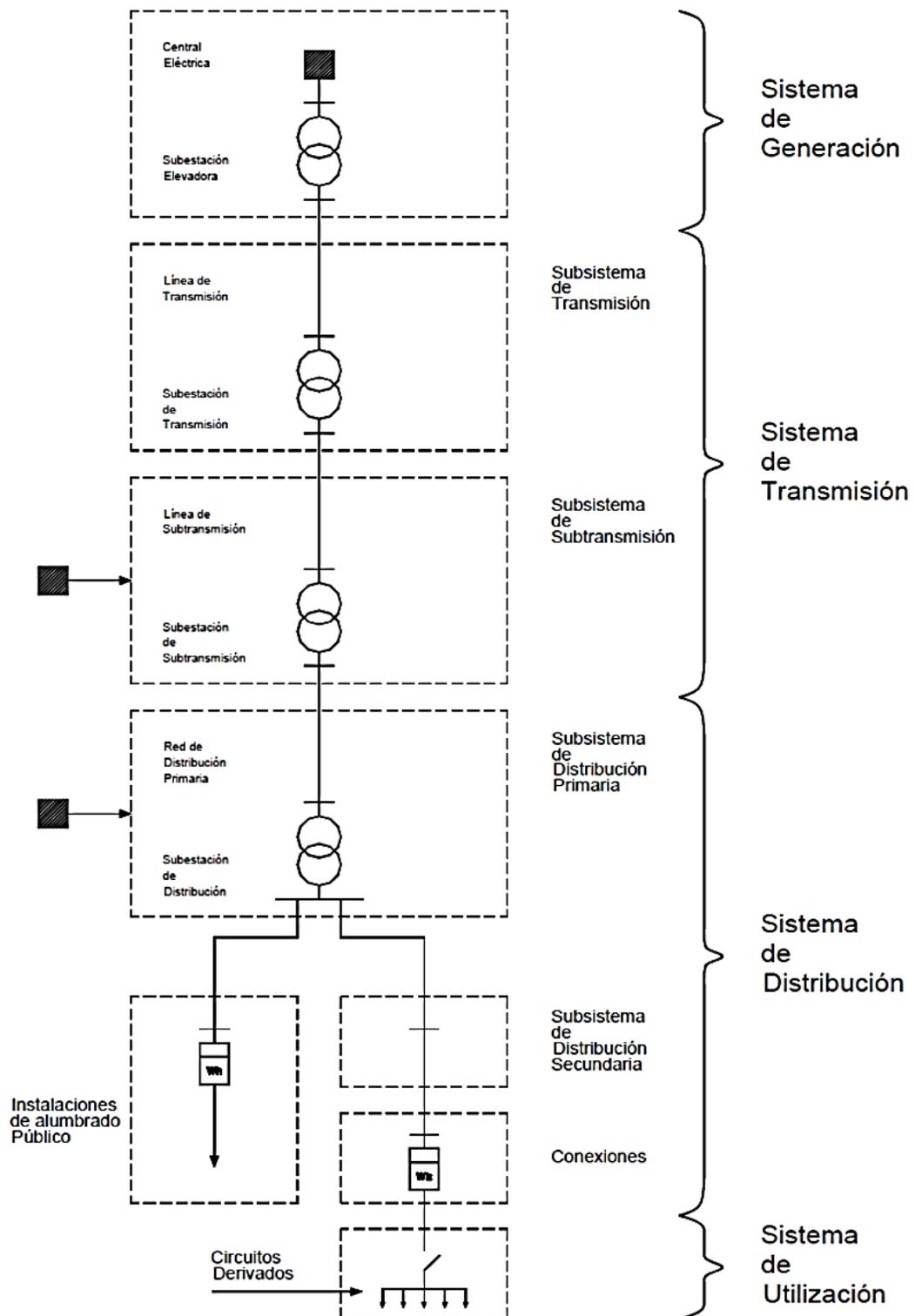


Figura 8. Esquema del Sistema de Potencia

Fuente: (MEM, 2012)

1.1.5 Elementos constructivos de las redes de distribución

1.1.5.1 Soportes para redes de distribución

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). Los conductores necesitan soportes para ir de un sitio a otro. Los soportes 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).



Figura 9. Estructura de concreto (Cáncora Conduriri)

Normalmente se utilizan postes y torres de acero para las líneas de transmisión y postes de madera y hormigón para los circuitos de distribución. Sin embargo, esta distinción no siempre es válida para satisfacer las necesidades de una circunstancia particular, se pueden utilizar postes de madera o de hormigón para transportar las líneas de transmisión y, en algunos casos, puede ser necesaria una torre de acero para un circuito de distribución (Pansini, 2007).

1.1.5.2 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. Las maderas más utilizadas para las crucetas son el abeto Douglas o el pino del sur de Longleaf por su grano recto y su durabilidad. 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 como se muestra en la Figura 9 (Pansini, 2007).



Figura 10. Crucetas

1.1.5.3 Aisladores

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

elementos. 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). La porcelana puede soportar grandes cargas en compresión, pero se rompe fácilmente bajo tensión, es decir, cuando se tira de ella. Por lo tanto, al utilizar un aislante de porcelana, hay que tener cuidado para que las fuerzas que actúan sobre él se compriman y no se separen. Lo mismo ocurre generalmente con el vidrio. La porcelana tiene dos ventajas sobre el vidrio: (1) puede soportar mayores diferencias de temperatura, es decir, no se agrieta cuando se somete a temperaturas muy altas o muy bajas; (2) la porcelana no es tan frágil como el vidrio y no se rompe tan fácilmente en la manipulación o durante instalación. Los aislantes de polímero no están tan limitados y tienen la ventaja de ser más ligeros que la porcelana o el vidrio (Pansini, 2007). Los aisladores pueden ser de porcelana, goma o un material termoplástico. (Patrick y Stephen, 2009).



Figura 11. Aisladores (Tramo Acora)

1.1.5.4 Herrajes (Ferretería)

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

conjunto y los elementos a los cuales acopla. Los herrajes en arreglos 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 12. Herrajes (Tramo Acora)

1.1.5.5 Conductores

Consiste de un cuerpo o un medio adecuado, utilizado como portador de corriente eléctrica. El material que forma un conductor eléctrico es cualquier sustancia que puede conducir una corriente eléctrica cuando este conductor se ve sujeto a una diferencia de potencial entre sus extremos. Esta propiedad se llama conductividad, y las sustancias con mayor conductividad son los metales (Longatt, 2007). Los conductores utilizados para la distribución de energía son, normalmente, cables de aluminio o cables de aluminio-conductor de acero reforzado (ACSR) para la transmisión a larga distancia, y cables de cobre aislados para distancias más cortas. (Patrick y 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, 2014).



Figura 13. Conductores aéreos (Tramo Acora)

1.1.5.6 Sistema de protección

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. 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 y Stephen, 2009).



Figura 14. Sistema Pararrayos, seccionador- fusible (Tramo Acora)

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. Los pararrayos deben tener una conexión rígida a tierra en un lado. El otro lado del pararrayos está conectado a una línea de energía (Patrick y Stephen, 2009).



Figura 15. Conjunto Pararrayos, seccionador- fusible

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. (El-Hawary, 2008). Son 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. Los sistemas de puesta a tierra pueden consistir de conductores enterrados y de varios tipos de electrodos de puesta a tierra. En sistemas de distribución multiterrado, 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).



Figura 16. Sistema de puesta a tierra

1.1.5.7 Sub estación de distribución

Las subestaciones sirven como fuentes de suministro de energía para las áreas locales de distribución en las que se encuentran (Pansini, 2014). La función de una subestación de distribución, es recibir energía eléctrica de un sistema de transmisión de media tensión y transformarla en niveles de voltaje adecuados para uso industrial, comercial o residencial (Patrick y Stephen, 2009). Las subestaciones tienen algunas funciones adicionales. Proporcionan puntos donde se pueden instalar dispositivos de seguridad para desconectar circuitos o equipos en caso de problemas. La tensión de los alimentadores de distribución de salida puede regularse en una subestación. Una subestación es un lugar conveniente para realizar mediciones para comprobar el funcionamiento de varias partes del sistema. Como los equipos de alumbrado público, así como los controles de encendido y apagado en una subestación, aunque esta función es cada vez menor. Algunas subestaciones son simplemente estaciones de conmutación donde se pueden realizar diferentes conexiones entre varias líneas de transmisión (Pansini, 2007).



Figura 17. Sub Estación de Distribución en media tensión (Acora)

1.2 Antecedentes

Nemati *et al.* (2019), utiliza el modelo de riesgo proporcional paramétrico de Weibull (PHM) para estimar la tasa de fallo de cada cable individual en función de su edad y de un conjunto de factores explicativos. La información necesaria para el método propuesto se obtiene explotando los datos históricos disponibles sobre el inventario de cables y los fallos. Este método, basado en datos, no requiere mediciones adicionales en los cables y

permite clasificarlos para las acciones de mantenimiento y reparación. Además, los resultados del análisis de fiabilidad de los cables eléctricos se comparan cuando los cables se consideran como componentes reparables o no reparables. El método propuesto se utiliza para evaluar la tasa de fallos de cada uno de los cables subterráneos con cubierta aislante de papel (PILC) en una red de distribución del sur de Suecia.

Navarro *et al.* (2019), evalúa 18 alternativas de diseño diferentes para un tablero de puente de concreto existente expuesto a cloruros, analizando el impacto económico y ambiental asociados con cada diseño en función del intervalo de mantenimiento elegido. Los resultados se ilustran en el contexto de una optimización del mantenimiento basada en la confiabilidad en ambos ciclos de vida costos e impactos ambientales del ciclo de vida. La optimización del mantenimiento da como resultado una reducción significativa de la vida de la estructura, impactos del ciclo si se compara con el daño resultante de realizar las acciones de mantenimiento cuando el fin de alcanzar la vida útil de la estructura. Se ha demostrado que el uso de hormigón con un 10% de humo de sílice es la más estratégica de prevención eficaz contra la corrosión del acero de refuerzo en términos económicos, reduciendo el ciclo de vida los costos del diseño de la cubierta original en un 76%. Desde una perspectiva ambiental, el mantenimiento basado en el tratamiento anti fugas de la superficie de la plataforma de hormigón da como resultado el mejor rendimiento, lo que permite una reducción de impactos asociados al diseño original en un 82,8%.

Piasson *et al.* (2016), propone un modelo multiobjetivo para resolver el problema matemático de optimizar la planificación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica (EPDS). El objetivo principal es minimizar los costos de mantenimiento preventivo al tiempo que maximiza el índice de confiabilidad de todo el sistema. En el modelo propuesto, los límites de los índices, como SAIDI y SAIFI, se consideran restricciones de los programas de mantenimiento. Se evalúan y actualizan los índices de fiabilidad de los componentes EPDS por un sistema de inferencia difuso. Se propuso un algoritmo NSGA-II para resolver el modelo multiobjetivo que proporciona una frontera de Pareto optimizada. Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta a Se presenta un sistema con tres alimentadores y 733 componentes, mostrando su robustez y calidad para planificación de mantenimiento en EPDS.

Moinuddin *et al.* (2019), tuvo como objetivo determinar la fiabilidad de los sistemas de rociadores en los centros comerciales utilizando el método de análisis del árbol de fallos (FTA) y la recogida de datos mediante una encuesta física y llegó a la conclusión siguiente: Se observa que la probabilidad de fallo de un sistema de rociadores en los edificios de centros comerciales australianos se sitúa en un rango del 1,4% y el 9,8% (es decir, un rango de fiabilidad del 90,2% y el 98,6%). En comparación con un estudio anterior sobre edificios de oficinas de gran altura, la fiabilidad de los centros comerciales resulta ser un 3%-4% mayor. Al igual que en los edificios de oficinas de gran altura, el fallo del cabezal del rociador y el aislamiento de la válvula de cierre principal durante las actualizaciones de los inquilinos tienen efectos significativos en la fiabilidad del sistema de rociadores. Sin embargo, un aislamiento más regulado de los rociadores y un mejor mantenimiento de otros componentes en los centros comerciales dan lugar a una mayor fiabilidad.

Pujadas y Chen (1996), en su artículo, una estrategia de mantenimiento centrada en la fiabilidad para una instalación discreta de fabricación de piezas, desarrolla un sistema de soporte de decisiones de mantenimiento especializado basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el departamento de EE.UU. Del Modo de Falla, Efecto y Análisis de Criticidad de la Defensa (FMECA). Se construyó utilizando un enfoque modular que integra de manera única las virtudes de RCM y FMECA para realizar la función de análisis de fallos. Un módulo Logic Tree Analysis (LTA) apoya el proceso de decisión al realizar la evaluación de costos y mantenimiento para promover las tareas de mantenimiento más apropiadas. El Módulo de Planificación de Mantenimiento aplica la "Teoría de Restricciones" para ajustar las tareas en el programa de producción. Aparte de un enfoque convencional en el tratamiento de los modos de fallo operacional, se tienen en cuenta las preocupaciones sobre el impacto ambiental y la seguridad humana en el desarrollo de tareas dirigidas.

Campos *et al.* (2010), resume lo siguiente: La gestión del mantenimiento de una planta industrial siempre ha sido una actividad compleja por la cantidad de información que hay que manejar. Hoy en día, los sistemas informatizados de gestión del mantenimiento (GMAO) ayudan a organizar la información y, por tanto, a llevar a cabo las actividades de mantenimiento de una manera más eficiente. Sin embargo, además de la recogida de datos e información sobre el mantenimiento, hay que realizar otros análisis de mantenimiento, y sólo algunos de ellos se pueden hacer con una GMAO; las herramientas

para el análisis de la fiabilidad centrada en el mantenimiento (RCM) están disponibles para este fin. Las empresas también adoptan sistemas de supervisión de la condición, a saber, los sistemas de mantenimiento basado en la condición (CBM). Está demostrado que cada sistema aporta beneficios a la gestión del mantenimiento, mejorando al menos la eficacia de los procesos de mantenimiento. Sin embargo, cuando se juntan todos los sistemas GMAO - GCR - CBM, la falta de integración entre ellos impide el máximo aprovechamiento de sus capacidades. Este trabajo pretende colmar esa laguna proporcionando un modelo de datos que permita el desarrollo de un sistema integrado que combine las características de los tres sistemas.

Aguilar (2016), resume lo siguiente: La gestión de fallos en procesos, equipos o plantas adquiere cada día más importancia en la industria moderna, ya que permite minimizar el riesgo de fallos y garantizar una mayor fiabilidad, seguridad, disposición y productividad en la industria. Por otro lado, la integración de diferentes técnicas inteligentes en una arquitectura híbrida nos permite superar las limitaciones individuales de dichas técnicas. En este trabajo se diseña un sistema inteligente para la gestión de fallos basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad, la Lógica Difusa y las Neurales. El sistema permite generar tareas de mantenimiento adecuadas en función de los datos históricos de los equipos.

Cotaina *et al.* (1998), resume lo siguiente: Este documento presenta las herramientas de desarrollo para ayudar a elegir las políticas de mantenimiento en un aserradero. Diez aserraderos europeos (PYMES) optaron por adaptar un enfoque RCM vinculado a la simulación del flujo de producción y de los costes de mantenimiento. El RCM demostró ser un método eficaz para capitalizar los conocimientos técnicos en materia de mantenimiento.

Sainz y Sebastián, (2013), en su artículo: Metodología para el mantenimiento centrado en la fiabilidad en instalaciones de baja accesibilidad, resume lo siguiente: Este trabajo presenta la importancia de conseguir la aplicación de una técnica de mantenimiento que satisfaga de forma precisa las diferentes necesidades del proceso productivo, independientemente de su complejidad técnica o dificultad de acceso a las instalaciones. Este es el caso de las plantas con un alto nivel de automatización o de los parques eólicos ubicados en lugares remotos con baja accesibilidad. Además de esto, las situaciones estudiadas tienen en común el bajo nivel de operación física en su proceso de producción.

Vishnu y Regikumar (2016), resume lo siguiente: La importancia de la función de mantenimiento ha aumentado debido a su papel para mantener y mejorar la disponibilidad, la calidad del producto, los requisitos de seguridad y los niveles de costes de explotación de las plantas de proceso. de los productos. En consecuencia, la selección de la estrategia de mantenimiento se ha convertido en una de las actividades de decisión más importantes de la industria. Este documento propone un enfoque general para implementar Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) en las plantas de proceso. El RCM es una estrategia de mantenimiento de reciente evolución que incorpora todas las ventajas de las estrategias de mantenimiento tradicionales. Más concretamente, el RCM selecciona la estrategia de mantenimiento más adecuada y personalizada para todos los equipos de la planta, en función de su criticidad y de los parámetros de fiabilidad. RCM requiere la recopilación y el análisis de datos históricos sobre fallos para determinar el estado actual de los equipos. Posteriormente, la estrategia de mantenimiento se enmarca en la unidad siguiendo la metodología basada en el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). Esto debe hacerse tomando las opiniones de los expertos de los departamentos de mantenimiento y producción. El modelo de implementación de RCM presentado aquí se valida con los datos del historial de mantenimiento de una planta de proceso que fabrica dióxido de titanio con una capacidad de producción de 20.000 toneladas métricas al año. En la actualidad, la empresa sigue una combinación de estrategias de mantenimiento programado y por avería. Sin embargo, la implementación de RCM en esta planta se justifica por los resultados de la simulación de mantenimiento que revelan la escasa disponibilidad y rendimiento actuales de los equipos.

Wang *et al.* (2020), resume lo siguiente: La contratación basada en el rendimiento motiva a los proveedores de servicios a aplicar políticas de mantenimiento eficaces para aumentar los beneficios y mejorar el rendimiento del sistema a un menor coste. Este artículo trata de la fiabilidad y el mantenimiento basado en la condición para sistemas de una sola unidad que operan bajo un contrato basado en el rendimiento. Para un sistema sujeto a la degradación y a los choques repentinos, hay implica tres estados: normal, degradado y fallido. Una vez que se entra en el estado degradado, el sistema se deteriora más rápidamente y se vuelve más susceptible a los choques. La degradación se ajusta a un proceso gaussiano inverso en dos etapas con efectos aleatorios que caracterizan la heterogeneidad específica de la unidad en la población. Además, la llegada de choques repentinos sigue un proceso de Poisson doblemente estocástico. Se desarrolla un modelo

de fiabilidad basado en un modelo de fallos basado en la degradación y en los choques de fallos basados en la degradación y en los choques. Posteriormente, se evalúa la tasa de coste de mantenimiento a largo plazo y la disponibilidad media del sistema. La política óptima de sustitución preventiva basada en la inspección se obtiene maximizando el beneficio esperado para el proveedor de servicios. Por último, se presenta un ejemplo numérico junto con un análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo para demostrar que la política de sustitución preventiva basada en la inspección maximiza la tasa de beneficio esperada del proveedor de servicios. de los parámetros del modelo para demostrar la aplicabilidad y el procedimiento de solución de los modelos propuestos.

Nemati *et al.* (2019), utiliza el modelo de riesgo proporcional paramétrico de Weibull (PHM) para estimar la tasa de fallo de cada cable individual en función de su edad y de un conjunto de factores explicativos. La información necesaria para el método propuesto se obtiene explotando los datos históricos disponibles sobre el inventario de cables y los fallos. Este método basado en datos, no requiere mediciones adicionales en los cables y permite clasificarlos para las acciones de mantenimiento y reparación. Además, los resultados del análisis de fiabilidad de los cables eléctricos se comparan cuando los cables se consideran como componentes reparables o no reparables. El documento demuestra que los métodos que estiman el tiempo hasta el primer fallo (para los cables no reparables) no son eficaces. Conducen a conclusiones incorrectas sobre la fiabilidad de los cables eléctricos reparables. El método propuesto se utiliza para evaluar la tasa de fallos de cada uno de los cables subterráneos con cubierta aislante de papel (PILC) en una red de distribución del sur de Suecia.

Xu *et al.* (2020), propone una programación de mantenimiento a medio plazo basada en condiciones con una estrategia de reprogramación. A diferencia de los métodos existentes, las tareas de mantenimiento preprogramadas en el método propuesto pueden ser reprogramadas según información actualizada recibida de los monitores de estado de los activos. Para realizar la estrategia de reprogramación, se introduce en el modelo de optimización una nueva variable de decisión denominada umbral de mantenimiento variable en el tiempo. Cuando se identifica que la medición del estado de un dispositivo alcanza el umbral de mantenimiento variable en el tiempo, la tarea de mantenimiento cuando se identifica que la medición de estado de un dispositivo alcanza el umbral de mantenimiento variable en el tiempo, la tarea de mantenimiento preprogramada debe ejecutarse antes de tiempo para evitar fallos. En el método propuesto (1) se expresa un

proceso de degradación estocástica que considera las tareas de mantenimiento preprogramadas y la estrategia de reprogramación (2) se formula un modelo de optimización para minimizar la suma del riesgo de funcionamiento individual y el riesgo de funcionamiento del sistema mediante la cooperación entre los dos. individual y el riesgo operativo del sistema mediante la optimización de las tareas de mantenimiento preprogramadas y los umbrales de mantenimiento variables en el tiempo. (3) se diseña un algoritmo de descomposición para resolver el modelo de optimización. Los casos prácticos para demostrar la validez y la importante reducción del riesgo operativo del método propuesto.

Florian y Sørensen (2017), su objetivo es presentar cómo las aplicaciones de los métodos basados en el riesgo y la fiabilidad para la planificación de la OM, pueden tener un impacto positivo en el coste del mantenimiento. El estudio se centra en el mantenimiento de las palas de los aerogeneradores, para lo que se establece un modelo de degradación basado en la mecánica de la fractura. A partir de este modelo, y de la información incierta sobre el agrietamiento de las palas al inicio de su vida útil, se realiza una estimación inicial de la fiabilidad de la vida útil. Durante el periodo de funcionamiento, se realizan inspecciones a intervalos regulares, y los resultados se utilizan para actualizar las estimaciones de fiabilidad mediante redes bayesianas. Basándose en la estimación actualizada, se toman decisiones sobre las reparaciones, lo que permite minimizar el esfuerzo de mantenimiento y mantener el nivel de fiabilidad deseado. Para mostrar la posible reducción de costes, se realiza un estudio utilizando un simulador de eventos discretos. Se utilizan dos enfoques preventivos diferentes. El primero es una estrategia tradicional basada en el tiempo/condición, en la que las inspecciones se realizan con una frecuencia anual fija y los defectos se reparan en el momento de la detección. El segundo enfoque consiste en una planificación de las inspecciones basada en el riesgo, utilizando la metodología descrita en la primera parte del documento, y se subraya el ahorro de costes y disponibilidad en relación con la estrategia anterior.

Para Villarini *et al.* (2017), se han producido muchos avances científicos en la mejora de los sistemas de energías renovables. Recientemente, se ha prestado un gran interés por su gestión optimizada durante su vida útil debido al gran aumento en el número de nuevas centrales eléctricas de fuentes de energía renovables. Los altos niveles de fiabilidad son tan importantes para maximizar la energía verde útil producida. La energía solar ha sido una de las fuentes renovables más populares y explotadas en el mercado, por lo que las

mejoras en su eficiencia y fiabilidad han tenido un impacto considerable. Todos los sistemas energéticos requieren un aumento de su eficiencia de conversión para reducir el consumo de energía primaria. Además, la optimización del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos ha aumentado su incidencia como fuentes renovables en la generación de energía global y ha impulsado su rentabilidad. A fallo de los componentes y subcomponentes de un sistema energético en funcionamiento provoca dos cuestiones principales; la primera implicación directa implicación para la planta es el daño de los componentes y subcomponentes, y la segunda implicación indirecta es la consiguiente falta de producción de energía debido a que la planta está fuera de servicio. Además, los fallos imprevistos de los componentes aumentan el descontrol de los sistemas de energía fotovoltaica, lo que empeora el despacho de la red eléctrica.

De acuerdo con Melani *et al.* (2018), la necesidad de una evolución de los modelos consolidados de RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad) es algo que bastantes expertos vienen señalando desde hace tiempo. Varios autores consideran con frecuencia la adición de diferentes técnicas en un análisis RCM para aumentar su eficacia y calidad. El objetivo de este trabajo es presentar un método que identifique los componentes más críticos de un sistema, para contribuir a la priorización de las acciones de mantenimiento. El método utiliza técnicas de análisis de fiabilidad y riesgo, como el Estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP), el Análisis del Árbol de Fallos (FTA) y el análisis de criticidad de los modos de fallo y efectos (FMECA). También utiliza un método de decisión multicriterio el Proceso de Red Analítica (ANP), para clasificar los componentes más críticos. El método se aplica en el sistema de desulfuración de gases de combustión de una central eléctrica de carbón. Los resultados obtenidos con la aplicación del método indican los componentes más críticos en los que los planificadores de mantenimiento deben de actuar, con el fin de aumentar la disponibilidad y reducir el riesgo en relación con el funcionamiento de la planta.

Desde el enfoque de Rahimdel *et al.* (2013), el sistema hidráulico tiene un papel crítico e importante en las máquinas de perforación. Cualquier fallo en este sistema conduce a problemas en el sistema de alimentación y en el funcionamiento de la máquina. Dado que el fallo no puede evitarse por completo, es importante minimizar su probabilidad. La fiabilidad es uno de los métodos más eficaces e importantes para estudiar la probabilidad de funcionamiento seguro de los sistemas hidráulicos. En esta investigación, la fiabilidad del sistema hidráulico de cuatro máquinas de perforación rotativa en la mina de cobre de

Sarcheshmeh, en Irán, ha sido analizada. El análisis de los datos muestra que el tiempo entre fallos (TBF) de las máquinas A y C obedece a la distribución Weibull (2P) y Weibull (3P) respectivamente. Asimismo, los TBF de las máquinas B y D obedecen a la distribución log normal. En cuanto a los gráficos de fiabilidad de los sistemas hidráulicos, los intervalos de tiempo de mantenimiento preventivo basado en la fiabilidad para el 80% de los niveles de fiabilidad de las máquinas de este sistema son de 10 horas.

Piasson *et al.* (2016), propone un modelo multiobjetivo para resolver el problema matemático de la optimización de la planificación del mantenimiento centrado en la fiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica (EPDS). El objetivo principal es minimizar los costes de mantenimiento preventivo y maximizar el índice de fiabilidad de todo el sistema. Los índices de fiabilidad de los componentes del EPDS se evalúan y actualizan mediante un sistema de inferencia difuso. Se propone un algoritmo NSGA-II para resolver el modelo multiobjetivo que proporciona una frontera de Pareto optimizada. Se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta a un sistema de tres alimentadores y 733 componentes, mostrando su robustez y calidad en la planificación del mantenimiento del EPDS.

Para Cullum *et al.* (2018), la programación del mantenimiento de los buques y embarcaciones de guerra requiere una mejora continua para gestionar el aumento de los costes de mantenimiento dentro de las limitaciones de disponibilidad. Los enfoques actuales de programación del mantenimiento no son óptimos, ya que los costes de mantenimiento siguen aumentando sin que mejore la disponibilidad de los buques. Este artículo revisa la programación del mantenimiento basado en el riesgo (RBM) aplicado a buques y embarcaciones de guerra, y ofrece un análisis crítico de las técnicas de evaluación de riesgos y programación del mantenimiento utilizadas. Además, se definen objetivos y consideraciones para futuras aplicaciones en buques y embarcaciones, y se evalúa el marco como una mejora de las técnicas existentes de los métodos de mantenimiento preventivo (PM) y de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) existentes. Un enfoque probabilístico de la condición en combinación con la Teoría de la Decisión para los elementos de Evaluación de Riesgos y Programación del Mantenimiento. y los elementos de programación del mantenimiento que componen un marco de programación RBM. La aplicación de este marco, tanto desde el PM periódico como desde el RCM. Se sugiere el desarrollo de aplicaciones desde el nivel de los componentes. Se sugiere la disponibilidad y el coste global de mantenimiento como

métricas de evaluación frente a métodos existentes. El desarrollo de una aplicación se formaliza dentro de un marco propuesto. El desarrollo de una aplicación dentro del marco de programación RBM se espera que dé lugar a una reducción de los costes de mantenimiento y que cumpla con los requisitos de disponibilidad para las aplicaciones de barcos y buques de guerra.

De acuerdo con López *et al.* (2013), La gestión del mantenimiento de una planta industrial ha sido siempre una actividad compleja. Hoy en día sistemas informatizados de gestión del mantenimiento (GMAO) ayudan a organizar la información y, por tanto, a llevar a cabo las actividades de mantenimiento de una manera más eficiente. La aparición de las nuevas TIC ha incrementado también el de los sistemas de mantenimiento basados en la condición (CBM) y la aplicación del análisis del mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM). Se ha demostrado que cada sistema aporta beneficios a la gestión del mantenimiento. Sin embargo, cuando se adoptan todos los sistemas, la falta de integración entre ellos puede impedir el máximo aprovechamiento de sus capacidades. Este trabajo pretende colmar esta laguna, proponiendo una plataforma de integración de e-mantenimiento que combina las características de los tres sistemas principales. La metodología y los estándares abiertos de referencia utilizados para desarrollar la plataforma. Los diagramas UML-BPMN representan los algoritmos emergentes del sistema diseñado.

Según Florian y Sørensen, (2015), el funcionamiento y el mantenimiento de los aerogeneradores en alta mar contribuyen a una parte sustancial del coste total nivelado de la energía (LCOE). El objetivo de este artículo es presentar una aplicación de métodos basados en el riesgo y la fiabilidad para la planificación de OM. La base teórica se presenta y se ilustra con un ejemplo, concretamente para la planificación de las inspecciones y el mantenimiento de palas de aerogeneradores. Se utiliza un enfoque de ciclo de vida en el que se minimiza el coste total previsto en el resto de la vida útil. Este plan de mantenimiento se actualiza continuamente durante la vida útil utilizando la información de las inspecciones anteriores y de la supervisión del estado de las inspecciones anteriores y de la monitorización del estado, con intervalos de tiempo entre inspecciones y opciones de mantenimiento/repación como parámetros de decisión.

Para Yssaad *et al.*, (2014), los sistemas de distribución de electricidad actuales operan en un mercado liberalizado. Por lo tanto, estos sistemas deben ser capaces de suministrar

electricidad a los clientes con un alto grado de fiabilidad y ser rentables para los proveedores. El RCM (Reliability Centred Maintenance) fue inventado por la industria aeronáutica en los años 60, para organizar la creciente necesidad de mantenimiento para reducir los costes sin disminuir la seguridad. En la actualidad, los métodos RCM se consideran muy complejos y no son totalmente aceptados por la argelina. La gran necesidad de recursos humanos y de capital en la fase de introducción es también es también un factor negativo que podría ser una de las razones por las que los métodos RCM no se utilizan en nuestro sector. Este artículo analiza los dos objetivos principales del RCM: garantizar la seguridad mediante acciones de preventivas y, cuando la seguridad no es un problema, preservar la funcionalidad de la manera más económica posible. Para las instalaciones de sistemas de distribución de energía, la misión debe considerarse al mismo nivel que la seguridad.

Ayo y Cilliers, (2018), en su artículo, Un estudio sobre el estado del mantenimiento basado en la condición (CBM) en la industria de la energía nuclear, resume lo siguiente: El mantenimiento basado en la condición (CBM) implica la realización de actividades de mantenimiento basadas en la salud del del sistema. El CBM ha encontrado aplicaciones útiles en muchas industrias. Este artículo presenta un estudio sobre el estado del mantenimiento basado en la condición en la industria nuclear. Para ello, se examinan sistemáticamente las principales fases del CBM, que son la supervisión, el diagnóstico y el pronóstico. Se ha realizado una revisión metódica de estos aspectos del CBM. Esto incluye las prácticas actuales en la industria nuclear y la investigación en curso sobre los diferentes métodos y tecnologías que se están desarrollando. De este modo, las partes interesadas en el mantenimiento y los investigadores da una visión general de las prácticas actuales y del alcance de la investigación del mantenimiento basado en la condición en la industria nuclear.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema

Las constantes interrupciones del sistema de distribución de energía eléctrica disminuyen la confiabilidad del sistema. La confiabilidad del sistema de distribución de energía eléctrica es uno de los índices más importantes para evaluar la calidad del servicio que prestan las empresas de distribución de energía eléctrica. Para lograr estos objetivos, en concreto la calidad, el organismo regulador establece indicadores de calidad de energía para los servicios de suministro, así como objetivos y metas que deben alcanzar las empresas eléctricas. Estas empresas suelen realizar programas de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad del sistema. El mantenimiento realizado a las redes de distribución es solamente reactivo es decir que reacciona ante la falla el mantenimiento preventivo es muy escaso o simplemente no existe. El mantenimiento preventivo es programado periódicamente en función de la experiencia, tiene el mismo intervalo de tiempo para acciones de mantenimiento y, es generalmente imperfecto. La optimización del mantenimiento es una tarea muy importante para el sector energético. Se desarrollan muchas técnicas de mantenimiento con la finalidad de mejorar la confiabilidad del sistema y principalmente reducir los costos de mantenimiento. El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una estrategia ampliamente aceptada que es de fácil implementación y nos permite la optimización del mantenimiento preventivo. El mantenimiento centrado en la confiabilidad utiliza un enfoque de análisis de efectos y modos de falla y su criticidad nos permite el procesamiento del análisis individual de cada sub sistema de la red de distribución. Este análisis identifica los diversos modos de falla que afectan a cada elemento del sistema. El objetivo principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad es reducir los costos de mantenimiento y al mismo tiempo aumentar

la confiabilidad y la seguridad. En ese sentido se plantea en la presente investigación proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad utilizando en análisis de los modos de fallas sus efectos y criticidad para la red de distribución eléctrica Ilave.

2.1.1 Descripción de la realidad problemática.

Para lograr estos objetivos, en concreto la calidad, el organismo regulador establece indicadores de calidad de energía para los servicios de suministro, así como objetivos y metas que deben alcanzar las empresas eléctricas. Estas empresas suelen realizar programas de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad del sistema. El mantenimiento realizado a las redes de distribución es solamente reactivo es decir que reacciona ante la falla el mantenimiento preventivo es muy escaso o simplemente no existe. El mantenimiento preventivo es programado periódicamente en función de la experiencia, tiene el mismo intervalo de tiempo para acciones de mantenimiento y, es generalmente imperfecto.

2.1.2 Territorio

La zona del estudio se encuentra ubicada en la región de Puno, provincia de Ilave, con altitudes entre los 3 850 msnm (Ilave) y 4 400 msnm (Capazo-Ilave), con clima frío, caracterizada por sus descargas atmosféricas intensas, fuertes vientos e intensas lluvias en los meses de diciembre a marzo, con escasa vegetación. Las características ambientales a lo largo de la línea son las siguientes:

- Temperatura mínima : -10 ° C
- Temperatura media : 15 ° C
- Temperatura máxima : 34 ° C
- Humedad relativa promedio : 70%

Las principales vías de acceso con las que cuenta la zona del proyecto son las siguientes:

Vía Terrestre: se cuenta con las siguientes carreteras

- Carretera principal Lima – Arequipa-Juliaca-Puno-Ilave

- Vía Aérea: se cuenta con el aeropuerto de Juliaca que tiene vuelos diarios Lima-Juliaca.

2.2 Enunciados del problema

De acuerdo a lo mencionado nos planteamos la siguiente interrogante:

2.2.1 Enunciado general

¿Cuál sería el método adecuado basado en el análisis de modos, efectos de fallas y la criticidad, para el sistema eléctrico en media tensión llave?

2.2.2 Enunciados específicos

- ✓ ¿Será posible realizar el análisis de los modos, efectos de fallas y de criticidad de los elementos componentes del sistema de distribución eléctrica llave?
- ✓ ¿Se podrá realizar la propuesta respectiva del plan de mantenimiento aplicado al sistema de distribución eléctrica llave?

2.3 Justificación

Las constantes interrupciones existentes en el sistema de distribución de energía eléctrica llave han disminuido la confiabilidad y la calidad de servicio de la red de distribución eléctrica. Estas fallas de acuerdo al registro de las interrupciones existentes nos indica que en las salidas 1001 y 1003 es en donde se tiene mayor incidencia de interrupciones del servicio afectando la calidad de vida de los habitantes de estas zonas afectadas. La confiabilidad del sistema de distribución de energía eléctrica es uno de los índices más importantes para evaluar la calidad del servicio que prestan las empresas de distribución de energía eléctrica.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General

Mejorar la confiabilidad del sistema de distribución de energía en media tensión llave, mediante la propuesta de un plan de mantenimiento basado en el análisis de modos, efectos de fallas y criticidad.

2.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar los elementos críticos mediante el análisis de modos efectos de fallas del sistema eléctrico en media tensión Ilave.
- ✓ Elaborar la propuesta respectiva del plan de mantenimiento del sistema eléctrico en media tensión Ilave mediante el análisis de criticidad.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis General

El diseño del programa de Gestión de Mantenimiento basado en el análisis de modos efectos de fallas y su criticidad, permitirá mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico Ilave (SET Ilave).

2.5.2 Hipótesis Específicas

- ✓ El análisis de modos efectos de fallas y criticidad del sistema eléctrico Ilave (SET Ilave), permite establecer un programa de mantenimiento para prevenir las fallas del sistema.
- ✓ Con la propuesta respectiva del plan de mantenimiento del sistema eléctrico Ilave (SET Ilave). Se mejorará la confiabilidad del sistema.

2.5.3 Variables

Independientes:

- Análisis de modos y efectos de fallas
- Criticidad.

Dependientes:

- Fallas del sistema eléctrico

3.2 Población

En esta investigación, la población de estudio estará, conformadas por las Redes Eléctricas de la sub Estación Eléctrica SET Ilave.

3.3 Muestra

Para la presente investigación la muestra corresponde al registro de fallas de las Redes Eléctricas de los alimentadores 1001, 1002 y 1003, pertenecientes a la sub Estación Eléctrica SET Ilave.

3.4 Método de investigación

3.4.1 Método propuesto

El objetivo del método propuesto es identificar los componentes más críticos del sistema de distribución en media tensión Ilave, para priorizar acciones de mantenimiento. El método se divide en tres pasos. El primer paso es el desarrollo de un estudio del sistema mediante dos técnicas: Árbol Funcional y Diagrama de Bloques Interno. Estas técnicas se utilizan para adquirir conocimientos, de forma estructurada, sobre el funcionamiento del sistema estudiado. En la segunda etapa se utiliza la técnica de análisis de fiabilidad: AMEF. El objetivo de esta fase es evaluar cómo fallan los componentes del sistema, cuáles son las consecuencias de estos fallos y cómo pueden identificarse. Por último, en el tercer paso, se utiliza el Proceso de para obtener los componentes más críticos. Todas las técnicas utilizadas en este método contribuyen a la realización del siguiente, es decir, se desarrollan de forma integrada de forma integrada, con el objetivo de obtener resultados optimizados. Los siguientes puntos en esta sección están dedicados a la descripción detallada de cada paso realizada.

3.4.2 Análisis de modos efectos de fallas (AMEF)

El análisis de los modos y efectos de fallos puede llevarse a cabo como una secuencia de actividades o pasos, algunos de los cuales se superponen en el tiempo.

- 1) Selección y definición del sistema
- 2) Construir diagramas de bloques

- 3) Análisis de fallos funcionales
- 4) Analisis de efectos y fallas
- 5) Estableser el rango de detectabilidad
- 6) Estableser el rango de severidad
- 7) Estableser el factor de probabilidad
- 8) Determinar el numero de problabilidad de riesgo (RPN)
- 9) Selección de elementos críticos
- 10) Selección de acciones de mantenimiento. (Yssaad et al., 2014)

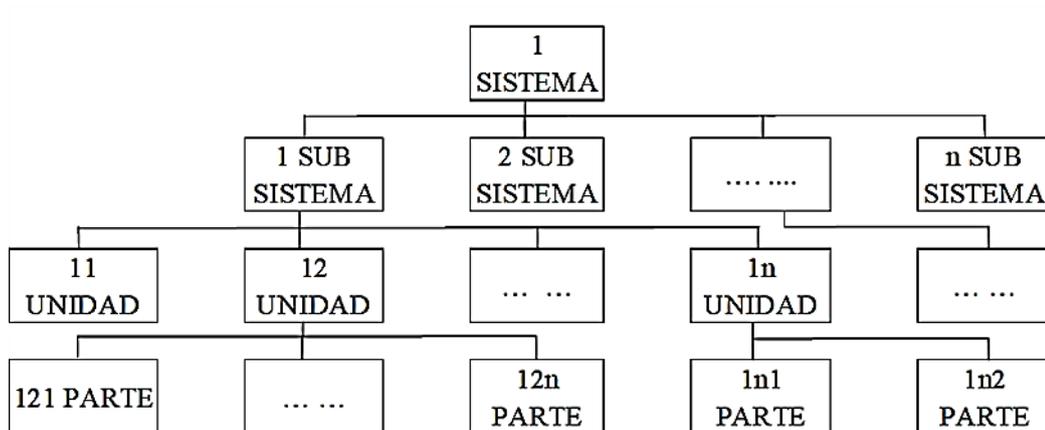


Figura 19. El marco del árbol de jerarquía del sistema.

Fuente: (Tang *et al.*, 2017)

El objetivo de este paso es identificar los modos de falla dominantes de los sub sistemas y elementos identificados.

La hoja de trabajo de AMEF utilizada en nuestro enfoque se presenta en la tabla 5, las diversas columnas de nuestra hoja de trabajo de FMECA son las siguientes:

3.4.2.1 Función

Para cada modo operativo, el elemento puede tener varias funciones.

3.4.2.2 Modo de fallo

Un modo de falla es la forma en que se observa una falla, y se define como el incumplimiento de una de las funciones.

3.4.2.3 Falla funcional

Es la pérdida de la función del elemento.

3.4.2.4 Falla funcional

Es la pérdida de la función del elemento.

3.4.2.5 Efecto de la falla

El efecto de una falla se describe en términos del resultado del peor de los casos.

Los cuales serán identificadas en la siguiente hoja de trabajo:

SISTEMA : SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MT LLAVE		AMEF			
SUB.SISTEMA :					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA		EFFECTO DE FALLA {Que sucede cuando se produce una falla}
1		A	1		
		B	1		
		C	1		

Figura 20. Hoja de trabajo AMEF

Fuente: (Moubray, 2004).

3.4.3 Determinar el número de probabilidad de riesgo (RPN)

Esto obedece a la NORMA IEC 60812, y se refiere al concepto de Riesgo y Número de Prioridad de Riesgo (RPN). El riesgo se evalúa mediante una medición oportuna de la gravedad de los efectos y de una estimación de la probabilidad esperada de que el propio modo de fallo se manifieste en un intervalo de tiempo previamente

determinado. La evaluación de la RPN, en cambio, viene dada por la siguiente ecuación:

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

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. Puede definirse como un número de clasificación (o número índice) en lugar de que la probabilidad real de ocurrencia. Mediante un cambio de diseño es posible eliminar o limitar uno o varios modos de fallo. Esta es la única forma posible manera de reducir el ranking de ocurrencia.

Tabla 1

Parámetros FMECA (Ocurrencia).

Posible Tasa de Ocurrencia	Criterios de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de 0 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 (personal o cliente, por ejemplo). Se trata de la gravedad o criticidad del fallo y se expresa generalmente en niveles de criticidad. Caracteriza la duración de la interrupción causada por el modo de fallo.

Tabla 2

Parámetros FMECA (Severidad).

Duración del servicio o interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8 h.	Muy catastrófico	8
7 h.	Catastrófico	7
6 h.	Muy serio	6
5 h.	Grave	5
4 h.	Medio	4
3 h.	Significativo	3
2 h.	Menor	2
1 h.	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. 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. 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. 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. La detección es una evaluación de la capacidad de la revisión del diseño para detectar una posible causa o mecanismo o debilidad de diseño.

Tabla 3

Parámetros FMECA (Severidad).

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

Fuente: (Yssaad *et al.*, 2014)

3.4.4 Selección de elementos críticos

Para la determinación de los elementos más críticos se realizará utilizando el NPR, utilizando la siguiente escala podemos clasificar el nivel de criticidad de los diferentes sub sistemas de la red de distribución.

Tabla 4

Parámetros AMEFC (Criticidad).

Nivel de criticidad	Valor	Riesgo o Peligro
Bajo	0-30	Aceptable
Medio	31-60	Tolerable
Alto	61-180	
Muy alto	181-252	
Crítico	253-324	Inaceptable
Muy crítico	> 324	

Fuente: (Yssaad *et al.*, 2014)

3.4.5 Diagrama de Pareto

Utilizaremos el diagrama de Pareto que es un gráfico de barras formado por una serie de barras cuyas alturas reflejan la frecuencia de los problemas o las causas. Las barras están dispuestas en orden descendente de izquierda a derecha. Esto significa que los factores representados por las barras altas de la izquierda son relativamente más significativos que los de la derecha. Esto ayuda a separar los de menos importancia, de modo que los recursos y los esfuerzos se centran en donde podemos obtener el máximo rendimiento (Ben-Daya *et al.*, 2009).

Para construir un diagrama de Pareto, se sigue los siguientes pasos:

1. Registro de los datos brutos.
2. Orden de los datos colocando primero la categoría con mayor frecuencia.
3. Rotula el eje vertical izquierdo, están espaciadas en intervalos iguales desde 0 hasta un número redondo igual o ligeramente mayor que el total de todos los recuentos.
4. Rotula el eje horizontal, el ancho de todas las barras son iguales y se etiqueta las categorías de mayor a menor.

5. Traza una barra para cada categoría. La altura de cada barra debe ser igual a la frecuencia de la categoría correspondiente y su anchura debe ser idéntica.
6. Cálculo de los recuentos acumulados.
7. Añade una línea acumulativa. Rotula el eje derecho de 0 a 100%, y alinea el 100% con el total general en el eje izquierdo (Ben-Daya *et al.*, 2009).

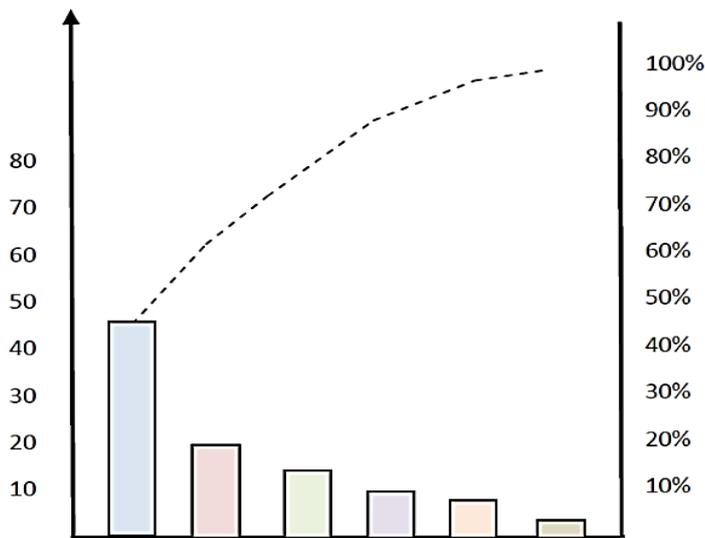


Figura 21. Diagrama Pareto

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

Los resultados serán registrados en la hoja de registro del análisis de modos y efectos de falla siguiente:

SISTEMA : RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA EN 22.9 kV ILAVE		AMEF				AMEFC			
SUB SISTEMA :						Criticidad			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA (Que sucede cuando se produce una falla)			
		A	B	1	1	O	S	D	C
1		A		1					
		B		1					
2		C		1					

Figura 22. Parámetros AMEFC (Criticidad).

Fuente: (Yssaad *et al.*, 2014)

3.4.6 Propuesta del plan de mantenimiento mediante el análisis de criticidad

La propuesta del plan de mantenimiento se seguirá el método propuesto en base a la criticidad de los elementos se elige el valor de 24 como umbral de criticidad. Los elementos críticos más allá de 24 se agrupan en orden ascendente de acuerdo a la tabla. Son estos elementos sobre los que debemos actuar principalmente emprendiendo acciones de mantenimiento, correctivas, preventivas, de mejora o incluso de sustitución.

Tabla 5

Parámetros AMEFC (Criticidad).

Plan de mantenimiento basado en la criticidad		
Elemento	Criticidad (C)	Acción de mantenimiento
	0 - 24	Acción correctiva
	25- 180	Mejora el rendimiento de los elementos. Mantenimiento preventivo sistemático.
	181 - 324	Revisión del diseño completo (Rediseño)
	> 324	

Fuente: (Yssaad *et al.*, 2014).

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Como material de la investigación tenemos a la Red de distribución primaria Ilave en la barra en media tensión 22.9 kV, las cuales son las siguientes: Salida 1001 Pilcuyo, Salida 1002 Ilave – Acora y Salida 1003 Ilave Zona Alta, SET Ilave que se alimenta de la línea de sub transmisión en 60 kV L-6027; esta barra en 22.9 es alimentada mediante la Línea de sub transmisión desde las barras 60 kV de la S.E. Totorani 138/60 kV e incorporándola al Sistema Interconectado Nacional (SEIN) mediante la línea de transmisión en 138 kV Totorani Azángaro. El área del proyecto de investigación se encuentra en el departamento de Puno, provincia de Ilave, que está dentro del área de concesión de la empresa Electro Puno S.A.A.

3.5.1 Tipo de investigación

El presente proyecto, es una investigación de campo de tipo descriptiva correlacional por que asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población , según Hernández (2010) 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. Hernández (2010), los estudios correlacionales tienen 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.

Es un enfoque cuantitativo porque según lo mencionado por Hernández (2010), es un estudio secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis.

Por lo tanto, de acuerdo a lo mencionado la presente investigación se enmarca dentro la investigación cuantitativa, Descriptiva Correlacional.

3.5.2 Técnicas de recolección de datos

Los datos recolectados para la presente investigación provienen de fuentes confiables que inicia con el procesamiento en primer lugar de la información bibliográfica que, relacionada con la investigación, se empleó registro de datos de la empresa Electro Puno.



3.5.3 Técnicas de análisis de datos

Las técnicas que se aplicarán son de dos tipos, las de campo; debido a que se requiere acumular información primaria para después analizar y cuantificarla, y las bibliográficas; para obtener información de documentos y libros referentes al tema.

Los datos obtenidos son analizados y graficados para su interpretación correspondiente con la finalidad de obtener las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados.

3.5.4 Método de la investigación

La metodología utilizada para la investigación denominada propuesta de mantenimiento basado en el análisis de modos, efectos de fallas y criticidad, para el sistema eléctrico en media tensión llave, consta fundamentalmente del siguiente procedimiento:

3.5.5 Unidades de información

Para la propuesta de mantenimiento basado en el análisis de modos, efectos de fallas y criticidad, para el sistema eléctrico en media tensión llave, se contó con el registro de fallas referidas al sistema de distribución eléctrica llave.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación tenemos los resultados siguientes por cada objetivo establecidos. Se analizan los datos obtenidos que comprenden las instalaciones de la Red de Distribución en 22.9 kV Ilave, salidas 1001, 1002 y 1003.

4.1 Análisis de modos efectos de fallas y criticidad del sistema eléctrico en media tensión Ilave.

4.1.1 Descripción del caso de estudio

A partir de las instalaciones eléctricas de potencia conectadas al sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN), se alimenta la sub estación de Totorani en la barra de 138 kV, de donde parte la línea de sub transmisión en 60 kV L-6027 que alimenta a la sub estación de transformación SET Ilave, de donde se alimenta las redes de distribución en media tensión Ilave que es el caso de estudio.

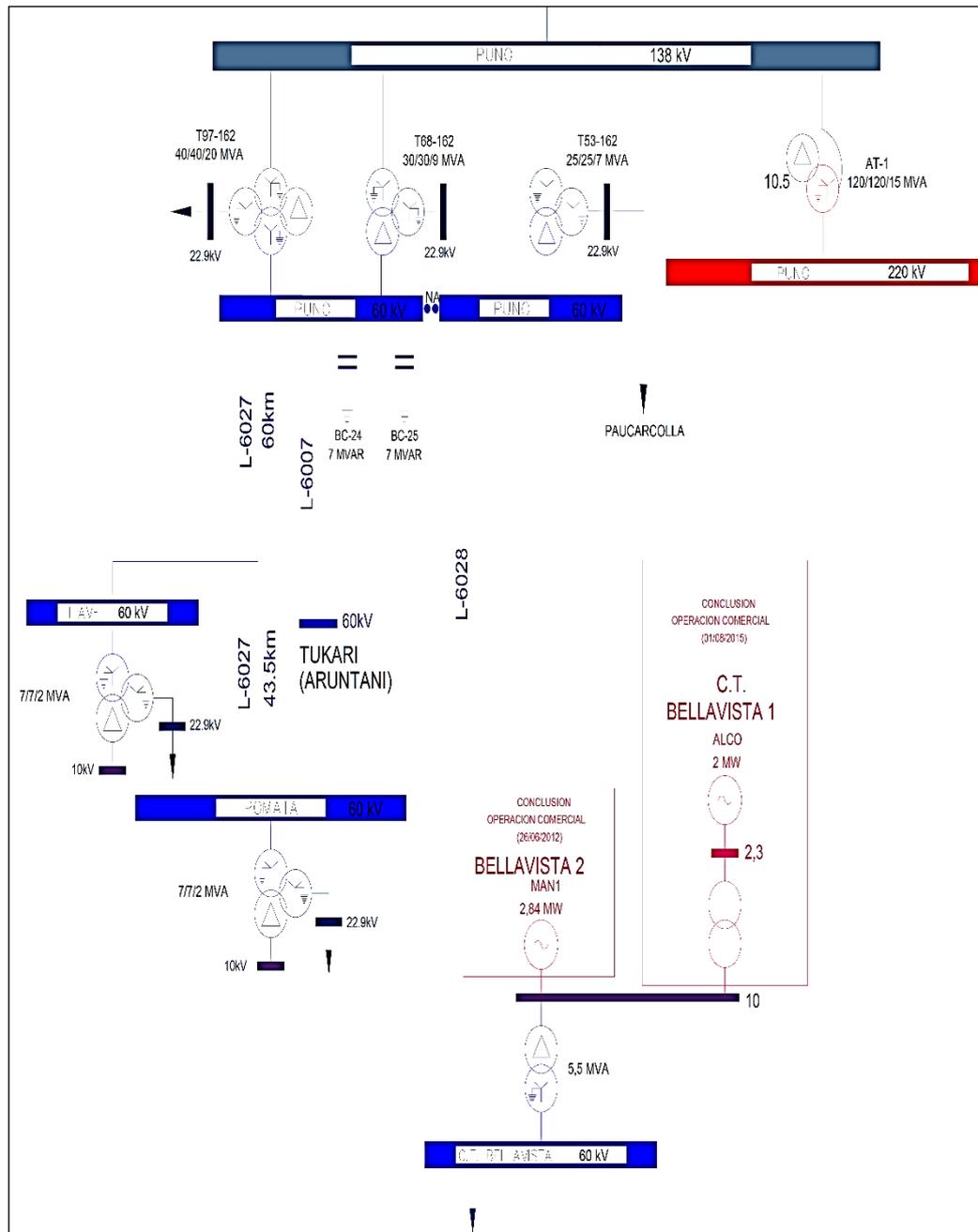


Figura 23. Diagrama Unifilar S.E. Puno

Fuente: COES.

Comprende la Red de Distribución primaria en 22,9 kV ubicada en la provincia de Ilave, compuesto por las siguientes salidas:

Salida 1001: Comprende las instalaciones eléctricas en la ruta hacia la localidad de Pilcuayo.

Salida 1002: Comprende las instalaciones eléctricas en la ruta hacia la localidad de Ilave y Acora.

Salida 1003: Comprende las instalaciones eléctricas en la ruta hacia la localidad de Ilave zona alta.

4.1.2 Análisis de modos efectos de fallas (AMEF)

El análisis de los modos y efectos de fallos del sistema de distribución Ilave se realizó de acuerdo al método planteado el cual se detalla a continuación.

4.1.2.1 Selección y definición del sistema.

Comprenden las instalaciones de la Red de Distribución en 22.9 kV Ilave, salidas 1001, 1002 y 1003.

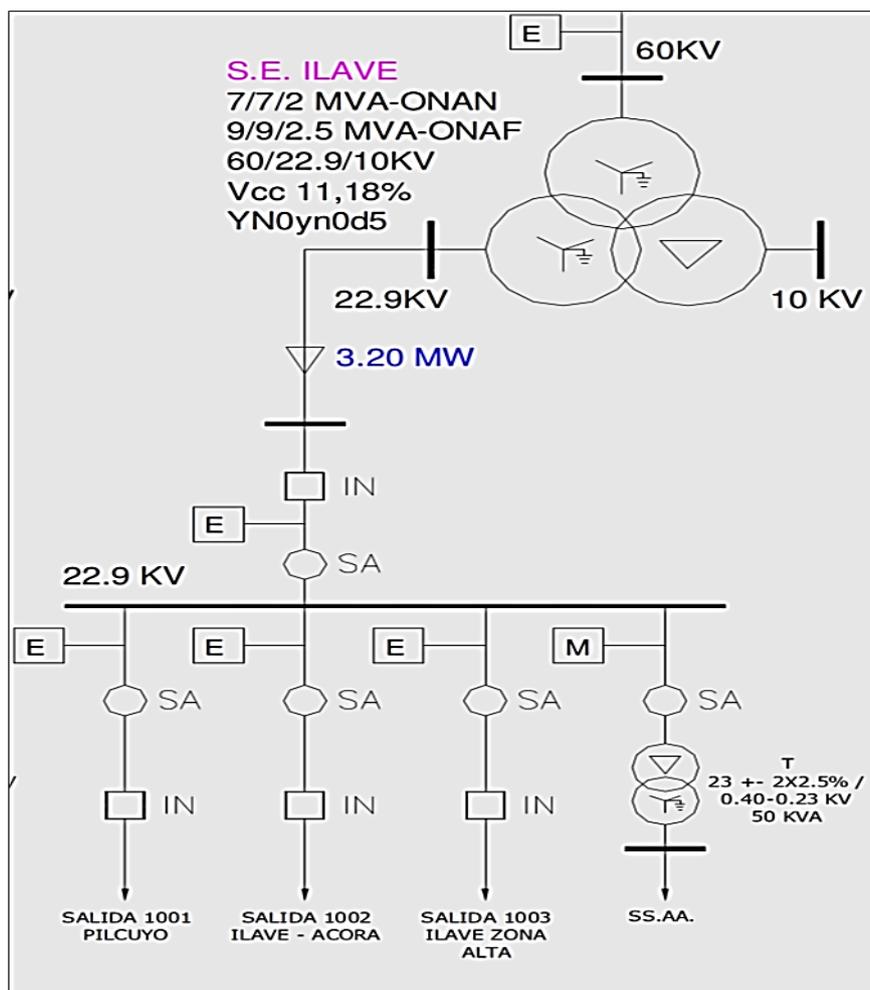


Figura 24. Diagrama unifilar SET Ilave

Fuente: Electro Puno S.A.A.

4.1.2.2 Diagramas de bloques del sistema

De acuerdo al método propuesto tenemos en forma general los siguientes bloques del sistema

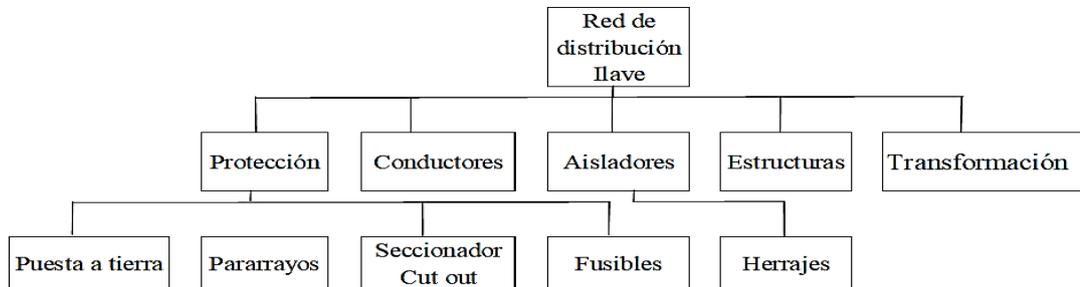


Figura 25. Diagrama bloques SET Ilave

4.1.2.3 Análisis de fallos funcionales

Los resultados se muestran a continuación de acuerdo al método propuesto: Para las estructuras tenemos el siguiente análisis de fallos funcionales

Tabla 6

Fallos funcionales estructuras

Sistema: Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave		
Sub sistema : Estructuras (Postes de CAC, madera)		
Función	Falla funcional	(perdida de la función)
1 Mantener una distancia mínima de seguridad (DMS) de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	A	Incapaz de Mantener la DMS de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad
	B	Estructura de menor altitud que la requerida
2 Sostener líneas eléctricas aéreas	A	Incapaz de sostener las redes aéreas

Para las crucetas tenemos el siguiente análisis de fallos funcionales.

Tabla 7

Fallos funcionales crucetas

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave		
Sub sistema : Crucetas (de CAV, madera, Celosía)		
Función	Falla funcional	(perdida de la función)
3 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	A	Incapaz de separar las fases de las redes aéreas

Para los aisladores tenemos el siguiente análisis de fallos funcionales.

Tabla 8

Fallos funcionales aisladores

	Función		Falla Funcional (perdida de la función)
5	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

Para los conductores aéreos tenemos el siguiente análisis de fallos funcionales.

Tabla 9

Fallos funcionales conductores

Sistema : Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave			
Sub sistema : Conductores (de Aluminio, Aleación de aluminio)			
	Función		Falla funcional (perdida de la función)
6	Transportar la energía desde la Subestación de distribución hasta los usuarios finales	A	Incapaz de transportar la energía desde la Subestación de distribución hasta los usuarios finales

Para el transformador de distribución tenemos el siguiente análisis de fallos funcionales.

Tabla 10

Fallos funcionales transformador de distribución

Sistema : Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave			
Sub Sistema : Transformador de Distribución			
	Función		Falla funcional (perdida de la función)
7	Elevar o disminuir la tensión de una fuente de tensión alterna a límites utilizables por los centros de consumo	A	Incapaz de elevar o disminuir la tensión de una fuente de tensión alterna a límites utilizables por los centros de consumo

Para el sub sistema de protección tenemos el siguiente análisis de fallos funcionales.

Tabla 11

Fallos funcionales transformador de distribución

Sistema : Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave		
Sub sistema : Protección del sistema eléctrico		
Función		Falla funcional (perdida de la función)
8	Protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas.	A Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas
9	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.	A Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.
10	Protección de la red de distribución eléctrica, contra corrientes de falla.	A Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica de corrientes de falla.
11	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobre corrientes.	A Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica contra sobre corrientes.

4.1.2.4 Analisis de efectos y fallas

Para el sub sistema de estructuras tenemos el siguiente analisis de efectos y modos de fallas.

Tabla 12

Efectos y modo de falla de estructuras

Sistema : Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave		
Sub sistema : Estructuras (Postes de CAC, madera)		
Función		Falla Funcional (perdida de la función)
1	Mantener una distancia minina de seguridad (DMS) de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	A Incapaz de Mantener la DMS de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad
		B Estructura de menor altitud que la requerida
2	Sostener líneas eléctricas aéreas	A Incapaz de sostener las redes aéreas

Para el sub sistema de crucetas tenemos el siguiente analisis de efectos y modos de fallas.

Tabla 13

Efectos y modo de falla de crucetas

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave				AMEF		
Sub sistema : Crucetas (de CAV, madera, Celosía)						
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)			
3	Sostener la ferretería y los aisladores	A	Incapaz de sostener la ferretería y los aisladores	1	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
4	Separar las fases de la red eléctrica de acuerdo Distancia Media Geométrica	A	Incapaz de separar las fases de las redes aéreas	1	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

Para el sub sistema de aisladores tenemos el siguiente analisis de efectos y modos de fallas.

Tabla 14

Efectos y modo de falla de aisladores

Sistema: Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave				AMEF		
Sub sistema : Aisladores (de goma silicona, porcelana)						
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)			
5	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	1	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.
				2	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.
				3	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
				4	Falla del aislador tipo cadena	Pandeo del conductor existe peligro de rotura del conductor
				5	Perforación por descarga atmosférica	Fugas de corriente a tierra, causa interrupción del servicio.

Para el sub sistema de conductores tenemos el siguiente analisis de efectos y modos de fallas.

Tabla 15

Efectos y modo de falla de conductores

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave		AMEF		
Sub sistema : Conductores (de Aluminio, Aleación de Aluminio)				
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	
6	A	1	Contacto entre fases , factores climáticos y externos	Efecto dinámico del viento, lo que provoca la interrupción del servicio.
		2	Rotura del conductor	conductor a tierra provoca la interrupción del servicio.
		3	Deslizamiento de los empalmes	Interrupción de la transmisión de la energía en una, dos o tres fases.

Para el sub sistema de Transformadores de distribución tenemos el siguiente analisis de efectos y modos de fallas.

Tabla 16

Efectos y modo de falla de Transformadores de Distribución

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave		AMEF		
Sub sistema : Transformador de Distribución				
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	
7	A	1	Baja resistencia de aislamiento	Cortocircuito, no entrega energía a los centros de consumo.
		2	Falla del sistema de refrigeración	Calentamiento de enrollamientos, fuera de servicio.
		3	Sobrecarga	Actúa el sistema de protección, fuera de servicio.

Para el sub sistema de Protección tenemos el siguiente analisis de efectos y modos de fallas.

Tabla 17

Efectos y modo de falla de Protección

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave			AMEF			
Sub sistema : Protección del sistema eléctrico						
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)			
8	Protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas	1	Mal dimensionamiento del pararrayos	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.
				2	Explosión del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.
				3	Flameo del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.
9	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.	1	Mal dimensionamiento del descargador	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.
10	Protección de la red de distribución eléctrica, contra corrientes de falla.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica de corrientes de falla.	1	Discontinuidad del sistema de puesta a tierra	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.
				2	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.
11	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobre corrientes.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica contra sobre corrientes.	1	El fusibles no se funde	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.
				1	El seccionador fusible cut aut no actúa	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.

4.1.2.5 Determinación del número de probabilidad de riesgo (RPN)

Con el registro de fallas mostrados en los diagramas podemos aplicar el metodo planteado.

Tabla 18

Registro de fallas: Tipo de falla

Causa de la Falla Funcional (CF)	Ocurrencia	Acumulado	% Acumulado
Descargas Atmosféricas en la zona	146	146	56.37%
Fuertes vientos por la zona	75	221	85.33%
Fuertes lluvias y descargas atmosféricas	23	244	94.21%
Corte Programado	5	249	96.14%
Corte de emergencia maniobras	3	252	97.30%
Reparación de falla	2	254	98.07%
Falla de conductor	2	256	98.84%
Falla de transformador	1	257	99.23%
Camb. Pararrayos	1	258	99.61%
Cambio de seccionador	1	259	100.00%

Fuente: ELPU

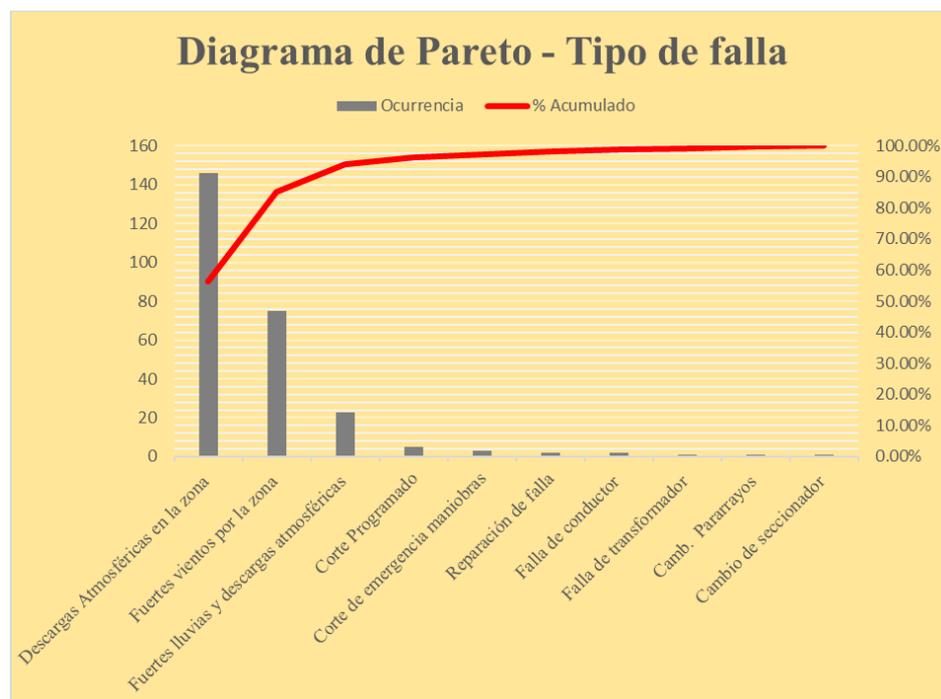


Figura 26. Tipo de falla

Tabla 19

Registro de fallas: Cantidad de fallas

Falla Funcional (FF)	Ocurrencia	Acumulado	% Acumulado
RC 43 Lopez Cancora	77	77	37.38%
RC 44 Conduriri Santa Rosa	42	119	57.77%
RC 34 Acora Peninsula	40	159	77.18%
RC 36 Ilave Acora	15	174	84.47%
RC 80 Conduriri	7	181	87.86%
RC 42 Checa	6	187	90.78%
RC 41 Ilave Santa Maria	4	191	92.72%
RC 07 Ilave afuera de la Set	3	194	94.17%
RC 37 Ilave Perca	3	197	95.63%
RC 39 Ilave Pilcuyo	3	200	97.09%
RC 33 Acora Platería	2	202	98.06%
RC 35 Acora Sacuyo	1	203	98.54%
RC 52 Pomata Huacullani	1	204	99.03%
RC 62 Tanka Tanka Pisacoma	1	205	99.51%
RC 66 Cutimbo Juncal	1	206	100.00%

Fuente: ELPU

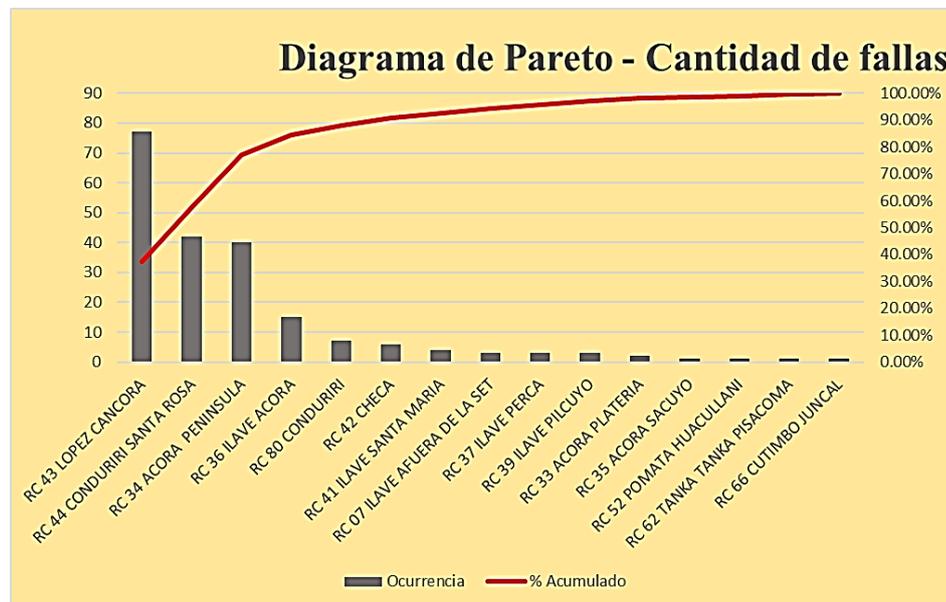


Figura 27. Cantidad de fallas

Tabla 20

Registro de fallas: Duración de la falla

Falla Funcional (FF)	Ocurrencia (tiempo horas)	Acumulado	% Acumulado
RC 43 Lopez Cancora	18.53	77	13.07%
RC 42 Checa	17.07	94	25.11%
RC 36 Ilave Acora	16.51	111	36.76%
RC 44 Conduriri Santa Rosa	13.48	124	46.27%
RC 35 Acora Sacuyo	8	132	51.91%
RC 41 Ilave Santa Maria	3.58	136	54.43%
RC 39 Ilave Pilcuyo	3.15	139	56.66%
RC 37 Ilave Perca	1.27	140	57.55%
RC 66 Cutimbo Juncal	1.05	141	58.29%
RC 80 Conduriri	0.46	142	58.62%
RC 62 Tanka Tanka Pisacoma	0.2	142	58.76%
RC 33 Acora Platería	0	142	58.76%
RC 52 Pomata Huacullani	0	142	58.76%
RC 07 Ilave afuera de la set	0	142	58.76%
RC 34 Acora Peninsula	0	142	58.76%

Fuente: ELPU

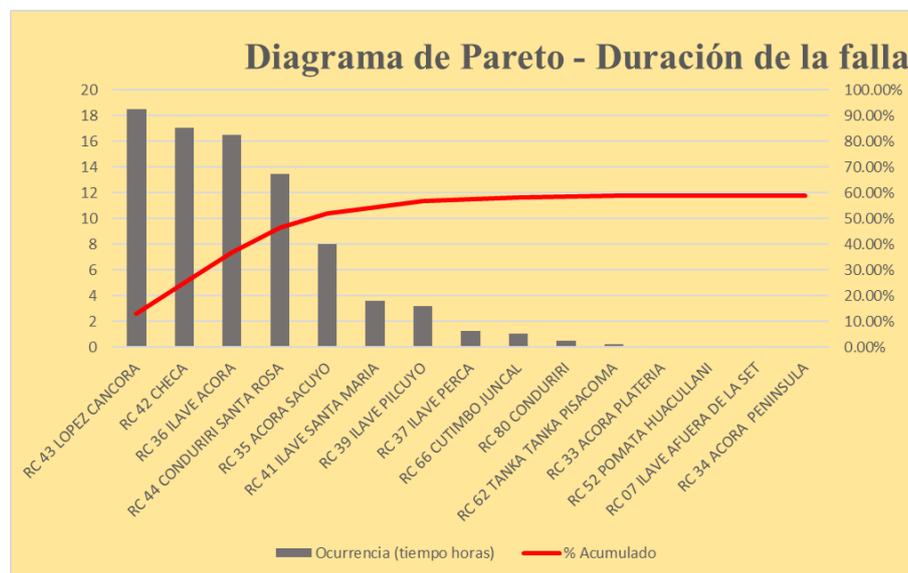


Figura 28. Duración de la falla

De acuerdo con lo planteado en el método y el análisis del registro de fallas mostrados en los diagramas, tenemos los resultados siguientes para cada sub sistema:

Para el sub sistema de estructuras tenemos el siguiente número de probabilidad de riesgo RPN detallado en la siguiente tabla.

Tabla 21

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), estructuras

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave				AMEF	AMEFC			
Sub sistema : Estructuras (Postes de CAC, madera)					Criticidad			
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	O	S	D	RPN	
1	Mantener una distancia mínima de seguridad (DMS) de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	Incapaz de Mantener la DMS de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	1	Caída de la estructura	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos. Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.			
		Estructura de menor altitud que la requerida	1	No cumple con la norma	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos.			
2	Sostener líneas eléctricas aéreas	Incapaz de sostener las redes aéreas	1	Colapso de la estructura	Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.			

Para el sub sistema de crucetas tenemos el siguiente número de probabilidad de riesgo RPN detallado en la siguiente tabla.

Tabla 22

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), crucetas

Sistema : Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave				AMEFC						
Sub sistema : Crucetas (de CAV, madera, Celosía)				AMEF						
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	EFECTO DE FALLA (Que sucede cuando se produce una falla)	Criticidad						
				O	S	D	RPN			
3	Sostener la ferretería y los aisladores	A	Incapaz de sostener la ferretería y los aisladores	1	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.	1	8	2	16
4	Separar las fases de la red eléctrica de acuerdo Distancia Media Geométrica	A	Incapaz de separar las fases de las redes aéreas	1	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.	1	4	2	8

Para el sub sistema de aisladores tenemos el siguiente numero de probabilidad de riesgo RPN detallado en la siguiente tabla.

Tabla 23

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), aisladores

Sistema: Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave			AMEF	AMEFC						
Sub sistema : Aisladores (de goma silicona, porcelana)				Criticidad						
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	O	S	D	RP N			
5	A	Aislamiento de los conductores de la red aérea de las estructuras y tierra	Incapaz de aislar los conductores de la red aérea de las estructuras y tierra	1	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.	1	8	4	32
				2	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.	2	8	3	48
				3	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	2	8	3	48
				4	Falla del aislador tipo cadena	Pandeo del conductor existe peligro de rotura del conductor	2	8	2	32
				5	Perforación por descarga atmosférica	Fugas de corriente a tierra, causa interrupción del servicio.	1	8	5	40

Para el sub sistema de conductores tenemos el siguiente numero de probabilidad de riesgo RPN detallado en la siguiente tabla.

Tabla 24

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), conductores

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave				AMEFC			
Sub sistema: Conductores (de Aluminio, Aleación de Aluminio)				AMEF			
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	Críticidad			
				O	S	D	RPN
6	A	1	Contacto entre fases , factores climáticos y externos	8	8	4	256
		2	Rotura del conductor	2	5	5	50
		3	Deslizamiento de los empalmes	2	8	5	80

Para el sub sistema de transformación tenemos el siguiente numero de probabilidad de riesgo RPN detallado en la siguiente tabla.

Tabla 25

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), transformador de distribución

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave				AMEFC			
Sub sistema : Transformador de Distribución				AMEF			
Función	Falla Funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	Críticidad			
				O	S	D	RPN
7	A	1	Baja resistencia de aislamiento	1	8	4	32
		2	Falla del sistema de refrigeración	1	5	5	25
		3	Sobrecarga	2	8	2	32

Para el sub sistema de Protección tenemos el siguiente numero de probabilidad de riesgo RPN detallado en la siguiente tabla.

Tabla 26

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), Protección

Sistema : Red de distribución primaria en 22.9 kV llave			AMEF		AMEFC					
Sub sistema : Protección del sistema eléctrico					Criticidad					
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	O	S	D	RPN			
8	Protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas	1	Mal dimensionamiento del pararrayos	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	1	8	8	64
				2	Explosión del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.	8	8	5	320
				3	Flameo del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.	8	8	5	320
9	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones	1	Mal dimensionamiento del descargador	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	1	8	2	16
				1	Discontinuidad del sistema de puesta a tierra	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	7	8	5	280
10	Protección de la red de distribución eléctrica, contra corrientes de falla.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica de corrientes de falla.	2	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.	8	8	6	384
				1	El fusibles no se funde	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	1	8	2	16
11	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobre corrientes.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica contra sobre corrientes.	1	El seccionador fusible cut aut no actúa	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	1	8	2	16

Tabla 27

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), sub sistema de distribución.

Sistema: red de distribución primaria EN 22.9 kV llave		AMEFC		AMEF		AMEFC									
Sub sistema : Estructuras (Postes de CAC, madera)		Falla funcional (perdida de la función)		Modo de falla		Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)		RPN		Críticidad		Nivel de Crit.		Plan de mantenimiento adoptado: acción a realizar	
1	Mantener una distancia mínima de seguridad (DMS) de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	A	Incapaz de mantener la DMS de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	Caída de la estructura	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos. Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.	16	Acceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.						
2	Sostener líneas eléctricas aéreas	A	Incapaz de sostener las redes aéreas	Colapso de la estructura	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos. Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.	10	Acceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.						
3	Sostener la ferretería y los aisladores	A	Incapaz de sostener la ferretería y los aisladores	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	16	Acceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.						
4	Separar las fases de la red eléctrica de acuerdo con la Distancia Media Geométrica	A	Incapaz de separar las fases de las redes aéreas	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	8	Acceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.						
5	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	Conductividad superficial (Policación) Perforación de la masa del aislador Por descarga disruptiva a través del aire.	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. La corriente fluye por perforación de la masa del aislador y hace contacto con la estructura lo que provoca la interrupción del servicio. El campo eléctrico rompe la rigidez dieléctrica del aire que provoca el arco eléctrico en la red, provoca interrupción del servicio	32	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático						
6	Transportar la energía desde la	A	Incapaz de transportar la energía desde la	Falla del aislador tipo cadena Perforación por descarga atmosférica Contacto entre fases ,factores	Pandeo del conductor existe peligro de rotura del conductor Fugas de corriente a tierra, causa interrupción del servicio. Efecto dinámico del viento, lo que provoca la interrupción del servicio.	48	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático						
						32	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático						
						48	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático						
						48	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático						
						32	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático						
						40	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático						
						256	Inaceptable	Crítico	Rediseño, realizar un nuevo estudio para						

			climáticos y externos			determinar la distancia entre estructuras y fases.
			Rotura del conductor		conductor a tierra provoca la interrupción del servicio.	Mantenimiento preventivo sistemático
			Deslizamiento de los empalmes		Interrupción de la transmisión de la energía en una, dos o tres fases.	Mantenimiento preventivo sistemático
			Baja resistencia de aislamiento		Cortocircuito, no entrega energía a los centros de consumo.	Mantenimiento preventivo sistemático
			Falla del sistema de refrigeración		Calentamiento de enrollamientos, fuera de servicio.	Mantenimiento preventivo sistemático
			Sobrecarga		Actúa el sistema de protección, fuera de servicio.	Mantenimiento preventivo sistemático
			Mal dimensionamiento del pararrayos		Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	Mantenimiento preventivo sistemático
			Explosión del pararrayos		El circuito se abre, interrupción del servicio.	Rediseño, mejorar el método de puesta a tierra o el tratamiento del pozo atierra
			Flameo del pararrayos		El circuito se abre, interrupción del servicio.	Rediseño, mejorar el método de puesta a tierra o el tratamiento del pozo atierra
			Mal dimensionamiento del descargador		Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	Acción correctiva
			Discontinuidad del sistema de puesta a tierra		Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	Rediseño, realizar el estudio de resistividad del terreno para determinar el método de tratamiento del sistema de puesta a tierra.
			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.	Rediseño, realizar el estudio de resistividad del terreno para determinar el método de tratamiento del sistema de puesta a tierra.
			El fusibles no se funde		Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
			El seccionador fusible cut aut no actúa		Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.

Tabla 28

Numero de probabilidad de riesgo (RPN), sub sistema de distribución codificado

Función	Falla Funcional (perdida de la función)	Modo de falla	RPN
1	A	1	16
	B	1	10
2	A	1	16
3	A	1	16
4	A	1	8
		1	32
		2	48
		3	48
		4	32
5	A	5	40
		1	256
		2	50
		3	80
6	A	1	32
		2	25
		3	32
7	A	1	64
		2	320
		3	320
8	A	1	16
		1	280
9	A	2	384
		1	16
10	A	1	16
		1	16

4.1.2.6 Selección de elementos críticos

Para la selección de los elementos críticos verificamos el valor de numero de probabilidad de riesgo RPN y lo comparamos con los valores de la tabla para poder decidir el nivel de criticidad del elemento.

Tabla 29

Parámetros AMEFC (Criticidad).

Criticidad (C)		Riesgo o Peligro
Nivel de criticidad	Valor	
Bajo	0-30	Aceptable
Medio	31-60	Tolerable
Alto	61-180	
Muy alto	181-252	
Critico	253-324	Inaceptable
Muy Critico	>324	

Fuente: (Yssaad *et al.*, 2014)

Para el sub sistema de estructuras tenemos el nivel de criticidad detallado en la siguiente tabla.

Tabla 30

Nivel de criticidad, estructuras

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave				AMEF	AMEFC				
Sub sistema : Estructuras (Postes de CAC, madera)					RPN	Criticidad			
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	RPN		Riesgo	Nivel de Criticidad		
1	Mantener una distancia mínima de seguridad (DMS) de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	A	Incapaz de Mantener la DMS de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	1	Caída de la estructura	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos. Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.	16	Alto	Bajo
		B	Estructura de menor altitud que la requerida	1	No cumple con la norma	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos.	10	Alto	Bajo
2	Sostener líneas eléctricas aéreas	A	Incapaz de sostener las redes aéreas	1	Colapso de la estructura	Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.	16	Alto	Bajo

Para el sub sistema de crucetas tenemos el nivel de criticidad detallado en la siguiente tabla.

Tabla 31

Nivel de criticidad, crucetas

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave		AMEF		AMEFC		
Sub sistema : Crucetas (de CAV, madera, Celosía)				Criticidad		
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	RPN	Nivel de Crit.	
3	Sostener la ferretería y los aisladores	Incapaz de sostener la ferretería y los aisladores	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	16	Bajo
4	Separar las fases de la red eléctrica de acuerdo Distancia Media Geométrica	Incapaz de separar las fases de las redes aéreas	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	8	Bajo

Para el sub sistema de aisladores tenemos el nivel de criticidad detallado en la siguiente tabla.

Tabla 32

Nivel de criticidad, aisladores

Sistema: Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave		AMEF		AMEFC		
Sub sistema : Aisladores (de goma silicona, porcelana)				Criticidad		
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	RP N	Riesgo	Nivel de Criticidad
5	A	1	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.	32	Medio
		2	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.	48	Medio
		3	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	48	Medio
		4	Falla del aislador tipo cadena	Pandeo del conductor existe peligro de rotura del conductor	32	Medio
		5	Perforación por descarga atmosférica	Fugas de corriente a tierra, causa interrupción del servicio.	40	Medio

Para el sub sistema de conductores tenemos el nivel de criticidad detallado en la siguiente tabla.

Tabla 33

Nivel de criticidad, conductores

Sistema: Red de distribución primaria EN 22.9 kV Ilave		AMEF			AMEFC		
Sub sistema : Conductores (de Aluminio, Aleación de aluminio)					Criticidad		
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	RPN	Riesgo	Nivel de Crit	
6	A	1	Contacto entre fases , factores climáticos y externos	Efecto dinámico del viento, lo que provoca la interrupción del servicio.	256	Inaceptable	Critico
		2	Rotura del conductor	conductor a tierra provoca la interrupción del servicio.	50	Tolerable	Medio
		3	Deslizamiento de los empalmes	Interrupción de la transmisión de la energía en una, dos o tres fases.	80	Tolerable	Alto

Para el sub sistema de transformador de distribución tenemos el nivel de criticidad detallado en la siguiente tabla.

Tabla 34

Nivel de criticidad, transformador de distribución

Sistema : Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave		AMEF			AMEFC		
Sub sistema : Transformador de Distribución					Criticidad		
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla	RPN	Riesgo	Nivel de Crit.	
7	A	1	Baja resistencia de aislamiento	Cortocircuito, no entrega energía a los centros de consumo.	32	Tolerable	Medio
		2	Falla del sistema de refrigeración	Calentamiento de enrollamientos, fuera de servicio.	25	Tolerable	Medio
		3	Sobrecarga	Actúa el sistema de protección, fuera de servicio.	32	Tolerable	Medio

Para el sub sistema de protección de distribución tenemos el nivel de criticidad detallado en la siguiente tabla.

Tabla 35

Nivel de criticidad, transformador de protección

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV ILAVE				AMEFC			
Sub sistema: Protección del sistema eléctrico				AMEF			
Función	Falla Funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	Criticidad			
				RP N	Riesgo	Nive l de Crit.	
8	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas.	Mal dimensionamiento del pararrayos	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	64	Tolerable	Alto
			Explosión del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.	320	Inaceptable	Crítico
			Flameo del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.	320	Inaceptable	Crítico
9	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.	Mal dimensionamiento del descargador	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	16	Aceptable	Bajo
			Discontinuidad del sistema de puesta a tierra	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	280	Inaceptable	Crítico
10	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica de corrientes de falla.	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.	384	Inaceptable	Crítico
			El fusibles no se funde	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	16	Aceptable	Bajo
11	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica contra sobre corrientes.	El seccionador fusible cut aut no actúa	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	16	Aceptable	Bajo

En la siguiente tabla tenemos el resumen del estudio de criticidad de los sub sistemas componentes de la Red de Distribución Ilave, de acuerdo al análisis realizado.

Tabla 36

Nivel de criticidad, Sistema de distribución Ilave

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV Ilave		AMEF		AMEFC	
Sub sistema : Red de distribución primaria Ilave		MODO DE FALLA	RPN	Riesgo	Nivel de Criticidad
Función	Falla funcional (perdida de la función)				
1	A	1	16	Aceptable	Bajo
	B	1	10	Aceptable	Bajo
2	A	1	16	Aceptable	Bajo
3	A	1	16	Aceptable	Bajo
4	A	1	8	Aceptable	Bajo
		1	32	Tolerable	Medio
5	A	2	48	Tolerable	Medio
		3	48	Tolerable	Medio
		4	32	Tolerable	Medio
		5	40	Tolerable	Medio
6	A	1	256	Inaceptable	Crítico
		2	50	Tolerable	Medio
		3	80	Tolerable	Alto
7	A	1	32	Tolerable	Medio
		2	25	Tolerable	Medio
		3	32	Tolerable	Medio
8	A	1	64	Tolerable	Alto
		2	320	Inaceptable	Crítico
9	A	3	320	Inaceptable	Crítico
		1	16	Aceptable	Bajo
10	A	1	280	Inaceptable	Crítico
		2	384	Inaceptable	Crítico
11	A	1	16	Aceptable	Bajo
		1	16	Aceptable	Bajo

4.1.3 Selección de acciones de mantenimiento.

Los elementos críticos mostrados en la tabla 38, son los elementos sobre los que hay que actuar principalmente emprendiendo en acciones de mantenimiento, correctivas, preventivas, de mejora o incluso de sustitución. A raíz del estudio realizado en el sistema de distribución eléctrica Ilave, es necesario realizar acciones de mantenimiento preventivo, especialmente en las distancias entre conductores y el sistema de protección. Por encima del valor de 120 para la criticidad, debemos pensar en una revisión completa del diseño. Para ello se recomienda realizar un estudio completo de la ingeniería de detalle de las redes de distribución eléctricas en los lugares donde se presenta la mayor cantidad de interrupciones de energía los que son detallados en los diagramas de Pareto detallados.

Tabla 37

Parámetros AMEFC (Criticidad)

Plan de Mantenimiento basado en la criticidad		
Elemento	Criticidad (C)	Acción de mantenimiento
	0-24	Acción correctiva
	25 - 180	Mejorar el rendimiento de los elementos. Mantenimiento preventivo sistemático
	181-324	Revisión del diseño completo (Rediseño)
	>324	

Fuente: (Yssaad *et al.*, 2014)

Para el sub sistema de estructuras tenemos las acciones de mantenimiento los que son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 38

Acciones de mantenimiento, estructuras

SISTEMA: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave		AMEF		AMEFC		Plan de mantenimiento adoptado: acción a realizar				
Sub sistema: Estructuras (Postes de CAC, madera)				Criticidad						
Función	Falla Funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	R P N	Riesgo	Nivel de Crit.				
1	Mantener una distancia mínima de seguridad (DMS) de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	A	Incapaz de Mantener la DMS de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Electricidad	1	Caída de la estructura	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos. Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.	16	Aceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
		B	Estructura de menor altitud que la requerida	1	No cumple con la norma	Las redes aéreas se acercan al suelo lo que ocasiona que no cumpla con las distancias mínimas de seguridad y se ponga en riesgo a las personas, animales o equipos.	10	Aceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
2	Sostener líneas eléctricas aéreas	A	Incapaz de sostener las redes aéreas	1	Colapso de la estructura	Los conductores tocan tierra lo que provoca la interrupción del servicio.	16	Aceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.

Para el sub sistema de crucetas tenemos las acciones de mantenimiento los que son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 39

Acciones de mantenimiento, crucetas.

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave				AMEFC		Plan de mantenimiento adoptado: acción a realizar		
Sub sistema : Crucetas (de CAV, madera, Celosía)			AMEF	Criticidad				
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	RPN	Nivel de Crit.			
3	Sostener la ferretería y los aisladores	Incapaz de sostener la ferretería y los aisladores	1	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	16	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
4	Separar las fases de la red eléctrica de acuerdo Distancia Media Geométrica	Incapaz de separar las fases de las redes aéreas	1	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	8	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.

Para el sub sistema de aisladores tenemos las acciones de mantenimiento los que son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 40

Acciones de mantenimiento, aisladores.

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave SUB SISTEMA : Aisladores (de goma silicona, porcelana)			AMEF	AMEFC			Plan de mantenimiento adoptado: acción a realizar	
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla		RP N	Riesgo	Nivel de Crit.		
5	Aislar los conductores de la red aérea de las estructuras y tierra	A	1	Conductividad superficial (Polución)	32	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático
			2	Perforación de la masa del aislador	48	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático
			3	Por descarga disruptiva a través del aire.	48	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático
			4	Falla del aislador tipo cadena	32	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático
			5	Perforación por descarga atmosférica	40	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático

Para el sub sistema de conductores tenemos las acciones de mantenimiento los que son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 41

Acciones de mantenimiento, conductores.

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave		AMEF		AMEFC			
Sub sistema : Conductores (de Aluminio, Aleación de Aluminio)				Críticidad			
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	RP N	Riesgo	Nivel de Críticidad	Plan de mantenimiento adoptado: acción a realizar
6	A	1	Contacto entre fases, factores climáticos y externos	256	Inaceptable	Crítico	Rediseño, realizar un nuevo estudio para determinar la distancia entre estructuras y fases.
		2	Rotura del conductor	50	Tolerable	Medio	Mantenimiento preventivo o sistemático
		3	Deslizamiento de los empalmes	80	Tolerable	Alto	Mantenimiento preventivo o sistemático

Para el sub sistema de transformador de distribución tenemos las acciones de mantenimiento los que son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 42

Acciones de mantenimiento, transformador de distribución

Sistema: Red de distribución primaria en 22.9 kV llave		AMEFC					
Sub sistema : Transformador de Distribución		AMEF		Criticidad			
Función	Falla funcional (perdida de la función)	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	R P N R i e s g o	Nivel de Criticidad	Plan de manteni miento adoptado : acción a realizar	
7	A	1	Baja resistencia de aislamiento	Cortocircuito, no entrega energía a los centros de consumo	32	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático
		2	Falla del sistema de refrigeración	Calentamiento de enrollamientos, fuera de servicio.	25	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático
		3	Sobrecarga	Actúa el sistema de protección, fuera de servicio.	32	Medio	Mantenimiento preventivo sistemático

Para el sub sistema de protección tenemos las acciones de mantenimiento los que son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 43

Acciones de mantenimiento, protección.

Sistema : Red de distribución primaria en 22.9 kV llave				AMEF		AMEFC				
Sub sistema : Protección del sistema eléctrico				AMEF		Críticidad		Plan de mantenimiento adoptado: acción a realizar		
Función	Falla funcional de la función)	(perdida	Modo de falla	Efecto de falla (Que sucede cuando se produce una falla)	RPN	Riesgo	Nivel de Críticidad			
8	Protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra descargas atmosféricas	1	Mal dimensionamiento del pararrayos	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	64	Tolerable	Alto	Mantenimiento preventivo sistemático
				2	Explosión del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.	320	Inaceptable	Crítico	Rediseño, mejorar el método de puesta a tierra o el tratamiento del pozo atierra
				3	Flameo del pararrayos	El circuito se abre, interrupción del servicio.	320	Inaceptable	Crítico	Rediseño, mejorar el método de puesta a tierra o el tratamiento del pozo atierra
9	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica, contra sobretensiones.	1	Mal dimensionamiento del descargador	Sistema no protegido contra descargas atmosféricas.	16	Aceptable	Bajo	Acción correctiva
10	Protección de la red de distribución eléctrica, contra corrientes de falla.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica de corrientes de falla.	1	Discontinuidad del sistema de puesta a tierra	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	280	Inaceptable	Crítico	Rediseño, realizar el estudio de resistividad del terreno para determinar el método de tratamiento del sistema de puesta a tierra.
				2	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.	384	Inaceptable	Crítico	Rediseño, realizar el estudio de resistividad del terreno para determinar el método de tratamiento del sistema de puesta a tierra.
11	Protección de la red de distribución eléctrica, contra sobre corrientes.	A	Incapaz de la protección de la red de distribución eléctrica contra sobre corrientes.	1	El fusibles no se funde	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	16	Aceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.
				1	El seccionador fusible cut aut no actúa	Ante la presencia de corrientes de falla o descargas atmosféricas el sistema no funciona, sale de servicio.	16	Aceptable	Bajo	Acción correctiva: La falla es mínima o inexistente.

4.2 Discusión de resultados

Nemato *et al.* (2019), utiliza el modelo de riesgo proporcional paramétrico de Weibull (PHM) para estimar la tasa de fallo de cada cable individual en función de su edad y de un conjunto de factores explicativos. La información necesaria para el método propuesto se obtiene explotando los datos históricos disponibles sobre el inventario de cables y los fallos. Este método, basado en datos, no requiere mediciones adicionales en los cables y permite clasificarlos para las acciones de mantenimiento y reparación. Además, los resultados del análisis de fiabilidad de los cables eléctricos se comparan cuando los cables se consideran como componentes reparables o no reparables. El método propuesto se utiliza para evaluar la tasa de fallos de cada uno de los cables subterráneos con cubierta aislante de papel (PILC) en una red de distribución del sur de Suecia”.

Piasson *et al.* (2016), propone un modelo multiobjetivo para resolver el problema matemático de optimizar la planificación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica (EPDS). El objetivo principal es minimizar los costos de mantenimiento preventivo al tiempo que maximiza el índice de confiabilidad de todo el sistema. En el modelo propuesto, los límites de los índices, como SAIDI y SAIFI, se consideran restricciones de los programas de mantenimiento. Se evalúan y actualizan los índices de fiabilidad de los componentes EPDS por un sistema de inferencia difuso. Se propuso un algoritmo NSGA-II para resolver el modelo multiobjetivo que proporciona una frontera de Pareto optimizada. Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta a Se presenta un sistema con tres alimentadores y 733 componentes, mostrando su robustez y calidad para planificación de mantenimiento en EPDS”.



CONCLUSIONES

- De acuerdo al primer objetivo planteado se ha realizado el análisis de modos de efectos de fallos y se ha realizado el estudio de criticidad de los diferentes sub sistemas de la red de distribución primaria en 22. 9 kV llave, teniendo como resultado que existe dos sub sistemas críticos que son el sistema de protección contra sobrecorriente y descargas atmosféricas, es decir el sistema de puesta a tierra que de acuerdo a el método planteado requiere de un nuevo estudio para establecer valores de la resistencia que puedan garantizar el correcto funcionamiento; el otro elemento crítico de acuerdo al análisis es la distancia entre las fases que con la presencia de vientos provoca que se produzca la falla ocasionando la interrupción del sistema.
- Se ha realizado la propuesta respectiva del plan de mantenimiento de la red de distribución primaria los que están detallados según cada sub sistema analizado esta propuesta de mantenimiento se refiere a mantenimientos correctivos, mantenimientos preventivos cíclicos, y rediseño para los sub sistemas más críticos.



RECOMENDACIONES

- A los egresados de la Escuela de posgrado de la UNA Puno, continuar con la investigación referida al mantenimiento centrado en la confiabilidad, incluyendo los aspectos del análisis de costos y los periodos de mantenimiento.
- A la empresa de servicios eléctricos Electro Puno S.A.A. tener en cuenta la propuesta planteada en la presente investigación para poder mejorar la confiabilidad y calidad del servicio que se presta a la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A. (2016). Reciclado de materiales de construcción. *Boletín CF+S*, 0(2), 12.
- Ayo-Imoru, R. M., & Cilliers, A. C. (2018). A survey of the state of condition-based maintenance (CBM) in the nuclear power industry. *Annals of Nuclear Energy*, 112, 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.10.010>
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (1a ed.). London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0>
- Bloch, H. P. (2017). Root Cause Failure Analysis. *Petrochemical Machinery Insights*, 561–571. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809272-9.00035-9>
- Campos, M. A. L., Fumagalli, L., Fernández, J. F. G., Márquez, A. C., & MacChi, M. (2010). UML model for integration between RCM and CBM in an e-Maintenance architecture. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 1(PART 1), 110–115. <https://doi.org/10.3182/20100701-2-pt-4012.00020>
- Chowdhury, A. (2009). *Power Distribution System Reliability Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications* (2a ed.; I. Institute of Electrical and Electronics Engineers & Published, Eds.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Cotaina, N., Gabriel, M., Richet, D., & O'Reilly, K. (1998). The Practical Application of Reliability Centred Maintenance (RCM) and System Simulation in the Sawmill Industry. *IFAC Proceedings Volumes*, 31(15), 981–985. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)40679-3](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)40679-3)
- Cullum, J., Binns, J., Lonsdale, M., Abbassi, R., & Garaniya, V. (2018). Risk-Based Maintenance Scheduling with application to naval vessels and ships. *Ocean*



- Engineering*, 148(October 2017), 476–485.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.044>
- El-Hawary, M. (2008). *Introduction to Electrical Power Systems* (2a ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Florian, M., & Sørensen, J. D. (2015). Planning of operation & maintenance using risk and reliability based methods. En *Energy Procedia* (Vol. 80). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.440>
- Florian, M., & Sørensen, J. D. (2017). Risk-based planning of operation and maintenance for offshore wind farms. *Energy Procedia*, 137, 261–272.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.349>
- Gulati, R. (2009). *Maintenance and Best Practices Reliability* (1a ed.). New York: Industrial Press, Inc.
- Gutiérrez, A. M. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (2a ed.). Medellín: Fuentes Litográficas Limitada.
- Hernández, S. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Juárez, J. (2002). *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica* (1a ed., Vol. 52). México D.F.: Sans Serif Editores.
- Klasifikasi, B. (2012). *Guidance for survey based on reliability-centered maintenance* (1a ed.). Indonesia: BKI. Recuperado de https://www.academia.edu/36195221/GUIDELINES_FOR_THE_CLASSIFICATION_AND_CONSTRUCTION_PART_5_OFFSHORE_TECHNOLOGY_VOLUME_3_GUIDELINES_FOR_FLOATING_PRODUCTION_INSTALLATIONS_2



013_EDITION_BIRO_KLASIFIKASI_INDONESIA

- Larrucea, X., Belmonte, F., Welc, A., & Xie, T. (2017). Reliability Engineering. *IEEE Software*, 34(4), 26–29. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.89>
- Longatt, F. M. G. (2007). Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas. *II Seminario en Seguridad y Riesgos Eléctricos en la Industria*, 5546954, 1–9. Puerto Ordaz.
- López, M. A., Crespo, A., & Gómez, J. F. (2013). Modelling using UML and BPMN the integration of open reliability, maintenance and condition monitoring management systems: An application in an electric transformer system. *Computers in Industry*, 64(5), 524–542. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.02.010>
- M. Nemati, H., Sant'Anna, A., Nowaczyk, S., Jürgensen, J. H., & Hilber, P. (2019). Reliability evaluation of power cables considering the restoration characteristic. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 105(May 2018), 622–631. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.08.047>
- 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). *Código nacional de (suministro 2011) electricidad*. Lima: MEM.
- Mkandawire, B. O. B., Ijumba, N., & Saha, A. (2015). Transformer risk modelling by stochastic augmentation of reliability-centred maintenance. *Electric Power Systems Research*, 119, 471–477. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.11.005>
- Mobley, R. K., & Wikoff, D. J. (2008). *Maintenance Engineering Handbook* (7a ed.).



- New York: Mc Graw Hill Interamericana Editores S.A.
- Moinuddin, K. A. M., Innocent, J., & Keshavarz, K. (2019). Reliability of sprinkler system in Australian shopping centres –A fault tree analysis. *Fire Safety Journal*, 105(February), 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.03.006>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. (2a ed.). New York: Industrial Press Inc.
- Navarro, I. J., Martí, J. V., & Yepes, V. (2019). Reliability-based maintenance optimization of corrosion preventive designs under a life cycle perspective. *Environmental Impact Assessment Review*, 74(September 2018), 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.10.001>
- Osarenren, J. (2015). *Integrated Reliability* (1a ed.). London: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18127>
- Pansini, A. (2007). *Electrical Distribution Engineering* (3a ed.). New York: The Fairmont Press, Inc.
- Pansini, A. (2014). Summary for Policymakers. En *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Vol. I* (6a ed., pp. 1–30). United States of America: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Patrick, D. R., & Stephen, W. F. (2009). *Electrical distribution systems* (2a ed.). Indian: The Fairmont Press, Inc.
- Piasson, D., Bísvaro, A. A. P., Leão, F. B., & Mantovani, J. R. (2016). A new approach for reliability-centered maintenance programs in electric power distribution systems based on a multiobjective genetic algorithm. *Electric Power Systems Research*, 137,



41–50. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.03.040>

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>

Pujadas, W., & Chen, F. F. (1996). A reliability centered maintenance strategy for a discrete part manufacturing facility. *Computers and Industrial Engineering*, 31(1–2), 241–244. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00121-0](https://doi.org/10.1016/0360-8352(96)00121-0)

Rahimdel, M. J., Ataei, M., Khalokakaei, R., & Hoseinie, S. H. (2013). Reliability-based maintenance scheduling of hydraulic system of rotary drilling machines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(5), 771–775. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2013.08.023>

Rodrigo, P. (2005). *El arte de mantener*. Santiago: Universidad de Chile. Recuperado de https://www.ucursos.cl/ingenieria/2005/2/ME57A/1/material_docente/bajar?id=77092

Sainz, J. A., & Sebastián, M. A. (2013). Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on Facilities of Low Accessibility. *Procedia Engineering*, 63, 852–860. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.279>

Selvik, J. T., & Aven, T. (2011). A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.08.001>

Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., & Zou, Z. (2017). A framework for identification of

- maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy*, *118*, 1295–1303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>
- Tavares, L. A. (1996). *Administracion Moderna De Mantenimiento*. Sao Paulo: Novo Polo Publicaciones.
- 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.ress.2011.06.015>
- Villarini, M., Cesarotti, V., Alfonsi, L., & Introna, V. (2017). Optimization of photovoltaic maintenance plan by means of a FMEA approach based on real data. *Energy Conversion and Management*, *152*(May), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.090>
- Vishnu, C. R., & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology*, *25*(Raerest), 1080–1087. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211>
- Wang, Y., Liu, Y., Chen, J., & Li, X. (2020). Reliability and condition-based maintenance modeling for systems operating under performance-based contracting. *Computers and Industrial Engineering*, *142*, 106344. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106344>
- Xu, Y., Han, X., Yang, M., Wang, M., Zhu, X., & Zhang, Y. (2020). Condition-based midterm maintenance scheduling with rescheduling strategy. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *118*(December 2019), 105796. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105796>
- 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>

Zhou, X., Xi, L., & Lee, J. (2007). Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. *Reliability Engineering and System Safety*, 92(4), 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2006.01.006>



ANEXOS

Anexo 1. Registro de fallas

RECLOSER	HORA INICIO	HORA FIN	DURACION	SEÑALIZACION	MOTIVO DE INTERRUPCION
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:15	13:23	00:08	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:29	13:58	00:29	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:04	14:10	00:06	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:37	17:38	03:01	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES VIENTOS
RC 34 ACORA PENINSULA	12:17	12:23	00:06	FALLA FASE RST A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:31	15:57	00:26	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	18:37	18:40	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	18:44	19:46	01:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:08	17:03	00:55	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:00	18:09	00:09	FALLA FASE RST A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:11	13:30	00:19	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	17:05	17:07	00:02	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	12:53	16:26	03:33	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:11	13:19	00:08	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:27	16:59	03:32	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:11	16:18	00:07	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	11:58	15:42	03:44	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	21:13	21:17	00:04	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:27	16:31	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	09:45	09:49	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 36 ILAVE ACORA	18:30	18:44	00:14	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:21	17:33	00:12	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:02	18:06	00:04	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	11:54	12:32	00:38	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	11:10	11:12	00:02	FALLA FASE RT A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:19	14:20	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 37 ILAVE PERCA	05:25	11:47	06:22	FALLA FASE S A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:42	13:48	00:06	FALLA FASE ST A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:08	17:10	00:02	FALLA FASE S A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:20	16:27	00:07	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 42 CHECA	05:53	10:44	04:51	APERTURA GENERAL	CORTE PARA AISLAR FALLA
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:38	17:41	00:03	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:46	18:51	00:05	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	19:04	24:00	04:56	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 42 CHECA	08:18	10:18	02:00	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA CAMBIO DE SECCIONADOR
RC 43 LOPEZ CANCORA	00:00	10:44	10:44	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 42 CHECA	08:41	08:45	00:04	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANIOBRAS
RC 33 ACORA PLATERIA	11:08	11:18	00:10	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANIOBRAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:39	16:08	00:29	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:32	17:41	01:09	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	07:25	07:30	00:05	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:37	18:02	00:25	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:19	13:24	00:05	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	22:57	22:59	00:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	23:04	23:07	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	19:07	19:10	00:03	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 86 CUTIMBO JUNCAL	08:06	09:11	01:05	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	21:01	21:03	00:02	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	21:04	21:13	00:09	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:51	16:02	00:11	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	12:16	12:17	00:01	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	10:27	10:52	00:25	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:16	16:24	00:08	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:57	17:35	00:38	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	18:08	19:11	01:03	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	18:17	18:53	00:36	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:45	13:54	00:09	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:43	16:06	00:23	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	12/03/2019 18:08	13/03/2019 10:25	16:17	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	10:41	13:01	02:20	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	12:47	13:04	00:17	FALLA EN NEUTRO	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 80 CONDURIRI	12:47	13:05	00:18	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	14:03	14:31	00:28	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	14/03/2019 19:57	15/03/2019 13:22	17:25	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:02	15:15	00:13	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:38	15:41	00:03	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:01	16:07	00:06	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 41 ILAVE SANTA MARIA	17:44	18:57	01:13	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	09:59	15:04	05:05	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 62 TANKA TANKA PISACOMA	13:15	13:35	00:20	FALLA FASE R Y T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:16	14:24	00:08	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 52 POMATA HUACULLANI	11:50	12:37	00:47	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:38	13:47	00:09	FALLA A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:38	17:12	00:34	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:57	14:49	00:52	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:38	16:50	00:12	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	17:58	17:59	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 42 CHECA	17:01	17:05	00:04	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	08:59	13:29	04:30	CORTE DE EMERGENCIA	REPARACION DE CONDUCTOR DESHEBRADO
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:23	14:24	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:05	16:08	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13/04/2019 19:27	14/04/2019 09:25	13:58	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	06:29	06:38	00:09	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:23	17:36	00:13	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 07 ILAVE AFUERA DE LA SET	04:06	04:07	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	13:16	13:19	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	13:14	13:57	00:43	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	16:50	19:46	02:56	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	19:47	19:51	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA



RECLOSER	HORA INICIO	HORA FIN	DURACION	SEÑALIZACION	MOTIVO DE INTERRUPCION
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:15	13:23	00:08	FALLA FASE S ATierra	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:29	13:58	00:29	FALLA FASE S ATierra	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:04	14:10	00:06	FALLA FASE S ATierra	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:37	17:38	03:01	FALLA FASE R ATierra	FUERTES VIENTOS
RC 34 ACORA PENINSULA	12:17	12:23	00:06	FALLA FASE RST A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:31	15:57	00:26	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	18:37	18:40	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	18:44	19:46	01:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:08	17:03	00:55	FALLA FASE R ATierra	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:00	18:09	00:09	FALLA FASE RST A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:11	13:30	00:19	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	17:05	17:07	00:02	FALLA FASE S ATierra	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	12:53	16:26	03:33	FALLA FASE T ATierra	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:11	13:19	00:08	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:27	16:59	03:32	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:11	16:18	00:07	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	11:58	15:42	03:44	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	21:13	21:17	00:04	FALLA FASE R ATierra	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:27	16:31	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	09:45	09:49	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 36 ILAVE ACORA	18:30	18:44	00:14	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:21	17:33	00:12	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:02	18:06	00:04	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	11:54	12:32	00:38	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	11:10	11:12	00:02	FALLA FASE RT A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:19	14:20	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 37 ILAVE PERCA	05:25	11:47	06:22	FALLA FASE S A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:42	13:48	00:06	FALLA FASE ST A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:08	17:10	00:02	FALLA FASE S A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:20	16:27	00:07	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 42 CHECA	05:53	10:44	04:51	APERTURA GENERAL	CORTE PARA AISLAR FALLA
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:38	17:41	00:03	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:46	18:51	00:05	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	19:04	24:00	04:56	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 42 CHECA	08:18	10:18	02:00	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA CAMBIO DE SECCIONADOR
RC 43 LOPEZ CANCORA	00:00	10:44	10:44	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 42 CHECA	08:41	08:45	00:04	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANIOBRAS
RC 33 ACORA PLATERIA	11:08	11:18	00:10	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANIOBRAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:39	16:08	00:29	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:32	17:41	01:09	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	07:25	07:30	00:05	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:37	18:02	00:25	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:19	13:24	00:05	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	22:57	22:59	00:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	23:04	23:07	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	19:07	19:10	00:03	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 66 CUTIMBO JUNCAL	08:06	09:11	01:05	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	21:01	21:03	00:02	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	21:04	21:13	00:09	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:51	16:02	00:11	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	12:16	12:17	00:01	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	10:27	10:52	00:25	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:16	16:24	00:08	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:57	17:35	00:38	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	18:08	19:11	01:03	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	18:17	18:53	00:36	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:45	13:54	00:09	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:43	16:06	00:23	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	12/03/2019 18:08	13/03/2019 10:25	16:17	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	10:41	13:01	02:20	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	12:47	13:04	00:17	FALLA EN NEUTRO	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 80 CONDURIRI	12:47	13:05	00:18	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	14:03	14:31	00:28	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	14/03/2019 19:57	15/03/2019 13:22	17:25	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:02	15:15	00:13	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:38	15:41	00:03	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:01	16:07	00:06	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 41 ILAVE SANTA MARIA	17:44	18:57	01:13	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	09:59	15:04	05:05	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 62 TANKA TANKA PISACOMA	13:15	13:35	00:20	FALLA FASE R Y T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:16	14:24	00:08	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 52 POMATA HUJULLANI	11:50	12:37	00:47	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:38	13:47	00:09	FALLA A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:38	17:12	00:34	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:57	14:49	00:52	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:38	16:50	00:12	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	17:58	17:59	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 42 CHECA	17:01	17:05	00:04	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	08:59	13:29	04:30	CORTE DE EMERGENCIA	REPARACION DE CONDUCTOR DESHEBRADO
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:23	14:24	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:05	16:08	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13/04/2019 19:27	14/04/2019 09:25	13:58	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	06:29	06:38	00:09	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:23	17:36	00:13	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 07 ILAVE AFUERA DE LA SET	04:06	04:07	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	13:16	13:19	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	13:14	13:57	00:43	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	16:50	19:46	02:56	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	19:47	19:51	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:39	13:59	00:20	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 42 CHECA	16:43	17:14	00:31	CORTE DE EMERGENCIA PARA REPARAR FALLA	CORTE DE EMERGENCIA PARA REPARAR FALLA
RC 34 ACORA PENINSULA	14:30	14:32	00:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	01:16	01:46	00:30	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 80 CONDURIRI	23:31	23:51	00:20	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	14:24	17:16	02:52	FALLA FASE T A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	14:10	15:23	01:13	FALLA FASE T A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:36	15:20	00:44	FALLA FASE T A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	15:33	15:52	00:19	TRIP DISPARO GENERAL	VIENTOS POR LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	14:26	14:56	00:30	FALLA FASE T A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	15:36	16:17	00:41	FALLA FASE T A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	20:31	20:41	00:10	FALLA FASE R A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	21:41	22:36	00:55	FALLA FASE T A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 07 ILAVE AFUERA DE LA SET	16:47	16:48	00:01	FALLA FASE T A TIERRA	VIENTOS POR LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:50	17:51	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	VIENTOS POR LA ZONA
RC 80 CONDURIRI	17:50	17:56	00:06	TRIP DISPARO GENERAL	VIENTOS POR LA ZONA

RECLOSER	HORA INICIO	HORA FIN	DURACION	SEÑALIZACION	MOTIVO DE INTERRUPCION
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:15	13:23	00:08	FALLA FASE S ATIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:29	13:58	00:29	FALLA FASE S ATIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:04	14:10	00:06	FALLA FASE S ATIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:37	17:38	03:01	FALLA FASE R ATIERRA	FUERTES VIENTOS
RC 34 ACORA PENINSULA	12:17	12:23	00:06	FALLA FASE RST A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:31	15:57	00:26	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	18:37	18:40	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	18:44	19:46	01:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:08	17:03	00:55	FALLA FASE R ATIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:00	18:09	00:09	FALLA FASE RST A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:11	13:30	00:19	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	17:05	17:07	00:02	FALLA FASE S ATIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	12:53	16:26	03:33	FALLA FASE T ATIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:11	13:19	00:08	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:27	16:59	03:32	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:11	16:18	00:07	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES VIENTOS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	11:58	15:42	03:44	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	21:13	21:17	00:04	FALLA FASE R ATIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:27	16:31	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	09:45	09:49	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 36 ILAVE ACORA	18:30	18:44	00:14	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:21	17:33	00:12	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:02	18:06	00:04	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	11:54	12:32	00:38	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 34 ACORA PENINSULA	11:10	11:12	00:02	FALLA FASE RT A TIERRA	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:19	14:20	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 37 ILAVE PERCA	05:25	11:47	06:22	FALLA FASE S A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:42	13:48	00:06	FALLA FASE ST A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:08	17:10	00:02	FALLA FASE S A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:20	16:27	00:07	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 42 CHECA	05:53	10:44	04:51	APERTURA GENERAL	CORTE PARA AISLAR FALLA
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:38	17:41	00:03	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	18:46	18:51	00:05	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	19:04	24:00	04:56	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 42 CHECA	08:18	10:18	02:00	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA CAMBIO DE SECCIONADOR
RC 43 LOPEZ CANCORA	00:00	10:44	10:44	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 42 CHECA	08:41	08:45	00:04	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANIOBRAS
RC 33 ACORA PLATERIA	11:08	11:18	00:10	APERTURA GENERAL	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANIOBRAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:39	16:08	00:29	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:32	17:41	01:09	FALLA FASE R A TIERRA	FUERTES LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	07:25	07:30	00:05	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:37	18:02	00:25	TRIP DISPARO GENERAL	FUERTES LLUVIAS
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:19	13:24	00:05	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS
RC 34 ACORA PENINSULA	22:57	22:59	00:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	23:04	23:07	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	19:07	19:10	00:03	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 66 CUTIMBO JUNCAL	08:06	09:11	01:05	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	21:01	21:03	00:02	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	21:04	21:13	00:09	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:51	16:02	00:11	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	12:16	12:17	00:01	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	10:27	10:52	00:25	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:16	16:24	00:08	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:57	17:35	00:38	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	18:08	19:11	01:03	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	18:17	18:53	00:36	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:45	13:54	00:09	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:43	16:06	00:23	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	12/03/2019 18:08	13/03/2019 10:25	16:17	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	10:41	13:01	02:20	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	12:47	13:04	00:17	FALLA EN NEUTRO	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 80 CONDURIRI	12:47	13:05	00:18	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	14:03	14:31	00:28	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	14/03/2019 19:57	15/03/2019 13:22	17:25	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:02	15:15	00:13	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	15:38	15:41	00:03	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	16:01	16:07	00:06	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 41 ILAVE SANTA MARIA	17:44	18:57	01:13	FALLA FASE R A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	09:59	15:04	05:05	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 62 TANKA TANKA PISACOMA	13:15	13:35	00:20	FALLA FASE R Y T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:16	14:24	00:08	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 52 POMATA HUACULLANI	11:50	12:37	00:47	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:38	13:47	00:09	FALLA A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:38	17:12	00:34	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13:57	14:49	00:52	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	16:38	16:50	00:12	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	17:58	17:59	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 42 CHECA	17:01	17:05	00:04	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	08:59	13:29	04:30	CORTE DE EMERGENCIA	REPARACION DE CONDUCTOR DESHEBRADO
RC 43 LOPEZ CANCORA	14:23	14:24	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	16:05	16:08	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 44 CONDURIRI SANTA ROSA	13/04/2019 19:27	14/04/2019 09:25	13:58	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	06:29	06:38	00:09	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	17:23	17:36	00:13	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 07 ILAVE AFUERA DE LA SET	04:06	04:07	00:01	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	13:16	13:19	00:03	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	13:14	13:57	00:43	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 36 ILAVE ACORA	16:50	19:46	02:56	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	19:47	19:51	00:04	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 43 LOPEZ CANCORA	13:39	13:59	00:20	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 42 CHECA	16:43	17:14	00:31	CORTE DE EMERGENCIA PARA REPARAR FALLA	CORTE DE EMERGENCIA PARA REPARAR FALLA
RC 34 ACORA PENINSULA	14:30	14:32	00:02	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 34 ACORA PENINSULA	01:16	01:46	00:30	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA
RC 80 CONDURIRI	23:31	23:51	00:20	TRIP DISPARO GENERAL	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA

Anexo 2. Panel Fotográfico



Figura 29. Sub Estación Ilave



Figura 30. Salidas 1001, 1002 y 1003