



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



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
EL RIESGO PARA EL SUB SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
SECUNDARIA EN 220 V DEL DISTRITO DE GREGORIO
ALBARRACÍN TACNA.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. CARLOS CHATA CHAGUA

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis padres y a mis hermanos ellos fueron el principal cimiento de mi vida profesional, sentó en mi las bases de la responsabilidad, dedicación esfuerzo y el deseo de superación.

En ellas llevo el espejo en la cual me quiero reflejar sus virtudes y el gran amor de familia que me han ofrecido fueron importante para llegar a mi meta.



AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a DIOS fue por su bendición, como también a la facultad de ingeniería mecánica eléctrica electrónica y sistemas (FIMEES) en especial a la escuela profesional de Ing. mecánica eléctrica

A todos los docentes quienes inculcaron métodos y enseñanzas para un aprendizaje mejor.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 10

ABSTRACT..... 11

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 HIPÓTESIS GENERAL 13

1.1.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 13

1.2 OBJETIVOS 14

1.2.1 OBJETIVO GENERAL 14

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA..... 15

2.1.1 FUNCIONES BÁSICAS DEL SISTEMA. 17

2.1.2 SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA 18

2.1.3 CONDUCTORES ELÉCTRICOS 19

2.1.4 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN 21

2.1.5 RED DE ALUMBRADO PÚBLICO. 21

2.1.6 CONTADORES DE ENERGÍA (MEDIDORES)..... 22

2.1.7 PUESTA A TIERRA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS. 23

2.2 MANTENIMIENTO..... 25

2.2.1 MANTENIBILIDAD..... 26

2.2.2 DISPONIBILIDAD..... 27

2.3 MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD. 28

2.3.1 FIABILIDAD..... 29

2.3.2 LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO. 30

2.3.3 FUNCIONES PRIMARIAS..... 30



2.3.4	FUNCIONES SECUNDARIAS.....	32
2.4	TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	33
2.4.1	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	33
2.4.2	EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	33
2.4.3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO.	34
2.4.4	MANTENIMIENTO PROACTIVO.	36
2.4.5	MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (MBR).	38
2.4.6	FALLA.....	40
2.4.7	CONSECUENCIAS DE FALLA.....	40
2.4.8	ANÁLISIS DE MODO DE FALLA.....	41
2.4.9	ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	41
2.4.10	EVALUACIÓN DE LA CRITICIDAD.	42
2.4.11	ANÁLISIS DE MODO, EFECTOS DE FALLO Y CRITICIDAD (FMECA)...	43
2.4.12	EL FMECA BASADO EN EL CONCEPTO DE RIESGO	44
2.5	EVALUACIÓN DE LA FIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	46
2.5.1	CONCEPTO DE COSTO DE LA INTERRUPCIÓN.....	47
2.5.2	EVALUACIÓN HISTÓRICA.	48
2.5.3	ÍNDICES DE RENDIMIENTO.	50

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	MATERIALES.....	52
3.1.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	52
3.1.2.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	54
3.1.3.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	55
3.2	MÉTODO.....	56
3.2.1.	DIAGNÓSTICO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.....	56
3.2.2.	COMPONENTES CRÍTICOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.....	57
	59
3.2.2.1.	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL FMECA.....	59
3.2.2.2.	ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LA CRITICIDAD.....	61
3.2.2.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS POR SU CRITICIDAD	62



3.2.2.4. CUADRO DE FMECA.....	63
3.2.3. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	65
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DIAGNÓSTICO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.	66
4.2. COMPONENTES CRÍTICOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.	73
4.3. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.	77
V. CONCLUSIONES.....	79
VI. RECOMENDACIONES	80
VII. REFERENCIAS.....	81
ANEXOS.....	84

Área : Eléctrica

Tema : Mantenimiento

FECHA DE SUSTENTACIÓN 19 DE ENERO 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Sistema de energía	15
Figura N° 2: Sistema de distribución secundaria	19
Figura N° 3: Conductores y acometidas R.S.....	21
Figura N° 4: Luminaria A.P.	22
Figura N° 5: Contador de energía.....	23
Figura N° 6: Pozo a tierra.....	25
Figura N° 7: Matriz de riesgo.....	39
Figura N° 8: Marco de programación RBM.....	40
Figura N° 9: Matriz de criticidad.....	43
Figura N° 10: Diagrama lógico del método FMECA.....	59
Figura N° 11: Barra de alimentación en 10 KV.	66
Figura N° 12: .S.E. 41 Con pérdida de la función.....	67
Figura N° 13: Estado de los conductores	68
Figura N° 14: Estado de las estructuras.....	69
Figura N° 15: Estado de las estructuras.....	70
Figura N° 16: Estado de las estructuras.....	71
Figura N° 17: Estado de los equipos de medición.....	72
Figura N° 18: Estado de las acometidas	73
Figura N° 19: Diagrama de Pareto	74



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Cuadro de Diagnostico	57
Tabla N°2: Calificación de Ocurrencia.....	61
Tabla N°3: Calificación de Detectabilidad	62
Tabla N°4: Calificación de Detectabilidad	62
Tabla N°5: Calificación de Criticidad.	63
Tabla N°6: Tabla de datos para análisis de FMECA	64
Tabla N°7: Tabla de Plan de Mantenimiento	65
Tabla N°8: Condición de la Sub estación de Distribución	67
Tabla N°9: Condición de los conductores	68
Tabla N°10: Condición de las estructuras y ferretería.....	69
Tabla N°11: Condición del Alumbrado publico	70
Tabla N°12: Condición del sistema de protección	71
Tabla N°13: Condición del sistema de medición	72
Tabla N°14: Registro de fallas.....	73
Tabla N°15: Análisis FMECA Soportes.....	74
Tabla N°16: Análisis FMECA Conductores eléctricos	74
Tabla N°17: Análisis FMECA Transformador de Distribución.....	75
Tabla N°18: Análisis FMECA Alumbrado Publico	75
Tabla N°19: Análisis FMECA Protección.....	75
Tabla N°21: Clasificación de Criticidad.....	76
Tabla N°22: Plan de mantenimiento.....	77



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A	:Amperio
BT	:Baja Tensión
CA	:Corriente Alterna
Cu	:Cobre
D	:Detectabilidad
DGE	:Dirección General de Electricidad
FMECA	:Análisis de Modos y Efectos de Fallos
O	:Ocurrencia
PM	:Mantenimiento Preventivo
RBM	:Mantenimiento Basado en el Riesgo
RCM	:Mantenimiento Basado en la Confiabilidad
RPN	:Número de Prioridad de Riesgo
S	:Severidad
SEIN	:Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
V	:Voltios
VA	:Volt-Ampere
W	:Watt



RESUMEN

En el sistema eléctrico de baja tensión no se tiene en cuenta el periodo máximo que se puede hacer mantenimiento; como consecuencia se observa sistemas eléctricos deteriorados que presentan situaciones de riesgo para el consumidor final y para la población. El presente proyecto de tesis tiene como objetivo principal proponer un plan de mantenimiento preventivo basado en el riesgo que se realizara en base al análisis de los elementos críticos de los diferentes componentes que constituyen la Red de distribución secundaria y de esta manera mejorar su calidad y seguridad; como objetivos específicos se realizó el diagnostico la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Red de Distribución Secundaria en 220 V, se determina sus funciones, fallas funcionales y modos de falla. Se identificó los componentes críticos. Se proponer un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis del riesgo de los diferentes sub sistemas que componen los sistemas de las redes secundarias en baja tensión. El proyecto de investigación se organizó de la siguiente manera: en primer lugar se realizó una investigación exhaustiva de la bibliografía primaria relacionada con el mantenimiento y las Redes de distribución eléctrica, se realizó el diagnóstico de la situación actual para poder identificar los componentes críticos y de esta manera se elaboró el plan de mantenimiento preventivo basado en el riesgo que se podrá aplicar en las redes de distribución secundaria mejorando de esta manera su calidad y seguridad. Las redes de distribución eléctrica están ubicada en el Distrito de Gregorio Albarracín Provincia de Tacna en la región de Tacna.

Palabras clave: Criticidad, Mantenimiento preventivo, Mantenimiento basado en el riesgo; Redes de Distribución secundaria.



ABSTRACT

In the low voltage electrical system, the maximum period that can be maintained is not taken into account; as a consequence, deteriorated electrical systems are observed that present situations of risk for the final consumer and for the population. The main objective of this thesis project is to propose a preventive maintenance plan based on the risk that will be carried out based on the analysis of the critical elements of the different components that constitute the secondary distribution network and in this way improve its quality and safety. As specific objectives, a diagnosis was made of the current situation of the systems, sub-systems and components of the 220 V Secondary Distribution Network, determining their functions, functional failures and failure modes. The critical components were identified. A preventive maintenance plan was proposed based on the risk analysis of the different sub-systems that make up the systems of the secondary networks in low voltage. The research project was organized in the following way: first, an exhaustive investigation of the primary literature related to maintenance and electrical distribution networks was carried out, a diagnosis of the current situation was made in order to identify the critical components and in this way the risk-based preventive maintenance plan was drawn up which could be applied to the secondary distribution networks, thus improving their quality and safety. The electricity distribution networks are located in the District of Gregorio Albarracín, Province of Tacna, in the region of Tacna.

Keywords: Criticality, Preventive Maintenance, Risk-based Maintenance; Secondary Distribution Networks.



CAPITULO I

INTRODUCCION

Hoy en día la mayoría de la población urbana y rural se ha beneficiado con la instalación de las redes de distribución secundaria en tal sentido, se requiere considerar el proceso de mantenimiento de las instalaciones de redes secundarias; con la finalidad de mantener la confiabilidad de dichos sistemas y calcular el periodo para poder realizar el mantenimiento necesario para su buen funcionamiento.

El mantenimiento juega un papel importante en el campo del sistema de energía eléctrica para maximizar el ciclo de vida de un componente, pero al mismo tiempo puede resultar en un enorme costo. Especialmente en el actual mercado de electricidad, los operadores del sistema se esfuerzan más por proporcionar electricidad de manera fiable y en el precio más bajo posible. Sin embargo, suele haber una contradicción entre la fiabilidad y el precio de la electricidad desde que se aumentó la fiabilidad al realizar acciones de mantenimiento más frecuentes resulta en precios más altos de la electricidad debido a los altos costos. Además, la realización del mantenimiento no sólo puede evaluarse por las acciones de mantenimiento que se lleven a cabo, más bien, sacar un componente para su mantenimiento podría traer algunos riesgos al sistema que deberían también ser considerados al evaluar el costo de mantenimiento. Por lo tanto, un método más eficiente es necesario para organizar la programación del mantenimiento de una manera económica, garantizando al mismo tiempo la fiabilidad del sistema.



El estudio planteado, se justifica en cuanto la falta de mantenimiento preventivo planificado en las redes secundarias de distribución eléctrica ocasiona constantes interrupciones del servicio de energía eléctrica ocasionando pérdidas importantes y sobretodo afectando la seguridad y calidad de vida de los pobladores que son beneficiarios de la energía eléctrica.

El riesgo debido a un componente se utiliza para denotar la probabilidad de fallo del componente multiplicado por las consecuencias del fallo de la componente. La consecuencia del fallo puede ser difícil de cuantificar. Por comodidad, en una instalación eléctrica, la consecuencia general de la falla suele ser expresada como la probabilidad condicional de que se produzcan daños en el sistema eléctrico, dado que el componente en cuestión falle.

Aplicando un método de mantenimiento adecuado combinada con controles estadísticos nos proporcionan información para obtener variables de comportamiento de los equipos que permiten diseñar estrategias de mantenimiento preventivo incrementando la disponibilidad y confiabilidad de la red de distribución secundaria.

1.1 HIPÓTESIS GENERAL

Con la Propuesta de un plan de mantenimiento basado en el riesgo del sub sistema de distribución secundaria en 220 V del distrito de Gregorio Albarracín Tacna”, se mejorara la calidad seguridad y confiabilidad del sistema.

1.1.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El diagnostico de los sistemas, sub sistemas y componentes de las redes de distribución secundaria nos permite determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Se identificará los componentes más críticos.



- Se elaborará el plan de mantenimiento preventivo basado en el riesgo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar la Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el riesgo del sub sistema de distribución secundaria en 220 V del distrito de Gregorio Albarracín Tacna.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de las Redes de distribución Secundaria.
- ✓ Identificar los componentes críticos de las redes de distribución secundaria.
- ✓ Elaborar el plan de mantenimiento preventivo basado en el riesgo.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

Aunque no existe un sistema de energía eléctrica "típico", en la figura 1 se muestra un diagrama que incluye los diversos componentes que se suelen encontrar en la composición de dicho sistema; se debe prestar especial atención a los elementos que conformarán el componente en cuestión, el sistema de distribución.(Pansini, 2000).

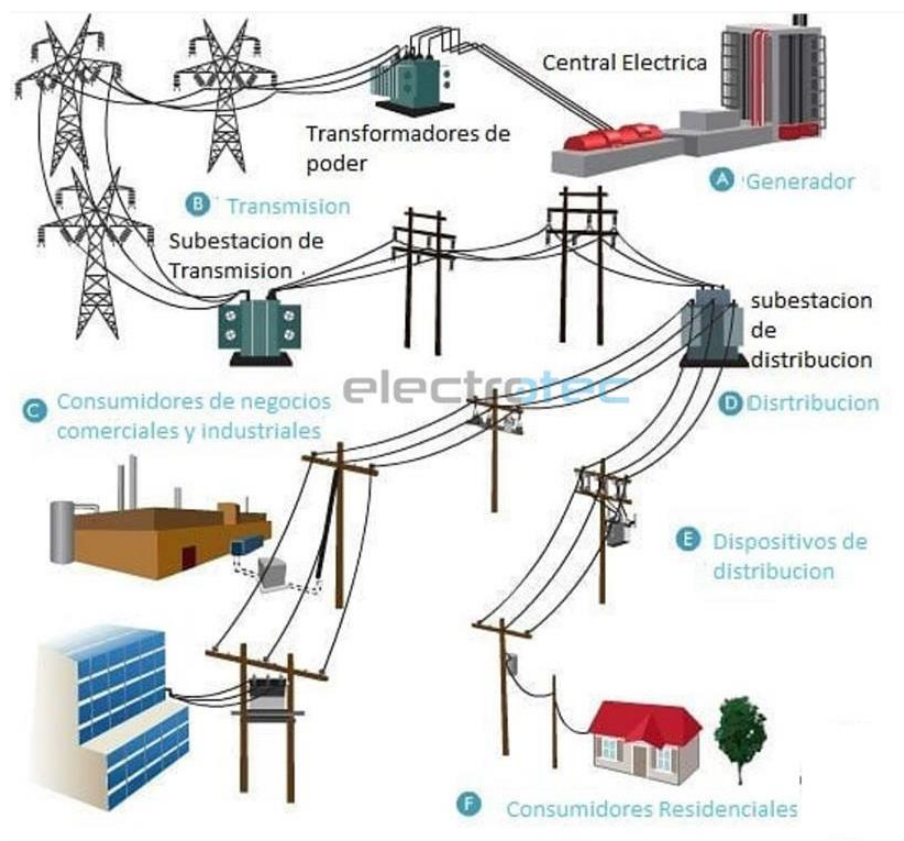


Figura N° 1: Sistema de energía

Fuente: Electrotec.



Si bien el flujo de energía es obviamente desde la planta de generación de energía hasta el consumidor, puede ser más informativo para nuestros propósitos invertir la dirección de la observación y considerar los eventos desde el consumidor hasta la fuente de generación.

La energía es consumida por los usuarios a un voltaje nominal de utilización que puede variar generalmente (en el Perú) de 220 V, y de 380 a 440 V. Pasa a través de un dispositivo de medición que determina la facturación para el consumidor, pero que también puede servir para obtener datos útiles más tarde con fines de planificación, diseño y funcionamiento. El equipo de medición suele incluir un medio para desconectar al consumidor del suministro entrante en caso de que esto sea necesario por cualquier motivo.

La energía fluye a través de conductores hacia el medidor desde la red secundaria; estos conductores se denominan el servicio del consumidor, o a veces también la acometida.

Varios servicios están conectados a la red secundaria; la red secundaria sirve ahora de camino a los diversos servicios desde los transformadores de distribución que los abastecen.

En el transformador, el voltaje de la energía que se entrega se reduce a los valores de voltaje de utilización mencionados anteriormente a partir de voltajes de línea primaria más altos que pueden ir desde 10 000 V hasta tan altos como 60 000 V.

El transformador está protegido de sobrecargas y fallos por fusibles o los llamados eslabones débiles en el lado de alta tensión; estos últimos también suelen incluir dispositivos de ruptura de circuitos en el lado de baja tensión. Estos funcionan para desconectar el transformador en caso de sobrecargas o fallos. Los interruptores en



el lado secundario, o de baja tensión, funcionan sólo si la condición es causada por fallas o sobrecargas en la red secundaria.(Pansini, 2007).

2.1.1 FUNCIONES BÁSICAS DEL SISTEMA.

La palabra sistema se define comúnmente como una organización de partes que se conectan entre sí para formar una unidad completa. Hay una gran variedad de sistemas eléctricos que se utilizan hoy en día. Cada sistema tiene una serie de características únicas, o características, que lo distinguen de otros sistemas.

Sin embargo, lo más importante es que hay un conjunto común de partes que se encuentran en cada sistema. Estas partes juegan el mismo papel básico en todos los sistemas. La fuente de energía, la trayectoria de transmisión, el control, la carga y el indicador se utilizan para describir las diversas partes del sistema.

Cada bloque de un sistema básico tiene un papel específico que desempeñar en el funcionamiento general del sistema. Este papel se vuelve extremadamente importante cuando se va a realizar un análisis detallado del sistema. Independientemente de la complejidad del sistema, cada bloque debe aún cumplir su función para que el sistema sea operacional. Estar familiarizado con estas funciones y ser capaz de localizarlos dentro de un sistema completo es un gran paso hacia la comprensión el funcionamiento del sistema.

La fuente de energía de un sistema convierte la energía de una forma en algo más útil. El calor, la luz, el sonido, la energía química, nuclear y mecánica se consideran fuentes primarias de energía. Una fuente de energía primaria



normalmente pasa por un cambio de energía antes de que pueda ser utilizado en un sistema operativo.

La carga de un sistema se refiere a una parte específica o a un número de partes diseñado para producir algún tipo de trabajo. El trabajo, en este caso, ocurre cuando la energía pasa por una transformación o cambio. El calor, la luz, el sonido y el movimiento mecánico son algunas de las formas comunes de trabajo producido por un dispositivo de carga. Como regla general, una gran parte de toda la energía producida por la fuente es consumida por el dispositivo de carga durante su funcionamiento. La carga es típicamente la parte más prevalente de la todo el sistema debido a su obvia función de trabajo (Patrick & Stephen, 2009).

2.1.2 SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

Las redes secundarias son el último eslabón entre la generación y el consumo. El sistema de distribución en baja tensión está formado por alimentadores secundarios que salen del lado de baja tensión de los transformadores de distribución, en cajas de distribución o en los buses de las subestaciones secundarias y que llevan la energía hasta el punto de consumo (Aristóteles & Juárez Cervantes, 2002).

Según la Norma Técnica E.C. 010, es aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada normalmente a baja tensión, desde un subsistema de distribución primaria, a las conexiones.

Los proyectos y la ejecución de obras en subsistemas de distribución secundaria deben sujetarse a las Normas DGE de Procedimientos para la elaboración de proyectos y ejecución de obras en sistemas de distribución y sistemas de utilización.

Mediante este sistema se transporta la energía eléctrica a baja tensión para su utilización por los usuarios finales, la misma que se encuentra conformada por líneas aéreas o cables subterráneos de baja tensión.

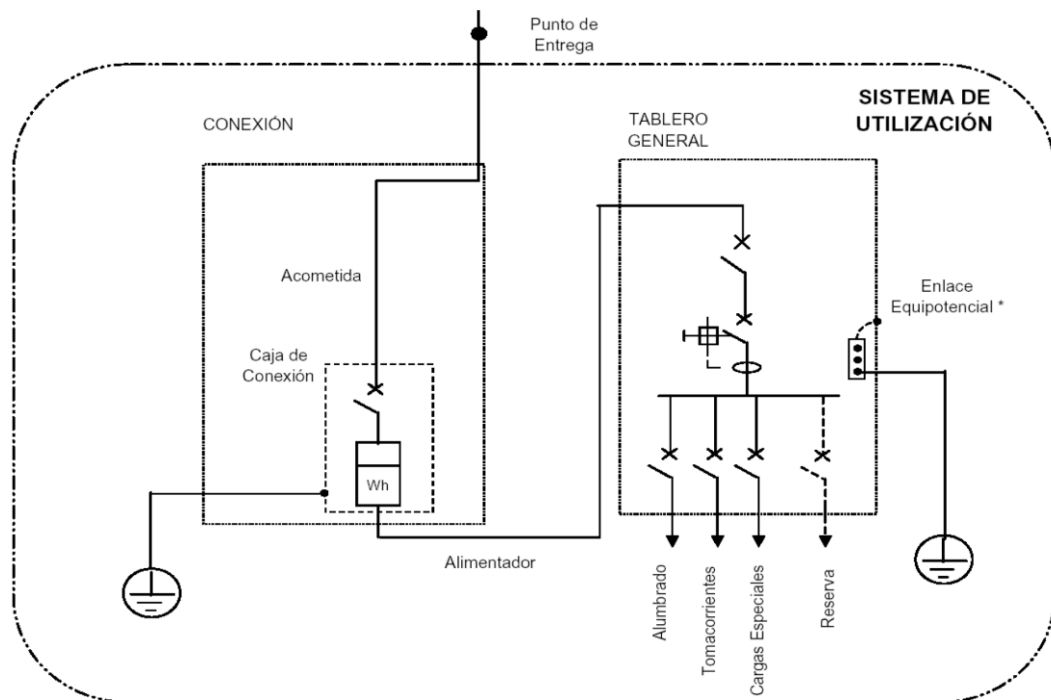


Figura N° 2: Sistema de distribución secundaria

Fuente: Norma Técnica E.C. 010, Redes de Distribución de Energía Eléctrica

2.1.3 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Las partes del sistema de distribución eléctrica que llevan la corriente se conocen como conductores. Los conductores pueden ser en forma de cables sólidos o trenzados, conjuntos de cables o grandes sistemas de barras colectoras metálicas. Un conductor puede tener aislamiento o, en algunos casos, puede ser de metal desnudo.

Casi todos los conductores están hechos de cobre o aluminio. Ambos de estos metales poseen la flexibilidad necesaria, la capacidad de transporte de



corriente, y el costo económico para actuar como conductores eficientes y prácticos. Cobre es un mejor conductor; sin embargo, el aluminio es un 30 por ciento más liviano en peso. Por lo tanto, los conductores de aluminio se utilizan cuando el peso es un factor en el conductor selección.(W & Patrick, 2013)

La acometida es parte fundamental también del sistema de distribución. El Código Nacional de Electricidad considera a la acometida como parte de una instalación eléctrica comprendida entre la red de distribución (incluye el empalme) y la caja de conexión y medición o la caja de toma.

La red de distribución termina en la distribución secundaria, entre ésta y las conexiones internas domiciliarias se encuentra la acometida, una acometida es la parte de la conexión, comprendida por los conductores instalados desde el empalme con la red de distribución secundaria hasta los bornes de entrada del medidor de energía. La mayor parte de la distribución eléctrica a las cargas industriales y comerciales es a través de los cables y los cables contenidos en los conductos. Estos conductos llevan los conductores, que llevan la energía a los diversos equipos a través de un edificio. Los conductores de cobre se utilizan normalmente para la distribución de energía en interiores. El tamaño físico de cada conductor depende de la corriente de los circuitos de derivación (W & Patrick, 2013).



Figura N° 3: Conductores y acometidas R.S.

Elaboración propia

2.1.4 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Un transformador es un componente eléctrico estático sin partes móviles que se utiliza para subir o bajar el voltaje o para aislar un circuito de otro. Los transformadores tienen la capacidad de convertir la CA de bajo voltaje y alta corriente en CA de alto voltaje y baja corriente, o viceversa, con mínimas pérdidas de energía. Minimizar las pérdidas de energía es crítico en todos los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía. Los transformadores funcionan sólo con CA de acuerdo con las leyes físicas de la inducción magnética, y son componentes inherentemente de baja pérdida. Los transformadores de bajo voltaje más sencillos pueden hacerse enrollando bobinas separadas de alambre aislado alrededor de un núcleo ferromagnético, típicamente una pila de láminas de acero. (Sclater & Traister, 2003)

2.1.5 RED DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Incluye las exigencias relativas al alumbrado y a su instalación en vías expresas, arterias principales, vías colectoras, calles, locales, cruces, plazas,

parques, etc., formado por luminarias, lámparas, y los accesorios para el montaje.



**Figura N° 4: Luminaria A.P.
Elaboración propia**

2.1.6 CONTADORES DE ENERGÍA (MEDIDORES).

Censa el consumo de energía en kilovatios hora para su respectiva facturación. Las acometidas que se extienden desde el cabezal meteorológico se sujetan a las barras de cobre dentro de la base del medidor, como se muestra en la figura. Estos embarrados proporcionan energía para el medidor de vatios-hora. Estos son suministrados por la compañía eléctrica, pero deben ser instalados por el contratista eléctrico. La base del medidor es una caja

metálica estanca, normalmente montada en una pared exterior de la casa o edificio al que se da servicio.



**Figura N° 5: Contador de energía.
Elaboración propia**

2.1.7 PUESTA A TIERRA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.

La puesta a tierra se refiere a las técnicas para hacer conexiones de baja resistencia de los cables y equipos eléctricos a tierra. Esta conexión puede ser un cable que hace una conexión directa a un electrodo de tierra enterrado. La puesta a tierra proporciona protección para el personal, el equipo y los circuitos eliminando voltajes peligrosos o excesivos en el sistema. Una adecuada puesta a tierra asegura que estas sobretensiones sean conducidas a la tierra o al suelo.



Los dos elementos de la conexión a tierra del sistema eléctrico son el sistema de cableado y el equipo en tierra. La conexión a tierra del sistema de cableado es la conexión a tierra de uno de los cables del como el neutro, para limitar las sobretensiones en el circuito. Las sobretensiones pueden ser causadas por un rayo o por un contacto accidental con otros circuitos de mayor voltaje que el circuito a tierra. Además, la puesta a tierra de uno de los cables del sistema limita el máximo voltaje a tierra en condiciones normales de funcionamiento. Además, un circuito con un conductor conectado a tierra puede tener un dispositivo de apertura automática de circuitos instalado si un una falla de tierra potencialmente peligrosa debería ocurrir en uno de sus conductores sin tierra.

La puesta a tierra del equipo es la unión permanente y continúa de todas las partes metálicas de los recintos del equipo, como conductos, cajas, armarios, bastidores de motores y aparatos de iluminación que no están destinados a transportar corriente y su conexión a un electrodo de puesta a tierra del sistema. La unión o interconexión de las cajas metálicas proporciona una trayectoria de baja impedancia para el flujo de la corriente de falla mientras que permite que fluya suficiente corriente para hacer saltar los fusibles o abrir los disyuntores que protegen el circuito. (Sclater & Traister, 2003).

Hay tres características requeridas de caminos de tierra que deben ser satisfechos por el instalador.

1. Todo camino de tierra debe ser "permanente y continuo". Esto puede ser verificado visualmente.
2. Cada conductor de tierra debe tener la "capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente de falla que se le imponga". Esto se logra

mediante el dimensionamiento adecuado de los conductores de puesta a tierra.

3. La impedancia de la trayectoria de la falla a tierra sobre los conductos o la puesta a tierra del equipo deben ser "suficientemente bajos" para que fluya suficiente corriente.



Figura N° 6: Pozo a tierra.

Elaboración propia

2.2 MANTENIMIENTO.

La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas acorde a las necesidades de sus clientes; que son todas aquellas dependencias y/o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos, para producirlos. (Gutiérrez, 2012). Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar



equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento (Garrido, 2003).

Son todas las acciones necesarias para conservar un elemento o equipo en una condición específica o restaurarlo a dicha condición. Aunque los humanos han sentido la necesidad de mantener sus equipos desde el principio de los tiempos, el comienzo del mantenimiento de la ingeniería moderna puede considerarse como el desarrollo de la máquina de vapor por James Watt (1736-1819) en 1769 en Gran Bretaña. En los Estados Unidos la revista *Factory* apareció por primera vez en 1882 y ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo del campo de mantenimiento. En 1886 se publicó un libro sobre el mantenimiento de los ferrocarriles. En los años 50 se acuñó el término mantenimiento preventivo y en 1957 se publicó un manual sobre ingeniería de mantenimiento. A lo largo de los años se han producido muchos otros desarrollos en el campo de la ingeniería de mantenimiento, y hoy en día muchas universidades y otras instituciones ofrecen programas académicos sobre el tema. (Dhillon, 2006).

El papel de la función de ingeniería de mantenimiento es de naturaleza más táctica, por ejemplo, asegurar que los activos de una planta satisfagan las demandas actuales de la empresa. Cuando el ingeniero de fiabilidad se ocupa de las necesidades de fiabilidad a largo plazo, el ingeniero de mantenimiento se ocupa de las responsabilidades de fiabilidad diarias. (Mobley & Wikoff, 2008).

2.2.1 MANTENIBILIDAD.

Una referencia temprana a la capacidad de mantenimiento se remonta a 1901 al contrato del Cuerpo de Señales del Ejército para el desarrollo del avión de los hermanos Wright, en el que se establecía claramente que el avión debía ser "fácil de operar y mantener". En el contexto



moderno, el comienzo de la disciplina de mantenimiento puede remontarse al período comprendido entre la Segunda Guerra Mundial y el decenio de 1950, cuando se iniciaron diversos esfuerzos relacionados directos o indirectamente con el mantenimiento. Un ejemplo de esos esfuerzos es una serie de 12 artículos que aparecieron en *Machine Design* en 1956 y cubrió temas como el diseño de equipos electrónicos para su mantenimiento, recomendaciones para diseñar el acceso al mantenimiento en equipos electrónicos y el diseño para su instalación. En 1960 la Fuerza Aérea de los Estados Unidos inició un programa para desarrollar un enfoque de sistemas efectivos para la mantenibilidad que finalmente resultó en el desarrollo de la especificación de mantenimiento MIL-M-26512. A lo largo de los años se han producido muchos otros avances en el campo de la mantenibilidad. (Dhillon, 2006).

El papel de mantenimiento es el de incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos. Sus funciones van más allá de las reparaciones; su valor se aprecia en la medida en que éstas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos (Gutiérrez, 2012)

2.2.2 DISPONIBILIDAD.

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales, en un entorno real de soportes logísticos y, abarca



por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos que se causan por los retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación e, incluye el mantenimiento programado y no planeado. Le interesan todas las demoras, los mantenimientos planeados y los no planeados. (Garrido, 2003)

2.3 MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD.

La sostenibilidad de la industria, la competencia mundial y la necesidad de maximizar la fiabilidad del equipo y de la vida útil requieren la integración de la supervisión de las condiciones de fiabilidad y las prácticas de precisión del mantenimiento. Esta práctica permitirá que un menor número de personal trabaje menos horas de forma viable, así como operar y mantener más equipos a un costo mínimo, ofreciendo al mismo tiempo una mayor eficiencia, una mayor disponibilidad, una mayor calidad y mayores beneficios con los equipos de capital. Este tipo de práctica aumentará la productividad de los equipos de mantenimiento y operación existentes para maximizar la fiabilidad de los equipos, al tiempo que se siguen buscando formas de reducir al mínimo el costo del ciclo de vida.

Afortunadamente, todavía hay oportunidades de mejora en casi todas las operaciones, desde el diseño hasta la producción, para facilitar las operaciones con una técnica de evaluación rentable. Los puntos de referencia de la industria con una técnica de evaluación pueden ayudar a estimar el potencial en su propia planta e instalación. Cuando se trata de mantenimiento, operación y fiabilidad, el uso de puntos de referencia o indicadores clave de rendimiento no debería ser un programa del mes, sino más bien una técnica para la mejora responsable de los equipos, procesos y piezas industriales diseñada para lograr niveles sostenidos de



rendimiento de clase mundial. Un análisis para examinar una organización y su equipo aborda entonces los fundamentos de la planificación y programación de las órdenes de trabajo y avance a través de la organización total centrándose en los esfuerzos de mejora y la maximización de la fiabilidad del equipo de la planta. Los dos componentes fundamentales para la maximización de la fiabilidad del equipo de la planta y las instalaciones se basan en las personas y el equipo de la planta. (osarenren, 2015).

2.3.1 FIABILIDAD.

Se define como la probabilidad de que un elemento cumpla satisfactoriamente su misión asignada durante el período de tiempo establecido cuando se utiliza de acuerdo con las condiciones especificadas (Dhillon, 2006). Es la probabilidad de que un elemento cumpla su función prevista durante un intervalo específico en las condiciones establecidas (Gulati, 2009).

En cualquier organización, los activos son necesarios para fabricar productos o prestar servicios. El objetivo del mantenimiento y la fiabilidad en una organización es asegurar que los activos estén disponibles, cuando se necesiten, de manera rentable. El rendimiento de un activo se basa en tres factores: (Gulati, 2009).

- Fiabilidad inherente - cómo se diseñó
- Entorno operativo - cómo será operado
- Plan de mantenimiento - cómo se mantendrá

Por lo general, los bienes se diseñan con un cierto nivel de fiabilidad. Esta fiabilidad de diseño (o incorporada) es el resultado de la fiabilidad de los componentes individuales y de cómo están configurados. Este nivel de fiabilidad se denomina fiabilidad inherente. No podemos cambiar o mejorar



la fiabilidad de un activo después de su instalación sin sustituirlo por componentes mejores y mejorados o rediseñarlo.

El segundo factor, el entorno operativo, considera las condiciones de funcionamiento en las que el activo tiene que operar y las habilidades del operador. Varios estudios han indicado que el 40% o más de los fallos son el resultado de errores operativos. Las organizaciones deben asegurarse de que los operadores estén debidamente educados y capacitados para operar el activo sin que ningún error operacional cause fallas. De hecho, los operadores deben ser la primera línea de defensa en la vigilancia de las condiciones anormales de un activo y en la adopción de medidas correctivas.

El tercer factor es un plan de mantenimiento que definirá cómo se mantendrá el activo. El objetivo del plan de mantenimiento es mantener la fiabilidad del activo y mejorar su disponibilidad. El plan debe incluir el mantenimiento necesario y las acciones necesarias para detectar posibles fallos antes de que creen un tiempo de inactividad no programado. (Gulati, 2009).

2.3.2 LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO.

La función principal de mantenimiento es maximizar la disponibilidad que se requiere para la producción de bienes y servicios, al preservar el valor de las instalaciones, para minimizar el deterioro de los equipos; lográndolo con el menor costo posible y a largo plazo. El objetivo de mantenimiento es conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente. (Gutiérrez, 2012)

2.3.3 FUNCIONES PRIMARIAS.



Mantenimiento de planta.

Esta actividad representa la razón física de la existencia del grupo de mantenimiento. La responsabilidad aquí es simplemente hacer las reparaciones necesarias para la producción maquinaria de forma rápida y económica y para anticiparse a estas reparaciones y emplear mantenimiento cuando sea posible para prevenirlos. Para ello, un equipo de profesionales capaces de realizar el trabajo debe ser entrenado, motivado y constantemente retenido para asegurar que el mantenimiento adecuado se dispone de habilidades para realizar un mantenimiento efectivo. Además, se dispone de registros adecuados para debe mantenerse una distribución adecuada de los gastos.(Mobley & Wikoff, 2008).

Mantenimiento de edificios y servicios.

Las reparaciones de los edificios y de la propiedad externa de cualquier planta, vías de ferrocarril, sistemas de alcantarillado e instalaciones de suministro de agua y energía se encuentran entre las tareas generalmente asignadas al grupo de ingeniería de mantenimiento. En esta esfera de responsabilidad pueden incluirse aspectos adicionales del mantenimiento de edificios y terrenos. (Mobley & Wikoff, 2008)

Generación y distribución de servicios públicos.

En cualquier planta que genere su propia electricidad, la central eléctrica asume las funciones de una pequeña empresa de servicios públicos y puede justificar un departamento de operaciones propio. Sin embargo, esta actividad entra lógicamente en el ámbito de la ingeniería de mantenimiento. Puede



administrarse como una función separada o como parte de alguna otra función, dependiendo de los requisitos de gestión. (Mobley & Wikoff, 2008)

2.3.4 FUNCIONES SECUNDARIAS.

Almacenamiento.

En la mayoría de las plantas es esencial diferenciar entre almacenes mecánicos y almacenes generales. La administración de los almacenes mecánicos normalmente entra dentro del área del grupo de ingeniería de mantenimiento debido a la estrecha relación de esta actividad con otras operaciones de mantenimiento.

Protección de las plantas.

Esta categoría suele incluir dos subgrupos distintos: guardias o vigilantes; escuadrones de control de incendios. La incorporación de estas funciones a la ingeniería de mantenimiento es generalmente una práctica común. La inclusión del grupo de control de incendios es importante, ya que sus miembros casi siempre proceden de los elementos del oficio.

Otros servicios.

El departamento de ingeniería de mantenimiento a menudo parece ser un punto de referencia para muchas otras actividades extrañas que ningún otro departamento puede o quiere manejar. Pero hay que tener cuidado no diluir las responsabilidades primarias de mantenimiento con estos servicios secundarios. Cualesquiera que sean las responsabilidades asignadas al departamento de ingeniería de mantenimiento, es importante que se definan claramente y que se establezcan los límites de autoridad y responsabilidad y acordada por todos los interesados. (Mobley & Wikoff, 2008)



2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO.

2.4.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos (Garrido, 2003).

La filosofía básica de esta estrategia de mantenimiento es permitir que el equipo industrial funcione hasta el fracaso y sólo reparar o sustituir el equipo dañado cuando se produzcan problemas evidentes. La ventaja de este enfoque es que funciona bien si las paradas de los equipos no afectan a la producción y si los costes de mano de obra y material no importan. Las desventajas son que el departamento de mantenimiento perpetuamente opera en actividades de mantenimiento no planificadas, de gestión de crisis con interrupciones inesperadas de la producción y la planta debe tener un gran inventario de repuestos para reaccionar rápidamente. Sin duda, es la forma más ineficiente de mantener una instalación. Se hacen intentos inútiles de reducir los costos comprando piezas baratas y contratando mano de obra barata, lo que agrava aún más el problema. A menudo, el personal está sobrecargado de trabajo y no tiene suficiente personal que llega al trabajo cada día para enfrentarse a una larga lista de trabajos sin terminar (osarenren, 2015).

2.4.2 EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno (Garrido, 2003).

Esta filosofía consiste en programar las actividades de mantenimiento en intervalos de tiempo predeterminados en los que se sustituye el equipo dañado



antes de que se produzcan problemas evidentes. La ventaja de este enfoque es que funciona bien para los equipos que no funcionan continuamente y el personal tiene suficiente conocimiento, habilidad y tiempo para realizar el trabajo de mantenimiento preventivo (PM). Las desventajas son que el mantenimiento programado puede realizarse demasiado pronto o demasiado tarde. Es muy posible que se reduzca la producción debido a un mantenimiento potencialmente innecesario. En muchos de los casos en que se desmontaron máquinas en perfecto estado, se retiraron y desecharon las piezas buenas y se instalaron incorrectamente las nuevas. (osarenren, 2015).

2.4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos. (Garrido, 2003).

Esta filosofía consiste en programar las actividades de mantenimiento sólo cuando las condiciones mecánicas u operativas lo justifiquen, mediante la supervisión periódica de la maquinaria para detectar la vibración, la temperatura y la degradación de la lubricación excesiva, o la observación de



cualquier otra tendencia no saludable que se produzca con el tiempo. Cuando la condición llega a un nivel inaceptable predeterminado, el equipo se apaga para reparar o reemplazar los componentes dañados en el equipo para evitar que ocurra una falla más costosa.

Las ventajas de este enfoque son que funciona muy bien si el personal tiene suficiente conocimiento, habilidad y tiempo para realizar el trabajo de mantenimiento predictivo. Las reparaciones del equipo pueden ser programadas de manera ordenada, y le permite un cierto tiempo de espera para comprar materiales para las reparaciones necesarias reduciendo la necesidad de un alto inventario de piezas. Dado que el trabajo de mantenimiento sólo se realiza cuando es necesario, es probable que aumente la capacidad de producción. Las desventajas son que el trabajo de mantenimiento puede en realidad aumentar si el personal evalúa incorrectamente el nivel de degradación del equipo. Para observar las tendencias insalubres de la vibración, la temperatura o la lubricación, este enfoque requiere que la instalación adquiera equipo para vigilar estos parámetros y proporcionar capacitación al personal interno. La alternativa es subcontratar este trabajo a un contratista bien informado para que realice las tareas de predicción/estado. Si una organización ha estado funcionando en el modo de averías/de funcionamiento hasta el fallo y/o el estilo PM, la gestión de la producción y del mantenimiento principal debe ajustarse a esta nueva filosofía, lo que puede ser problemático si el departamento de mantenimiento no está autorizado a comprar el equipo necesario, proporcionar una formación adecuada a las personas para aprender las nuevas técnicas, no se les da tiempo



para recoger los datos o no se les permite apagar la maquinaria cuando se identifican los problemas. (osarenren, 2015).

Es una estrategia de mantenimiento de equipo basada en 1) la medición de la condición del equipo a fin de evaluar si fallará durante algún período futuro y luego 2) la adopción de medidas apropiadas para evitar las consecuencias de esa falla. La condición del equipo podría medirse mediante la vigilancia del estado, el control estadístico de los procesos o el rendimiento del equipo, o mediante el uso de los sentidos humanos. Los términos Mantenimiento Basado en la Condición (CBM), Mantenimiento en Condición y Mantenimiento Predictivo se utilizan indistintamente.(Gulati, 2009).

2.4.4 MANTENIMIENTO PROACTIVO.

Esta filosofía utiliza todas las técnicas de mantenimiento de acuerdo con el análisis de la causa raíz de los fallos para no sólo detectar y precisar los problemas precisos que se producen sino también asegurar que se realicen técnicas avanzadas de instalación y reparación, incluyendo el posible rediseño o modificación del equipo para evitar o eliminar los problemas que se produzcan. La ventaja de este enfoque es que funciona extremadamente bien si el personal tiene suficiente conocimiento, habilidad y tiempo para realizar todas las actividades requeridas. Como en el programa basado en la predicción, las reparaciones del equipo pueden programarse de forma ordenada, pero luego se hacen esfuerzos adicionales para proporcionar mejoras que reduzcan o eliminen los posibles problemas que se producen repetidamente. Una vez más, las reparaciones del equipo pueden programarse de manera ordenada y ello permite disponer de tiempo para adquirir



materiales para las reparaciones necesarias, reduciendo así la necesidad de inventar piezas de gran tamaño. Dado que el trabajo de mantenimiento sólo se realiza cuando es necesario, y que se hacen esfuerzos adicionales para investigar a fondo la causa del fallo y luego determinar las formas de mejorar la fiabilidad de la maquinaria, puede haber un aumento sustancial de la capacidad de producción.

Las desventajas son que esto requiere de un gran conocimiento empleados en prácticas de mantenimiento preventivo, predictivo y preventivo/proactivo o un contratista bien informado que trabaje estrechamente con el personal de mantenimiento en la fase de análisis de la causa raíz de la falla y luego ayudar en las reparaciones o en las modificaciones de diseño. Esto requiere la adquisición de equipo y la formación adecuada del personal para llevar a cabo estas tareas (osarenren, 2015).

El mantenimiento no correctivo (preventivo, centrado en la condición y proactivo) se aplica prioritariamente a los componentes críticos de la producción. Luego de seleccionados los equipos para los cuales se realizara, es necesario descomponerlos en sub-componentes que sean mantenibles. Ejemplos: rodamientos, correas, engranajes, etc. En caso de seleccionar mantenimiento preventivo para un equipo, es necesario establecer frecuencias de cambio de piezas, lubricación, etc. Para ello se realiza un análisis estadístico de los ciclos de vida. Las tareas a realizar deben ser descritas claramente en procedimientos y su registro debe ser llevado en reportes. Ellos formaran parte de la hoja de vida de cada equipo. Tal registro ayudara en la detección de fallas, y la evaluación de costos (Rodrigo, 2005).



2.4.5 MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (MBR).

Uno de los principales objetivos de una estrategia de mantenimiento racional es la reducción al mínimo de los peligros, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente, causados por el fallo inesperado del equipo. Además, la estrategia tiene que ser rentable. El uso de un enfoque basado en los riesgos garantiza una estrategia que cumple estos objetivos. Tal enfoque utiliza la información obtenida del estudio de los modos de falla y sus consecuencias económicas. El análisis de riesgos es una técnica para identificar, caracterizar, cuantificar y evaluar la pérdida de un evento. El enfoque del análisis de riesgos integra el análisis de probabilidades y consecuencias en diversas etapas del análisis e intenta responder a las siguientes preguntas (Khan & Haddara, 2003):

- ¿Qué puede llevar a un fallo del sistema?
- ¿Cómo puede fallar?
- ¿Qué probabilidad hay de que ocurra?
- ¿Cuáles serían las consecuencias si ocurriera?

Aunque el mantenimiento basado en el riesgo es en sí mismo una evolución de un mantenimiento centrado en la fiabilidad adecuado a la aplicación nunca ha dejado, de afinarse, por así decirlo. La adaptación de una estrategia de mantenimiento (RBM) es esencial para desarrollar políticas de mantenimiento rentables y, por lo tanto, propuso una gestión basada en los resultados metodología compuesta de cuatro módulos para identificar las equipo basado en el nivel de riesgo y una preselección de equipo aceptable nivel de riesgo. Los autores afirmaron que, además de aumentar fiabilidad del equipo, su enfoque demostró ser capaz de reducir el costo de mantenimiento,

incluido el costo de la falla cuando aplicado a una unidad de generación de energía (Melani, Murad, Caminada Netto, Souza, & Nabeta, 2018). El riesgo debido a un componente se utiliza para denotar la probabilidad de falla del componente multiplicada por las consecuencias de la falla del componente. La consecuencia del fallo puede ser difícil de cuantificar. (Duthie, Robertson, Clayton, & Lidbury, 1998).

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

Figura N° 7: Matriz de riesgo

Fuente: (Yssaad, Khiat, & Chaker, 2012).

Dadas las limitaciones del Mantenimiento Preventivo y el basado en la confiabilidad, vale la pena aplicar sistemas de mantenimiento que han tenido éxito en otras industrias. Un sistema emergente es la programación RBM. El sistema de programación fue desarrollado para la industria de generación de energía como medio de reducir los costos de mantenimiento, asegurando al mismo tiempo la disponibilidad de los activos. El mantenimiento basado en el riesgo tiene como objetivo programar el mantenimiento de forma dinámica utilizando el riesgo como desencadenante. Consta de dos elementos: la evaluación de riesgos, seguida de Programación del mantenimiento. La programación del RBM se ha aplicado con éxito en industrias como la de la aviación y la energía. (Cullum, Binns, Lonsdale, Abbassi, & Garaniya, 2018).



Figura N° 8: Marco de programación RBM.

Fuente: (Cullum et al., 2018)

2.4.6 FALLA.

La falla es el fin de la capacidad de un elemento para realizar su función requerida. La falla de un sistema o activo es la pérdida de la capacidad de este ítem para realizar la función para la cual fue diseñado. Esta definición puede utilizarse para una estructura o un activo en concreto, en lo que respecta al cumplimiento o incumplimiento de su función (Teixeira & Junior, 2016). En la concepción del mantenimiento de equipos falla podemos definir como una condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe. Es decir la falla producirá que el equipo se detenga en su función primaria y deje de producir.

2.4.7 CONSECUENCIAS DE FALLA.

Se puede plantear realizando las siguientes preguntas:



1. ¿cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacer para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (Moubray, 2004)

2.4.8 ANÁLISIS DE MODO DE FALLA.

Aunque el análisis de modos de falla identifica el número y los síntomas de los problemas de los equipos, no siempre identifica la verdadera causa de los problemas. La causa raíz debe ser verificados mediante inspección visual, pruebas adicionales o técnicas como el análisis de la dinámica de funcionamiento. El análisis de los modos de fallo se basa en el supuesto de que ciertos modos de fallo son comunes a todas las máquinas y a todas las aplicaciones. También supone que los patrones de vibración de cada uno de estos modos de fallo, cuando se ajustan a la dinámica del sistema del proceso, son absolutos e identificables (Moblely, 1999).

2.4.9 ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta es limitado, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una

pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los equipos de la planta.(Garrido, 2003)

Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

- **Equipos críticos.** Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- **Equipos importantes.** Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- **Equipos prescindibles.** Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.

2.4.10 EVALUACIÓN DE LA CRITICIDAD.

Esta evaluación puede ser llevada a cabo por medio de una cuadrícula de criticidad donde la abscisa representa la probabilidad o frecuencia de fallo y la ordenada representa la clase de criticidad.

Los modos de fallo, debidamente clasificados después de haber evaluado la probabilidad, se insertan en uno de los cuadrados de la cuadrícula de la criticidad. Obviamente, cuanto más lejos esté un cuadrado del origen, cuanto mayor sea la criticidad es el modo de fracaso y por lo tanto mayor es la necesidad para adoptar las medidas de respuesta adecuadas.

La evaluación de la criticidad implica la cuantificación de los efectos de un fallo modo/no conformidad. Esta operación no siempre es fácil de realizar y a menudo implica una tormenta de ideas. La medición de la criticidad se puede realizar de varias maneras de la cual se derivan diferentes tipos de

FMECA. Aquí presentaremos dos maneras, la primera basada en el riesgo y la segunda basada en la tasa de fallas (Lazzaroni, Cristaldi, Peretto, Rinaldi, & Catelani, 2013).

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Figura N° 9: Matriz de criticidad

Fuente: (Garrido, 2003)

2.4.11 ANÁLISIS DE MODO, EFECTOS DE FALLO Y CRITICIDAD (FMECA).

La evaluación de la criticidad de los modos de falla y sus efectos ya ha sido discutida, pero siempre se hizo sobre una base cualitativa, basada en la experiencia y conocimiento sin entrar en detalles de una evaluación cuantitativa. Si tal evaluación es imperativo, el análisis se llama entonces Modo de falla, efectos y criticidad análisis (FMECA). En general, es posible aplicar una evaluación cuantitativa de la criticidad cuando los datos en relación con las tasas de modo de falla de los sistemas o componentes a ser



analizados están disponibles. De lo contrario, se aplica una evaluación cualitativa. Estableciendo lo que es crítico y la probabilidad de que se produzca un modo de fallo es muy útil para determinar qué se deben tomar medidas correctivas y definir la línea entre lo aceptable y lo inaceptable riesgos.

Se pueden identificar diferentes tipos de modos de fallo críticos (cada empresa puede definir sus propias categorías y clases). Una escala de criticidad basada en es generalmente válida:

1. Muerte o lesiones al público o al personal de la empresa
2. Daños a este u otro equipo
3. Daños económicos derivados de la pérdida de producción o de la pérdida de funciones del sistema
4. Incapacidad de realizar una función debido a la incapacidad del equipo de realizar adecuadamente su función principal

La elección de la criticidad categorías requiere un estudio cuidadoso y prudente. Es necesario tener en cuenta todos los factores que influyen en la evaluación del sistema, su rendimiento, costos, programas, seguridad y riesgos (Lazzaroni, Cristaldi, Peretto, Rinaldi, & Catelani, 2013)

2.4.12 EL FMECA BASADO EN EL CONCEPTO DE RIESGO

Esto sigue la norma IEC 60812, y se refiere al concepto de Riesgo R y el Número de Prioridad de Riesgo (RPN). El riesgo se evalúa mediante una medición oportuna de la gravedad de los efectos y una estimación de la probabilidad esperada de que el propio modo de fallo se manifieste en un intervalo de tiempo previamente determinado. Por lo tanto, una medición del riesgo potencial es:

$$R = S * P$$

Donde

- S (Gravedad) representa la estimación de la intensidad de los efectos de un fallo en el sistema o el usuario (personal o cliente, por ejemplo). Este es la gravedad o criticidad del fallo y se expresa generalmente en niveles de criticidad, cabe señalar que S es un número no dimensional.
- P (Probabilidad) denota la probabilidad de ocurrencia. Incluso este parámetro es un número no dimensional. (Lazzaroni et al., 2013).

Es posible obtener información adicional sobre la detección de fallos a nivel de sistema utilizando un nuevo parámetro denominado D (Detección).

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

$$RPN = S * O * D$$

Donde:

- (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 examinado. Puede definirse como un número de clasificación (o número de índice) más que como la probabilidad real de ocurrencia. Mediante un cambio de diseño es posible eliminar o limitar una o más modalidades de fallo. Esta es la única forma posible de reducir la clasificación de ocurrencia.
- D (Detección) es la estimación de la posibilidad de identificar/diagnosticar y eliminar/prevenir el inicio de una avería antes de que sus efectos se manifiesten en el sistema o el personal. Este número suele estar clasificado en orden inverso a partir de los números de gravedad o de ocurrencia: cuanto mayor sea el número de detección D, menos probable es la posibilidad de



identificar el fallo y viceversa. A partir de estas consideraciones, la menor probabilidad de detección conduce a una RPN más alto; esto indica la necesidad de resolver el modo de fallo con el máximo prioridad y rapidez. La capacidad de detección se obtiene o se planea principalmente en la fase de diseño. Los controles de diseño típicos son la verificación o validación del diseño tales como: revisión de diseños, pruebas de carretera para las industrias automotrices, etc. La detección es así que una evaluación de la capacidad del examen del diseño para detectar una posible causa o mecanismo o debilidad de diseño. (Lazzaroni et al., 2013).

El nivel de gravedad junto con la RPN permite establecer en qué modo de fallo es necesario concentrar los recursos para mitigar o anular los efectos. El S, el O y el D se estiman generalmente para valores de 1 a 4 o 5 y, en algunos contextos, de 1 a 10 (Lazzaroni et al., 2013).

2.5 EVALUACIÓN DE LA FIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

La aplicación de los conceptos de fiabilidad a los sistemas de distribución difiere de la generación y aplicaciones de transmisión, ya que está más orientada al punto de carga del cliente en lugar de ser orientado al sistema, y se considera el sistema de distribución local en lugar del conjunto sistema integrado que incluye las instalaciones de generación y transmisión. La generación y La fiabilidad de la transmisión también pone de relieve la capacidad y la pérdida de probabilidad de carga, con alguna atención prestada a los componentes, mientras que la fiabilidad de la distribución examina todas las facetas de ingeniería: diseño, planificación y operaciones. Porque el sistema de distribución es menos complejo que el sistema integrado de generación y transmisión, la probabilidad las matemáticas



involucradas es mucho más simple que la requerida para la generación y transmisión evaluaciones de fiabilidad. (Chowdhury, 2009).

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

2.5.1 CONCEPTO DE COSTO DE LA INTERRUPCIÓN.

Es una tarea bastante fácil establecer un criterio de fiabilidad. Hay muchos factores y cuestiones que deben tenerse en cuenta al establecer los criterios de fiabilidad. Sin embargo, el más importante es el costo de la interrupción. Se han realizado algunas encuestas y las cifras de los costos han sido publicadas. Estas cifras de costos varían de una encuesta a otra debido a la diferencia de tiempo, región y otros factores. Es la metodología que vale la pena investigar (Chowdhury, 2009).

El valor de la pérdida de carga se expresa como \$/kW o \$/kWh. La derivación del valor de la pérdida de carga depende de muchos factores; los tres más importantes son la época del año, la duración y la clase de cliente. Si se asume que el factor tiempo es el peor, es decir, se puede trazar un gráfico para el



coste de la interrupción frente a la duración de la misma para cada clase de cliente. Así que en el gráfico, hay diferentes curvas que representan a los clientes residenciales, comerciales, industriales, etc.

El resultado de la encuesta sobre el costo de la interrupción del cliente está, por supuesto, sujeto a variaciones, y allí hay muchas técnicas de refinamiento disponibles para perfeccionar los datos recogidos. En el establecimiento de la fiabilidad de los criterios, se debe considerar el costo de la fiabilidad. Siempre es posible hacer que el un sistema un poco más fiable, pero el coste incurrido debería aportar un beneficio digno de mención. En el pasado, el beneficio de la mejora de la fiabilidad era una cualidad abstracta; incluso la la mejora de la fiabilidad en sí misma es difícil de medir; sin embargo, hoy en día, con la fiabilidad cuantificado en índices y parámetros, y con un costo asociado a una interrupción, es posible para obtener alguna comparación de costo/beneficio. Obviamente, hay muchas otras consideraciones en la fiabilidad además de las económicas, como la imagen de utilidad, política, técnica, e incluso peligros para la salud (por ejemplo, una larga interrupción en invierno); sin embargo, el análisis de costo-beneficio da un indicación de la tasa de mejora marginal. Esta es una ventaja añadida en un sistema adecuado planificación y diseño.

2.5.2 EVALUACIÓN HISTÓRICA.

Normalmente se utilizan dos enfoques para la evaluación de la fiabilidad de los sistemas de distribución, a saber, la evaluación histórica y la evaluación predictiva. La evaluación histórica implica la recopilación y análisis de los datos de las interrupciones del sistema de distribución y de los clientes. Es esencial para las empresas eléctricas medir la fiabilidad real del sistema de



distribución y definir indicadores de rendimiento para evaluar la función básica de proporcionando una fuente de energía rentable y fiable a todos los tipos de clientes. El sistema de distribución es una parte importante del sistema de suministro eléctrico total. Esto se debe al hecho de que el sistema de distribución proporciona el enlace final entre el sistema de transmisión de una empresa de servicios públicos y sus clientes. Se ha informado en otros lugares que más del 80% de todas las interrupciones de clientes se producen como resultado de fallos en el sistema de distribución.

La evaluación histórica se describe generalmente como la medición del rendimiento pasado de un sistema registrando sistemáticamente la frecuencia, la duración y las causas del componente del sistema fallas e interrupciones de clientes. La evaluación predictiva de la fiabilidad, por el contrario, combina los datos de los componentes históricos de las interrupciones y los modelos matemáticos para estimar el rendimiento de las configuraciones designadas. Por lo tanto, las técnicas de predicción se basan en dos tipos básicos de datos para calcular la fiabilidad del servicio: parámetros de fiabilidad de los componentes y configuraciones físicas de la red.

Los datos históricos son muy útiles cuando se analizan para determinar qué fue mal en el pasado y por lo tanto lo corrige y también se utilizan como entrada para predecir el servicio futuro fiabilidad. Por lo tanto, tanto las evaluaciones históricas como las predictivas implican la recopilación de datos de la interrupción del sistema. Los modelos históricos resumen el rendimiento real de una distribución durante algún período de tiempo, por ejemplo, trimestral, semestral o anualmente. En este caso, el dato básico es un fallo del sistema, que es una interrupción del componente o una interrupción del



cliente. Cada evento de falla es tomado en consideración y analizado según las causas de la falla, la duración de la interrupción y el área del sistema afectada.

Se pueden obtener los índices de rendimiento de los sistemas orientados al cliente y a la carga manipulando los datos registrados. Estos índices son muy útiles para evaluar la gravedad de los eventos de interrupción. La evaluación del desempeño pasado es útil en el sentido de que ayuda a identificar las áreas débiles del sistema y la necesidad de refuerzo. Permite predicciones anteriores para ser comparadas con la experiencia real de campo. También puede servir como guía de valores aceptables en futuras evaluaciones de fiabilidad. Se pueden calcular diversos índices de rendimiento que expresan las estadísticas de interrupción en términos de clientes del sistema utilizando los datos de continuidad del servicio (Chowdhury, 2009).

2.5.3 ÍNDICES DE RENDIMIENTO.

Diversos índices de rendimiento que expresan las estadísticas de interrupción en términos de sistema los clientes se definen en lo siguiente.

El índice de frecuencia de interrupción media del sistema (SAIFI) es el número medio de veces que se interrumpe a un cliente del sistema durante un período de tiempo. En este capítulo, el período de tiempo considerado en el cálculo de los índices de rendimiento es de 1 año. Por lo tanto, el SAIFI se determina dividiendo el número total de interrupciones de clientes en un año por el número total de clientes atendidos al final del año. Una interrupción de cliente se considera como una interrupción a un cliente.

$$SAIFI = \frac{\text{Total de interrupciones de clientes}}{\text{Total de clientes atendidos}}$$



El índice de duración media de la interrupción del sistema (SAIDI) es la duración media de la interrupción por cliente atendido. Se determina dividiendo la suma de todas las duraciones de interrupción de los clientes durante un año por el número de clientes atendidos (Chowdhury, 2009).

$$SAIDI = \frac{\text{Total de horas de interrupción de clientes}}{\text{Total de clientes atendidos}}$$

El índice de duración media de las interrupciones de los clientes (CAIDI) es la duración media de las interrupciones de los clientes que se interrumpen durante un año. Se determina dividiendo la suma de todas las duraciones de interrupción de los clientes por el número total de interrupciones de los clientes durante un período de 1 año.

$$CAIDI = \frac{\text{Total de horas de interrupción de clientes}}{\text{Total de interrupciones del cliente}}$$

El Índice de Disponibilidad Promedio de Servicios (ASAI) es la relación del número total de horas de cliente que el servicio estuvo disponible durante un año al total de horas de cliente demandado. Las horas demandadas por el cliente se determinan como el número de año del cliente servido por 8760 h. Esto se conoce a veces como el Índice de Confiabilidad (IOR). El valor complementario de este índice, es decir, el Índice de Insuficiencia de Servicio Promedio puede también ser usado. Esta es la proporción del número total de horas de cliente que el servicio fue no disponible durante un año al total de horas de cliente demandadas (Chowdhury, 2009).

$$ASAI = \frac{\text{Horario de atención al cliente disponible}}{\text{Horario de atención al cliente demandado}}$$



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES.

Como material de la investigación tenemos a las instalaciones eléctricas del sub sistema de distribución secundaria en 220 V del distrito de Gregorio Albarracín Tacna. Este sub sistema de distribución secundaria en 220 V del distrito de Gregorio Albarracín Tacna; está conectado a las redes de distribución primaria que forman parte del sub sistema de distribución primaria y este sub sistema de distribución primaria esta interconectado al sub sistema de sub transmisión mediante la subestación Tacna 220/66/10.5 KV, y este a su vez Al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) mediante las líneas de transmisión eléctrica. El área del proyecto de investigación se encuentra en el departamento de Tacna, provincias de Tacna, Distrito de Distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa la misma que está a cargo de la empresa Electro Sur S.A. Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad.

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

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

- **De Campo**, la información de campo es primaria, teniendo como consecuencia conocimientos más reales sobre el problema, porque permite el contacto directo con la realidad, en el estudio de la presente investigación, las técnicas a utilizarse son la encuesta y la observación



de campo, ya que en su desarrollo presentan mayor complejidad y por ende los resultados que se obtienen son de fácil interpretación y análisis.

- **Documental**, el propósito de la revisión documental bibliográfica en la presente investigación tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema de investigación basándose en los documentos y publicaciones referentes al presente proyecto, las que permiten hacer un vínculo entre los antecedentes históricos y lo actual. “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas” (Sampieri, Collado, & Lucio, 2010).

Los estudios correlacionales, Asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más variables en un contexto en particular.

“Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables. Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más



variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después, cuantifican y analizan la vinculación. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba” (Sampieri et al., 2010).

De acuerdo a lo mencionado la presente investigación se enmarca dentro la investigación cuantitativa, Descriptiva Correlacional.

3.1.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

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

- **Análisis documental**

Mediante el cual se recopilará datos e información necesaria para desarrollar y sustentar éste estudio. Básicamente como su nombre lo indica a través del análisis de documentos existentes.

Se utilizara como fuente los datos, libros, informes, separatas, páginas de internet, etc., referente a temas relacionados con la investigación.

- **Observación**

La observación científica es aquella observación que se realiza como parte de un proyecto de investigación científica. Se caracteriza porque tiene objetivos definidos y concretos, y porque deliberadamente procura ser objetiva. En este ítem se examinan cuestiones relativas al registro de la observación, los tipos de observación, las precauciones en el empleo de esta técnica de recolección de datos y algunas de sus ventajas y limitaciones (Popper, 2017).

“La observación es el procedimiento empírico básico. Tanto la medición cuanto el experimento suponen observación, mientras que ésta se realiza sin



precisión cuantitativa (o sea, sin medición) y sin cambiar deliberadamente los valores de ciertas variables (o sea, sin experimentación). El objeto de la observación es, naturalmente, un hecho actual; el producto de un acto de observación es un dato, o sea, una proposición singular o existencial que exprese algunos rasgos del resultado de la acción de observar. Se ofrece, pues, un orden natural para nuestro estudio: el orden hecho-observación-dato. Nuestra discusión se terminará con un examen de la función de la observación en la ciencia.

Se observó el funcionamiento del sub sistema de distribución secundaria y todo el proceso de distribución del mismo. Otra de las técnicas de recolección de información a utilizar para esta investigación es la entrevista no estructurada, es aquella en que no existe una estandarización formal, habiendo por lo tanto una imagen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y respuestas”.(Bunge, 2004)

- **Internet**

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

Una vez obtenida la información esta se analizara e interpretara los relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, en especial con los objetivos y la hipótesis.

3.1.3. 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. Además se usará información proveniente del Internet para tener conocimiento de los últimos adelantos técnicos en este campo.

Los datos obtenidos en el proceso de investigación son analizados y mostrados en las gráficas para la mejor visualización, comprensión y así poder elaborar las posibles conclusiones y recomendaciones.

3.2 MÉTODO.

3.2.1. DIAGNÓSTICO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.

Para el cumplimiento de este objetivo: diagnóstico de la situación actual se determinara a través de la configuración actual de las instalaciones eléctricas del sub sistema de distribución secundaria en 220 V del distrito de Gregorio Albarracín Tacna y su situación de operatividad así como las características de configuración estableciendo la situación actual el mismo que será descrito de acuerdo a la siguiente tabla.



Tabla N°1 : Cuadro de Diagnostico

Sistema	Subsistema	equipo	Condición de operación
Sistema de Distribución Secundaria	Sistema de Transformación y control	Transformador Tablero	
	Sub Sistema de transporte energía	Conductores Eléctricos	
	Sistema de Soporte	Ferretería Soporte	
	Sub Sistema de Alumbrado Publico	Luminarias Equipo alumbrado	
	Sub Sistema de Protección	Fusibles Puesta a Tierra	
	Sistema de Medición	Acometidas Medidores de Energía	

Elaboración propia

3.2.2. COMPONENTES CRÍTICOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.

Para el presente objetivo se utilizara la metodología FMECA que a continuación se describe la secuencia lógica:(Modarres, Kaminskiy, & Krivtsov, 1999)

- Definir el sistema a analizar. Identificar el nivel de descomposición del sistema, que será objeto de análisis. Identificar los niveles internos y funciones de los sistemas de interfaz, restringiendo, desarrollando definiciones de fallos.
- Construir un diagrama de bloques del sistema. Según la complejidad del sistema y los objetivos del análisis.



- Identificar todos los posibles modos de fallo de los elementos y definir sus efectos sobre la función o el elemento inmediato, sobre el sistema y sobre la misión a realizar.
- Evaluar cada modo de fallo en función de la posible consecuencia, que puede resultar y asignar una categoría de clasificación de gravedad.
- Identificar los métodos de detección de fallos y la previsión de medidas de prevención para cada modo de fallo.
- Identificar el diseño correctivo u otras acciones necesarias para eliminar el fallo o controlar el riesgo.
- Documentar el análisis e identificar los problemas, que no pudieron ser corregidos por diseño.

El objetivo del método propuesto es identificar los componentes más críticos de una red eléctrica para priorizar acciones de mantenimiento (Melani et al., 2018).

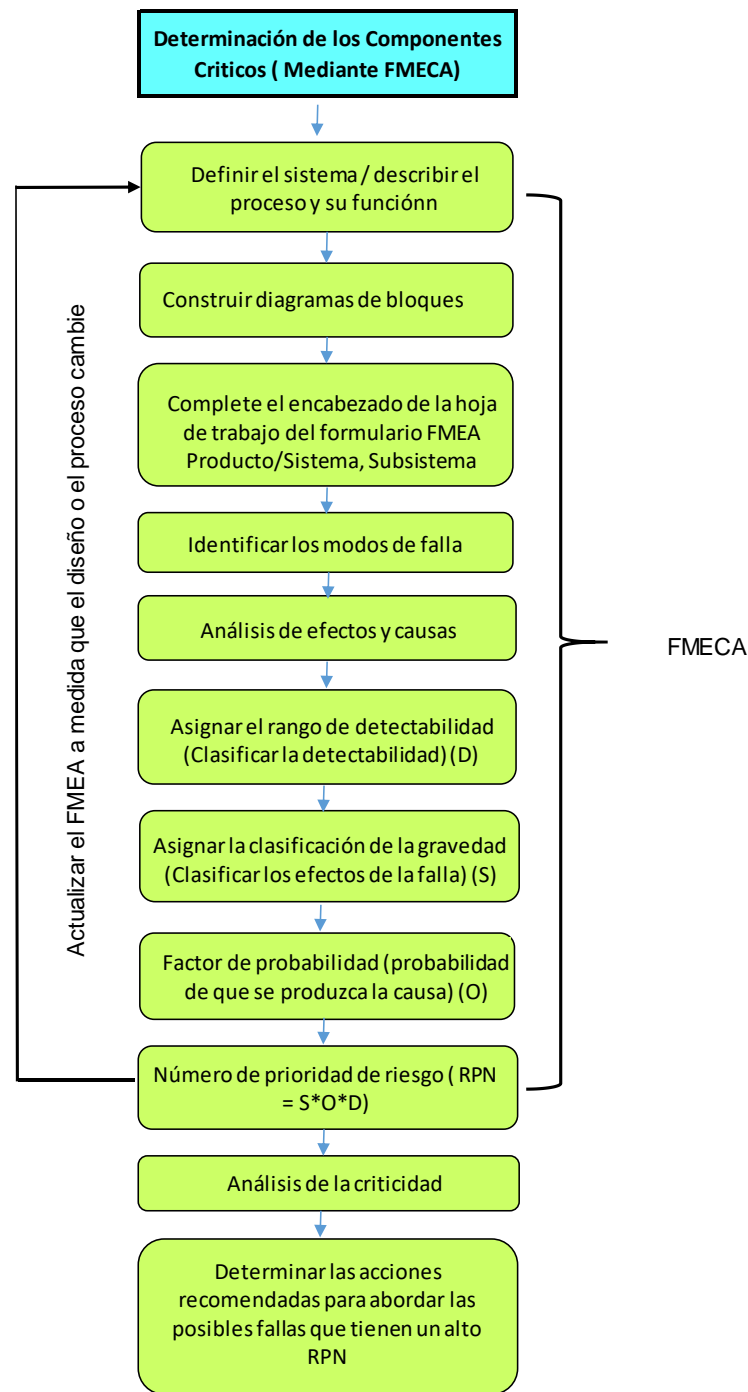


Figura N° 10: Diagrama lógico del método FMECA

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

3.2.2.1.CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL FMECA.

Se utiliza el método de Análisis de Modo de Fallo, Efectos y Criticidad (FMECA) para identificar los modos de fallo de los componentes

(equipos) y los impactos en su desempeño, esta herramienta se convirtió en objeto de normalización en muchas áreas industriales. La herramienta de análisis asume que un modo de falla ocurre en un equipo o componente a través de algunos mecanismos de fallo que pueden ser eliminados a través de acciones de mantenimiento. En cuanto a la falla de los componentes criticidad el método propone el uso de la Número de prioridad (RPN) (Melani et al., 2018).

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

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 examinado.
- D (Detección) es la estimación de la posibilidad de identificar/diagnosticar y eliminar/prevenir el inicio de una avería antes de que sus efectos se manifiesten en el sistema o el personal.
- S (Gravedad) representa la estimación de la intensidad de los efectos de un fallo en el sistema o el usuario (personal o cliente, por ejemplo). Este es la gravedad o criticidad del fallo y se expresa generalmente en niveles de criticidad, cabe señalar que S es un número no dimensional. . (Lazzaroni et al., 2013).



3.2.2.2. ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LA CRITICIDAD.

Para clasificar los componentes más críticos del sistema en estudio, se requiere un proceso de selección. Por lo tanto, al analizar los resultados obtenidos a través del FMECA, Utilizamos la evaluación propuesta de acuerdo a las calificaciones de la tablas 2, 3 y 4 para cada parámetro, ocurrencia O, gravedad S y detectabilidad D.

Tabla N°2: Calificación de Ocurrencia

Ocurrencia (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años		5
Una vez cada 2 años	Promedio, fallas ocasionales	6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falta frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Tabla N°3: Calificación de Detectabilidad

Detección (D)		
Nivel de detección	Criterio de Ocurrencia	valor
No detectable	Imposible	10
Dificiles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
Detectar al azar (Improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Possible deteccion	Bajo	5
	Tarde	4
Deteccion Confiable	FaciI	3
	Inmediato	2
Deteccion permanente	Acción correctiva inmediata	1

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Tabla N°4: Calificación de Detectabilidad

Gravedad (S)		
Duración del Servicio Interrupción	Criterio de Severidad	valor
>8h	Muy catastrófica	8
7h	Catastrófica	7
6h	Muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	Muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
< 30 minutos	Muy pequeña	0.2

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

3.2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS POR SU CRITICIDAD

Elegimos el valor para el umbral de la criticidad de acuerdo a la tabla

5. Los elementos críticos más allá de 30 se agrupan en orden ascendente en la tabla 5. Son estos elementos los que debemos actuar

principalmente mediante acciones de mantenimiento, correctivas, preventivas, de mejora o incluso de sustitución.

Tabla N°5: Calificación de Criticidad.

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

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

3.2.2.4. CUADRO DE FMECA.

La tabla 6 resume el trabajo que hicimos sobre la aplicación del método de análisis de los efectos de los modos de falla y la criticidad, (FMECA) al sistema de distribución de energía.



Tabla N°6: Tabla de datos para análisis de FMECA

Gravedad (S)	
RESULTADOS FINALES	RPN FINAL
RPN= SxOxD	Deteccion final
Deteccion [1-10]	Ocurrencia final
Controles de diseño	Gravedad final
Ocurrencia [1-10]	Acciones Tomadas
Efectos de la falta	
Gravedad [0.2-8]	
Efecto de falta	
Modo de falta	
Elemento y función	

Fuente: (Lazzaroni et al., 2013).



3.2.3. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo basado en el riesgo se seguirá el método propuesto en base a la criticidad de los elementos de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla N°7: Tabla de Plan de Mantenimiento

Plan de Mantenimiento basado en el riesgo		
Elemento	Criticidad	Acción de mantenimiento
	(C)	
	0-30	Acción correctiva
	31-60	Mantenimiento preventivo
	61-180	sistemático
	181-252	
	253-324	Revisión del diseño
	>324	completo (Rediseño)

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se tiene los resultados correspondientes a los objetivos planteados en la presente investigación de acuerdo a la metodología planteada en el capítulo anterior.

4.1. DIAGNÓSTICO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.

El subsistema de distribución secundaria de Gregorio Albarracín se alimenta de la SE Tacna (Los Héroes), como se muestra en el diagrama unifilar.

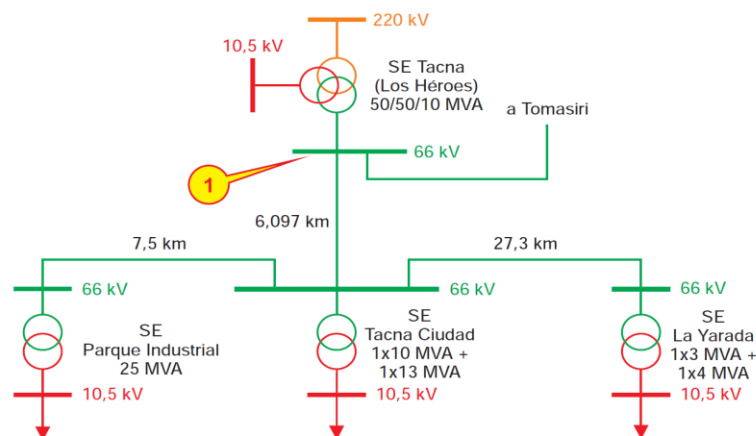


Figura N° 11: Barra de alimentación en 10 KV.

Fuente: OSINERGMIN

En el diagnóstico de las instalaciones de la red secundaria se ha podido verificar la situación real de las instalaciones y los diferentes equipos que forman parte de la red secundaria las mismas que presentan pérdida de la

función pero que se encuentran en operación como podemos detallar en los cuadros a continuación para la mejor interpretación.

Tabla N°8: Condición de la Sub estación de Distribución

Subsistema	Equipo	Condición de Operación	Observación
	Transformador	En operación	Ninguna
Sistema de Transformación y control	Tablero	En Operación	Algunas subestaciones de distribución de la Red Secundaria están en operación pero con pérdida de la función (mal funcionamiento) como podemos apreciar en la imagen

Elaboración propia.



Figura N° 12: .S.E. 41 Con pérdida de la función

Elaboración propia.

Tabla N°9: Condición de los conductores

Subsistema	Equipo	Condición de Operación	Observación
Sub Sistema de transporte energía	Conductores eléctricos	En operación	Se tendrá que mejorar las distancias mínimas de seguridad respecto a los conductores de comunicación que de acuerdo al CNE Suministro 2011 Sección 23 es de 0.6 m como mínimo.

Elaboración propia.



Figura N° 13: Estado de los conductores

Elaboración propia.

Tabla N°10: Condición de las estructuras y ferretería

Subsistema	Equipo	Condición de Operación	Observación
Sistema de Soporte	Ferretería	En Operación	Con pérdida de la función en algunas estructuras presenta corrosión
	Soportes	En Operación	Requieren reubicación en algunos puntos por no cumplir las distancias mínimas de seguridad que de acuerdo al CNE Suministro 2011 Sección 23 es de 1 m como mínimo para redes secundarias

Elaboración propia.



Figura N° 14: Estado de las estructuras

Elaboración propia.



Figura N° 15: Estado de las estructuras
Elaboración propia.

Tabla N°11: Condición del Alumbrado publico

Subsistema	Equipo	Condición de Operación	Observación
Sub Sistema de Alumbrado Publico	Luminarias	En operación	Ninguna
	Equipo de Alumbrado	En operación	Requiere de limpieza presenta acumulación de polvo lo que causa disminución de luminosidad

Elaboración propia.



Figura N° 16: Estado de las estructuras
Elaboración propia.

Tabla N°12: Condición del sistema de protección

Subsistema	Equipo	Condición de Operación	Observación
Sub sistema de Protección	Fusibles	Operativo	Ninguna
	Puesta a tierra	Operativo	Ninguna

Elaboración propia.

Tabla N°13: Condición del sistema de medición

Subsistema	Equipo	Condición de Operación	Observación
Acometidas	Acometidas, domiciliarias, comerciales e industriales	En operación	Presentan malas instalaciones no cumplen distancias mínimas de seguridad
	Medidores de energía	En operación	Presentan mal funcionamiento o pérdida de la función

Elaboración propia.

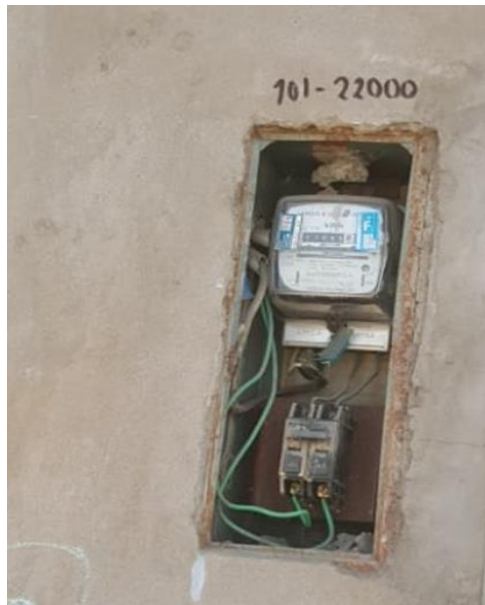


Figura N° 17: Estado de los equipos de medición
Elaboración propia.



**Figura N° 18: Estado de las acometidas
Elaboración propia.**

4.2. COMPONENTES CRÍTICOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.

Siguiendo el método propuesto en el capítulo 3 procedemos a realizar el análisis de modos, efectos de falla y criticidad (FMECA), y de acuerdo a los cuadros de calificación RPN tenemos los siguientes resultados:

Tabla N°14: Registro de fallas

Falla Funcional (FF)	Ocurrencia	Acumulado	%Acumulado
Acometidas	278	278	19.87%
Medidores de energía	256	234	38.17%
Puesta a tierra	187	721	51.54%
Fusibles	198	919	65.69%
Lámparas	156	1075	76.84%
Luminarias	147	1222	87.35%
Tablero	87	1309	93.57%
Transformador	28	1337	95.57%
Conductores eléctricos	19	1356	96.93%
Ferretería	16	1372	98.07%
Soportes	9	1381	98.71%
Corte maniobras	6	1387	99.14%
Operación	5	1392	99.50%
Fenómenos naturales	4	1396	99.79%
Acción de terceros	3	1399	100.00%

Fuente: ELSE

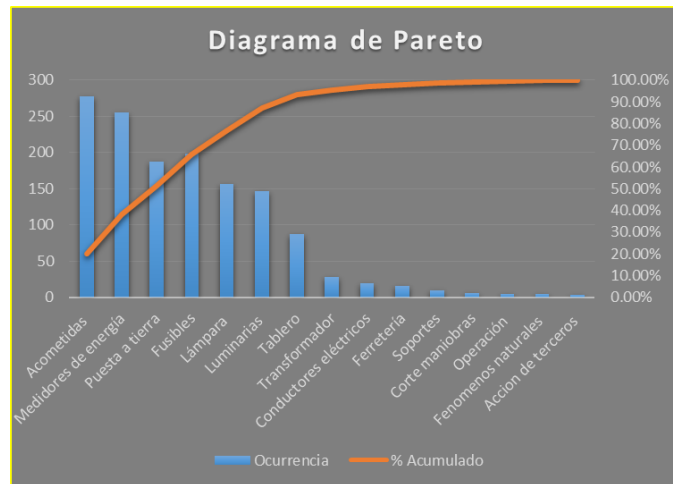


Figura N° 19: Diagrama de Pareto

Fuente: ELSE

Tabla N°155: Análisis FMECA Soportes

Sub sistema	Equipo	Función	Modos de falla	Efecto de la falla	Deteccion	Occurrencia (O) [1-10]	Gravedad (S) [0.2-8]	Detectabilidad (D) [1-10]	RPN=SxOxD
Soportes (postes de concreto)	Ferretería	Fijar elementos de transporte y sujeción	Rotura	Desconexión de equipos	Visual	2	4	2	16
	Soportes	Mantener distancias de seguridad	Fisura en estructuras Roturas	Caída de soporte	Visual	2	4	2	16

Elaboración propia.

Tabla N°166: Análisis FMECA Conductores eléctricos

Sub sistema	Equipo	Función	Modos de falla	Efecto de la falla	Deteccion	Occurrencia (O) [1-10]	Gravedad (S) [0.2-8]	Detectabilidad (D) [1-10]	RPN=SxOxD
Transporte energía (conductores auto portantes)	Conductores eléctricos	Transferir energía entre conexiones	Circuito abierto, corto circuito Cables pelados Rotura de conductores	Desconexión de la línea Sobretensiones y desbalance de fases	Visual	2	5	3	30

Elaboración propia.

Tabla N°177: Análisis FMECA Transformador de Distribución

Sub sistema	Equipo	Función	Modos de falla	Efecto de la falla	Deteccion	Ocurrencia (O) [1-10]	Gravedad (S) [0,2-8]	Detectabilidad (D) [1-10]	RPN=SxOxD
Transformador de distribución	Transformador	Elevar o reducir el nivel de voltaje de una fuente de alimentación alterna	Baja resistencia de aislamiento Salida del transformador en la alimentación al momento de mala	Cortocircuito Calentamiento de enrolamientos	Visual Ruido Termografía	2	6	5	60
	Tablero	Protección cada uno de los distintos circuitos en los que se divide la instalación a través de fusibles, protecciones magnetotermicas y diferenciales, control de alumbrado publico	Pérdida de control y protección de los circuitos y el alumbrado publico	Falta de energía Sobrecalentamiento Cortocircuito Perdida de aislamiento o sistema de control dañado	Visual Termografía	2	6	6	72

Elaboración propia

Tabla N°188: Análisis FMECA Alumbrado Publico

Sub sistema	Equipo	Función	Modos de falla	Efecto de la falla	Deteccion	Ocurrencia (O) [1-10]	Gravedad (S) [0,2-8]	Detectabilidad (D) [1-10]	RPN=SxOxD
Alumbrado Publico	Lámpara	Transformar la energía eléctrica en energía lumínica	No transformar la energía eléctrica en energía lumínica Falsos contactos	Falla de equipos	Visual	6	8	2	96
	Lámparas	Soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas	Falla de los equipos de la lámpara Daño físico	Falla de equipos	Visual	5	8	2	80

Elaboración propia.

Tabla N°199: Análisis FMECA Protección

Sub sistema	Equipo	Función	Modos de falla	Efecto de la falla	Deteccion	Ocurrencia (O) [1-10]	Gravedad (S) [0,2-8]	Detectabilidad (D) [1-10]	RPN=SxOxD
Protección	Puesta a tierra	Disipar corrientes de falla	Discontinuidad Alta resistencia	Falla de equipos	Visual	7	4	6	168
	Fusibles	Protección contra sobre corrientes	No se funde	Falla de equipos	Visual	5	5	5	125

Elaboración propia.

Tabla N°20: Análisis FMECA Acometida

Sub sistema	Equipo	Función	Modos de falla	Efecto de la falla	Deteccion	Ocurrencia (O) [1-10]	Gravedad (S) [0,2-8]	Detectabilidad (D)[1-10]	RPN=SxOxD
Acometida	Acometidas domiciliarias, Comerciales e Industriales	Transferencia de energía entre conexiones	Circuito abierto Corto circuito Cables pelados Rotura de conductores	Descomposición del circuito	Continuidad Visual	8	7	6	336
	Medidores de energía	Cuantificar y registrar cantidades de energía y potencia del usuario final	Error de precisión Alteración del equipo	Mal registro	Visual	9	5	7	315

Elaboración propia.

Para realizar la clasificación de los elementos por su criticidad elegimos el valor para el umbral de la criticidad de acuerdo de la tabla 5. Teniendo en consideración los parámetros establecidos en la clasificación de la criticidad tenemos el siguiente resultado. En el cual podemos observar que tenemos dos elementos muy críticos los cuales son las acometidas y los medidores de energía de acuerdo a la clasificación realizada en el análisis de criticidad.

Tabla N°201: Clasificación de Criticidad

Equipo	Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN=SxOxD	Criticidad	Riesgo o Peligro
Ferretería	2	4	2	16	Menor	Aceptable
Soportes	2	4	2	16	Menor	Aceptable
Conductores eléctricos	2	5	3	30	Menor	Aceptable
Transformador	2	6	5	60	Medio	Tolerable
Tablero	2	6	6	72	Alto	Tolerable
Lámpara	6	8	2	96	Alto	Tolerable
Luminarias	5	8	2	80	Alto	Tolerable
Puesta a tierra	7	4	6	168	Alto	Tolerable
Fusibles	5	5	5	125	Alto	Tolerable
Acometidas	8	7	6	336	Muy crítico	Inaceptable
Medidores de energía	9	5	7	315	Muy crítico	Inaceptable

Elaboración propia.

4.3. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo basado en el riesgo del sistema de distribución secundaria de Gregorio Albarracín, se seguirá el método propuesto en base a la criticidad de los elementos de acuerdo al criterio planteado en la tabla 7 descrita en el capítulo anterior y teniendo en consideración el diagnóstico realizado en campo se ha determinado y propuesto el siguiente plan de mantenimiento mostrado en la tabla N° 22.

Tabla N°212: Plan de mantenimiento

Plan de Mantenimiento		
Equipo	Criticidad (C)	Acción de Mantenimiento
Acometidas	336	Revisión del diseño completo (Rediseño)
Medidores de energía	315	
Puesta a tierra	168	Mantenimiento Preventivo Sistemático
Fusibles	125	
Lámpara	96	
Luminaria	80	
Tablero	72	
Transformador	60	
Conductores eléctricos	30	Acción correctiva
Ferretería	16	
Soportes	16	

Elaboración propia.

El plan de mantenimiento propuesto se describe a continuación:

- Para las acometidas y medidores de energía se deberá implementar la revisión del diseño completo es decir realizar un rediseño que consiste en mejorar el diseño de los equipos sea por envejecimiento o por obsolescencia tecnológica, en hacerles modificaciones, que permitan una mayor vida útil del mismo. La acción



modificativa, es una versión superior y desarrollada de las acciones correctivas. Sucede cuando en forma continua se aplican reparaciones que no surten efecto en la recuperación de la funcionalidad del equipo, con el fin de determinar la razón primaria de la condición fuera del estándar, una vez se encuentra la causa raíz del problema se pasa a realizar modificaciones en el equipo o sistema, mediante la aplicación de conceptos y acciones propias de la ingeniería de diseño. El mantenimiento modificativo intenta eliminar la causa del fallo.

- Para el sub sistema de protección y alumbrado público se realizara mantenimiento preventivo sistemático que es aquel mantenimiento preventivo efectuado de acuerdo con un plan establecido a intervalos regulares de tiempo, teniendo en cuenta la criticidad de cada elemento es aquel predefinido con base en un plan que establezca intervenciones periódicas y sistemáticas según el tiempo. Nos permite planear en el tiempo cuándo debe hacerse la reposición o reconstrucción del elemento antes de que entre en modo de falla por función.
- Para los conductores eléctricos, soportes y ferretería se aplicara acciones correctivas; las acciones correctivas o el mantenimiento correctivo consiste en la pronta reparación de la falla cuando esta aparesca.



V. CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico de la situación actual del estado de las conexiones domiciliarias, medidores de energía, subsistema de protección, soportes, ferretería, sub estaciones de distribución, tableros y circuitos del sub sistema de distribución secundaria de la localidad de Gregorio Albarracín Tacna. En el que se ha encontrado instalaciones deficientes con pérdida de la función de los equipos e instalaciones.
- Se determinó el nivel de criticidad de acuerdo al método propuesto del cual podemos observar que tenemos dos elementos muy críticos los cuales son las acometidas o conexiones domiciliarias y los medidores de energía.
- Se propone el plan de mantenimiento basado en el riesgo teniendo los resultados o conclusiones siguientes: Para las acometidas y medidores de energía se deberá implementar la revisión del diseño completo es decir realizar un rediseño que consiste en mejorar el diseño de los equipos; para el sub sistema de protección y alumbrado público se realizara mantenimiento preventivo sistemático que es aquel mantenimiento preventivo efectuado de acuerdo con un plan establecido a intervalos regulares de tiempo; para los conductores eléctricos, soportes y ferretería se aplicara acciones que consiste en la pronta reparación de la falla cuando esta aparesca.



VI. RECOMENDACIONES

- De los resultados obtenidos en la presente investigación podemos recomendar a la empresa plantear políticas para implementar la gestión de mantenimiento propuestos, estas podrían ser realizar un proceso de saneamiento de las acometidas domiciliarias, mejorar las distancias de seguridad de las redes en baja tensión y demás acciones necesarias que permitan establecer estándares de calidad de la energía a los usuarios finales.
- En cuanto a la línea de investigación se debe de alentar a los egresados a continuar con este tipo de estudios para implementar la gestión de mantenimiento que es una herramienta de decisión netamente aplicativa a los servicios eléctricos de distribución de la energía.



VII. REFERENCIAS

- Anthony J. Pansini, E.E., P. E. (2007). *Electrical Distribution Engineering* (3rd Editio; E. distribution Engineering, ed.). Retrieved from www.fairmontpress.com
- Aristóteles, & Juárez Cervantes, J. D. (2002). *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*. In (Vol. 52).
- Bunge, M. (2004). *La Investigacion Cientifica - Su Estrategia Y Su Filosofia*. In s. a. de c. v. siglo xxi editores (Ed.), *Siglo Veintiuno* (tercera ed). Mexico. D.F: siglo xxi editores, s.a. de c.v.
- Chowdhury, A. A. (2009). *Power Distribution Practical Methods and Applications* (1°; IEEE Press Editorial Board, ed.). Retrieved from www.wiley.com.
- 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>
- Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°).
<https://doi.org/10.1201/9781420006780>
- Duthie, J. C., Robertson, M. I., Clayton, A. M., & Lidbury, D. P. G. (1998). Risk-based approaches to ageing and maintenance management. *Nuclear Engineering and Design*, 184(1), 27–38. [https://doi.org/10.1016/s0029-5493\(97\)00366-x](https://doi.org/10.1016/s0029-5493(97)00366-x)
- Garrido, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento Manual* (Ediciones; 2003 Reservados Santiago García Garrido, ed.). Retrieved from <http://www.diazdesantos.es/ediciones>
- Gulati, R. (2009). *Maintenance and Best Practices Reliability*. In I. Industrial Press



- (Ed.), *Reliability* (1°). New York: Industrial Press, Inc.
- Gutiérrez, A. M. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (Segunda ed; COLDI, ed.). Medellín Colombia ©Segunda: Fuentes Litográficas Limitada.
- Khan, F. I., & Haddara, M. M. (2003). Risk-based maintenance (RBM): A quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), 561–573.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2003.08.011>
- Lazzaroni, M., Cristaldi, L., Peretto, L., Rinaldi, P., & Catelani, M. (2013). Reliability Engineering Basic Concepts and Applications in ICT. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°, Vol. 53).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 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>
- Mobley, R. K. (1999). Root Cause Failure Analysis. In Butterworth-Heinemann (Ed.), *Plant engineering maintenance series* (2°). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809272-9.00035-9>
- Mobley, R. K., & Wikoff, D. J. (2008). *Maintenance Engineering Handbook 7th Edition* (Seventh Ed; M.-H. Companies, ed.). New York: Mc Graw Hill.
- Modarres, M., Kaminskiy, M., & Krivtsov, V. (1999). *Reliability Engineering and Risk Analysis A Practical Guide* (IV. Series). Retrieved from www.dekker.com
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. (Segunda Ed; I. P. Inc., ed.). USA: Industrial Press Inc.
- osarenren, J. (2015). *Integrated reliability Condition Monitoring and Maintenance of equipment* (1°; F. 33487-2742 CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken



- Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton & ©, eds.). Retrieved from
<http://www.taylorandfrancis.com>
- Pansini, A. J. (2000). Guide to electrical power distribution systems. In M. D. Press
(Ed.), *The Fairmont Press, Inc.* (6th ed.).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Patrick, D. R., & Stephen, W. F. (2009). *Electrical distribution systems* (2nd ed.;
Crcpress, ed.). Retrieved from uk.tandf@thomsonpublishingservices.co.uk
- Popper, K. R. (2017). *La lógica de la investigación científica* (1°; Oronet, ed.).
MEXICO. D.F: ePub base r1.2.
- Rodrigo, P. (2005). El arte de mantener. *Universidad de Chile*, 835.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. del P. B. (2010). *Metodología de la
investigación* (Quinta edi; S. A. D. C. . McGRAW-HILL / Interamericana Editores,
ed.). México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Sclater, N., & Traister, E. J. (2003). *Handbook of Electrical Design Details*.
<https://doi.org/10.1036/0071425799>
- Teixeira, F., & Junior, J. L. (2016). Methodology for assessing the probabilistic
condition of an asset based in concepts of structural reliability “pCBM -
Probabilistic Condition Based Maintenance.” *Procedia Structural Integrity*, 1,
181–188. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.02.025>
- W, F. S., & Patrick, D. R. (2013). Electrical Power System Techniligy 3ed. In *CRC
press* (Vol. 84). Retrieved from <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2012). *Maintenance Optimization for Equipment
of Power Distribution System Based on FMECA Method*. 6.

ANEXOS

ANEXO 1: Panel fotográfico



**Figura N°20: Estado de los equipos de medición
Elaboración propia.**

ANEXO 2: SUM 106013 RIESGO PUBLICO DE CONDUCTOR CONCENTRICO AVERIADO



**Figura N°21: Estado de los equipos de medición
Elaboración propia**



ANEXO 4: SUM 106013 RIESGO PUBLICO DE CONDUCTOR CONCENTRICO AVERIADO



ANEXO 5: SUMINISTRO RIESGO PUBLICO CAJA PORTAMEDIDOR SIN TAPA



**Figura N°22: Estado de los equipos de medición
Elaboración propia**

ANEXO 6: RED SECUNDARIA AVERIADO



**Figura N°23: Estado de los equipos de medición
Elaboración propia**