



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

**Elaboración de plan de mantenimiento de subestación de potencia para mejorar la disponibilidad, Caso de S.E. 7 MVA
60/10 kV**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORA:

Huaman Bocanegra, Merly Carisol (ORCID: 0000-0002-1417-7371)

ASESOR:

Dr. Salazar Mendoza, Anibal Jesús (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

CHICLAYO – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios, por haberme dado la vida, salud y la fuerza necesaria en este proceso tan importante, para poder alcanzar mis metas personales y profesionales.

A mi madre, por ser la persona más importante en mi vida, quien siempre está conmigo en todo momento brindándome su apoyo incondicional y por ser mi mayor soporte.

A mis hermanos, por su apoyo moral y por estar presentes siempre en los pasos más importantes de mi vida.

Merly Carisol

Agradecimiento

A Dios, por bendecirme siempre para poder cumplir mis metas trazadas.

A mi madre, por ser una mujer muy perseverante, guerrera, que con ahínco ha logrado darme lo mejor de sí y por ser mi mayor inspiración.

A mis hermanos, por estar siempre motivándome a seguir desarrollándome personal y profesionalmente en todo momento.

Agradezco a la Universidad Cesar Vallejo, por el programa de estudios y a los docentes, en especial a mi asesor Anibal Salazar Mendoza, por ser mi guía en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Merly Carisol

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Variables y operacionalización.....	15
3.3. Población, muestra y muestreo.....	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.5. Procedimientos	18
3.6. Método de análisis de datos.....	18
3.7. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS.....	20
V. DISCUSIÓN.....	56
VI. CONCLUSIONES.....	57
VII. RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS.....	63

Índice de tablas

Tabla 1: <i>Listado de tipos de fallas</i>	31
Tabla 2: <i>Listados de datos de equipos de subestación eléctrica</i>	32
Tabla 3: <i>Análisis Valores SAIDI del Transformador, antes de aplicar plan de Mantenimiento</i>	40
Tabla 4: <i>Análisis Valores SAIDI del Transformador, después de aplicar plan de Mantenimiento</i>	42
Tabla 5: <i>Tabla T Student para Grados de Libertad de 1 a 49</i>	44
Tabla 6: <i>Análisis SAIDI de los seccionadores, antes de aplicar el plan de mantenimiento</i>	46
Tabla 7: <i>Análisis SAIDI de los seccionadores, después de aplicar plan de Mantenimiento</i>	48
Tabla 8: <i>Pliego Tarifario Vigente de Media Tensión – Electronorte</i>	51
Tabla 9: <i>Coeficientes Beta de apalancamiento</i>	54
Tabla 10: <i>Estado de pérdidas y ganancias periodo 2022-2031</i>	55

Índice de figuras

<i>Figura 1:</i> Curva de bañera	25
<i>Figura 2:</i> Cadena productiva de las actividades en la energía eléctrica.....	27
<i>Figura 3:</i> Esquema básico de un transformador.....	28
<i>Figura 4:</i> Bahía o módulo de subestación – disposición de equipos	30
<i>Figura 5:</i> Evolución de la disponibilidad	35
<i>Figura 6:</i> Evolución del tiempo medio entre fallas	36
<i>Figura 7:</i> Variación anual riesgo País.....	54

Resumen

La confiabilidad de los sistemas eléctricos de transmisión, subtransmisión y distribución, expresado en los indicadores SAIDI (Duración) y SAIFI (Frecuencia), de fallas, ha pasado a tener mayor relevancia con la cada vez mayor integración de las Energías Renovables No Convencionales, a la oferta de los sistemas interconectados, pero también distribuidos. Esta confiabilidad ha determinado que se tengan que implementar medidas de mejor diseño y construcción, pero también de mayor control del mantenimiento, tanto a nivel preventivo, como a nivel predictivo o de indicadores de situación. Estos nuevos planes de mantenimiento aparte de tener una mayor erogación financiera, traen como consecuencia una mejora de los índices de confiabilidad y por lo tanto mayores horas de confiabilidad, y de producción de energía activa, energía reactiva y energía aparente, que multiplicado por precio unitario de venta determinado por el mercado, nos determina un mayor ingreso por el ítem Energía. Igual análisis se realiza por el tema de potencia, y su respectivo incremento de disponibilidad, estos valores obtenidos en los periodos que contempla el análisis, determinan la relación y análisis inferencial, estadístico, para determinar la confirmación del grado de confianza de los valores, por medio de la prueba t de student, logrando demostrar la validez estadística de los resultados obtenidos, siendo de vital importancia la demostración de la hipótesis planteada.

Por otro lado, se logra demostrar la rentabilidad obtenida, por el mejoramiento de la confiabilidad, en donde los fondos invertidos en el nuevo plan de mantenimiento para aumentar la confiabilidad, permiten obtener valores altos a los indicadores de Valor actual Neto - VAN y tasa interna de retorno Económico TIR.

Palabras clave: Plan de Mantenimiento, confiabilidad, potencia, energía

Abstract

The reliability of the electrical transmission, sub-transmission and distribution systems, expressed in the SAIDI (Duration) and SAIFI (Frequency) indicators of failures, has become more relevant with the increasing integration of Non-Conventional Renewable Energies, to the offer of interconnected, but also distributed systems. This reliability has determined that measures of better design and construction have to be implemented, but also of greater control of maintenance, both at a preventive level, as well as at a predictive level or situation indicators. These new maintenance plans, apart from having a greater financial outlay, bring as a consequence an improvement in the reliability indexes and therefore greater hours of reliability, and production of active energy, reactive energy and apparent energy, which multiplied by unit price of sale determined by the market, determines a higher income for the Energy item. The same analysis is performed on the issue of power, and its respective increase in availability, these values obtained in the periods contemplated by the analysis, determine the relationship and inferential, statistical analysis, to determine the confirmation of the degree of confidence of the values, by means of the student's t-test, managing to demonstrate the statistical validity of the results obtained, being of vital importance the demonstration of the proposed hypothesis.

On the other hand, it is possible to demonstrate the profitability obtained, by improving reliability, where the funds invested in the new maintenance plan to increase reliability, allow obtaining high values to the indicators of Net Present Value - NPV and internal rate of Economic return IRR.

Keywords: Maintenance plan, reliability, power, energy.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó para estudiar tanto en el Perú, como a nivel mundial, la necesidad de disminuir las fallas – interrupciones, del servicio eléctrico en las sub estaciones de potencia (expresadas en el indicador SAIDI y el indicador SAIFI), así como las perturbaciones a los parámetros fundamentales de frecuencia y tensión, estas mejoras a la calidad involucran un correcto diseño, una correcta fabricación y montaje y una correcta operación y mantenimiento. Los sistemas eléctricos son generación, transmisión y distribución – comercialización de la energía y potencia eléctrica, en la transmisión son de vital importancia las subestaciones eléctricas de potencia, infraestructura eléctrica encargada de elevar o disminuir el nivel de tensión, con las máximas condiciones de confiabilidad, disponibilidad y seguridad.

Para lo cual se utilizan maquinas eléctricas estacionarias, tales como los transformadores (con niveles de tensión en el primario y el secundario con ventilación natural y ventilación forzada), y todos sus dispositivos de seguridad (interruptores de potencia, seccionadores etc., pararrayos, puestas a tierra, sistemas contra incendio) y dispositivos de control (tableros, sistemas de automatización – Scada, sistemas telemetría, pórticos de entrada y salida.

Para el desarrollo productivo en lo que compete la manufactura eléctrica, son muy importantes los métodos de gestión del mantenimiento, ya que es indudable más aún si se procura ofrecer servicios de calidad, con el principal objetivo de la satisfacción del servicio eléctrico. En el actual momento se dice que los métodos de mantenimiento y gestión cuya estrategia en el caso de los activos eléctricos, necesita concordar con la estrategias del empresariado, a fin de delinear programas de mantenimiento perfeccionados; esto significa que, conforme a la criticidad de los activos eléctricos, propiciando la mejora de su eficacia (valor, tiempo y calidad) y también la fiabilidad de sus operaciones (Gonzalez, 2016).

Es necesario que aparte de describir, las herramientas, hipótesis y métodos relacionados a la valoración del problema y el análisis de sus causas raíces de fallas, se efectuó el esquema de un método de gestión del mantenimiento a partir del estudio del estado del arte de los temas del mantenimiento, avance continuo y

métodos o equipos de confiabilidad de operaciones que pueden aplicarse a una organización del tipo sector eléctrico.

El desarrollo actual del país y su nivel acelerado de desarrollo económico a mediano y largo plazo, impone el acrecentamiento de la demanda de energía eléctrica (La relación es que el porcentaje de crecimiento de la demanda eléctrica, es de dos por ciento mayor al porcentaje de crecimiento de la producción económica), con una actividad de generación, transmisión, distribución y venta de energía eléctrica, cada vez más competitiva, confiable y de calidad (Monroy, 2016).

Toda esta infraestructura eléctrica de las subestaciones de potencia, necesitan de un correcto mantenimiento que de acuerdo con los canones actuales debe ser de naturaleza, Predictiva (analizando indicadores, tales como fugas, distancias dieléctricas, vibraciones, sobrecalentamientos, entre otros), Preventiva (de acuerdo a cronogramas de intervenciones programadas de acuerdo a recomendado por los fabricantes, también como de la experiencia operativa misma y por último en instancia no deseada el mantenimiento correctivo.

El proceso de gestión del mantenimiento en el sector eléctrico, se divide en dos etapas: La primera etapa es de la ilustración de la mejor estrategia de mantenimiento, la cual necesita de la definición de los fines del mantenimiento y por lo tanto el esquema de una estrategia de mantenimiento que conversa con los técnicas del negocio, es clave y establece la realización de los objetivos, por ejemplo: la contaminación de los sistemas eléctricos por polvo en suspensión, la segunda etapa, que consiste en la implementación de la táctica de mantenimiento y que está estrechamente, concerniente con la habilidad para aseverar niveles adecuados de formación de personal técnico, de preparación de trabajos y selección de máquinas y herramientas (Manriquez, 2016).

Por lo que se convierte en indispensable, la elaboración de un plan de mantenimiento de la subestación eléctrica de potencia, estructurado en modificaciones iniciales y en acciones periódicas, debemos de entender que este plan de mantenimiento se constituirá en la guía y soporte de las tareas de mantenimiento que deben de realizar en una subestación eléctrica de potencia, con los detalles de las acciones a realizarse.

De acuerdo a la realidad problemática, analizada, nos planteamos el siguiente problema central: ¿Cómo se obtiene una mayor confiabilidad de las subestaciones eléctricas, mediante la optimización de los planes de mantenimiento, para superar los problemas generados por el crecimiento de las redes eléctricas, en los sistemas interconectados?

Como justificación académica, se alinea la presente investigación a la búsqueda del óptimo teórico del mantenimiento de una sub estación eléctrica que es el punto donde se maximiza su confiabilidad y disponibilidad (Medidos a través de los indicadores SAIDI y del SAIFI) y por lo tanto su eficiencia técnica, también le asignamos una justificación económica, pues el óptimo de la confiabilidad coincide con la maximización de los ingresos por venta de potencia y energía y la minimización de las multas impuestas por el OSINERGMIN y por último la justificación ambiental pues la disminución de la pérdidas que trae como consecuencia, la optimización de la confiabilidad, ocasiona la disminución de la emisiones de efecto invernadero y calentamiento global.

El objetivo general fue elaborar un plan de manteniendo predictivo, preventivo y correctivo (actualmente llamado mantenimiento total) de una Subestación eléctrica de potencia, con la finalidad de aumentar su confiabilidad y disponibilidad.

Los objetivos específicos, fueron: i) Diagnosticar las principales fallas originadas en una sub estación eléctrica y determinar su causa raíz, ii) Analizar las acciones necesarias para la eliminación de la causa raíz de las fallas, iii) Determinar los nuevos indicadores SAIDI (duración), SAIFI (Frecuencia), que hagan evidentes las mejoras en el plan de mantenimiento, validación estadística de los mismos aplicando la metodología t student y iv) Evaluar económicamente y financieramente la viabilidad del plan de Mantenimiento.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta el resumen de algunos antecedentes de investigación en el que se mencionan algunos aspectos importantes que contribuirán en el presente proyecto de investigación.

Como antecedentes investigados como un primer análisis, se debe de tener en cuenta lo afirmado en un artículo por Aguilar, (Análisis de modos de falla, efectos y criticidad para la planeación del mantenimiento, 2018), quien ha analizado que el mantenimiento de los equipos eléctricos de una subestación de potencia en el sentido, que solo necesitan de mantenimiento estacionario, no dinámico es decir no existe desgaste por fricción y/o movimiento, y de a donde se deduce que como aproximación este criterio es válido, teniendo como conclusión, que se debió considerar las innumerables posibilidades de falla que pueden afectar la operación de la subestación de potencia, teniendo como resultado los indicadores de los componentes críticos que originaron la parada total de la subestación.

Así mismo en un artículo Tecsa (Las fallas más comunes en un transformador, 2018), se determinó que se debe de considerar que existen muchos factores que ocasionan fallas en los transformadores de las subestaciones de potencia, como es el sobrecalentamiento por la elevada potencia de entrada, fallas en el aislamiento de los devanados, mala calidad del aceite, sobretensiones atmosféricas, deterioro del sistema de protección deficiente instalación y una mala gestión del mantenimiento. Por lo que es necesario analizar las diferentes causas de falla y monitorear los parámetros del transformador, así como de la red eléctrica, para tener como resultado la mejora de la calidad de energía brindada por el sistema eléctrico.

Así mismo, de acuerdo a lo publicado, por Parra, (Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos, 2016), la correcta aplicación del plan de mantenimiento de una subestación y por lo tanto la disminución de la frecuencia y duración de fallas del servicio eléctrico, también como el cumplimiento de los valores de los parámetros del producto eléctrico, donde se consideró como antecedente, la continuidad del servicio, tanto a los clientes mayores sujetos a

contratos especiales individuales, con resultados tanto en los clientes regulados por sectores como los no regulados por el Osinergmin.

En un artículo, (Los 10 mandamientos del RCM, Claves para el éxito de un proyecto de implementación RCM, 2016), luego de realizar la determinación de los principales modos de fallo, realizó la tabulación de acuerdo a lo indicado por las normas ISO, con lo que se pudo analizar al mínimo detalle de la criticidad de los principales equipos que componen la subestación, dando como resultado la determinación de las consecuencias de su fallo en el funcionamiento total del proceso.

Así mismo en un artículo Moreno, (Análisis de causas raíces en sistemas eléctricos, 2017), elaboró un historial particular de cada equipo, que compone la subestación eléctrica de potencia se indicó cuantas veces fallo con qué frecuencia fallo, cual fue la duración individual de esas fallas cual fue la causa raíz de las fallas, dando como resultado un análisis de indisponibilidad de la planta a partir de las técnicas de la inferencia estadística, las series de datos reales y primarios. Se obtuvo el resultado de las probabilidades de falla de un equipo sistema y sus consecuencias en la producción de energía y potencia eléctrica.

En el artículo de Tavares, (Evaluación de la base de dato del Mantenimiento, 2016), se determinó los principales modos de falla y se realizó el correspondiente análisis de indisponibilidad, para establecer cada que tiempo fue necesario efectuar los distintos niveles de mantenimiento, es decir cada, seis, cuatro, tres meses, todo en función de las distribuciones de probabilidad, teniendo como resultado la evaluación del comportamiento de los equipos, determinándose con elevada certeza qué principales acciones se debieron tomar y cada que tiempo.

En el trabajo de tesis de Gutiérrez, (Gutierrez, 2017), se determinó que el análisis estadístico de las fallas, se debe realizar en cada uno de los dispositivos que componen una subestación eléctrica, equipos de patio, como pórticos de llegada y de salida, desconector, interruptor, seccionadores, puestas a tierra, transformador, sistemas contra incendios entre otros, mirando a la subestación como un todo, teniendo como resultado la optimización de la toma de decisiones a partir de eso.

Así en la tesis de González, (Gonzalez, 2016), se determinó que todos los equipos existentes en un subestación de potencia, el transformador de potencia con primario y secundario ventilador, es el equipo o maquina eléctrica más importante de una subestación, por lo que se necesita un adecuado análisis de confiabilidad, para poder detectar con grado de certeza las fallas en estos componentes secundarios, teniendo como resultado, que no se tomen decisiones equivocadas basadas solo en la experiencia anterior y no en un análisis de caso por caso.

Luego Tamayo, (Tamayo, 2017), indica que en la asignación de recursos al plan de mantenimiento, se valoriza y se efectúa la evaluación técnica económica, efectuando la comparación con los nuevos costos u mayor eficiencia de la subestación, es decir se comprueba si el programa de mantenimiento diseñado es viable o no, debiéndose de considerar la curva de obsolescencia técnica y económica de los equipos, para considerar en el plan, las fechas en que se dejara de fabricar y por lo tanto cuando se dejara de tener repuestos disponibles.

(Peredo, 2015), indica que se debe evitar el hecho de no contar con un programa de mantenimiento pues es probable que se tomen decisiones sin sustento, las que en muchas ocasiones llevan a un incremento de costos para la empresa involucrada, y por consecuencia estos mayores costos se trasladan a los usuarios finales.

Luego de haber referido los trabajos previos, a continuación, se detalla las teorías respectivas que han sido descritas en las diferentes investigaciones:

(Ruiz, 2017), indica que, en los transformadores, los cuales son máquinas eléctricas estáticas, conformados por uno, dos o más enrollados acoplados a un núcleo magnético con dispositivos en movimiento cuando se le coloca tensión, tales como accesorios auxiliares, ventiladores, cambiadores de taps, bombas impulsoras y refrigerantes entre varios.

Las principales pruebas que se realizan a los transformadores son las siguientes:

Pruebas de rutina, que consisten en la verificación de control de calidad, en todos los componentes de la parte externa, como lo constituyen las partes individuales

laminación, cables, sistemas de protección, tanques, bobinas aceites y tableros de control.

(Guru, 2018), indica que las pruebas en prototipos, son de naturaleza opcional y se realizan de forma unitaria, siempre que se requieran y suelen tener un precio agregado al valor de compra del transformador, estas principales pruebas, son: Elevación de temperatura, impulso al rayo (menor de 115 kV) y descargas parciales (menores de 300 kV).

De acuerdo a la metodología científica también se analizará todas las teorías relacionadas, así como un aporte teórico donde se indique, que para realizar el plan de mantenimiento exitoso se requiere implementar metodologías de requerimientos de mantenimiento de los equipos de las instalaciones eléctricas, estas metodologías básicamente consisten, en el análisis y síntesis de las funciones de los componentes, y sus respectivas consecuencias (Escriche, 2018).

También como un aporte teórico, tenemos que las fallas más comunes que se presentan son:

(Martinelli, 2018), Fallas no visibles, son fallas de acción diferida, pero cuando aparecen elevan el riesgo de fallas de múltiples consecuencias, son producidas por múltiples factores, algunos son los polvos en suspensión que se presentan en interruptores y también en dispositivos múltiples de protección.

Fallas en operación, fallas que causan gastos de naturaleza indirecta, al añadir costos de reparación.

Fallas de naturaleza ambiental, son las menos deseadas, pues contienen una alta probabilidad de causar bajas humanas o graves perjuicios al medio ambiente ocasionando pérdidas y perjuicios en componentes en subestaciones eléctricas.

Fallas añejas, son las que se muestran en los componentes que han funcionado por tiempos prolongados cumpliendo con sus funciones para los cuales fueron colocados.

Así mismo la teoría indica, que los importantes tipos de mantenimiento que se realizan en subestaciones eléctricas de potencia son:

Los de tipo preventivo y correctivo programable, teniendo como único objetivo los siguientes aspectos: Localización de fallas invisibles, monitoreo de los principales parámetros eléctricos y medición de los estados físicos.

Según, Torres (Torres, 2017), de esta manera se fortalecen las tareas tales como las inspecciones visuales a las subestaciones eléctricas de potencia, de acuerdo a los espacios de tiempo establecidas en las tablas o fichas técnicas de mantenimiento, con el auxilio de instrumentos, tales como las cámaras termográficas o diversos aparatos de medición de los valores eléctricos, que ayudan a determinar el verdadero estado físico en que se encuentran.

También son teorías desarrolladas, en función del problema analizado, en donde se debe de considerar como criterio teórico, el tema de gestión del plan de mantenimiento de las subestaciones eléctricas, y que es posible implementarlo técnicamente gracias a herramientas muy amigables en su manejo, el factor clave es una buena organización, primero a través de una comunicación eficiente entre los colaboradores y en la elección de una solución que las modernas técnicas tales, como TPM (Mantenimiento productivo total, mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las operaciones, no detener nunca la producción, producir sin defectos, eliminar el downtime imprevisto, sin accidentes de trabajo).

El AMDEC (Modo de falla, efectos y análisis de criticidad, método analítico, inductivo de abajo hacia arriba que se puede realizar tanto a nivel funcional como a nivel de pieza), Kaizen (cambio para mejor o mejora continua), nos permiten articular técnicas, probadas y validadas por la mayoría de expertos que nos ayudarán a fluidificar el mantenimiento industrial y las técnicas de mantenimiento de los equipos, que al respecto la teoría determina como:

Como primer Método el mantenimiento productivo total, técnica de origen japonés, el año 1971, se basa en la avance de los métodos de mantenimiento, en la búsqueda del objetivo final de incrementar la producción de las máquinas de una organización, prohíbe los períodos de pausa imprevistos las fallas de tiempo en los

arranques, o los overhaull y los sobrantes producidos por el rendimiento degradado de la subestación eléctrica de potencia. Es analizado, bajo la perspectiva de tres herramientas diferentes:

La Primera la tasa de rendimiento artificial – TRS, indicador que mide la utilización de las máquinas y la filosofía de las cinco s, Shitsuke: Mantener la necesaria disciplina, Seiketsu: Estandarizar, Seiso: limpiar el lugar de trabajo, Seiton: ordenar el lugar de trabajo, Seiri: clasificar el lugar de trabajo.

Y por último, aplicar el auto- mantenimiento, para permitir que los trabajadores de fabricación puedan ejecutar tareas simplificadas de mantenimiento, nos indica Forestieri, (Forestieri, 2017), seguidamente, como segundo Método, que se determine el círculo de Deming, que consiste en una técnica que nos accede a logros anticipados y la gestión de proyectos de mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia, facilita la implementación de las ideas, dividiendo el trabajo en varias etapas para vigilar el avance de su realización, con la utilización del acrónimo de PDCA ,que viene de P : Planificar – Plan , D : Hacer - Do, C : Verificar - Check y por último A: Actuar – Act y terminar realizando un informe de la labor efectuada.

Luego el tercer método indica la utilización del diagrama de Ishikawa o diagrama de efecto - causa, o diagrama de la espina de pescado, muy utilizado para la gestión de la calidad, que permite encontrar las causas raíz y los posteriores efectos de una problemática, su lógica de actividad es sencilla ya que se tiene que numerar todas los motivos con potencialidad de originar problemas, y efectuar una clasificación de acuerdo a su categoría, en el caso de las subestaciones, eléctrico de potencia, mecánico estructural, automatización, medio ambiental.

Luego el cuarto Método es el de las 5W, muy utilizado para cuestionar un problema específico caracterizado por ser simple y muy rápido de usar, siendo utilizado en el mantenimiento de subestaciones eléctricas, para lo cual se contesta las siguientes preguntas: Who o Quien, What o Que, When o Cuando, Where o Donde, Why o Por qué, How o Como, por esta técnica se logra recopilar la información que puede permitir aislar mejor el problema, identificando y priorizando alternativas y encontrar soluciones y propuestas apropiadas muy rápidamente.

Seguidamente el quinto Método, indica que se tiene al Kaizen como el método de origen japonés y que consiste en operar las mejoras de la eficiencia y calidad productiva de una subestación eléctrica, por medio de pequeñas mejoras continuas, por lo que para que funcione este método, cada colaborador debe estar metido en la mejora continua procesal, trabajando juntos para lograr el objetivo establecido, siendo necesario realizar las siguientes acciones de organizar reuniones de sensibilización para elevar la moral de los colaboradores que se comprometan en los procesos de mejora continua, trabajando todos juntos para alcanzar la meta establecida.

(Bederenson, 2017), Acto seguido en el sexto Método indica que la filosofía de Pareto, o filosofía 20-80, hace posible estudiar los fallos más principales, tanto en términos del SAIFI – frecuencia, como del SIADI – duración, permitiendo afirmar que se manifieste que el 20 % de las causas, sean culpables del restante 80 % de los problemas hallados en una planta, y de esa manera poder analizar todos los problemas para hallar respuestas adecuadas, se trabajara con un historial de datos, de utilización automática utilizando el software disponible como el mobility york, el análisis ABC se basa por otro parte, en el mismo criterio que el método de Pareto, ya que arriba directamente a él. Este es un procedimiento de clasificación muy manejado en el análisis de fallas en subestaciones eléctricas de potencia.

Luego el séptimo Método, más conocido, como método FMECA (análisis, modo de fallo, efectos y criticidad), marca el objetivo de apoyar la realización de un estudio detallado de las operaciones de mantenimiento del parque de máquinas de una subestación de potencia, le accede gestionar un correcto mantenimiento industrial, pues esta herramienta se utiliza muy a menudo en los procedimientos de calidad.

El método, puede ser múltiple y tiene efectos diferentes (funcionales, productos, proceso, medios de producción, flujos), permite además determinar qué acciones emprender y realizar, permitiendo de esta manera incrementar la producción, delimitando los fallos, análisis de defectos de producción y búsqueda de mejoras.

Y por último el octavo Método nos dice que en la evaluación de riesgos industriales y fallos de equipos es de manera especial, muy tenida en cuenta para planificar las

operaciones y el mantenimiento de sub estaciones eléctricas de potencia, evalúa los fallos y riesgos que involucran.

A continuación, la presente investigación se enmarca en los siguientes enfoques conceptuales

(Garcia, 2019), nos indica que como enfoque conceptual, se debe tener en cuenta, el análisis estadístico para la confiabilidad del funcionamiento de una subestación eléctrica de potencia, para lo cual debemos de manejar los Indicadores de mantenimiento, (Recla, 2017), de una instalación de subestación eléctrica, se generan datos, a veces cientos miles de datos, cuyo procesamiento puede solucionarse con un Excel primario o una sofisticado macro de gestión de mantenimiento, también debemos de considerar los denominados a veces KPI (Key Performance Indicators), son valores alfanuméricos que, si están bien escogidos, pueden reflejar el escenario y el avance del mantenimiento de subestaciones eléctricas.

(Parra, 2016), también es un enfoque conceptual habitual agrupar estos indicadores en grupos, cada uno de las cuales aporta un dato útil en un determinado aspecto del mantenimiento siendo las más notorias los indicadores que guardan relación con la disponibilidad de la instalación, indicadores que tienen relación con la fiabilidad, indicadores relacionados con el costo del mantenimiento, indicadores concernientes con las disposiciones de trabajo, indicadores afines con la gerencia de los materiales e indicadores relacionados con los colaboradores.

(Garfias, 2017), indica que el enfoque de los indicadores permiten apreciar de una manera numérica y objetiva la gerencia de mantenimiento, valorándose estos en distintos aspectos, como son la disponibilidad, la fiabilidad, la vida útil de la instalación y el precio de mantenimiento.

(Waleed, 2019), finalmente, también se debe de tener en cuenta el enfoque de establecer las ventajas de las tecnologías digitales y el análisis por modelos matemáticos en el mantenimiento de las subestaciones eléctricas y la red en general, se realizaran una comparación entre las subestaciones convencionales y las digitales, indicando que las subestaciones digitales integran miles de sensores

proporcionando mayor comodidad, autosuficiencia, disponibilidad y seguridad, al tiempo que reducen los costos, los riesgos y los daños medioambientales.

Mientras que, el sistema eléctrico convencional carece de comunicación digital, supervisión y control remotos. Recomendaron el cableado de fibra óptica en las subestaciones digitales porque permitirá la transmisión de datos en tiempo real y el mantenimiento a distancia. Una importante cantidad de datos generados por los componentes de las subestaciones eléctricas permitirá una mayor sofisticación de las capacidades de monitorización, diagnóstico, protección y optimización de las instalaciones.

Para el control del plan de mantenimiento, se definen en concordancia con las Normas Técnicas de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE), el criterio SAIFI, definido como frecuencia Media de Interrupción por consumidor en un tiempo determinado de acuerdo a la expresión:

$$SAIFI = \frac{\sum U_i}{N}$$

Ecuación 01: Frecuencia Media de interrupción

Y el concepto SAIDI, definido como tiempo total promedio de Interrupción y está definida por la expresión:

$$SAIDI = \frac{\sum f_i * U_i}{N}$$

Ecuación 02: Tiempo total Promedio de interrupción

Utiliza también las siguientes fórmulas para el manejo estadístico de los datos, primarios y secundarios:

$$MEDIA = \frac{\sum f_i * X_c}{\sum f_i}$$

Ecuación 03: Cálculo del valor medio de una Muestra

$$DESVIACION STANDARD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_p)^2}{(n-1)}}$$

Ecuación 04: Cálculo de la desviación standard

$$FUNCION WEIBULL = 1 - e^{-(\lambda x)^\alpha}$$

Ecuación 01. Distribución de probabilidad Weibull

$$FUNCION NORMAL = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int Y^{-\frac{(\sigma-\mu)^2}{2\sigma^2}} du$$

Ecuación 02. Distribución de probabilidad Normal

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación o tesis es de naturaleza Aplicada, pues utiliza información ya existente de la ciencia de la ingeniería mecánica eléctrica, para solucionar el problema específico de solucionar la optimización del mantenimiento de una subestación eléctrica de potencia y de esta manera maximizar la disponibilidad de una subestación y por ende maximizar los ingresos y la rentabilidad.

Descriptiva: Por la simple razón que tiene por objetivo general la observación y descripción de las características, especificaciones y modo de funcionamiento de un plan de mantenimiento de una subestación eléctrica ya existente, para plantear un plan mejorado y optimizado y poder medir los beneficios que conlleva su aplicación en la confiabilidad de las maquinas eléctricas, que integran una subestación eléctrica de potencia.

No Experimental: Pues no se manipulara a propósito y de manera intencional, ninguna de las variables materia de estudio y análisis (Sampiere Hernandez, 2017), también se debe considerar las opiniones, que indican que son los estudios, adonde no se hace variar de forma expresa las variables independientes para luego comprobar su efecto o resultado sobre otras variables, es decir lo que se hace en la investigación no experimental es observar los fenómenos tal como se desarrollan en su texto natural, para su posterior análisis, (Ñaupas, 2016), es decir no se interviene en la obtención de los resultados, solo se observan.

Tecnológica: Que es aquella definida como la investigación que está encaminada a solucionar objetivamente los inconvenientes de los métodos de diseño, fabricación, producción, pruebas, repartición, circulación y consumos de bienes y servicios, de cualquier acción humana, primordialmente de tipo industrial, energía, infraestructura en general, comercial, comunicacional, servicios, (Fals, 2016), para lo cual es necesario

el imbuirse en los conceptos teóricos y aplicados de la tecnología que sustenta el problema que tratamos de resolver.

Describiendo a más detalles se trata de indagación en tecnología físicas, que son encaminadas a instaurar, perfeccionar, optimizar máquinas, equipos, instrumentos, elementos, procedimientos, métodos en el campo de la tecnología de ingenieros, también llamada tecnológica porque su producto no es un conocimiento puro, científico sino tecnológico, que servirá para el desarrollo industrial del País, en los campos de la actividad en donde se tenga ventajas comparativas, que se traduzcan en ventajas competitivas.

3.2. Variables y operacionalización

Definición conceptual

Se define el concepto de mantenimiento en todos sus fases y etapas, es decir desde el antiguo y tradicional mantenimiento correctivo, pasando por el mantenimiento preventivo o planificado, hasta llegar al moderno mantenimiento correctivo en base a evidencias físicas, tales como vibraciones, sonidos, temperatura, flujos, análisis de partículas entre otros, para determinar su influencia en la disponibilidad final de la subestación eléctrica, (Mantenimiento en Sub Estaciones Electricas, 2018).

Definición operacional

Se detallan las características del Mantenimiento correctivo, o mantenimiento expost, aquel que se realiza después de presentada la avería, nos ahorra los costos financieros de mantener stock, pero incrementa las pérdidas económicas por paradas generales y continuas en las líneas de producción o en las subestaciones con los consiguientes incumplimientos y sanciones por parte del COES.

Así mismo se define el mantenimiento preventivo o de base estadística, en base a recomendaciones del fabricante, o la base estadística de la empresa o entidad, de acuerdo a la estadística histórica y la estadística inferencial y la correcta aplicación de curvas estadísticas y probabilísticas.

Y por último definimos la operación del mantenimiento predictivo, en donde aparte de la data estadística utilizamos indicadores que relevan la presencia de futuras fallas en los sistemas operativos de una subestación eléctrica de potencia.

Indicadores

Con la filosofía de la causa – efecto, consideramos como indicador de variable independiente el monto de la inversión utilizada en las operaciones de mantenimiento en todas sus formas y niveles y como indicador de variable dependiente los parámetros de operación en el COES, como son la energía y la potencia firme entregada, como escalas de medición, consideramos, para la inversión los montos en moneda nacional y moneda extranjera, como los parámetros de medición en MWhr.

- **Variable Independiente:**

Nivel de mantenimiento, predictivo, preventivo y correctivo realizado

- **Variable Dependiente:**

Nivel de confiabilidad y disponibilidad obtenidas en la subestación eléctrica de potencia.

El procedimiento de Operacionalización de variables en esta investigación de ingeniería, que se complementa con los indicadores concretos de viabilidad económica y financiera (VAN y TIR).

3.3. Población, muestra y muestreo.

Población:

Para el presente trabajo de investigación, estará formada por todos los transformadores de una subestación eléctrica de potencia, que permiten en conjunto la transformación, trasmisión y distribución de energía eléctrica.

Muestra:

Con fines de control estadístico inferencial se considera los equipos de transformación, en este caso específico el Trafo 7 MVA 60/10 KVV, como la muestra en donde se obtendrán los datos de disponibilidad y confiabilidad, la implementación de un plan de mantenimiento y medición de resultados y su posterior generalización a todos los transformadores de una subestación eléctrica de potencia.

Muestreo: Se escogerán los equipos de transformación y para el análisis del periodo se aplicará métodos Random de generación de la muestra, tales como el método de Montecarlo simplificado (Semi aleatorio, para escoger los periodos de tiempo).

Se escoge el transformador de potencia, por ser el elemento crítico, en la subestación de potencia. Los principales criterios a monitorearse serán: Tensiones de fase, Corriente de fase, Análisis de aceites dieléctricos por tipos y características de catálogo, Emisiones ultrasónicas, Perturbaciones de voltaje, corriente y frecuencia (Flicker y Huecos) y se utilizarán básicamente los equipos: Analizador Trax, con parámetros de Potencia de entrada, Tensión de salida, Frecuencia y conexión trifásica, Equipo de prueba de tangente delta / factor de potencia, Equipo de alta precisión para prueba de capacitancia y factor de potencia, Prueba de tangente delta del aceite, de acuerdo a Norma IEC 60247, Prueba de resistencia de devanados de hasta 50 A CC.

Con estos indicadores de condición y de acuerdo a la técnica de mantenimiento predictivo, se realizarán las propuestas para disminuir las fallas y mejorar la confiabilidad y disponibilidad

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**Observación:**

Por su intermedio, se lleva a cabo la técnica de la recolección de datos, relativos a los distintos tipos de mantenimiento, y las distintas formas de

mantenimiento de las subestaciones eléctricas de potencia, sirviendo de apoyo para la determinación del principio de funcionamiento y criterios básicos para la confirmación de modelos de mantenimientos (Arista, 2014).

Revisión documentaria:

Se revisaron registro de datos de interrupciones tanto de osinerming, como información de registro de eventos registrados en subestación.

3.5. Procedimientos

El principal procedimiento de investigación a utilizarse, para el desarrollo de los objetivos general y específico, será el de recabar la información secundaria y primaria para poder realizar el diagnostico de las principales fallas originadas en una subestación eléctrica, específicamente el transformador principal y poder determinar y eliminar las causas raíz de las fallas y poder construir los nuevos indicadores SAIDI y SAIFI, con la utilización de las series de datos y los estadígrafos de concentración y dispersión, y las curvas estandarizadas de probabilidad normal y Weibull para finalmente poder evaluar económicamente y financieramente, con el apoyo de los indicadores VAN y TIR Y determinar la viabilidad del proyecto, en escenarios determinísticos y probabilísticos.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos obtenidos, de la presente investigación, luego de su análisis, limpieza y transformación serán sistematizados mediante el uso de gráficos, tablas, cálculos de ingeniería mecánica eléctrica, ya sea de manera manual o con el apoyo de hojas electrónicas, los cuales serán debidamente organizados, para formular conjeturas refutar teorías con el apoyo de la estadística inferencial y determinar los requerimientos necesarios del plan de mantenimiento.

3.7. Aspectos éticos

Durante el desarrollo del presente trabajo de proyecto de investigación, se realizará manteniendo en todo momento la veracidad de los valores, que se obtengan en las diferentes etapas del proceso de investigación, sin alterarlas, modificarlas, se mantendrá y respetara la reserva de los participantes, sean personas naturales o jurídicas, que no deseen ser involucradas, y se registrara de manera justa y equitativa el aporte de sus autores.

IV. RESULTADOS

Diagnosticar las principales fallas originadas en una subestación eléctrica y determinar su causa raíz

Primero, procederemos a determinar las causas de las principales fallas originadas en una subestación eléctrica:

Cables Soterrados: La experiencia nos indica que la mayor de las grandes preocupaciones que se centran en los cables enterrados es la afectación sufrida por el agua y la humedad dentro en la presencia de los efectos de un campo magnético y eléctrico, que termina aminorando la intensidad de la fuerza dieléctrica del nivel de aislamiento del cable.

Cuando esta se rebaja lo suficiente, los Flickers o el switching ocasionados los relámpagos, terminan en una falla dieléctrica, que es conocida por su expresión en Ingles, electrochemical treeing., se ha estudiado y determinado que este fenómeno afecta de manera frecuente a los cables dieléctricos extruidos, tal es caso de los cables hechos de polietileno con cadena cruzada (xlpe) y de etil propileno (epr), siendo sus causas más frecuentes a una producción defectuosa y a los formas imperfectas del principal aislamiento, lo cual nos obliga a gestionar que para reducir los desperfectos en las eléctricas subestaciones se deben instalar una protección contra descargas en los parantes verticales (que van de la superficie al subsuelo), por lo que es muy buena costumbre logística que se debe seguir, el comprar cable de efecto retardado o muestrear y probar los rollos de cable antes de recibirlos y pagarlos, los cables que ya están instalados y funcionando ya se deben probar y ser reemplazados si se halla algún problema, una de las modalidades de implementarlo es aplicando una prueba de diferencial de tensión en corriente continua (cc).

Otro procedimiento experimental es inyectar una señal pequeña en un extremo y luego constatar si algún tipo de respuesta eléctrica se produce en los extremos parciales de fuga. También se debe de aplicar de manera espectroscopia, y analizar las muestras materiales del aislamiento en busca de una falla total polimérica o

utilizar identificadores en los conductores para probar la penetración dureza del aislamiento.

Otra de las grandes preocupaciones son las excavaciones, que afectan los apantallamientos de los cables enterrados, la maquinaria de construcción como excavadores, cargadores acostumbra a romper los cables enterrados, por lo que es una práctica de gestión el identificar las vías de escape antes de empezar a trabajar.

Fallas en los transformadores

Las máquinas eléctricas estáticas, denominadas transformadores son bisagras muy importantes en las eléctricas subestaciones y puede tomar bastante tiempo poder reemplazarlos si se presenta una falla. El cansancio físico muy extremo en los devanados constituye la causa principal de las fallas y de esta manera las sobrecargas eléctricas no terminan en fallas, pero lo que si ocasionan es el aislamiento de los principales enrollamientos eléctricos. Cuando un transformador se recalienta, el eléctrico aislamiento en los enrollamientos lentamente se malogra y se vuelve más rompedizo, la razón de ocurrencia de una falla total térmica se dobla con cada 10°C.

Debido a esta relación exponencial, las sobrecargas en los transformadores pueden resultar en un muy acelerado envejecimiento. Cuando el nivel de aislamiento ya se encuentra muy frágil, la siguiente rotura de corriente que pasa sacude físicamente a los devanados, lo que ocasiona grietas en el aislamiento y una eventual falla al interior, altas temperaturas se presentan en los transformadores llenos de líquido y que pueden fallas ocasionar.

Polvo en suspensión

La cercanía a la pistas de las calles del Centro Poblado de Lambayeque – distrito de Lambayeque, origina la presencia de sólidos en suspensión (Polvos), por encima de los límites máximos permisibles, lo cual determina que el nivel de aislamiento del transformador así como de los demás elementos de la subestación (Pórticos, Seccionadores, interruptores, puestas a tierra Zigzag entre otros), disminuya esto

es expresado técnicamente como la disminución de la línea de fuga, lo cual no solo ocasiona peligro de electrocución por corriente de toque o corriente de paso, si no fugas de corriente, energía y potencia, que ocasiona una pérdida económica constante.

Contacto con árboles

Sus calles de la Ciudad de Lambayeque, el constante crecimiento de los palos de los árboles expone al peligro a los cables eléctricos, ya que los terminales caen o rozan los cables o pueden ocasionar que se acerquen entres si, pues el acercarlos unos con los otros e incluso pueden servir como puerta de entrada para animales distintos. Es por esta razón, que la poda continua es considerada una actividad de mantenimiento predictivo y preventivo.

Dejamos aclarado que un palo caído que junta dos conductores no ocasiona una falla de instantánea forma. Esto se debe a que rama húmeda tiene una resistencia importante, pero después de unos minutos, la celulosa se carboniza y disminuye la resistencia, lo que en rápidamente genera un cortocircuito.

Aves

De acuerdo a los registros estadísticos las aves son los animales que ocasionan el mayor número de fallas e interrupciones en las subestaciones eléctricas, se puede hacer un análisis tipológico de acuerdo a los diferentes problemas afectados.

Las aves que construyen sus nidos las realizan de mayor frecuencia en las torres de alta tensión o en las subestaciones eléctricas. Esta situación ocasiona fallas, mientras que sus heces pueden terminar contaminando a los aislantes.

De igual esquema, su presencia puede hacer venir a cualquier tipo de depredadores, esto se traduce en más animales de los cuales hay que cuidarse. Algunos pájaros prefieren solo posarse en los conductores para descansar o buscar a sus víctimas. Mientras que estén sobre uno solo una fase no se presenta ningún nivel de riesgo, pero sí tocan más de una fase, ahí si generan un corto circuito que las electrocuta. Existen varios inventos para evitar que estos pájaros se coloquen sobre el equipo.

Los pájaros carpinteros también ocasionan enormes problemas, pues su frecuente picoteo puede ocasionar importante daño en los postes de alta tensión hechos de madera tratada. Otra forma de evitarlo es utilizando repelentes o haciéndole creer al ave que su contrincante ya vive en el poste; esto está relacionado con el hecho de que son animales muy territoriales.

Animales de tierra

Ardillas

Estos animales son un problema en áreas boscosas, y aunque no suelen subirse a los postes de muy alta tensión, sí que pueden empujarse a ellos desde los árboles del lado. Las ardillas pueden hacer que ocurran fallas al tender una vía conductora entre el equipo de puesta a tierra y los cables conductores. La mitigación de este problema consiste en cortar las ramas de acceso o instalando rampas, trampas, obstáculos etc.

Culebras

Debido a su grosor, las serpientes son causa de angustia por las fallas en subestaciones eléctricas y en los sistemas de cables enterrados. Ya que casi todas las veces están en busca de presas, los roedores removidos pueden ser una solución. También existen obstáculos especiales para evitar que perforen las instalaciones.

Insectos

Se aprecia que es muy común que los nidos de hormigas se construyan en colonias entre los equipos. Los materiales de las hormigas pueden ocasionar un cortocircuito, además de que estas hormigas pueden perforar al aislamiento de los cables.

Ganado u osos

Estos animales son de gran tamaño y suelen perjudicar los postes de muy alta tensión rompiéndolos con sus garras o cuernos. Los osos incluso acostumbran trepan en estos.

Ratones y ratas

Estos muelones pueden terminar con el aislamiento de los cables enterrados, además de que atraen al lugar serpientes. Se trata de los animales que según las estadísticas más causan fallas eléctricas en eléctricas subestaciones y el equipo enterrado.

Terrorismo

El Terrorismo puede darse en muchas formas, desde la muchedumbre disparando al equipo hasta ladrones muy especializados en busca de hurtar material muy valioso. Hay que tomar acciones en el asunto colocando la seguridad y vigilancia respectiva.

Dentro de los analizados asuntos que están cruzados con el argumento planteado en esta tesis, se hallaron artículos que se han probado los métodos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, análisis estadístico y hipótesis de confiabilidad probabilística, de modo aparte, en donde las estrategias se han aplicado en mayor parte a las empresas, y algunos casos especiales, se aplican al sector eléctrico como tal, expresando una orientación a ser encaminados especialmente a infraestructura, dispositivos mecánicos eléctricos, electrónicos, mecatrónicas y de instrumentación. Se utilizan normas internacionales que uniformizan las técnicas utilizadas como lo son la Norma de Gestión de Activos (ISO 55000) y la obtención e intercambio de datos de operación, mantenimiento y fiabilidad de los equipos (ISO 14224).

Confiabilidad en el sector eléctrico

Con el propósito de optimizar los niveles de confiabilidad en el sistema eléctrico, los entes delegados han prescrito políticas de regulaciones internacionales dedicadas a la mayor confiabilidad y la calidad del servicio de energía. Este concepto acierta a factores como eficacia de la potencia, y confiabilidad del producto y servicio incluido.

Concepto estadístico de fiabilidad

En fiabilidad los cálculos, a partir el punto de panorama estadístico inferencial, se utilizan los varios métodos como lo es la distribución binomial, la Chi Cuadrada, la T student y para combinar eventos, la distribución de Poisson para estudios de eventos en un tiempo determinado y la densidad o distribución exponencial que permite analizar los tiempos entre eventos, siendo esta última la de mayor fijación particular para el estudio. La confiabilidad de la función en estrecha correlación con la razón de fallas expresándose de la siguiente manera:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Históricamente, frecuencia fue equivalente de tasa o razón de falla, por lo que, para medir la confiabilidad, es muy común emplear la ecuación de disposición exponencial atribuida para acaecer una ecuación de falla fija con sucesos variables que suceden durante la perdurabilidad de un grupo o sistema. El juicio de fallas goza de una curva que se dibuja en tres intervalos de lapso, al principio pertenece con la mortalidad infantil o fallas de manufactura las cuales se originan por los daños en la adquisición o equivocaciones de montaje. A continuación, se obtiene una etapa de tiempo fijo.

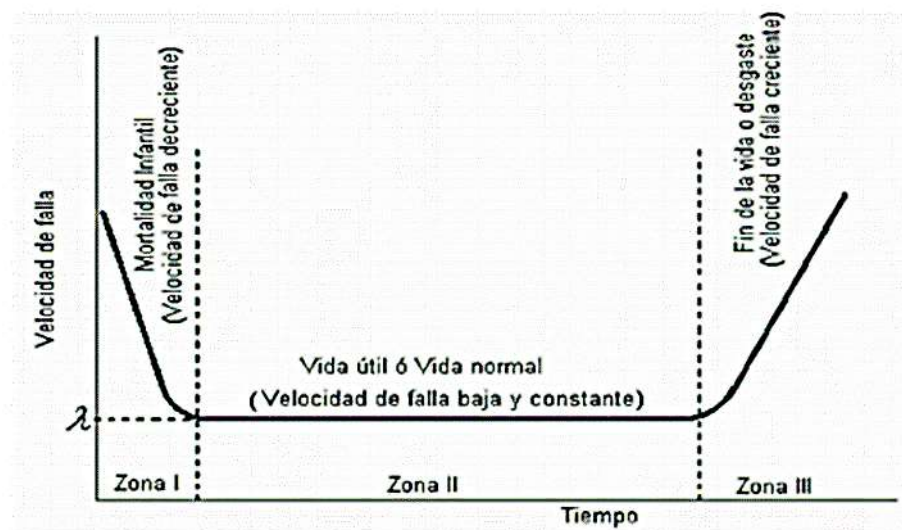


Figura 1: Curva de bañera

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que los equipos electrónicos y eléctricos modernos están contruidos en su mayoría a basa de dispositivos de estado sólido y otros que no poseen un mecanismo de deterioro de mediano plazo, la presencia de la Zona III, para los técnicas eléctricas y digitales son una variedad de área gris. Hacia la gran mayoría de los integrantes, la Zona III, es respectivamente uniforme. Considerando en la tesis que en las subestaciones eléctricas todos sus componentes se encuentren en su época de vida útil, es ahí el momento donde se cobra la importancia para la distribución exponencial y así evaluar la confiabilidad, la ecuación de la confiabilidad para una razón de falla constante $\lambda (t) = \lambda$ puede calcularse como:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}$$

Equivalentemente, la función de la falla probabilística consigue medirse como el mejoramiento de la confiabilidad

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Dado que la función de fallas (λ) es el valor de fallas en el tiempo de datos estadísticos considerados como operativos, solucionamos la expresión de la siguiente forma:

$$\lambda = F/T$$

Donde:

F= número de fallas en el periodo considerado

T= periodo de datos estadístico considerado

El matemático para encontrar la confiabilidad de las máquinas de las subestaciones, se logra calcularse de las ecuaciones antepuestas será:

$$\lambda = \frac{F}{T} = NE/TES$$

Donde:

NE= número de eventos

TES= tiempo equivalente en funciones (intervalo considerado – tiempo fuera de servicio)

Sistemas de potencia: Comprende todo lo implicado con los métodos de la Función lineal lucrativa de la potencia eléctrica. Estos procesos son los de generación, transmisión, y distribución.

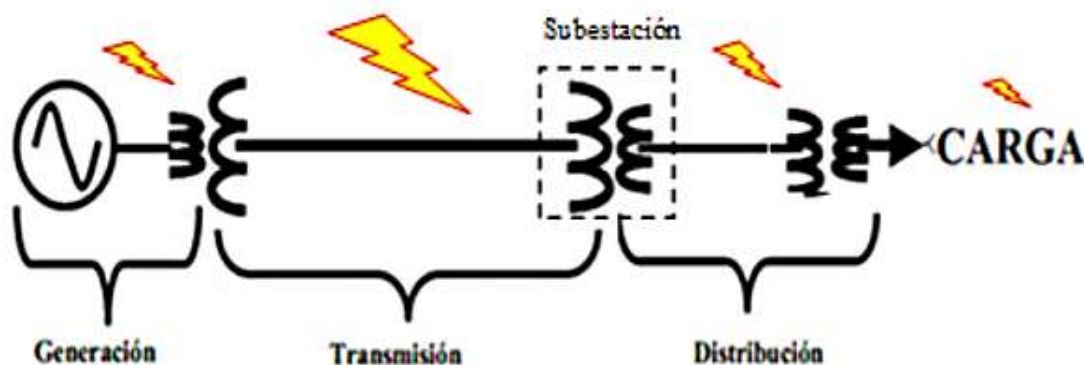


Figura 2: Cadena productiva de las actividades en la energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia

Subestaciones eléctricas: En la subestación de potencia eléctrica es el lugar en el cual el sistema de potencia se alteran los niveles de voltaje y corriente con el fin de minimizar las pérdidas y de esa manera poder efectuar una distribución eficaz de la energía. También se podría convenir el termino subestación como el acomodo de equipos eléctricos y obras suplementarias, predestinado a la conversión de potencia eléctrica a través de la transformación o distribución de energía.

Características:

Las subestaciones eléctricas deben brindar las siguientes características.

- **Flexibilidad:** Es el lugar propio de una instalación para adaptarse a las distintas condiciones que se puedan presentar.
- **Confiabilidad:** Es la posibilidad en la que una subestación consiga suministrar energía e la duración de un período de tiempo dado, bajo la posición de que al menos un componente o dispositivo de la subestación

eléctrica esté fuera de servicio (interruptor, barraje, etc.) y esto pueda repararse durante la operación. En una subestación la confiabilidad se puede estudiar con métodos probabilísticas considerando las tasas de falla y de reposición de los equipos tanto para condiciones de fallas, como para condiciones de mantenimientos.

- **Transformador de Potencia:** En el interior de una subestación eléctrica de potencia, el transformador es el elemento más importante y de mayor relevancia y por lo cual demanda de un mayor costo. Es el equipo que se encarga de cambiar las magnitudes de la energía eléctrica en corriente alterna, de un nivel de tensión a otro (V), bien sea de inferior o superior, mediante el efecto de un campo magnético. La diferenciación que se obtiene en la magnitud de la tensión es directa al número de vueltas de sus devanados (N) primario y secundario, y esto es contrariamente proporcional en el cambio de corriente (I). En función de su ubicación, estos consiguen ser reductores o elevadores de voltaje.

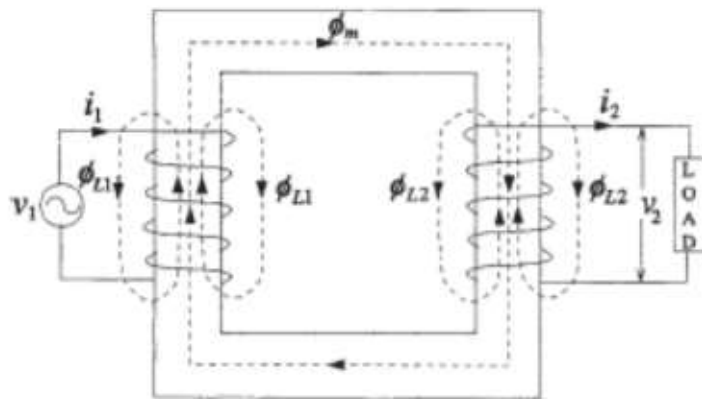


Figura 3: Esquema básico de un transformador (Carbonell, 2017)

El anterior concepto se ve resumida en la función que se define como “relación de transformación”

$$\frac{V_p(t)}{V_s(t)} = \frac{I_s(t)}{I_p(t)} = \frac{N_p}{N_s} = a$$

Definición de Ecuaciones

Es de transformar los niveles de voltaje de acuerdo a los valores nominales del sistema de potencia.

Conservar la potencia de entrada que sea aproximadamente igual a la potencia de la salida.

Fallos

Interruptor de Potencia: El seccionador de potencia es el dispositivo electromecánico encargado de desconectar una carga o un trozo del sistema eléctrico en situaciones de flujo de ya sea con carga o sin carga. En situación de su tecnología y nivel de voltaje tiene al interior un medio aislante y de extinción de arco eléctrico diferente.

De forma parecida, los interruptores de potencia también pueden obtener otra razón de clasificación, de acuerdo a su técnica de accionamiento. Los tipos principales son:

- Accionamiento mecánico
- Accionamiento neumático
- Accionamiento hidráulico

Definición de funciones: Su principal función es la de energizar o desenergizar una segmento del sistema de la potencia eléctrica, bajo las circunstancias de trabajo normal o bajo condiciones de las fallas.

Registro de eventos

Para el proceso de la presente investigación se usó como primordial insumo, el reporte de eventos sobre la Subestación de Potencia Lambayeque, en todos sus niveles de tensión, consigna ante los entes regulatorios y del control del sistema eléctrico nacional (Osinergmin y el Peot). Esta información es registrada por el centro de control, que es el encargado de operar el sistema eléctrico, y es materia prima para el estudio del sistema eléctrico en diversas áreas de la empresa. Se le considera "evento" a toda indisponibilidad parcial o total de un activo del sistema

eléctrico de potencia, ya sea de forma programada (mantenimiento, maniobra, etc.) o no programada (avería, daño mayor, etc.) Los eventos que se registran poseen lugar sobre los activos del sistema de transmisión que son propiedad del operador en este caso el Proyecto Especial Olmos – Tinajones.

El integro de este sistema en general se encarga de recibir y almacenar la información de cualquier fallo en la prestación del producto de energía eléctrica de manera cronológica a nivel de circuito, lugar de circuito y transformador de potencia. Esta información es usada tanto para la aplicación de un plan de incentivos, disminuciones tarifarias y compensaciones a la calidad de la distribución del servicio, como para el estudio estadístico del funcionamiento del sistema eléctrico.

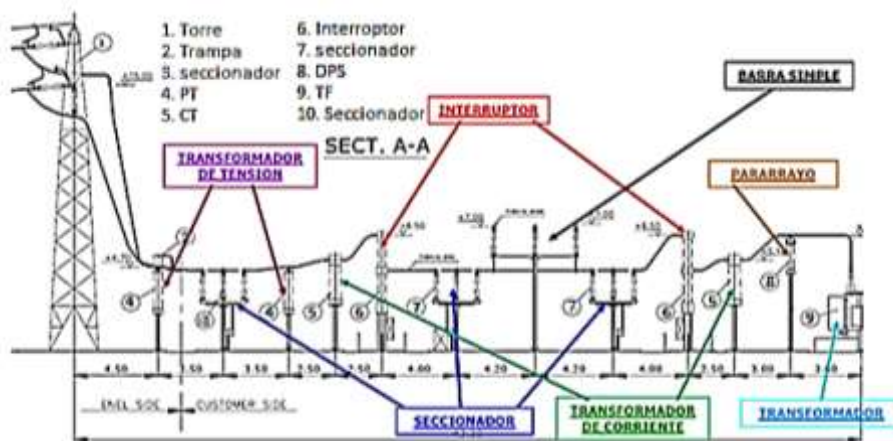


Figura 4: Bahía o módulo de subestación – disposición de equipos

Fuente: PEOT

El intervalo en el que se realiza el formato actual del reporte, se cuenta con la información de una ventana de 5 años.

El listado de las principales causas de fallas será:

Tabla 1: Listado de tipos de fallas

CAUSA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	DNA
01	Maniobras por transferencia de cargas	NP	GE
02	Mantenimientos correctivos – operaciones y mantenimientos de redes	NP	GE
03	Mantenimientos correctivos – subestaciones Electricas	NP	GE
04	Racionamiento por fallas	NP	GE
05	Disparo de circuitos otros operadores de red	FM	NG
06	Error de operación – centro regional de control - CRC	NP	GE
07	Falla transformadora de distribución	NP	GE
08	Error de personal – tercero autorizado	NP	GE
09	Error de operaciones en subestaciones eléctricas	NP	GE
10	Causas sin resolver	NP	GE
11	Fallas por apantallamiento en línea	NP	GE
12	Fallas en coordinaciones de protección en subestaciones	NP	GE
13	Fallas en coordinaciones de protección en redes	NP	GE
14	Fallas de equipos en red	NP	GE
15	Líneas rotas	NP	GE
16	Líneas destempladas	NP	GE
17	Fallas en aislamientos en redes	NP	GE
18	Fallas de equipos en subestaciones	NP	GE
19	Disparos ocasionados por intervenciones de equipos de S/E'S	NP	GE
20	Disparos ocasionados por trabajos en la red	NP	GE
21	Fallas de PTS (dispositivos de protección de sobretensiones)	NP	GE
22	Fallas en posteria	NP	GE
23	Fallas en herrajes y accesorios	NP	GE
24	Vegetaciones sobre las redes	NP	GE
25	Fallas en equipos de otro operador en activos del STR STN	FM	NE
26	Consignaciones nacionales subestaciones	E	NG
27	E.D.A.C – baja frecuencia	E	NG
28	Fallas en el sistema interconectado nacional	E	NG
29	Racionamientos energía – centro nacional de despacho - CND	E	NG

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los datos específicos de los datos de los equipos tenemos:

Tabla 2: Listados de datos de equipos de subestación eléctrica

Datos específicos al equipo – Transformador de potencia			
Nombre	Descripción	Unidad o lista de códigos	Prioridad
Frecuencia	Frecuencia clasificada	Hertz (Hz)	Baja
Voltaje primario	Voltaje clasificado	Kilovoltios (kV)	Alta
Voltaje secundario	Voltaje clasificado	Kilovoltios (kV)	Alta
Voltajes de devanados adicionales	Voltaje clasificado de devanados terciarios o adicionales	Kilovoltios (kV)	Alta
Potencia - diseño	Potencia clasificada	Kilovoltio – amperios (kVA)	Alta
Factor de potencia	Cos ϕ	Número	Baja
Datos específicos al equipo - Interruptor de potencia			
Nombre	Descripción	Unidad o lista de códigos	Prioridad
Aplicación de sistema	Descripción de la aplicación del conmutador (servicios proporcionados)	Sistema de control, sistema de seguridad	Mediana
Voltaje clasificado de sistema	Voltaje esperado de operación	Voltios, AC o DC	Alta
Corriente clasificada de Busbar	Corriente máxima continua bajo condiciones especificadas	Amperes (A)	Alta
Corriente máx. de corta duración clasificada	Valor de corriente de cortocircuito que el conmutador debe resistir durante el tiempo especificado	Kilo Amperes (kA)	Baja
Datos específicos al equipo – Cable Aislado			
Nombre	Descripción	Unidad o lista de códigos	Prioridad
Tensión máx. de operación normal	Voltaje esperado de operación normal	Voltios (V)	Alta
Niveles de aislamiento	Voltaje deseado de operación normal	100 – 133%	Alta
Temperatura máx. de operación normal	Temperatura en situaciones normales de operación	Voltios (V)	baja
Temperatura máx. de operación normal en emergencia	Temperatura máx. continua bajo condiciones especificadas de carga	°C	Baja

Fuente: Elaboración propia

Priorización de fallos

Luego de obtenido el reporte y análisis de historial de interrupciones de servicio, lo que se quiere lograr es tener un análisis que se utilice tantas herramientas para la gerencia de la gestión de la ingeniería de mantenimiento. Hay que tener en cuenta que en lo que respecta a los fallos anteriores y todas sus características constan de aspectos en los cuales hacen que una interrupción sea de mayor notabilidad que otra. Se instaló una técnica de asignación y ponderación de los peajes y valores cuantitativos que logren al final anticipar fallas y su consecuente intervención con la utilización de los procedimientos de mantenimiento. Entre esta clasificación se tuvo que apreciar de similar modo el factor gerenciable (G) o No gerenciable (NG), el cual es un ratio sumador que hace mención, a si dicha falla puede o no puede ser por medio del plan de operación gestionado, o en su lugar hace parte de un fallo absolutamente probabilístico. Para la priorización de los factores mensurables son la clasificación de los resultados del fallo, el índice de la tasa de interrupciones, así como los ratios de la confiabilidad.

Analizar las acciones necesarias para la eliminación de la causa raíz de las fallas

Plan de operación y mantenimiento

Análisis de la causa raíz:

La manera más sencilla de comprender el estudio de la causa raíz es analizar en función de inconvenientes comunes. Si caemos acometidos y tenemos fiebre en el trabajo, acudiremos a la posta y le exigiremos que acierten la causa raíz de la enfermedad que tengamos. Si nuestra camioneta deja de arrancar, le pediremos a un mecánico que determine la causa raíz de la problemática. Si nuestra empresa posee un bajo rendimiento (o un rendimiento mayor) en un tema determinado, debemos de tratar de investigar por qué.

Beneficios y objetivos

El primer fin de los estudios de la causa raíz es lograr determinar la causa raíz de un escollo o evento.

El segundo fin es demostrar íntegramente como subsanar, retribuir o instruirse de cualquier dificultad subyacente al interior de la causa raíz.

El tercer fin es utilizar lo que asimilamos de este estudio para advertir inconvenientes futuros o seguir con los éxitos.

El diagnóstico de los indicios individuales podrán verse como algo fructífero, solucionar muchos problemas hace sentir y alentar que algo se está logrando. Pero si no damos con la causa raíz efectiva del problema, es muy probable que tendremos el mismo problema de manera sucesiva.

Fundamentales Principios

Existen ciertos principios primordiales que regulan el estudio práctico de la causa raíz, unos de los cuales ya habrían de ser visibles. Ya que esto no sólo auxiliara a la calidad del pensamiento analítico, sino que además auxiliará al analista a sumar seguridad y aprobación de parte de los actores sociales interesados, los clientes o los pacientes.

Hay que concentrarse en buscar y tratar corregir las causas de raíz y no sólo los externos síntomas.

Métodos y técnicas de como se debe de ejecutar un estudio positivo de la causa raíz.

Existen varias técnicas y estrategias que pueden ser usadas para los análisis de la causa raíz, ésta no es de ningún modo una lista profunda. Cubriremos a continuación algunas de las técnicas más útiles y comunes.

Los cinco ¿por qué?

Uno de los métodos que más se utilizan para efectuar estudios de causa raíz, es el análisis de los cinco ¿por qué? de igual forma se suele llamar en este como el estudio del niño fastidioso. Ya que para cada respuesta a una interrogante de tipo Por Qué, y se sigue de una interrogante adicional y con mayor profunda de " Bueno, pero Por Qué". En el estudio de causas raíz los infantes son mucho más efectivos. En torno a las preguntas de los cinco Por Qué, la inteligencia común propone que

se puede llevar a la mayoría de las causas raíz, donde en la realidad se pueden utilizar solo de dos o hasta 30 Por Qué, por tratarse de una ciencia social.

Luego de estas cinco interrogantes, se encuentra que la razón raíz de la conmoción del cerebro que fue probablemente debido a la falta de disponibilidad de cascos. A futuro, se podrá acortar el peligro de este tipo de golpe e hinchazón cerebral asegurándose de que cada jugador se proteja con su casco.

Los cinco por qué se utilizan para impedir conjeturas. Al hallar al detalle respuestas a preguntas que van en aumento, las respuestas aún se tornan con mayor claridad y consistencia cada vez. Lo perfecto es que el último Por Qué conlleve a un proceso que no haya resultado, uno de los cuales se pueda arreglar luego.

El Análisis de Causa Raíz, Algunas fallas involucraron inconvenientes de diseño, en los que afectan la confiabilidad inherente de los equipos involucrando la confiabilidad de operación, en tanto otros estaban asociados a inconvenientes de mala operación y falta de involucración.

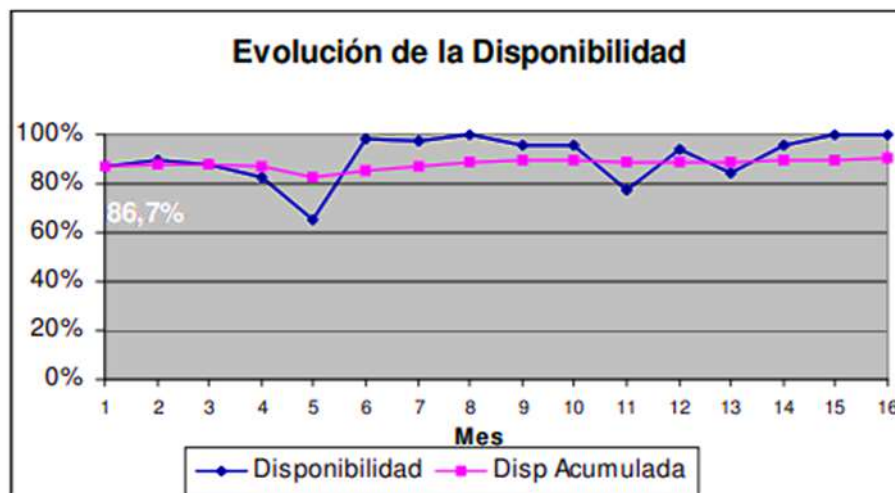


Figura 5: Evolución de la disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

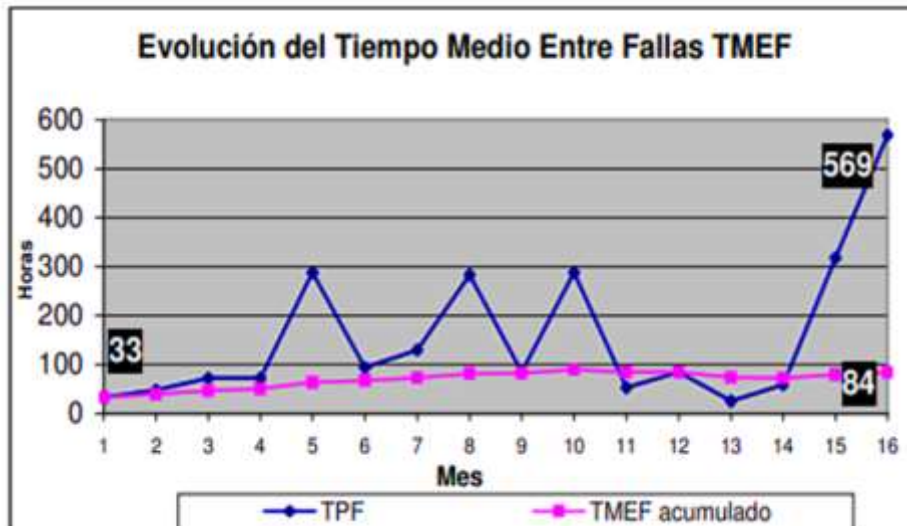


Figura 6: Evolución del tiempo medio entre fallas

Fuente: Elaboración Propia

Las principales acciones de mantenimiento, a considerar en el presente trabajo de investigación, serán las siguientes:

- Verificación de ausencia de energía eléctrica, usando pértiga, revelador de tensión y manta dieléctrica.
- Aterramiento de líneas con equipo para puesta a tierra de media tensión.
- Limpieza general de las celdas de llegada, remonte y transformación con solvente dieléctrico.
- Pruebas eléctricas:
- Medición en resistencia de aislamiento.
- Medición en relación de transformación.
- Revisión y limpieza de aisladores porta barras.
- Revisión, ajuste y pintado de barras colectoras.
- Revisión y ajustes de conexiones de líneas de los aisladores primario y secundario.
- Registro de termografía infrarroja de puntos calientes.
- Revisión y ajuste de los pernos de los transformadores con torquímetro.
- Ajuste de conexiones de los transformadores.
- Limpieza de aisladores y parte externa de los transformadores con solvente dieléctrico.

- Verificación del buen funcionamiento del sistema de protección de transformadores.
- Verificación del nivel de aceite en el indicador de nivel.
- Verificación de fugas de aceite.
- Limpieza y pulverizado con solvente dieléctrico a los transformadores.
- Limpieza de las zanjas de ventilación.
- Revisión de las conexiones de puesta a tierra.»

Determinar los nuevos indicadores saidi (duración), que hagan evidentes las mejoras en el plan de mantenimiento

Por motivo de simplificación únicamente realizaremos el análisis de las mejoras en los indicadores SAIDI (duración, desde el punto de vista del circuito completo) de dos de las maquinas e instalaciones eléctricas importantes de la subestación eléctrica materia del presente estudio de investigación, a las cuales les aplicaremos la prueba de hipótesis nula, es decir tomaremos como muestra de control, los datos de confiabilidad SAIDI y SAIFI, antes de aplicar las nuevas medidas de mantenimiento y como muestra variable los datos de confiabilidad SAIDI y SAIFI, después de aplicar las nuevas medidas de mantenimiento y con la aplicación de la prueba chi cuadrado, aceptaremos o rechazaremos la hipótesis, que estos indicadores han mejorado en su valor promedio:

En el caso del Transformador de Potencia 7 MVA 60/10 KV, analizaremos lo datos de falla, en el Periodo Enero del 2017 a Diciembre del 2018, calculando los indicadores SAIDI y SAIFI, antes de aplicar un nuevo plan de mantenimiento y el Periodo Enero del 2019 a Diciembre del 2020, calculando los indicadores SIADI y SAIFI de ese mismo periodo

Luego con la metodología de hipótesis nula, expresada en la siguiente ecuación y su respectivo procedimiento:

Si se quiere construir un modelo matemático - estadístico. Se tiene que trabajar con un conjunto de valores acerca de las variables de utilidad. En esta presente investigación se deben conceptuar dos principales variables: (a) la diferencia (X) entre pre y post en acciones de mantenimiento con el antiguo y el nuevo plan de

mantenimiento que es utilizado, y (b) la diferencia (Y) correspondiente en aumento de la confiabilidad y disponibilidad de equipos y máquinas para la generación de energía y potencia y los correspondientes ingresos generados que participan en el nuevo plan de mantenimiento. El investigador asume que X y Y en sus respectivas poblaciones tienen una distribución normal con media μ_X y μ_Y , respectivamente. Otros supuestos suponen que la varianza (σ^2) de dichas distribuciones es similar y que las atenciones de la muestra se han sacado de modo independiente de sus respectivas poblaciones. Los parámetros del modelo son μ_X , μ_Y y σ^2 .

Detallar la hipótesis nula. Aplicado a nuestros valores, se trata de conjeturas de que no hay ninguna diferencia de las dos poblaciones entre las medias: $H_0: \mu_X - \mu_Y = 0$. No obstante continuamente se utiliza la hipótesis nula en estos términos, en lo común se puede tomar la hipótesis $H_0: \mu - \mu_Y = c$, donde c se asume que es cualquier número real.

Es necesario el definir un estadístico que nos sirva de contraste. Este estadístico se construye a desde los datos que integran la muestra. En este trabajo de tesis se deberá considerar como estadístico de contraste:

$$t = \frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - (\mu_x - \mu_y)}{\sqrt{\frac{S_x^2 + S_y^2}{n}}}$$

De donde:

$$\bar{X} - \bar{Y}$$

Se utilizan las medias muestrales para ambos equipos, S^2_X y S^2_Y las varianzas muestrales, y n que es el número de observaciones en cada equipo (24 en este caso).

Determinar el valor de división del estadístico de contraste bajo las principales suposiciones de modelamiento. Se tiene como ejemplo, que se ha demostrado que el estadístico t en la Ecuación (1) se hace la división según la distribución t de Student con 46 (en general: $2n - 2$) grados de libertad.

La acción de admitir o denegar la hipótesis nula. Donde si el valor p es menor que el criterio α de significancia (especificado de manera a priori), se debe rechazar la

hipótesis nula; en este caso contrario se acepta. De manera Usual se elige $\alpha = 0.05$; en el ejemplo se rechazaría la hipótesis nula.

Para tener una interpretación acertada del valor p es imprescindible asumir en claro que la PSHN, se desarrolló entre del modelo marco frecuentista (o clásico) del recuento. Inferencial, estas dos ideas son necesarias bajo este punto de vista. Primero, en los puntos de referencia del modelo estadístico seconceptúan constantes, es decir, poseen un valor definitivo y valor fijo; acto seguido, conceptualmente habría de ser posible repetir experimentación un número muy grande de veces (de ahí, "frecuentista"). En estas distintas repeticiones, los indicadores poseen y convienen tener el idéntico valor pero las muestras (y, por consiguiente, los datos) varían. La división de dicho estadístico de contraste exactamente refiere cómo el valor del estadístico, cambiaría durante las distintas repeticiones de la experimentación.

Luego el valor p se supone como la relación de veces, en el número ilimitado de las repeticiones conceptuales de la experimentación, que el estadístico de contraste posee un valor tan extremado que dado al valor observado en la realización de la experimentación vigente. Sobre esto es fundamental concebir dichas repeticiones se efectúan (y que la repartición del estadístico de contraste se origina) bajo los suposiciones de la hipótesis nula y el modelo estadístico.

Para el caso de los valores SAIDI, tendremos que , de acuerdo a la definición del Osinergmin, Computa el lapso de permanencia de la interrupción, esto está relacionado con el punto de ubicación de la falla, también la intensidad de falla y los medios disponibles para la restitución como: cuadrillas, materiales, vehículos, medios de comunicación, también las vías de acceso, la distancia de redes, etc., es decir es el indicador para medir la confiabilidad de la subestación eléctrica, relacionada a la red eléctrica que alimenta.

Tabla 3: Análisis Valores SAIDI del Transformador, antes de aplicar plan de Mantenimiento

ANALISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS VALORES DE SAIDI PERIODO EN 2017 - DIC -2018 - SEP LAMBAYEQUE PEOT – SAIDI ANTES DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO – TRANSFORMADOR DE POTENCIA								
MES	HORAS FALLA	HORAS TOTAL	SAIDI MES	CONFIABILIDAD MES	SAIDI AÑO	CONFIABILIDAD AÑO	SAIDI PERIODO	CONFIABILIDAD PERIODO
Ene-17	3.50	744	0.47%	99.53%				
Feb- 17	2.50	672	0.37%	99.63%				
Mar- 17	3.00	744	0.40%	99.60%				
Abr- 17	2.75	720	0.38 %	99.62%				
May- 17	2.00	744	0.27%	99.73%				
Jun- 17	1.50	720	0.21%	99.79%	0.31%	99.69%		
Jul- 17	2.25	744	0.30%	99.70%				
Ago- 17	2.50	744	0.34%	99.66%				
Sep- 17	2.00	720	0.28%	99.72%				
Oct- 17	1.50	744	0.20%	99.80%				
Nov- 17	1.75	720	0.24%	99.76%				
Dic- 17	2.25	744	0.30%	99.70%			0.32%	99.68%
Ene- 18	2.50	744	0.34%	99.66%				
Feb- 18	2.50	672	0.37%	99.63%				
Mar- 18	2.25	744	0.30%	99.70%				
Abr- 18	2.00	720	0.28%	99.72%				
May- 18	2.00	744	0.27%	99.73%				
Jun- 18	1.50	720	0.21%	99.79%	0.32%	99.68%		
Jul- 18	2.75	744	0.37%	99.63%				
Ago- 18	3.00	744	0.40%	99.60%				
Sep- 18	3.15	720	0.44%	99.56%				
Oct- 18	3.00	744	0.40%	99.60%				

Nov- 18	2.27	720	0.32%	99.68%
Dic- 18	1.00	744	0.13%	99.87%

Fuente: Elaboración propia

Con su representación en los siguientes estadísticos:

Promedio: 2.31

Varianza: 0.36838406

N: 24

Varianza²: 0.135820557

Para el caso de los valores SAIDI, para después de aplicar el plan de mantenimiento, materia del presente trabajo de investigación:

Tabla 4: Análisis Valores SAIDI del Transformador, después de aplicar plan de Mantenimiento

ANALISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS VALORES DE SAIDI PERIODO EN 2019 - DIC -2020 - SEP LAMBAYEQUE PEOT – SAIDI DESPUES DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO – TRANSFORMADOR DE POTENCIA								
MES	HORAS FALLA	HORAS TOTAL	SAIDI MES	CONFIABILIDAD MES	SAIDI AÑO	CONFIABILIDAD AÑO	SAIDI PERIODO	CONFIABILIDAD PERIODO
Ene-17	1.50	744	0.20%	99.80%				
Feb- 17	1.00	672	0.15%	99.85%				
Mar- 17	0.75	744	0.10%	99.90%				
Abr- 17	0.50	720	0.07%	99.93%				
May- 17	0.25	744	0.03%	99.97%				
Jun- 17	0.30	720	0.04%	99.96%	0.0010%	99.9990%		
Jul- 17	0.75	744	0.10%	99.90%				
Ago- 17	1.00	744	0.13%	99.87%				
Sep- 17	0.50	720	0.07%	99.93%				
Oct- 17	1.00	744	0.13%	99.87%				
Nov- 17	0.50	720	0.07%	99.93%				
Dic- 17	0.30	744	0.04%	99.96%			0.0009%	99.9991%
Ene- 18	0.50	744	0.07%	99.93%				
Feb- 18	1.00	696	0.14%	99.86%				
Mar- 18	0.75	744	0.10%	99.90%				
Abr- 18	1.00	720	0.14%	99.86%				
May- 18	1.00	744	0.13%	99.87%				
Jun- 18	0.70	720	0.10%	99.90%	0.0009%	99.9991%		
Julio- 18	0.70	744	0.09%	99.91%				
Ago- 18	1.00	744	0.13%	99.87%				
Sep- 18	0.50	720	0.07%	99.93%				
Oct- 18	0.50	744	0.07%	99.93%				

Nov- 18	0.30	720	0.04%	99.96%
Dic- 18	0.20	744	0.03%	99.97%

Fuente: Elaboración propia

Con su representación en los siguientes estadísticos:

Promedio: 0.69

Varianza: 0.106358696

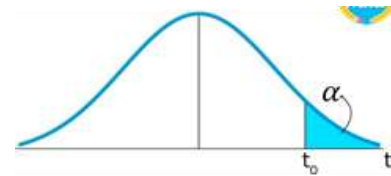
N: 24

Varianza²: 0.011312172

Lo que determina un valor de t : 20,7115483

Comparando con los valores de la curva t student:

Tabla 5: Tabla T Student para Grados de Libertad de 1 a 49



R α	0.45	0.40	0.35	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.158	0.3249	0.5095	1.0000	1.3764	1.9626	3.0777	6.3138	12.706	31.820	63.656
2	0.142	0.2887	0.4447	0.8165	1.0607	1.3862	1.8856	2.9200	4.302	6.9646	9.9248
3	0.136	0.2767	0.4242	0.7649	0.9785	1.2498	1.6377	2.3534	3.182	4.5407	5.8409
4	0.133	0.2707	0.4142	0.7407	0.9410	1.1896	1.5332	2.1318	2.776	3.7469	4.6041
5	0.132	0.2672	0.4082	0.7267	0.9195	1.1558	1.4759	2.0150	2.570	3.3649	4.0321
6	0.131	0.2648	0.4043	0.7176	0.9057	1.1342	1.4398	1.9432	2.446	3.1427	3.7074
7	0.130	0.2632	0.4015	0.7111	0.8960	1.1192	1.4149	1.8946	2.364	2.9980	3.4995
8	0.129	0.2619	0.3995	0.7064	0.8889	1.1081	1.3968	1.8595	2.306	2.8965	3.3554
9	0.129	0.2610	0.3979	0.7027	0.8834	1.0997	1.3830	1.8331	2.262	2.8214	3.2498
10	0.128	0.2602	0.3966	0.6998	0.8791	1.0931	1.3722	1.8125	2.228	2.7638	3.1693
11	0.128	0.2596	0.3956	0.6974	0.8755	1.0877	1.3634	1.7959	2.201	2.7181	3.1058
12	0.128	0.2590	0.3947	0.6955	0.8726	1.0832	1.3562	1.7823	2.178	2.6810	3.0545
13	0.128	0.2586	0.3940	0.6938	0.8702	1.0795	1.3502	1.7709	2.160	2.6503	3.0123
14	0.128	0.2582	0.3933	0.6924	0.8681	1.0763	1.3450	1.7613	2.144	2.6245	2.9768
15	0.127	0.2579	0.3928	0.6912	0.8662	1.0735	1.3406	1.7531	2.131	2.6025	2.9467
16	0.127	0.2576	0.3923	0.6901	0.8647	1.0711	1.3368	1.7459	2.119	2.5835	2.9208
17	0.127	0.2573	0.3919	0.6892	0.8633	1.0690	1.3334	1.7396	2.109	2.5669	2.8982
18	0.127	0.2571	0.3915	0.6884	0.8620	1.0672	1.3304	1.7341	2.100	2.5524	2.8784
19	0.127	0.2569	0.3912	0.6876	0.8610	1.0655	1.3277	1.7291	2.093	2.5395	2.8609
20	0.127	0.2567	0.3909	0.6870	0.8600	1.0640	1.3253	1.7247	2.086	2.5280	2.8453
21	0.127	0.2566	0.3906	0.6864	0.8591	1.0627	1.3232	1.7207	2.079	2.5176	2.8314
22	0.127	0.2564	0.3904	0.6858	0.8583	1.0614	1.3212	1.7171	2.073	2.5083	2.8188
23	0.127	0.2563	0.3902	0.6853	0.8575	1.0603	1.3195	1.7139	2.068	2.4999	2.8073
24	0.127	0.2562	0.3900	0.6848	0.8569	1.0593	1.3178	1.7109	2.063	2.4922	2.7969
25	0.126	0.2561	0.3898	0.6844	0.8562	1.0584	1.3163	1.7081	2.059	2.4851	2.7874
26	0.126	0.2560	0.3896	0.6840	0.8557	1.0575	1.3150	1.7056	2.055	2.4786	2.7787
27	0.126	0.2559	0.3894	0.6837	0.8551	1.0567	1.3137	1.7033	2.051	2.4727	2.7707
28	0.126	0.2558	0.3893	0.6834	0.8546	1.0560	1.3125	1.7011	2.048	2.4671	2.7633
29	0.126	0.2557	0.3892	0.6830	0.8542	1.0553	1.3114	1.6991	2.045	2.4620	2.7564
30	0.126	0.2556	0.3890	0.6828	0.8538	1.0547	1.3104	1.6973	2.042	2.4573	2.7500
31	0.126	0.2555	0.3889	0.6825	0.8534	1.0541	1.3095	1.6955	2.039	2.4528	2.7440
32	0.126	0.2555	0.3888	0.6822	0.8530	1.0535	1.3086	1.6939	2.036	2.4487	2.7385
33	0.126	0.2554	0.3887	0.6820	0.8526	1.0530	1.3077	1.6924	2.034	2.4448	2.7333

34	0.126 6	0.2553	0.3886	0.6818	0.8523	1.0525	1.3070	1.6909	2.032 2	2.4411	2.7284
35	0.126 6	0.2553	0.3885	0.6816	0.8520	1.0520	1.3062	1.6896	2.030 1	2.4377	2.7238
36	0.126 6	0.2552	0.3884	0.6814	0.8517	1.0516	1.3055	1.6883	2.028 1	2.4345	2.7195
37	0.126 5	0.2552	0.3883	0.6812	0.8514	1.0512	1.3049	1.6871	2.026 2	2.4314	2.7154
38	0.126 5	0.2551	0.3882	0.6810	0.8512	1.0508	1.3042	1.6860	2.024 4	2.4286	2.7116
39	0.126 5	0.2551	0.3882	0.6808	0.8509	1.0504	1.3036	1.6849	2.022 7	2.4258	2.7079
40	0.126 5	0.2550	0.3881	0.6807	0.8507	1.0500	1.3031	1.6839	2.021 1	2.4233	2.7045
41	0.126 4	0.2550	0.3880	0.6805	0.8505	1.0497	1.3025	1.6829	2.019 5	2.4208	2.7012
42	0.126 4	0.2550	0.3880	0.6804	0.8503	1.0494	1.3020	1.6820	2.018 1	2.4185	2.6981
43	0.126 4	0.2549	0.3879	0.6802	0.8501	1.0491	1.3016	1.6811	2.016 7	2.4163	2.6951
44	0.126 4	0.2549	0.3878	0.6801	0.8499	1.0488	1.3011	1.6802	2.015 4	2.4141	2.6923
45	0.126 4	0.2549	0.3878	0.6800	0.8497	1.0485	1.3006	1.6794	2.014 1	2.4121	2.6896
46	0.126 4	0.2548	0.3877	0.6799	0.8495	1.0483	1.3002	1.6787	2.012 9	2.4102	2.6870
47	0.126 3	0.2548	0.3877	0.6797	0.8493	1.0480	1.2998	1.6779	2.011 7	2.4083	2.6846
48	0.126 3	0.2548	0.3876	0.6796	0.8492	1.0478	1.2994	1.6772	2.010 6	2.4066	2.6822
49	0.126 3	0.2547	0.3876	0.6795	0.8490	1.0475	1.2991	1.6766	2.009 6	2.4049	2.6800

Fuente: Elaboración propia

Es decir, para 99 % de confianza el valor de t es para 46 grados de libertad de 2,4102, valor menor de 20.7115483, por lo tanto, es cierta la hipótesis que el plan de mantenimiento, mejora la confiabilidad del transformador.

En el caso del Seccionador de Llegada/ Salida, tendríamos que trabajar con los siguientes datos:

Tabla 6: Análisis SAIDI de los seccionadores, antes de aplicar el plan de mantenimiento

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS VALORES DE SAIDI PERIODO EN 2017 - DIC -2018 - SEP LAMBAYEQUE PEOT – SAIDI ANTES DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO – SECCIONADOR DE ENTRADA/SALIDA								
MES	HORAS FALLA	HORAS TOTAL	SAIDI MES	CONFIABILIDAD MES	SAIDI AÑO	CONFIABILIDAD AÑO	SAIDI PERIODO	CONFIABILIDAD PERIODO
Ene-17	2.75	744	0.37%	99.63%				
Feb- 17	3.50	672	0.52%	99.48%				
Mar- 17	2.50	744	0.34%	99.66%				
Abr- 17	3.15	720	0.44%	99.56%				
May- 17	2.55	744	0.34%	99.66%				
Jun- 17	1.75	720	0.24%	99.76%	0.3276%	99.6724%		
Jul- 17	2.00	744	0.27%	99.73%				
Ago- 17	2.15	744	0.29%	99.71%				
Sep- 17	1.85	720	0.26%	99.74%				
Oct- 17	1.75	744	0.24%	99.76%				
Nov- 17	2.00	720	0.28%	99.72%				
Dic- 17	2.75	744	0.37%	99.63%			0.3445%	99.6555%
Ene- 18	3.00	744	0.40%	99.60%				
Feb- 18	3.00	672	0.45%	99.55%				
Mar- 18	2.75	744	0.37%	99.63%				
Abr- 18	2.50	720	0.35%	99.65%				
May- 18	2.50	744	0.34%	99.66%				
Jun- 18	2.00	720	0.28%	99.72%	0.3613%	99.6387%		
Julio	2.55	744	0.34%	99.66%				
Ago- 18	2.75	744	0.37%	99.63%				
Sep- 18	2.80	720	0.39%	99.61%				
Oct- 18	2.90	744	0.39%	99.61%				
Nov- 18	2.15	720	0.30%	99.70%				

Dic- 18	2.75	744	0.37%	99.63%
----------------	------	-----	-------	--------

Fuente: Elaboración propia

Con su representación en los siguientes estadísticos:

Promedio: 2.51

Varianza: 0.218582428

N: 24

Varianza²: 0.047778278

Para el caso de los valores SAIDI, para después de aplicar el plan de mantenimiento, materia del presente trabajo de investigación:

Tabla 7: Análisis SAIDI de los seccionadores, después de aplicar plan de Mantenimiento

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS VALORES DE SAIDI PERIODO EN 2019 - DIC -2020 - SEP LAMBAYEQUE PEOT – SAIDI DESPUES DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO – SECCIONADOR DE ENTRADA/SALIDA								
MES	HORAS FALLA	HORAS TOTAL	SAIDI MES	CONFIABILIDAD MES	SAIDI AÑO	CONFIABILIDAD AÑO	SAIDI PERIODO	CONFIABILIDAD PERIODO
Ene-17	2.50	744	0.34%	99.69%				
Feb- 17	2.75	672	0.41%	99.59%				
Mar- 17	2.00	744	0.27%	99.73%				
Abr- 17	2.50	720	0.35%	99.65%				
May- 17	1.50	744	0.20%	99.80%				
Jun- 17	1.50	720	0.21%	99.79%	0.2500%	99.7500%		
Jul- 17	1.50	744	0.20%	99.80%				
Ago- 17	1.50	744	0.20%	99.80%				
Sep- 17	1.55	720	0.22%	99.78%				
Oct- 17	1.35	744	0.18%	99.82%				
Nov- 17	1.50	720	0.21%	99.79%				
Dic- 17	1.75	744	0.24%	99.76%			0.2411%	99.7589%
Ene- 18	2.00	744	0.27%	99.73%				
Feb- 18	2.00	696	0.29%	99.71%				
Mar- 18	1.75	744	0.24%	99.76%				
Abr- 18	1.50	720	0.21%	99.79%				
May- 18	2.00	744	0.27%	99.73%				
Jun- 18	1.25	720	0.17%	99.83%	0.2322%	99.7678%		
Julio- 18	1.35	744	0.18%	99.82%				
Ago- 18	2.00	744	0.27%	99.73%				
Sep- 18	1.75	720	0.24%	99.76%				
Oct- 18	2.00	744	0.27%	99.73%				
Nov- 18	1.50	720	0.21%	99.79%				

Dic- 18	1.30	744	0.17%	99.83%
---------	------	-----	-------	--------

Fuente: Elaboración propia

Con su representación en los siguientes estadísticos:

Promedio: 1.76

Varianza: 0.162880435

N: 24

Varianza²: 0.026530036

Lo que determina un valor de τ : 13,51614626

Comparando con los valores de la curva τ student:

Es decir, para 99 % de confianza el valor de t es para 46 grados de libertad de 2,4102 valor menor de 13,51614626, por lo tanto, es cierta la hipótesis que el plan de mantenimiento, mejora la confiabilidad de los seccionadores.

Evaluar económicamente y financieramente la viabilidad del plan de mantenimiento

Para la «evaluación de la viabilidad, tanto económica y como financiera de la implementación del Plan de mantenimiento, trabajaremos con la siguiente lógica, económica: Primero se determinará los costos de acuerdo a pliego tarifario, vigentes y aplicables a la SEP Lambayeque, en lo relativo a energía activa y Potencia firme disponible y de acuerdo a los contratos firmados por la SEP Lambayeque, con el COES (Comité de Operación Económica del Sistema), luego con los resultados de mejoras de disponibilidad determinaremos, la cantidad de energía y potencia, disponibles con el nuevo plan de mantenimiento, que ha sido valido de forma estadística, por aplicación de la prueba t student, así mismo trabajemos con los costos del plan de mantenimiento, tanto a costos iniciales, como a costos de operación de mantenimiento.

Con lo cual tendremos la configuración de flujo de caja y/o estado de pérdidas y ganancias , con lo cual en un Periodo de vida de 10 años, acorde con la duración del activo principal de SEP, el transformador y la duración del negocio, dado por el hecho que la concesión de trasmisión es a tiempo indefinido, la tasa de descuento que exprese el nivel actual de oferta y demanda de dinero como tasa de interés básica, nivel de riesgo país, nivel de riesgo negocio de acuerdo a las agencias calificadoras de riesgo , para luego determinar los valores de los indicadores de valuación económica financiera de proyectos de mejoras, como el VAN (Valor actual Neto) y TIR (Taza interna de retorno económica)»

En cuanto a los pliegos tarifarios, vigentes a la fecha tenemos que:

Tabla 8: Pliego Tarifario Vigente de Media Tensión – Electronorte.

MEDIA TENSIÓN	UNIDAD	SEIN2	SEIN3	SEIN4	CARH2	CARH4
DOBLE MEDICIÓN DE ENERGIA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS (2E2P)						
Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.75	8.72	14.82	6.75	14.82
Cargo por Energía Activa en Hora Punta	ctm. S./kW.h	24.34	24.44	24.53	24.01	24.20
Cargo por Energía en Horas Fuera Punta	ctm.S./kW.h	19.85	19.94	20.00	19.57	19.72
Cargo Por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	56.42	59.40	56.15	56.42	59.15
Cargo por Potencia Activa por uso de redes de Distribución en HP	S./kW-mes	12.12	12.00	15.51	15.03	15.51
Cargo por Exceso de Potencia Activa por uso de redes de Distribución en HFP	S./kW-mes	12.36	11.48	13.63	15.32	13.63
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
DOBLE MEDICIÓN DE ENERGIA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA (2E1P)						
Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.75	8.72	13.49	6.75	13.49
Cargo por Energía Activa en Hora Punta	ctm. S./kW.h	24.34	24.44	24.53	24.01	24.20
Cargo por Energía en Horas Fuera Punta	ctm.S./kW.h	19.85	19.94	20.00	19.57	19.72
Cargo Por Potencia Activa de Generación para usuarios:						
Presentes en Punta	S./kW-mes	52.55	48.64	55.40	52.55	55.40
Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	29.94	30.31	35.75	25.94	35.75
Cargo Por Potencia Activa por usuarios de redes de distribución para usuarios:						
Presentes en Punta	S./kW-mes	12.84	12.48	15.70	15.90	15.70
Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	12.59	12.12	14.80	15.60	14.80
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGIA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA (1E1P)						
Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.75	8.72	13.49	6.75	13.49
Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	20.97	21.06	21.13	20.68	20.84
Cargo Por Potencia Activa de Generación para usuarios:						
Presentes en Punta	S./kW-mes	52.55	48.64	55.40	52.55	55.40
Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	25.94	30.31	35.75	25.94	35.75
Cargo Por Potencia Activa por usuarios de redes de distribución para usuarios:						
Presentes en Punta	S./kW-mes	12.84	12.48	15.70	15.90	15.70
Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	12.59	12.12	14.80	15.60	14.80
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40

Fuente: Pliego tarifario (Electronorte, 2021)

De donde se puede apreciar, que se trabajara con:

- Cargo por Energía activa: 0.2434 S/ / Kwhr
- Cargo por Potencia activa: 52.55 S/ / Kw - Mes

Como segundo paso, debemos de considerar, que la confiabilidad del elemento fundamental, el cual es el transformador, nos determina.

- Disponibilidad antes del Plan de Mantenimiento: 99.69 %
- Disponibilidad después del Plan de Mantenimiento: 99.99 %

Esto significa en términos de horas al año: 26.28 Horas, que en términos de S/, por energía y potencia, significan:

En términos de energía:

- $26.28 * 7000 * 0.2434 = S/ 44,776$ al Año

En términos de potencia:

- $26.28 / 720 * 7000 * 52.25 = S/ 13,349.90$ al Año

En cuanto a los costos del Plan de Mantenimiento adicional, estos son del orden del 0.50 %, del costo de la SEP, es decir son:

$7,000 * 1000 * 0.005 = S/ 35,000.00$, considerando un costo inicial de S/ 70,000.00

Para la tasa de interés, trabajaremos con el concepto de tasa de interés conjunta.

Financiamiento del proyecto

Se utilizan como tasa de costo efectiva anual (TCEA) la adquirida de la entidad bancaria BCP, por ser la más baja en el mercado, la cual su tasa es de 15.62%. Para financiar el proyecto el monto equivale al 60% del valor total de inversión (S/. 974,549), el cual sería por un periodo de 5 años.

Costo de capital

Para el Modelo de Valoración se hace uso de Activos de Capital (CAPM), que se calculó del Costo de Oportunidad de Capital (COK) por medio de formula:

$$COK = \beta \times (R_m - R_f) + R_f + R_{país}$$

Donde:

- Beta no levantada = 0.83 (de acuerdo a datos del Prof. A: Damodaran para la sección hotelera).
- R_m : Comisión por riesgo de mercado = 8.63% (de acuerdo a datos del Prof. A. Damodaran).
- R_r : Tasación disponible de riesgo = 3.22% (bonos del fisco americano por 30 años)
- $R_{país}$: Riesgo de país = 2.88% (de acuerdo a datos del Prof. A. Domadaran).

No obstante, se deben de efectuar un acuerdo en el cabo debido al valor a financiar con terceros, el cual concierne al 60% del total de la inversión.

- Beta apalanca = Beta no apalanca $\times (1 + 1 - T) \times (D/C)$

Donde:

- T: Tasación efectiva de gravamen = 30%
- D/C: Radio deuda capital del proyecto = 1.5

De tal modo el nuevo Beta será igual a 2.419 y el COK igual a 19.19%

Con la utilización de las siguientes tasas de riesgos:

Tabla 9: Coeficientes Beta de apalancamiento

Nombre de la industria	Número de empresas	Beta	D/E Proporción
Publicidad	40	1.15	73.87%
aeroespacial	87	1.08	18.46%
Transporte aéreo	17	1.01	71.00%
Vestir	51	1.02	34.18%
Automóviles y Camiones	18	1.20	148.09%
Autopartes	62	1.04	28.30%
Banco	11	0.64	157.56%
Bancos (Regionales)	612	0.50	58.68%
Bebidas alcohólicas	28	1.33	26.14%
Bebida (suave)	35	0.70	23.06%
Radiodifusión	27	1.12	112.17%
Corretaje y Banca de Inversión	42	1.24	219.92%
Materiales de construcción	39	1.11	21.46%
Servicios para empresas y consumidores	169	1.17	27.44%

Fuente: Elaboración Propia



Figura 7: Variación anual riesgo País

Fuente: JP Morgan

Esto nos determina una tasa de costo ponderado de capital (WACC) igual a 19.19 %

Lo cual me determina, el siguiente flujo de caja económico – financiero

Tabla 10: Estado de pérdidas y ganancias periodo 2022-2031

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS PERIODO 2022 - 2031													
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
INGRESOS	58,12 5.90	58,1 25.9 0	58,12 5.90	58,1 25.9 0	58,1 25.9 0	58,1 25.9 0	58,12 5.90	58,12 5.90	58,125. 90	58,12 5.90	58,12 5.90	58,12 5.90	58,12 5.90
EGRESOS	70,00 0.00	35,0 00.0 0	35,00 0.00	35,0 00.0 0	35,0 00.0 0	35,0 00.0 0	35,00 0.00	35,00 0.00	35,000. 00	35,00 0.00	35,00 0.00	35,00 0.00	35,00 0.00
UTILIDAD	- 70,00 0.00	23,1 25.9 0	23,12 5.90	23,1 25.9 0	23,1 25.9 0	23,1 25.9 0	23,12 5.90	23,12 5.90	23,125. 90	23,12 5.90	23,12 5.90	23,12 5.90	23,12 5.90
VALOR ACTUAL NETO			79,61 1.60										
TASA INTERNA DE RETORNO			32%										

Fuente: Elaboración propia

Siendo por lo tanto viable el plan de Manteamiento de la SEP Lambayeque, con un VAN de S/ 79,611.60 y una TIR 32 %

V. DISCUSIÓN

La mejora de la confiabilidad de los sistemas eléctricos, en este caso de transformación en las subestaciones de potencia de la Línea Chiclayo – Olmos, ha quedado demostrado mediante el presente estudio, que está ligado a los planes de mantenimiento aplicados, por lo que su estudio para la realización de mejoras, son de vital importancia, pues los planes y gastos de mantenimiento a los principales equipamientos de una subestación de transformación, se reflejan de manera directa, en el aumento de la confiabilidad – disponibilidad de los equipos y por lo tanto en el aumento de la energía y potencia vendida al sistema.

El Mantenimiento que implica desde simples acciones para evitar daños por animales, como pájaros , roedores, serpientes y flora como árboles, ramas de árboles entre otros, disminuyendo la frecuencia de falla, y por otro lado abasteciéndose de las herramientas adecuadas para disminuir los tiempos necesarios para efectuar las reparaciones, se analizan los resultados para los principales elementos de la subestación, como son el transformador de potencia, los puertos de llegada y salida de energía, los equipos de puesta a tierra, los seccionadores de potencia y los bancos de capacitores para optimizar el factor de potencia, de preferencia se optara como preferencia el análisis, estadístico inferencial como el manejo de las medias de la muestra y del universo, el cálculo de su diferencia ponderada, con la utilización de la prueba estadística de la t de student, para aceptar o rechazar la hipótesis propuesta.

Con la ayuda del análisis económico financiero, y la previa definición del costo promedio ponderado de capital (WACC), con el cual se trabajara, definirá también la vida útil económica con la cual se trabajara, de acuerdo a la duración del negocio o la duración del activo fijo – maquinaria o equipo, principal, nos apoyaremos también con tablas que incluyan el interés adicional por riesgo país, y riesgo individual de negocio, tasación de interés de bonos de la Reserva federal de Estados Unidos, entre otro criterios de evaluación económica financiera, finalmente para lograr Valores VAN y TIR, favorables para la realización del proyecto.

VI. CONCLUSIONES

- 1) De la determinación de la causa raíz, de las principales fallas que se presentan en la subestación eléctrica de potencia, se obtiene que son las relacionadas con la humedad subterránea para los cables enterrados, así como las raíces de los árboles y los animales subterráneos como los roedores, pero también debemos de tener en cuenta, el polvo en suspensión por las calles no asfaltadas de la ciudad de Lambayeque, así como los niveles de limpieza necesarios para evitar la disminución de la longitud de fuga, y los correspondientes cortocircuitos.

- 2) El plan de operación y mantenimiento está compuesto de una colección de actividades de mantenimientos de función predictiva, preventiva y reparador acerca de las máquinas de la subestación y sus respectivas partes mantenibles. En dicho listado de ítems y sus concernientes actividades de mantenimiento necesitan de una consignación y espaciamiento en el periodo que designaremos periodicidad, se analizara a continuación cuya apreciación. El plan de operación y mantenimiento se fundamenta a su vez con el hipotético de que se tiene la disponibilidad de medios de carácter laboral, inventarios de repuestos y bienes de reemplazo, herramienta y demás, que estén al alcance del personal ocupado de realizar los trabajos de mantenimiento.

- 3) Si se quiere construir un modelo matemático - estadístico. Se tiene que trabajar con un conjunto de valores acerca de las variables de utilidad. En esta presente investigación se deben considerar dos principales variables: (a) la diferencia (X) entre pre y post en acciones de mantenimiento con el antiguo y el nuevo plan de mantenimiento que es utilizado, y (b) la diferencia (Y) correspondiente en aumento de la confiabilidad y disponibilidad de máquinas y equipos para la generación de energía y potencia y los correspondientes ingresos generados que participan en el nuevo plan de mantenimiento. El investigador asume que X y Y en sus respectivas poblaciones tienen una distribución normal con media μ_X y μ_Y , respectivamente. Otros supuestos suponen que la varianza (σ^2) de dichas

distribuciones es similar y que las atingencias de la muestra se han sacado de modo independiente de sus pertenecientes poblaciones. Los indicadores del modelo son μ_X , μ_Y y σ^2 .

- 4) Y por último, se construye una configuración de flujo de caja y/o estado de pérdidas y ganancias, con lo cual en un Periodo de vida de 10 años, acorde con la duración del activo principal de SEP, el transformador y la duración del negocio, dado por el hecho que la concesión de trasmisión es a tiempo indefinido, la tasa de descuento que exprese el nivel actual de oferta y demanda de dinero como tasa de interés básica, nivel de riesgo país, nivel de riesgo negocio de acuerdo a las agencias calificadoras de riesgo, para luego determinar los valores de los indicadores de valuación económica financiera de proyectos de mejoras, como el VAN (Valor actual Neto) y TIR (Tasa interna de retorno económica).

VII. RECOMENDACIONES

- 1)** Este nuevo plan de mantenimiento se debe implementar pues es ventajoso para la entidad, pues goza de indicadores positivos VAN y TIR, la cual aseguran su rentabilidad social y privada.

- 2)** Se mejora la confiabilidad de la operación de la sub estación eléctrica con el nuevo plan de mantenimiento y esta se refleja en la mejora de los indicadores de operación y calidad de operación SAIDI y SAIFI.

- 3)** La identificación de las principales causas raíces de falla, nos permite determinar las acciones necesarias de implementar, las cuales recomendamos se sigan implementando.

REFERENCIAS

Análisis de causas raíces en sistemas eléctricos. Moreno, Luis. 2017. Lima: UNI, 2017, Electrotecnia, págs. 66,73.

Análisis de modos de falla, efectos y criticidad para la planeación del mantenimiento. Aguilar, Jose. 2018. Mexico: TYCMX, 2018, Ingeniería del Mantenimiento, págs. 55, 63.

Arista. 2014. Metodología de la Investigación. Lima: EDUSMP, 2014.

Bederenson, P. 2017. Confiabilidad de sistemas eléctricos de potencia. México: Reverte, 2017.

Carbonell, D. 2017. Evaluación de las intensidades de inserción en transformadores de potencia. Madrid: UPM, 2017. Disponible en: https://oa.upm.es/47704/1/TFG_DANIEL_CARBONELL_DE_OLAIZ.pdf

Escrache, I. 2018. Los sistemas de gestión, componentes estratégicos en la mejora continua de la Industria Eléctrica. Valencia: UPV, 2018.

Evaluación de la base de dato del Mantenimiento. Tavares, L. 2016. Brasilia: ISSUU, 2016, Ingeniería del Mantenimiento, págs. 77, 84.

Fals, O. 2016. El Problema de como investigar la realidad para transformarla por la proaxis. Bogotá: Tercer Mundo, 2016.

Forestieri, J. 2017. Guía para el mantenimiento de transformadores de Potencia. Guayaquil: ESPOL, 2017.

Garcia, G. 2019. Indicadores de Mantenimiento en la Industria Eléctrica. México: Limusa, 2019.

Garfias, A. 2017. Modernas técnicas de mantenimiento y su prospectiva. Lima: UNI, 2017.

Garfias, Pedro. 2017. Competencia de los indicadores de mantenimiento. New York: Mac Graw Hill, 2017.

Gonzalez, F. 2016. Auditoria del Mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: CONFEMETAL, 2016.

González, Francisco. 2016. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Limusa, 2016. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=1080749>

Guru, H. 2018. Jornadas técnicas de reparación de transformadores de potencia. México: Alfaomega, 2018.

Gutiérrez, H. 2017. Control estadístico de la calidad y seis sigma. México: Mac Graw Hill, 2017. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>

Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Parra, Carlos. 2016. Sevilla: INGEMAN, 2016, Mantenimiento Eléctrico, págs. 34,41. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=8xsnQ1aMg2gC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Las fallas más comunes en un transformador. Tecsa, D. 2018. México: TECSAQRO, 2018, Sistemas de Potencia, págs. 102, 113.

Los 10 mandamientos del RCM, Claves para el éxito de un proyecto de implementación RCM. Sotuyo, Santiago. 2016. México: Word Latin, 2016, Mantenimiento Eléctrico, págs. 115, 123. Disponible en: [https://www.academia.edu/36995574/Los_10_Mandamientos_del_RCM_Claves_p ara_el_%C3%A9xito_de_un_Proyecto_de_Implementaci%C3%B3n_RCM](https://www.academia.edu/36995574/Los_10_Mandamientos_del_RCM_Claves_para_el_%C3%A9xito_de_un_Proyecto_de_Implementaci%C3%B3n_RCM)

Mantenimiento en Sub Estaciones Eléctricas. Reynaldo. 2018. 2018, Ingeniería del Mantenimiento, págs. 45, 61. Disponible en; https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/newsletters/conexion-peru/dise%C3%B1o-final-conexion-1-2018-1.pdf?sfvrsn=8e5fb614_2

Monroy, Hernando. 2016. Gestión integral del Mantenimiento: Un modelo hacia la excelencia. México: Reverte, 2016.

Ñaupas, Pedro. 2016. Metodología de la investigación científica en Ingeniería. Bogotá: Limusa, 2016. Disponible en: <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>

Parra, Pedro. 2016. Gestión del mantenimiento, mediante indicadores. México: Limusa, 2016.

Peredo, A. 2015. Análisis de costos en mantenimiento eléctrico. Lima: UNI, 2015.

Recla, U. 2017. Transformers: Basics, Maintenance and diagnostics. Denver: HRTSG, 2017. Disponible en: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/Trnsfrmr.pdf>

Rivera, P. 2016. Optimización del despacho económica, caso subestaciones eléctricas de Potencia. Miami: Willey, 2016.

Ruiz, J. 2017. Manuel interactivo de mantenimiento industrial para transformadores en aceite. Bogotá: Reverte, 2017. Disponible: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/bf95dfb5-19f5-46b0-8e8f-795d3e1ed5c6/content>

Sampiere Hernandez, Roberto. 2017. Metodología de la investigación Científica. Lima: Limusa, 2017. Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Tamayo, Otto. 2017. Optimización del mantenimiento en la industria eléctrica. Lima: Reverte, 2017.

Torres, M. 2017. Experiencias de mantenimiento preventivo en redes y subestaciones eléctricas. Lima: UNC, 2017.

Waleed, Virk. 2019. Effectiveness and comparison of digital substations over conventional substations. New York: Scopus, 2019. Disponible en: <https://astesj.com/v04/i04/p52/>

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de operacionalización de variables

Variables de Estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
<p>Variables Independiente:</p> <p>Nivel de mantenimiento, predictivo, preventivo y correctivo</p>	<p>El mantenimiento, labor que nació con la revolución industrial y se consolidó en la segunda mitad del siglo pasado, cada vez adquiere mayor importancia, en sus nuevas modalidades de predictivo, preventivo y correctivo, y sus efectos en los niveles de confiabilidad y disponibilidad de los distintos sistemas, máquinas y equipos de las subestaciones eléctricas de potencia (Garfías, 2017).</p>	<p>Manto Predictivo, aquel que se realiza por medio del seguimiento de valores básicos, como temperatura, intensidad, vibraciones, ruidos.</p> <p>Manto Preventivo, aquel que se maneja por planes obtenidos de la experiencia y las recomendaciones en los fabricantes.</p> <p>Manto Correctivo, aquel que es respuesta a las fallas e interrupciones ocurridas, y que implican su reemplazo y análisis de causa raíz de acuerdo a la metodología de espina de pescado o de Ishikawa.</p>	Nivel de inversión en mantenimiento	Soles en CAPEX y OPEX	VAN, TIR
<p>Variable Dependiente:</p> <p>Nivel de confiabilidad y disponibilidad obtenidas en subestaciones eléctricas de potencia</p>	<p>En la industria la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas eléctricos, medidos por los indicadores SAIDI y SAIFI, determinan el no pago de multas y compensaciones, el aumento de los ingresos por potencia firme y energía activa vendidas al COES (Rivera, 2016).</p>	<p>La confiabilidad y disponibilidad se miden por indicadores, en la actividad eléctrica son el SAIDI y el SAIFI, los cuales se utilizan con las herramientas de la estadística inferencial, tal como la curva de Weibull, niveles de confianza entre otros suministrada por la fuente de energía.</p>	Interrupciones Duración	<p>SAIDI</p> $\sum t_i^* U_i / N$ <p>SAIFI</p> $\sum U_i / N$	<p>Hr, Mint, Seg.</p> <p>Hr, Mint, Seg.</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

TÉCNICAS	USO	INSTRUMENTOS
Observación	Se utilizará para llevar a cabo la técnica de recopilación de datos relativos a los distintos tipos de mantenimiento y las distintas formas de mantenimiento en subestaciones eléctricas de potencia.	Registro descriptivo
Revisión de material	Para obtener mayor información de los datos requeridos, se buscará fuentes como osinerming e información en registros de subestación.	Registro de datos de interrupciones

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Panel fotográfico.



Transformador de potencia de 7MVA



Seccionador de barra de 6 kV



Seccionador de barra de 10 kV