

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS:

**“MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN SUBESTACIONES
ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN PARA REDUCIR LOS
EFECTOS CAUSADOS POR CLIMAS COSTEROS”**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA CON MENCIÓN EN GERENCIA E INGENIERÍA DE
MANTENIMIENTO**

ELABORADO POR:

HERVI EDGARD GUTIERREZ VELIZ

ASESOR:

MSc. Ing. BERNABÉ ALBERTO TARAZONA BERMÚDEZ

**LIMA – PERÚ
2025**

DEDICATORIA

Dedicado a mi esposa, padres, hermanas por la confianza, dedicación y paciencia en mi formación como maestro en ingeniería con mención en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento, sin su amor y apoyo no lo hubiera logrado.

El Autor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor, el ingeniero
Bernabé Alberto Tarazona Bermúdez,
por su paciencia y orientación en el
desarrollo y culminación de mi tesis.

El Autor

ÍNDICE

RESUMEN	III
ABSTRACTS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN 1	
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	14
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3.1. <i>Problemas específicos</i>	18
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5. OBJETIVO (GENERAL Y ESPECÍFICO).....	20
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	20
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	20
1.6. HIPÓTESIS (GENERAL Y ESPECÍFICO).....	21
1.6.1. <i>Hipótesis General</i>	21
1.6.2. <i>Hipótesis Específicas</i>	21
1.7. VARIABLES E INDICADORES	22
1.8. UNIDAD DE ANÁLISIS	26
1.9. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	27
1.10. PERIODO DE ANÁLISIS.....	28
1.11. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	28
1.12. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	28

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN . 30

2.1. BASE TEÓRICA FACTORES DE INCIDENCIA CLIMATOLÒGICO	30
2.1.1. Corrosión	30
2.1.2. Vientos Paracas.....	32
2.1.3. Meteorología de la costa peruana.....	33
2.1.4. Erosión eólica	35
2.2. TEORÍA DE MANTENIMIENTO	36
2.2.1. Mantenimiento predictivo	36
2.2.2. Mantenimiento preventivo.....	38
2.2.3. Mantenimiento correctivo	39
2.2.4. Mantenimiento proactivo	40
2.2.5. Confiabilidad	41
2.2.6. Disponibilidad.....	41
2.2.7. Mantenibilidad	42
2.3. TEÓRICA TÉCNICA	42
2.3.1. Subestación eléctrica	42
2.3.2. Lavado de aisladores de alta tensión	54
2.3.3. Aisladores de alta tensión	56
2.4. DIAGRAMA DE PARETO	59

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE LOS EVENTOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS PATIO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS POROMA Y OCOÑA EN BASE A LOS REPORTES CLIMATOLÓGICOS DE SENAMHI E HISTORIAL DE FALLAS

SUSCITADOS	61
3.1. DISEÑO DE ESTUDIO	62
3.2. POBLACIÓN	64
3.3. MUESTRA	64

3.3.1. DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	64
3.3.2. DATOS DE HISTORIAL DE FALLAS POR EVENTOS CLIMATOLÓGICOS.....	77
3.4. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS.....	90
3.4.1. Análisis mediante el diagrama de Pareto.	90
3.4.2. Cálculo de la función continua con los datos históricos de eventos de falla.	93
3.4.3. Cálculo de la función continua con data de SENAMHI.	93
3.4.4. Análisis de intersección de datos.	94
3.4.5. Análisis de modo y efecto de falla.	98
3.4.6. Cálculo de MTTR, MTBF y disponibilidad.....	104
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS DE PATIO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS POROMA Y OCOÑA EN BASE A UN NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS.....	106
4.1. DATOS DE ENTRADA.....	106
4.2. DATOS DE SALIDA	110
4.3. COMPARATIVO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO	113
4.4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	118
4.5. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS.....	122
4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	123
CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES.....	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.	<i>HISTORIAL DE FRECUENCIA DE VIENTOS PARACAS 1948-1990 (CORPAC).</i>	5
FIGURA 1.2.	<i>VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA CIUDAD DE PISCO EL 23 DE MARZO DEL 2020 (CORPAC).</i>	6
FIGURA 1.3.	<i>PARTE PROXIMAL DEL LITORAL DE TANACA DONDE SE OBSERVA LA SALIENTE ROCOSA O HEADLAND Y EL CORDON DE DUNAS ANTERIORES.</i>	10
FIGURA 1.4.	<i>MAPA DE UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN POROMA</i>	15
FIGURA 1.5.	<i>MAPA DE UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN OCOÑA</i>	15
FIGURA 1.6.	<i>ÁRBOL DE PROBLEMAS.</i>	17
FIGURA 2.1.	<i>PRESENCIA DE CORROSIÓN EN ACTIVIDADES DE ALTA TENSIÓN (HERRAJES DE CADENAS DE AISLADORES, CONDUCTORES DE ALUMINIO Y PERFILES DE TORRES Y PÓRTICOS).</i>	31
FIGURA 2.2.	<i>PROCESO DE FORMACIÓN DE CORROSIÓN</i>	32
FIGURA 2.3	<i>FENÓMENO DE VIENTOS PARACAS EN LA REGIÓN ICA</i>	33
FIGURA 2.4.	<i>EROSIÓN EÓLICA</i>	36
FIGURA 2.5.	<i>GRÁFICO DE LÍMITE DE CONTROL DE DESGASTE</i>	38
FIGURA 2.6.	<i>CURVA DE MANTENIMIENTO REACTIVO</i>	40
FIGURA 2.7.	<i>TRANSFORMADOR DE POTENCIA</i>	44
FIGURA 2.8.	<i>INTERRUPTOR DE POTENCIA</i>	45
FIGURA 2.9.	<i>SECCIONADOR DE POTENCIA.</i>	46
FIGURA 2.10.	<i>TRANSFORMADOR DE CORRIENTE – 1</i>	47
FIGURA 2.11.	<i>TRANSFORMADOR DE CORRIENTE – 2</i>	48
FIGURA 2.12.	<i>TRANSFORMADOR DE CORRIENTE – 3</i>	49
FIGURA 2.13.	<i>TRAMPA DE ONDA.</i>	50
FIGURA 2.14.	<i>BANCO DE COMPENSACIÓN EN SERIE.</i>	51

FIGURA 2.15.	SVC - 1	52
FIGURA 2.16.	SVC - 2	53
FIGURA 2.17.	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA	54
FIGURA 2.18.	LAVADO DE AISLADORES DE ALTA TENSIÓN	55
FIGURA 2.19.	CADENA DE AISLADORES DE VIDRIO	58
FIGURA 2.20.	DIAGRAMA DE PARETO.....	60
FIGURA 3.1.	DIAGRAMA DE FLUJO	63
FIGURA 3.2.	REPORTES DE SENAMHI 2017.....	74
FIGURA 3.3.	REPORTES DE SENAMHI 2018.....	74
FIGURA 3.4.	REPORTES DE SENAMHI 2019.....	75
FIGURA 3.5.	REPORTES DE SENAMHI 2020.....	75
FIGURA 3.6.	REPORTES DE SENAMHI 2021.....	76
FIGURA 3.7.	REPORTES DE SENAMHI 2022.....	76
FIGURA 3.8.	REPORTES DE SENAMHI 2023.....	77
FIGURA 3.9.	FALLAS EN LOS ÚLTIMOS 07 AÑOS.....	78
FIGURA 3.10.	FALLAS SUSCITADAS EN EL 2017	78
FIGURA 3.11.	FALLAS SUSCITADAS EN EL 2018	79
FIGURA 3.12.	FALLAS SUSCITADAS EN EL 2019	80
FIGURA 3.13.	FALLAS SUSCITADAS EN 2020	80
FIGURA 3.14.	FALLAS SUSCITADAS EN 2021	81
FIGURA 3.15.	FALLAS SUSCITADAS EN 2022	82
FIGURA 3.16.	FALLAS SUSCITADAS EN 2023	82
FIGURA 3.17.	INSPECCIÓN DE FUGA DE GAS SF6 DE INTERRUPTOR DE POTENCIA UBICADO EN LA SUBESTACIÓN POROMA	83

FIGURA 3.18.	<i>CANTIDAD DE FALLAS POR FUGA DE GAS SF6 DE INTERRUPTORES POR SUBESTACIÓN.</i>	85
FIGURA 3.19.	<i>PÉRDIDA DE AISLAMIENTO EN AISLADOR SOPORTE EN LA SUBESTACIÓN POROMA EN JULIO DEL 2019.....</i>	86
FIGURA 3.20.	<i>INFORMACIÓN DE INCREMENTO DE VIENTOS EN LA COSTA PERUANA.....</i>	87
FIGURA 3.21.	<i>PÉRDIDA DE AISLAMIENTO EN AISLADOR SOPORTE DE TRAMPA DE ONDA EN LA SUBESTACIÓN OCOÑA EN AGOSTO DEL 2020.....</i>	88
FIGURA 3.22.	<i>PRESENCIA DE CORROSIÓN EN BORNERAS DE GABINETE SECUNDARIO DE TRANSFORMADOR DE Tensión EN SUBESTACIÓN POROMA</i>	89
FIGURA 3.23.	<i>PRESENCIA DE CORROSIÓN EN TANQUE DE COMPENSACIÓN EN SUBESTACIÓN POROMA</i>	89
FIGURA 3.24.	<i>DIAGRAMA DE PARETO – HISTORIAL DE FALLAS.</i>	91
FIGURA 3.25.	<i>DIAGRAMA DE PARETO – EVENTOS CLIMATOLÓGICOS.</i>	93
FIGURA 3.26.	<i>APROXIMACIÓN DE LAS 2 TENDENCIAS DE EVENTOS.</i>	95
FIGURA 3.27.	<i>APROXIMACIÓN LINEAL – 1</i>	96
FIGURA 3.28.	<i>APROXIMACIÓN LINEAL. - 2</i>	96
FIGURA 4.1.	<i>COMPARATIVO MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CORRECTIVO 2017.</i>	115
FIGURA 4.2.	<i>COMPARATIVO MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CORRECTIVO 2018.</i>	115
FIGURA 4.3.	<i>COMPARATIVO MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CORRECTIVO 2019.</i>	116
FIGURA 4.4.	<i>COMPARATIVO MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CORRECTIVO 2020.</i>	116
FIGURA 4.5.	<i>COMPARATIVO MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CORRECTIVO 2021.</i>	117
FIGURA 4.6.	<i>COMPARATIVO MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CORRECTIVO 2022.</i>	117
FIGURA 4.7.	<i>COMPARATIVO MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CORRECTIVO 2023.</i>	118
FIGURA 4.8.	<i>TENDENCIA DE EVENTOS DE FALLA VS EVENTO CLIMATOLÓGICOS</i>	121

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1.	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	24
TABLA 3.1.	ESCALA EVALUACIÓN DE PELIGRO	64
TABLA 3.2.	REPORTE DE EVENTOS CLIMATOLÓGICOS 2017 - 2023.....	65
TABLA 3.3.	CANTIDAD DE EVENTOS DE FALLAS SUSCITADOS DESDE 2017 AL 2023.....	77
TABLA 3.4.	CANTIDAD DE EVENTOS DE FALLAS POR FUGA DE GAS SF6	84
TABLA 3.5.	EVALUACIÓN DE CANTIDAD DE FALLAS POR MES PARA EVALUACIÓN POR EL DIAGRAMA DE PARETO.	90
TABLA 3.6.	EVALUACIÓN DE CANTIDAD DE FALLAS POR MES PARA EVALUACIÓN POR EL DIAGRAMA DE PARETO.	92
TABLA 3.7.	CANTIDAD DE EVENTOS DE FALLAS Y EVENTOS CLIMATOLÓGICOS	94
TABLA 3.8	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANTEADO 2017-2023	97
TABLA 3.9.	ESQUEMA A.M.E.F ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA.....	99
TABLA 3.10	EVENTOS DE DESCONEXIÓN.....	104
TABLA 4.1.	EQUIPOS DE PATIO DE SUBESTACIÓN POROMA	107
TABLA 4.2	EQUIPOS DE PATIO DE SUBESTACIÓN OCOÑA	108
TABLA 4.3	PLAN DE MANTENIMIENTO	109
TABLA 4.4	PLAN DE MANTENIMIENTO PLANTEADO PARA LA SUBESTACIÓN POROMA	111
TABLA 4.5.	PLAN DE MANTENIMIENTO PLANTEADO PARA LA SUBESTACIÓN OCOÑA .	112
TABLA 4.6.	PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2017 AL 2023	113
TABLA 4.7	COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO 2017 AL 2023	114
TABLA 4.8.	COMPARATIVO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.....	114
TABLA 4.9.	PROYECCIÓN DE EVENTOS 2024-2026.....	120
TABLA 4.10.	COSTOS POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO 2024-2026.....	121

RESUMEN

La programación y planificación desempeñan un papel fundamental en la gestión del mantenimiento de subestaciones eléctricas de alta y extra alta tensión, que son vitales para el suministro de energía en los distintos centros de desarrollo del país. Es importante tener en cuenta que estas operaciones se realizan en coordinación con entidades tanto del sector privado como estatal, con el propósito de garantizar la disponibilidad de los activos para las actividades de mantenimiento. Esta etapa esencial asegura la continuidad del suministro de energía y contribuye al funcionamiento confiable y eficiente del sistema eléctrico.

En el presente estudio, se ha empleado una metodología orientada a determinar los factores climáticos costeros que inciden en las fallas de equipos en subestaciones eléctricas, para tal fin las unidades de análisis fueron las subestaciones de Poroma y Ocoña. Estas subestaciones se encuentran ubicadas en las provincias de Nasca y Camaná, en las regiones de Ica y Arequipa, respectivamente. El enfoque de investigación se centra en identificar y analizar los elementos específicos del entorno costero que afectan el desempeño y la confiabilidad de los equipos en estas subestaciones.

Además, se consolida el historial de eventos anómalos utilizando tablas y gráficos. Estos registros se utilizarán como base para mejorar el plan de mantenimiento. Actualmente se ha generalizado, siguiendo un enfoque similar a otras instalaciones dentro de la misma concesión. Sin embargo, se busca mejorar mediante la aplicación de diversos métodos teóricos y prácticos. Al implementar esta medida, se logrará reducir los costos asociados con el mantenimiento correctivo no planificado, así como los tiempos de indisponibilidad, entre otros aspectos. Esta iniciativa busca optimizar la eficiencia y la confiabilidad operativa del sistema.

La presente investigación se enmarca como una importante contribución al desarrollo de la gestión del mantenimiento en subestaciones eléctricas de potencia de alta y extra alta tensión ubicadas en zonas costeras del Perú. Actualmente, existe una escasez de estudios

en este campo, especialmente en relación con sistemas de transmisión de 500 kV. Dado que la experiencia en este nivel de tensión de operación es limitada, se han registrado casos de fallas que requieren una atención especial. Por lo tanto, esta investigación busca llenar ese vacío de conocimiento y proporcionar perspectivas valiosas para mejorar la confiabilidad y el rendimiento de las subestaciones en zonas costeras.

El objetivo del nuevo plan de mantenimiento para las subestaciones de Poroma y Ocoña es prevenir la necesidad de realizar mantenimientos correctivos y minimizar la indisponibilidad de los equipos. Este enfoque busca optimizar la confiabilidad y el rendimiento operativo de las subestaciones, evitando interrupciones no planificadas y reduciendo los costos asociados con el mantenimiento correctivo. Al implementar estrategias preventivas efectivas, se garantiza una mayor disponibilidad de los equipos, lo que a su vez contribuye a un suministro eléctrico más confiable y continuo.

ABSTRACTS

Scheduling and planning are an essential part of electrical substation maintenance management.

In this thesis, the methodology used for the investigation is based on determining all the coastal factors of incidence in equipment failures of the Poroma and Ocoña electrical Substations, located in the provinces of Nasca and Camaná, Regions of Ica and Arequipa, respectively.

Likewise, a consolidation of the history of anomaly events is carried out through tables and graphs, which will serve as a basis to improve the current maintenance plan, currently it is generalizing as in other facilities of the same concession, therefore, it is seeks to improve it, using various theoretical and practical methods, with this measure to be taken it will be possible to reduce unexpected corrective maintenance costs, unavailability times, etc.

This research is considered a contribution to the development of maintenance in electrical power substations located in coastal areas of Peru, since there are currently few studies on the subject and especially with 500 kV transmission system.

INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de lograr la máxima confiabilidad durante la operación de los equipos de alta y extra alta tensión de subestaciones eléctricas de potencia, el plan de mantenimiento preventivo debe enfocarse en garantizar la inexistencia o reducir número de eventos de falla, posterior a una evaluación de todos los factores ambientales involucrados en la zona.

Además, es fundamental realizar un monitoreo de todos los indicadores económicos con el fin de optimizar los costos asociados con la implementación del plan de mantenimiento propuesto y asegurar su viabilidad. El seguimiento detallado de estos indicadores permitirá identificar áreas de mejora y oportunidades para optimizar los recursos financieros y maximizar la eficiencia en la ejecución del plan de mantenimiento. Esto contribuirá a alcanzar un equilibrio adecuado entre la calidad del mantenimiento y la rentabilidad, asegurando así la sostenibilidad del plan a largo plazo.

En el presente trabajo de tesis titulada “Modelo de Gestión de Mantenimiento Preventivo en Subestaciones Eléctricas de Alta Tensión para reducir los efectos causados por el clima costero”, para optar por el grado de maestro en ingeniería con mención en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento.

Esta tesis se estructura en cuatro (04) capítulos, seguidos de una sección final dedicada a las conclusiones y recomendaciones. Además, se incluye un listado de referencias bibliográficas y anexos que enriquecen y respaldan el desarrollo de la investigación. Esta organización brinda una estructura clara y completa para abordar el tema de estudio, permitiendo al lector acceder a la información relevante y respaldar los hallazgos y conclusiones presentados.

El **primer capítulo** de este estudio se titula "Introducción", y se centra en realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica y tesis relacionadas con la investigación en cuestión. A partir de esta revisión, se plantea el problema de investigación, se justifica su relevancia y se establecen los objetivos basados en las hipótesis planteadas. Además, se identifican las variables e indicadores necesarios para posicionar la investigación y seleccionar la metodología más adecuada que permita alcanzar los objetivos deseados. Este capítulo sienta las bases teóricas y conceptuales del estudio, proporcionando una sólida fundamentación para su desarrollo.

El **segundo capítulo** de este estudio se titula "Marco Teórico" y se enfoca en presentar los fundamentos conceptuales y los aspectos teóricos clave que respaldan el tema de investigación. Este capítulo ofrece una visión general de los conceptos y conocimientos fundamentales necesarios para comprender la metodología propuesta y reconocer las contribuciones de los investigadores previos en el campo. Además, se exploran y explican los conocimientos innovadores que se consideran relevantes para el estudio. Asimismo, se proporciona una descripción detallada de las definiciones básicas de los diferentes tipos de mantenimiento y se aclara el significado conceptual de varios términos utilizados a lo largo de la tesis. Este capítulo proporciona una base sólida y necesaria para comprender el contexto teórico del estudio y su relevancia en el campo de la ingeniería de confiabilidad.

En el **tercer capítulo**, titulado " Evaluación de los eventos de falla de los equipos patio de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña en base a los reportes climatológicos de SENAMHI e historial de fallas suscitados", se presenta un diagrama de flujo que representa todo el proceso de gestión del mantenimiento, desde la situación actual hasta la propuesta de mejora del modelo de gestión.

Además, se recopila información histórica sobre los eventos de falla ocurridos en las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña durante el periodo comprendido entre 2017 y 2023, específicamente relacionados con las condiciones climáticas de la zona.

A partir de los registros informativos proporcionados por SENAMHI en los últimos años, se realiza un filtrado de los eventos climáticos anómalos registrados en las áreas de estudio. Con estos dos pilares de información, se realiza un análisis de las tendencias, diagramas de Pareto, la frecuencia y los meses más afectados, también se aplicará el análisis de modo y efecto de falla para plantear las medidas de control. Todo esto permite identificar un patrón que servirá de base para definir el mantenimiento a aplicar. Este enfoque metodológico permite una evaluación rigurosa y basada en datos para diseñar un modelo de gestión de mantenimiento óptimo y adaptado a las condiciones específicas de las subestaciones y su entorno climático.

En el **cuarto capítulo** denominado “Propuesta de mejora del mantenimiento preventivo de equipos de patio de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña en base a un nuevo plan de mantenimiento. análisis de resultados y contrastación de las hipótesis”, se enfoca en definir y analizar los datos de entrada y salida relacionados con los componentes técnicos de las subestaciones eléctricas objeto de estudio. En este análisis, se considera tanto el plan de mantenimiento actual, con sus frecuencias de intervención establecidas, como la nueva propuesta de mantenimiento preventivo, que ha sido desarrollada tras evaluar los factores climatológicos externos que impactan en la zona.

La tesis concluye con la presentación de análisis de costos de la implementación del nuevo plan de mantenimiento preventivo, contrastación de hipótesis, contrastación de resultados, conclusiones y recomendaciones derivadas

del trabajo de investigación. Además, se incluye una bibliografía que consolida las referencias utilizadas en el estudio, así como los anexos correspondientes que complementan y enriquecen la investigación. Esta estructura completa y cuidadosamente desarrollada permite al lector obtener una visión integral de los resultados y las implicaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Actualmente, las empresas de transmisión reconocen la importancia de una gestión efectiva del mantenimiento de sus activos, ya que esto conduce a la reducción de gastos inesperados asociados con el mantenimiento correctivo. Esta estrategia contribuye directamente a mejorar el proceso de transmisión de energía eléctrica, el cual desempeña un papel fundamental en el desarrollo del país.

Al adoptar prácticas de mantenimiento preventivo y planificado, se logra optimizar la confiabilidad y la disponibilidad de los activos de transmisión. Esto implica llevar a cabo inspecciones regulares, mantenimientos programados y la implementación de estrategias proactivas para prevenir fallas y minimizar el impacto de cualquier evento no deseado.

La gestión eficiente y eficaz del mantenimiento en subestaciones eléctricas conlleva a una alta confiabilidad y disponibilidad de los equipos de patio, y por lo tanto evitar cortes de transmisión de energía.

En esta sección se presentan los elementos con referencia a la investigación, los cuales serán de utilidad para la argumentación, tanto a nivel teórico y práctico. Es entonces que, realizando una revisión bibliográfica, entre artículos y tesis, con referencia al mantenimiento preventivo direccionado a reducir los efectos causados por el clima costero en los equipos de subestaciones eléctricas se ha logrado consolidar la información que contribuirá para el presente estudio.

A continuación, se detalla diversos artículos y tesis los cuales tienen como objetivo proporcionar un contexto sólido para el desarrollo de esta investigación y establecer conexiones con los avances previos en el campo. Al basarnos en la evidencia y el conocimiento existente, podemos fortalecer nuestras conclusiones y recomendaciones, y contribuir al avance científico en el área de la ingeniería de confiabilidad.

Con base en todas las anomalías descritas en este estudio, se llevó una revisión bibliográfica que incluye artículos indexados y técnicos relacionados con el tema de investigación. Esta revisión bibliográfica ha sido cuidadosamente seleccionada para proporcionar un respaldo teórico sólido y una base de conocimiento actualizada.

La consolidación de esta bibliografía nos permite contar con un respaldo científico sólido y actualizado para nuestras conclusiones y recomendaciones. Además, proporciona un marco de referencia para futuras investigaciones y para el avance del conocimiento en esta área específica.

Poma, M. (2016)¹ investigó claramente la problemática de los efectos costeros en el sector eléctrico, donde la humedad propia de la región y la presencia de sales traídas del mar contribuyen a la disolución de cloruros, que reaccionan con las diversas superficies de diversos componentes como aisladores, conductores eléctricos, estructuras metálicas, entre otros materiales, creando un proceso como resultado del ataque corrosivo que experimentan durante su operación.

¹ POMA MONTES, MELCHORA (2018): "Corrosión en el sector eléctrico en la zona costera del Perú". Artículo. CITE Energía. Año 2016. Disponible en: https://issuu.com/citeenergia/docs/paper_corrosion_-_rosa

En la industria eléctrica, los problemas relacionados con la corrosión provocan importantes pérdidas económicas y sobrecostos que representan una parte considerable del PIB. Lamentablemente, no existen datos concretos sobre las pérdidas financieras ocasionadas por esta anomalía y su método de protección en América latina, sin embargo, las investigaciones más recientes realizadas hasta la fecha, el artículo da a conocer las estimaciones de pérdidas económicas cercanas al 8% del PIB que genera la corrosión en el sector eléctrico del Perú, ya que en la actualidad hay carencia de este tipo de estudio, siendo esto de gran importancia para la realización de la presente tesis.

Una de las técnicas más idóneas para controlar y prevenir, es la aplicación de recubrimientos adecuados, que es la técnica más utilizada y aplicada en la protección contra la corrosión, la elección adecuada de los materiales, un buen diseño y el mantenimiento o prevención de estos junto a la realización de pruebas necesarias para confirmar la resistencia antes de la instalación.

Castillo, R. Oviedo, O. Candelo, J. y Soto, J (2018)² presentan un método útil para determinar los periodos de lavado e indicar los niveles de contaminación de aisladores eléctricos, donde el análisis es realizado en lugares de alta contaminación ambiental, también se usa un modelo de monitoreo en tiempo real para determinar los altos riesgos de contaminación durante la operación del sistema eléctrico.

El objetivo de este modelo es determinar los días más adecuados para el lavado de los aisladores cerámicos de subestaciones eléctricas.

² CASTILLO SIERRA, RAFAEL & OVIEDO TRESPALACIOS, OSCAR & CANDELO, JHON E & SOTO ORTIZ, JOSÉ DANIEL (2018): "Modelo de corriente de fuga de aisladores cerámicos sometidos a altos niveles de polución para mejorar las actividades de mantenimiento". Revista DYNA. Universidad Nacional de Colombia.

Los resultados de la investigación muestran que la corriente de fuga tiene un comportamiento diario que se rige por las fluctuaciones diarias de la humedad relativa. En las primeras horas de la mañana y de la noche, la humedad tiene una magnitud de alrededor del 87%; mientras tanto, los niveles de humedad al final de la mañana y la tarde rondan el 62%. La corriente de fuga, similar a la humedad relativa, tiene valores altos en la mañana, específicamente al amanecer y en la noche, y valores bajos al final de la mañana y la tarde.

Con el presente modelo, se pueden identificar los impactos de la corriente de fuga en la red y predecir las consecuencias de la contaminación mediante herramientas de análisis. Con esta técnica pueden obtenerse modelos de corriente de fuga en subestaciones eléctricas situadas en zonas muy contaminadas.

En el siguiente artículo de Grondes, I. Lajes, S. y Del Castillo, S (2017)³ se valoran los diversos parámetros a utilizar en la gestión del mantenimiento de acuerdo a los antecedentes internacionales, normas y procedimientos de subestaciones eléctricas en Cuba, Además, basándose en las prácticas internacionales de mantenimiento, en las especificaciones operativas y técnicas modernas, pretende desarrollar métodos de mantenimiento que ayuden a los interruptores de potencia a operar de forma más fiable.

De acuerdo con las normas y procedimientos nacionales e internacionales, así como con los estudios realizados por el CIGRE, se establecieron los posibles parámetros que debían tenerse en cuenta para el modelo de gestión del mantenimiento.

³ GONDRES TORNÉ, ISRAEL. LAJES CHOY SANTIAGO. DEL CASTILLO SERPA, ALFREDO. (2017) "Gestión del mantenimiento a interruptores de potencia". Revista chilena de Ingeniería. Año 2018.

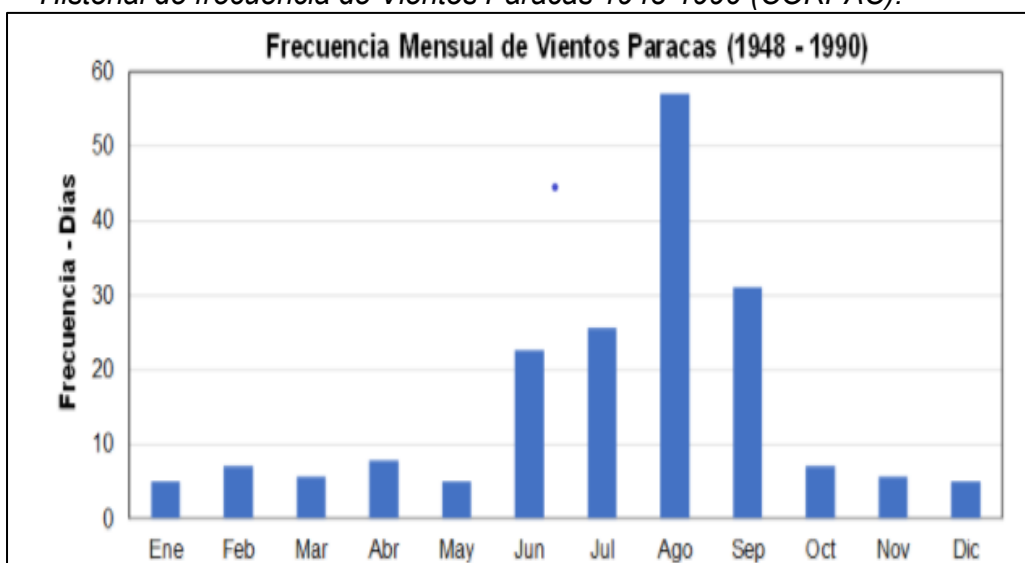
La inteligencia artificial puede ser utilizada para gestionar y resolver diversos problemas, incluyendo variables que pueden ser difusas o ambiguas. Esto permite incluir los factores necesarios para una gestión contextualizada del mantenimiento parcial de interruptores.

En el artículo de Seguros Rimac (2020)⁴ menciona las características de este fenómeno propio de la costa peruana, asimismo da a conocer las épocas del año donde se presenta con mayor intensidad, alcanzando velocidades entre 30 y 61 kilómetros por hora, inclusive algunas veces vienen acompañadas de lloviznas.

Se tiene también un registro de la frecuencia de Vientos Paracas entre los años 1948 y 1990 tal como se muestra en la figura 1.1.

Figura 1.1.

Historial de frecuencia de Vientos Paracas 1948-1990 (CORPAC).

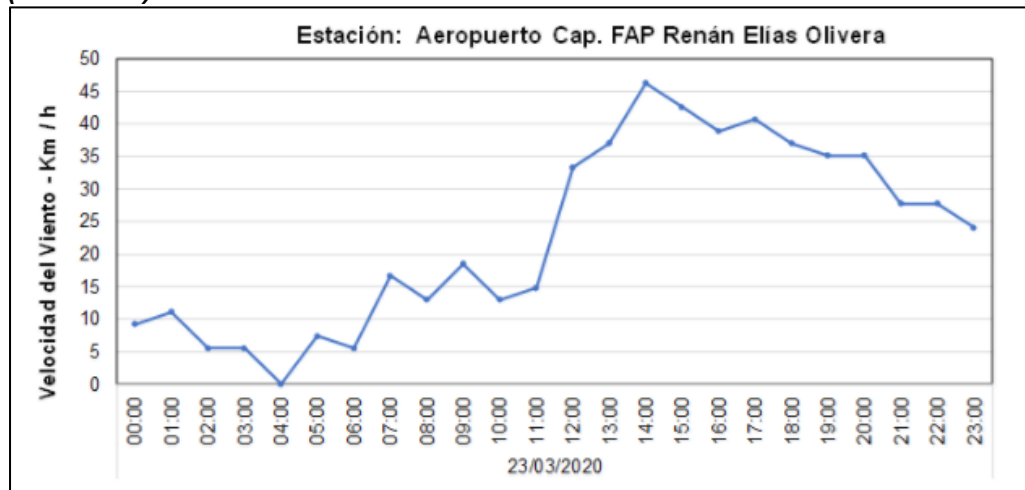


Adicionalmente el presente artículo da una información actualizada de la velocidad del viento de la ciudad de Pisco del día 23 de marzo del 2020, donde

⁴ CENTRO DE MONITOREO Y PREVENCIÓN RIMAC. "Vientos Paracas". Artículo de Seguros Rimac. Año 2020.
Disponible en: <https://prevencionrimac.com/riesgopatrimoniales/articulo/VIENTOS-PARACAS---MARZO-2020>

hubo fuertes vientos, tormentas de arena y polvo que duro aproximadamente entre las 14.00 y 16:00 horas, la figura 1.2 muestra la tendencia.

Figura 1.2.
Velocidad del viento en la ciudad de Pisco el 23 de marzo del 2020 (CORPAC).



Esta información es muy relevante ya que la subestación eléctrica de estudio se encuentra en la zona de afectación de los denominados vientos Paracas.

En el artículo de Molina, J. Villada, F. y Mesa, N. (2011)⁵ explica y evalúa el marco reglamentario colombiano para compensar la corrosión atmosférica en las infraestructuras de transmisión de energía eléctrica. En las zonas consideradas agresivas, el aumento de los gastos de operar y mantener es superior al que se reconoce por la contaminación salina.

Es crucial determinar el comportamiento a largo plazo de las estructuras para determinar su vida útil con respecto a la corrosión atmosférica. Según el estudio de caso, la vida útil de una estructura viene determinada por la pérdida de su espesor

⁵ MOLINA, JUAN DAVID. MILLADA, FERNANDO. MESA, NOÉ. (2011) "La corrosión atmosférica en sistemas de transporte de energía eléctrica". Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía. [Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia \(redalyc.org\)](http://redalyc.org) año 2011.

límite especificado. Así, el espesor multiplicado por el inverso de la velocidad de corrosión sería la vida útil.

Para determinar la vida útil técnica de los materiales durante un largo periodo de tiempo, se han desarrollado modelos en la literatura. Estos modelos suponen que la velocidad de corrosión, T_c , de un metal al cabo de un tiempo, t , depende directamente de la velocidad de corrosión atmosférica anual, T_{c1} , y de un factor α que depende de los parámetros del metal y del clima. Esto se hace mediante la relación $T_c = T_{c1}t^\alpha$.

Tanto el grado de contaminación ambiental como el plan de mantenimiento utilizado están correlacionados con el aumento de los gastos de mantenimiento provocado por la corrosión atmosférica. Para elegir el escenario más práctico en cada situación, hay que realizar un análisis económico.

Se realizó una evaluación económica de los efectos del fenómeno en el sistema de transmisión utilizando el modelo creado para la valoración de la corrosión atmosférica en el sistema de transmisión. Esto permitió una diferenciación económica de los valores que pueden afectar y afectarán directamente al coste de transmisión por unidades de construcción.

En el estudio Murga, J. (2018)⁶ realiza un estudio de la presencia de partículas de niebla, que incluyen sales disueltas, en un entorno marino. El viento transporta estas diminutas partículas de humedad y las deposita sobre las superficies expuestas. Estas sales cristalizan a temperaturas específicas. La velocidad del viento

⁶ MURGA SALINAS, JOSE A. (2018) "Servicio de Identificación de Ciudades de Atmosferas Homogéneas Considerando la Norma ISO 9223, donde se determinarán las estaciones de Monitoreo para la Instalación de Puntos de Monitoreo del Estudio de Corrosión Atmosférica en el Territorio Nacional". Segundo entregable. SENCICO año 2018.

afecta a la cantidad de sal que se deposita y, en condiciones meteorológicas adversas, puede formarse una costra de sal muy corrosiva.

Las corrientes de viento, la temperatura ambiente y la humedad influyen considerablemente en el nivel de contaminación, que disminuye a medida que nos alejamos del mar.

El autor cita también a Tomashov, quien afirma que la corrosión atmosférica es responsable de cerca del 50% de las pérdidas por corrosión. Esto pone de relieve la importancia de estudiar la corrosión atmosférica en Perú, una nación costera con una gran variedad de climas.

La revisión de tesis relacionadas con el tema nos brinda una comprensión más amplia sobre la importancia de implementar un enfoque de mantenimiento preventivo específico para mitigar los efectos adversos del clima costero.

A través de esta revisión, se ha podido examinar y analizar diversas investigaciones académicas que resaltan la relevancia de adoptar estrategias proactivas de mantenimiento para contrarrestar los impactos negativos del clima costero en los activos y equipos. Estas tesis proporcionan evidencia sólida sobre los beneficios y las mejores prácticas para reducir la probabilidad de fallas y optimizar el rendimiento de las instalaciones.

La tesis de maestría de Mahecha, W. (2019)⁷ brinda información importante sobre la planificación de mantenimiento en base a una priorización de fallos y mediante un análisis histórico con gráficos estadísticos buscando tener un mejor

⁷ MAHECHA MÉNDEZ, WILLIAM (2019): "Metodología para el desarrollo de un modelo de Gestión de mantenimiento aplicado a subestaciones de distribución de energía eléctrica". Tesis de maestría. Universidad de Ibagué (Colombia). Año 2019. Disponible en: <https://repositorio.unibague.edu.co/entities/publication/e0f7bfc0-6dd2-4644-a857-21a55a597a96>

panorama y que sirva como herramienta para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento. También nos enumera los diversos tipos de fallas en equipos de la subestación eléctrica como seccionadores, interruptores, transformadores, etc.

Sugiere un proceso para crear un modelo de gestión del mantenimiento que tenga como objetivo aumentar la fiabilidad de los equipos más importantes de la subestación interviniendo en ellos. Esto repercutirá en la fiabilidad de la subestación que compone el equipo y, en última instancia, en el sistema eléctrico nacional.

Esta propuesta de modelo de gestión de mantenimiento busca mejorar la confiabilidad de la instalación y reducir los riesgos de operación del sistema de potencia.

La tesis de maestría de Trujillo, C. (2018)⁸ en dicha investigación promueve el conocimiento de cómo se forman las dunas costeras, cuya principal fuente de arena es el mar, que absorbe el subproducto de la erosión continental. Otros factores son el clima desértico que posibilita la deflación de la superficie del glacis costero, la configuración topográfica del borde costero orientada con respecto a la dirección de los vientos y la tasa de incremento o descenso del nivel del mar, lo que hace posible la formación de dunas costeras (Caldas, 1978; Castro, 2015; Martinez, 2009).

Vientos con una velocidad media de 6 m/s a 8 m/s transportan las arenas que forman las dunas desde sus fuentes originales mediante reptación superficial, saltación y suspensión.

⁸ TRUJILLO VERA, CARLOS CÉSAR. "Contribución de las dunas costeras en los servicios ecosistémicos en el litoral de Tanaca, Distrito de Yauca, Provincia de Caravelí, Región Arequipa. Tesis Posgrado. Año 2017.

Durante el invierno y la primavera, los vientos Paracas que pueden alcanzar hasta 9 m/s tienen mayor velocidad y capacidad de transporte, en la figura 1.3 se visualiza el tipo de dunas propia de la región.

Figura 1.3.

Parte proximal del litoral de Tanaca donde se observa la saliente rocosa o headland y el cordón de dunas anteriores (C. Trujillo, 2017).



La tesis de maestría de Borda, A. (2014)⁹ basado en el análisis estadístico cuantitativo de los datos de interrupciones de 2010 a 2014, sugiere un marco y una metodología para la planificación del mantenimiento en las redes de distribución de energía eléctrica que ayudarán a la empresa a gestionar mejor sus activos físicos vitales, optimizar los costes de mantenimiento y orientar el enfoque de mantenimiento aplicando una metodología RCM mejorada.

Cualquier red de distribución de energía eléctrica puede utilizar la metodología propuesta, que se basa en el estudio y desarrollo de un mapa de

⁹ BORDA CALDERÓN, ALEX MAURICIO. "Planificación del mantenimiento para la Gestión de activos en la red de distribución de energía eléctrica, utilizando modelos y análisis estadístico de datos de interrupción Caso SEAL Arequipa". Tesis posgrado. Universidad nacional San Agustín de Arequipa. Año 2014

riesgos. Para la elaboración del mapa de riesgos se han tenido en cuenta los índices de importancia, probabilidad de fallo y fiabilidad, derivados del análisis de los datos de interrupción de la empresa concesionaria de energía eléctrica (en el caso de SEAL S.A.). Estos índices se utilizarán para evaluar la probabilidad de que se produzca un evento, así como sus efectos sobre el sistema de distribución.

Con el fin de desarrollar e implementar un plan de mantenimiento para reducir la probabilidad de fallo en cada componente lo que debe considerarse un proceso importante, ya que cualquier interrupción en el suministro de energía supone elevados costes económicos y sociales para las empresas distribuidoras, fue posible determinar los datos necesarios, incluidos el índices de probabilidad de fallo y la fiabilidad de los componentes de las líneas de distribución eléctrica de los alimentadores del sistema eléctrico de SEAL.

El impacto del fallo de cada componente en el sistema de distribución de energía puede determinarse mediante el RCM, que permite planificar estratégicamente y gestionar los activos de las actividades de mantenimiento de los componentes más importantes y reservar el mantenimiento correctivo para aquellos cuyos fallos tienen un efecto menos significativo en el sistema de distribución.

La tesis de Salas, D. (2013)¹⁰ propone un diagnóstico, análisis, y propuesta de acciones de mejora al proceso de gestión de interrupciones en una subestación eléctrica en la costa peruana, también nos brinda información de las fallas más

¹⁰ SALAS CHAMOCHUMBI, DANIEL DIMAS (2013): "Diagnóstico, análisis y propuesta de mejora al proceso de gestión de interrupciones imprevistas en el suministro eléctrico de baja tensión". Tesis. Pontificia Universidad Católica del Perú (Perú). Año 2013. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4791>

comunes: sobrecarga, corrosión, humedad y envejecimiento. Solo este tipo de causas agruparon el 70.28% del total de interrupciones imprevistas en el año 2012.

Este estudio se basó en la información estadística proporcionada por la compañía, específicamente en la duración y frecuencia de las fallas. Esta información se clasificó por tipo de falla y se aplicaron las siete herramientas básicas de calidad. Además, como parte del diagnóstico, se desglosó el proceso actual de gestión de interrupciones imprevistas en sus componentes clave: fallas, recursos humanos, suministros y costos. Se realizó un análisis comparativo de la eficiencia del proceso en comparación con años anteriores y por ubicación de atención.

El objetivo principal de esta investigación fue mejorar la eficiencia operativa del proceso, aumentar la calidad del servicio y optimizar la utilización de los activos de la empresa, incluyendo sus redes y subestaciones. En este sentido, se proponen mejoras en el proceso de gestión de fallas que tienen como objetivo priorizar la atención a los clientes más afectados, reducir los tiempos de detección y reparación de fallas, y disminuir los costos operativos de las unidades vehiculares.

Además, se presentan propuestas para mejorar los turnos de las cuadrillas de reparación de baja tensión (BT) y para gestionar los inventarios de manera más eficiente a través de un método de pronóstico diseñado para satisfacer las necesidades específicas de la compañía. Estas acciones están diseñadas para aumentar la eficacia y la eficiencia de la gestión de interrupciones y, en última instancia, mejorar la experiencia del cliente y la rentabilidad de la empresa.

la Tesis de maestría de Quijano, J. (2013)¹¹ titulado “Estudio numérico y observacional de la dinámica de viento Paracas, asociado al Transporte eólico hacia el océano frente a la costa de ICA- Perú”, es un gran aporte que afianza el conocimiento de los denominados vientos Paracas donde nos dice que su máxima ocurrencia se da entre los meses de Julio y Setiembre entre las 12:00 y 17:00 horas con velocidades superficiales de 17 m/s aproximadamente.

Esta tormenta de polvo y arena o Viento Paracas es el fenómeno más conocido que ocurre en esta región del sur de Perú considerada para muchos pobladores de la zona como parte de su vida cotidiana, principalmente en las ciudades de Pisco y Paracas.

Este estudio se centra en la simulación de trayectorias para analizar cómo la dirección del viento influye en la distribución de la nube de polvo durante los Vientos de Paracas. Nuestros hallazgos sugieren que el transporte eólico a altitudes por debajo de 350 metros tiende a dirigirse hacia el noroeste del desierto, afectando áreas cercanas como Paracas, Pisco, Chincha, entre otras. Sin embargo, cuando el material eólico alcanza altitudes de alrededor de 600 metros, la corriente de viento tiende a dirigirse predominantemente hacia el océano. La capa atmosférica que se encuentra entre los 350 y 600 metros de altura emerge como una región crítica en la que el flujo de viento puede adoptar ambas direcciones.

¹¹ QUIJANO VARGAS, JULIO JESÚS (2013): “Estudio numérico y observacional de la dinámica de viento Paracas, asociado al Transporte eólico hacia el océano frente a la costa de ICA- Perú”. Tesis de maestría. Universidad Peruana Cayetano Heredia (Perú). Año 2013. Disponible en: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/958>

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La región costera del sur de Perú presenta una amplia variedad de climas que afectan significativamente la operación normal los equipos de alta tensión. Las condiciones climáticas agresivas y cambiantes plantean desafíos particulares en términos de confiabilidad y rendimiento de las subestaciones eléctricas.

Estos activos son afectados directamente por las condiciones climatológicas de la zona, esto debido a la presencia de atmosferas salinas, vientos fuertes en horas de la tarde, tormentas de arena, alta humedad en la madrugada y entre los meses de julio y setiembre, los denominados vientos Paracas.

Se presentaron diversas fallas en los equipos, generando problemas de indisponibilidad, pérdidas económicas y sobre costos.

El fortalecimiento del sistema eléctrico de potencia en Perú implica la construcción de líneas de transmisión y subestaciones en diferentes áreas del país. Sin embargo, en muchas ocasiones, carecemos de información relevante para predecir los efectos causados por las condiciones climáticas en las operaciones.

La costa peruana es una de las regiones más afectadas por condiciones climáticas adversas, lo que repercute significativamente en la operación normal de los sectores energéticos de Generación, Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, entre otros. Este desafío se debe a la presencia de atmósferas salinas, alta humedad durante la madrugada, procesos de corrosión y una intensa radiación solar.

Los factores climáticos inciden de manera notable en la operación de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, que se encuentran ubicadas en las

provincias de Nasca (figura 1.4) y Camaná (figura 1.5) las cuales son objeto de la presente investigación.

Figura 1.4.

Mapa de ubicación de la Subestación Poroma



(Google maps 2019).

Figura 1.5.

Mapa de ubicación de la Subestación Ocoña



(Google maps 2022).

Desde el inicio de las operaciones de las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña en 2013, se ha observado la presencia de varias anomalías en los equipos de alta tensión. Estas anomalías están relacionadas con diferentes tipos de fallas, como la corrosión, la alta humedad durante las horas de la madrugada, los vientos paracas y las pérdidas de aislamiento.

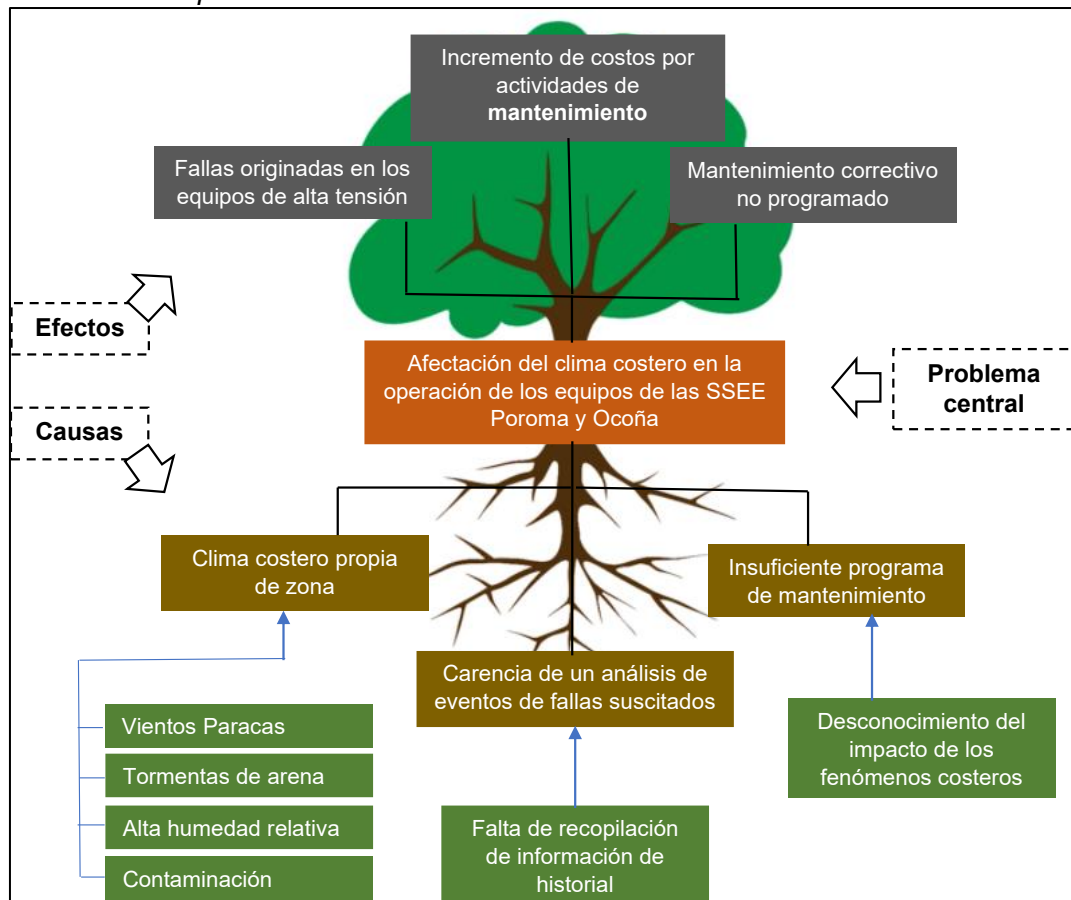
Estas fallas impactan de manera negativa en la confiabilidad y el rendimiento de los equipos de alta tensión, lo que a su vez puede tener un impacto negativo en el suministro de energía eléctrica. Es fundamental comprender en detalle estas anomalías y sus causas subyacentes para desarrollar estrategias efectivas de gestión del mantenimiento.

Las anomalías originadas por la corrosión en la Subestación eléctrica Poroma ocasionan que los equipos de alta tensión pierdan confiabilidad y se reduzca la disponibilidad en la operación, generando también pérdidas económicas por mantenimientos correctivos.

Asimismo, se han presentado problemas originados por los denominados vientos Paracas propias de la región de Ica, si bien es cierto solo en algunas épocas del año se presentan los mismos, han ocasionado indisponibilidades en los equipos de la subestación generando actividades correctivas inopinadas.

La Figura 1.6 presenta el árbol de problemas donde se identifica el problema central, causas y efectos que apoyará en el entendimiento de la presente investigación.

Figura 1.6.
Árbol de problemas.



El problema principal tiene tres causas directas, las cuales se justifican de la siguiente manera:

Causa directa 1: Clima costero de la zona.

Causa directa 2: Carencia de un análisis de eventos de fallas suscitados.

Causa directa 3: Insuficiente plan de mantenimiento

También se tiene los siguientes efectos:

Efecto directo 1: Fallas originadas en los equipos de alta tensión.

Efecto directo 2: Incremento de costos por actividades de mantenimiento.

Efecto directo 3: Mantenimiento correctivo no programado.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como formulación del problema general, se tiene:

¿De qué manera el mantenimiento preventivo de subestaciones eléctricas de alta tensión Poroma y Ocoña reducirá los efectos causados por el clima costero?

1.3.1. Problemas específicos

Como problemas específicos se tiene:

- a) ¿De qué manera la extracción de un historial de eventos de falla de las subestaciones Poroma y Ocoña causados por el clima costero permitirá nutrir el plan de mantenimiento preventivo?
- b) ¿De qué manera la elaboración de un diagrama de Pareto y gráficos de tendencia permitirá dar un mejor panorama para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo?
- c) ¿De qué manera la evaluación de los registros climatológicos de SENAMHI permitirá enfocar de una mejor manera la programación de actividades del plan de mantenimiento preventivo?
- d) ¿De qué manera la disminución de gastos asociados a mantenimiento correctivo debido a intervenciones por fallas originadas por las condiciones climáticas permitirá evitar afectar a la compañía?

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica deben llevarse a cabo de manera continua, segura y al menor costo de operación y mantenimiento en la medida de lo posible, para el caso de estudio de mantenimiento

de subestaciones de alta y extra alta tensión es muy importante garantizar la confiabilidad de operación de los equipos, por ende, existe la necesidad de tener el mejor plan de mantenimiento enfocado en lograr el menor número de interrupciones de suministro.

En el marco de las anomalías de operación que se presentan en una subestación eléctrica, los factores climatológicos son gran responsables del origen de estos eventos de falla, por lo tanto, es de suma importancia estudiar y cuantificar los efectos que generan y todas las medidas a tomar para mitigarlos.

La presente investigación busca aportar aspectos innovadores y mejorar el plan de mantenimiento de subestaciones de alta tensión ubicadas en zonas costeras, ya que en la actualidad son escasos los estudios referidos a los efectos causados por climas costeros en el sector eléctrico en el Perú y más aún para el nivel de tensión de operación de las subestaciones de estudio, asimismo contribuir al conocimiento sobre el origen de esta anomalía y las medidas a tomar para mitigarlas.

También se justifica porque los resultados que se obtengan serán de gran utilidad para mejorar la confiabilidad de la operación de los equipos de la Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña y se tiene la necesidad de reducir los costos por mantenimiento correctivo provenientes por fallas originadas por el clima costero, que en comparación con costos por mantenimiento preventivo tienen una gran diferencia afectación en el presupuesto anual de mantenimiento de las instalaciones.

Frente a los efectos de incidencia climáticos esta investigación se hace trascendente para la gestión del mantenimiento en este tipo de instalaciones.

El problema es factible de ser investigado, debido a que se cuenta con bibliografía, datos técnicos, reportes climatológicos e historial de eventos de falla suscitados.

1.5. OBJETIVO (GENERAL Y ESPECÍFICO)

1.5.1. Objetivo General

Mejorar el mantenimiento preventivo en las Subestaciones Eléctricas de Alta tensión de Poroma y Ocoña para reducir los efectos causados por el clima costero.

1.5.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, se tiene:

- a) Consolidar un historial de los eventos causados por fallas originadas por el clima costero en los equipos de alta tensión del 2017 al 2023 suscitados en las Subestaciones Poroma y Ocoña.
- b) Extraer la información de SENAMHI de todos los avisos meteorológicos que se presentaron en las regiones Ica y Arequipa del 2017 al 2023.
- c) Analizar mediante el diagrama de Pareto, gráficos de tendencia y tablas, que meses son los más afectados en los equipos de patio por la incidencia del clima costero en las Subestaciones Poroma y Ocoña.
- d) Evaluar las fallas de los equipos de las subestaciones eléctricas de estudio utilizando la herramienta de Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).

- e) Determinar el indicador de disponibilidad del periodo del 2017 al 2023 de origen climatológico que generó corte de suministro eléctrico en las subestaciones Poroma y Ocoña.
- f) Direcccionar las frecuencias de intervención y mejorar el plan de mantenimiento actual de las subestaciones Poroma y Ocoña.
- g) Disminuir los costos asociados al mantenimiento correctivo requerido debido a las intervenciones por fallas originadas por las condiciones climáticas costeras en los equipos de alta tensión de las Subestaciones Poroma y Ocoña.

1.6. HIPÓTESIS (GENERAL Y ESPECÍFICO)

1.6.1. Hipótesis General

Aplicando un mantenimiento preventivo para las Subestaciones Eléctricas de alta tensión Poroma y Ocoña permitirá reducir los efectos causados por el clima costero.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- a) Consolidando un historial de los eventos causados por fallas originadas por el clima costero en los equipos de alta tensión y cadena de aisladores de la Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, se logrará tener un mejor panorama e identificar los tipos de equipos que vienen siendo más afectados y designar una adecuada frecuencia de mantenimiento preventivo.
- b) Evaluando en qué temporadas del año se presenta mayor índice de fallas originadas por el clima costero y basándonos en el análisis del diagrama

de Pareto, gráficos de tendencia, Indicadores y AMEF se podrá direccionar la programación del mantenimiento preventivo de manera más eficiente.

- c) Direccionando y mejorando el plan de mantenimiento preventivo ante fallas originadas por el clima costero se dará mayor confiabilidad a los equipos de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, específicamente en relación con las fallas causadas por el clima costero. Al abordar estas fallas de manera más efectiva, podremos aumentar la confiabilidad de los equipos y reducir las situaciones en las que se requiere justificar indisponibilidades ante los clientes finales.
- d) Implementando el nuevo plan de mantenimiento preventivo se reducirán los costos anuales de mantenimiento correctivo y de esta manera evitar pérdidas económicas innecesarias en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña.

1.7. VARIABLES E INDICADORES

A continuación, se presentarán las variables que representarán cuantitativamente los fenómenos costeros y las variables que actúan como forzantes de esos.

1.7.1. Variable Independiente

X: Mantenimiento preventivo de Subestaciones eléctricas de alta tensión.

Indicadores

X1: Fallas de equipos de subestaciones por clima costero

X2: Tiempo medio entre fallas de los equipos de alta tensión

X3: Tiempo medio para restaurar de los equipos de alta tensión

X4: Análisis de modo y efecto de falla

1.7.2. Variable Dependiente

Y: Reducir los efectos causados por climas costeros.

Indicadores

Y1: Técnicas de procesamiento de datos

Y2: Disponibilidad de equipos

Y3: Plan de mantenimiento preventivo

Y4: Costos de mantenimiento correctivo

Tabla 1.1.

Matriz de operacionalización de variables.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable principal					
Independiente:					
X: Mantenimiento preventivo de subestaciones eléctricas de alta tensión	Son las actividades que buscan conservar los equipos y evitar fallas imprevistas	Se relaciona con realizar diversas actividades de mantenimiento con una periodicidad estratégica determinada de los diversos procesos y técnicas (Pareto, Gráficos, indicadores, AMEF)	Indisponibilidad de equipos	Fallas de equipos de subestaciones por clima costero	Cantidad de equipos
			Duración del tiempo medio entre fallas	Tiempo medio entre fallas de los equipos de alta tensión	Horas
			Duración del tiempo medio para restaurar	Tiempo medio para restaurar de los equipos de alta tensión	Horas
			Criticidad de anomalías	Análisis de modo y efecto de falla	Número de prioridad de riesgo
Dependiente:					

Y: Reducir los efectos causados por el clima costero	Son las actividades de mantenimiento preventivo que buscan reducir atenciones de emergencia producto de eventos climatológicos	Consiste en tener la menor cantidad de interrupciones y anomalías que afecten a los equipos de alta tensión de las Subestaciones Poroma y Ocoña producto del clima costero	Estadística y métodos de mantenimiento	Técnicas de procesamiento de datos	Cantidad de fallas Cantidad de eventos Senamhi
			Operación de equipos de subestación	Disponibilidad de equipos	Porcentaje
			Frecuencias de mantenimiento	Plan de mantenimiento preventivo	Meses de intervención
			Costos totales anual	Costos de mantenimiento correctivo y preventivo	\$ / año

1.8. UNIDAD DE ANÁLISIS

En este contexto se busca explicar el proceso que se siguió en el desarrollo de la presente investigación, en el cual se consideraron los aspectos que a continuación se indican.

Las unidades de análisis fueron los eventos de falla que se presentaron a lo largo de los últimos 07 años producto de los efectos causados por el clima costero en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, los mismos se encuentran registrados en el consolidado de fallas como parte de la gestión de mantenimiento.

Además, para el análisis correspondiente se recopiló información pública de SENAMHI que contenía los avisos meteorológicos relevantes para la zona de estudio. Esta información fue utilizada en el análisis para comprender la incidencia del clima en el área de interés.

Asimismo, se llevó a cabo una evaluación detallada del plan de mantenimiento preventivo existente, y se identificó una carencia importante: la ausencia de planes específicos para las subestaciones eléctricas en cuestión.

Estos hallazgos proporcionaron una base sólida para el desarrollo de la investigación y resaltaron la necesidad de implementar planes de mantenimiento adaptados a las características y necesidades de las subestaciones Poroma y Ocoña.

En resumen, se utilizó información de SENAMHI sobre los avisos meteorológicos y se analizó el plan de mantenimiento existente. Estos análisis revelaron la falta de planes específicos para las subestaciones en estudio, lo que resalta la importancia de abordar esta brecha en la investigación.

1.9. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como campo la gestión del mantenimiento de subestaciones eléctricas de alta tensión, por ende, esta tesis es de tipo aplicada, debido a que existe la necesidad de aplicar este modelo de plan de mantenimiento predictivo con la finalidad de contrarrestar los efectos técnicos y económicos causado por el clima costero en los equipos y cadenas de aisladores de subestaciones eléctricas.

Además, esta investigación se enfoca en la aplicación práctica de evaluar, estudiar y mitigar los eventos de falla ocasionados por el fenómeno climático en las subestaciones eléctricas de alta tensión.

Al abordar de manera específica las causas y efectos de las fallas relacionadas con el fenómeno climático, se busca optimizar las estrategias de mantenimiento y minimizar la ocurrencia de fallas no planificadas.

Asimismo, tiene un nivel explicativo ya que, se investigó los efectos causados por el clima costero que se vienen presentando en la subestación eléctrica Poroma y Ocoña y sus efectos a los equipos de alta tensión, cadena de aisladores y pérdidas económicas considerables generadas por mantenimientos correctivos no programados.

Por último, la presente investigación se clasifica cuantitativamente ya que mediante la recolección de datos que evidencien diversos eventos de fallas originados por el clima costero nos dará la ruta a seguir y centralizarnos en los equipos de alta tensión que son más afectados y también determinar en qué épocas del año son más frecuentes dichas anomalías.

1.10. PERIODO DE ANÁLISIS

El periodo de análisis de la presente investigación corresponde a los años 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.

1.11. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La información recopilada fue procesada en Mathcracker y Excel, el mismo que utilizando los datos históricos de eventos de falla suscitados entre 2017 y 2023 en las subestaciones eléctricas de Alta Tensión Poroma y Ocoña, y los reportes climatológicos emitidos por SENAMHI permitieron evaluar los meses de mayor criticidad y mejorar la toma de decisiones y por ende el Modelo de Gestión de Mantenimiento preventivo.

1.12. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

A través de este método general de recolección de datos mediante la consolidación del historial de fallas ocasionados por el clima costero en la Subestación eléctrica Poroma, con el apoyo de gráficos de tendencia y tablas dinámicas se conocerá entre que meses se presentan con mayor frecuencia dichas anomalías ya que se tiene también la fecha del evento, y las alertas del SENAMHI referentes a eventos climatológicos anómalos.

Se utilizará la estadística descriptiva y cuantitativa, por consiguiente, sus indicadores que se analizará se mencionan a continuación:

Consolidación de eventos referidos a clima costero.

Evaluación del tipo falla referido al clima costero

Evaluación de costos por mantenimientos correctivos referidos a fallas del tipo de investigación.

Evaluación de la frecuencia de mantenimiento correctivo en la SE Poroma.

Registro de temperatura de ambiente en ciertas épocas del año.

Registro de humedad relativa en ciertas épocas del año.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. BASE TEÓRICA FACTORES DE INCIDENCIA CLIMATOLÓGICO

2.1.1. Corrosión

En pocas palabras, la corrosión es una reacción química que se produce cuando el metal y el oxígeno entran en contacto.

El deterioro de un objeto metálico causado por un alto impacto electroquímico de carácter oxidativo se conoce como degradación por oxígeno, o corrosión.

La exposición al agente oxidante, la temperatura, la exposición a soluciones salinas o salinizadas (soluciones conjugadas con sal) y, por último, las características químicas de estos agentes metálicos determinarán el carácter oxidativo del material y su velocidad de degeneración. El proceso de corrosión es totalmente espontáneo y natural, y puede producirse también en materiales no metálicos.

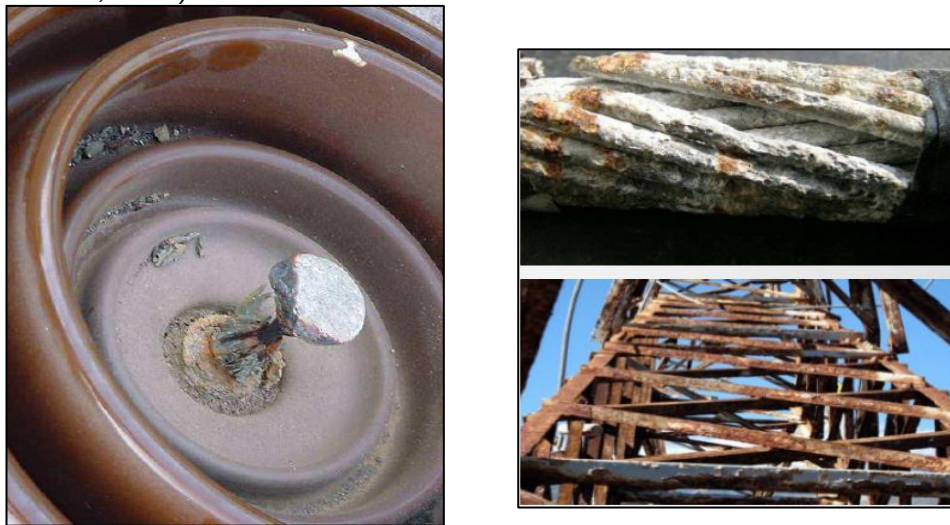
Como ya se ha dicho, la corrosión es el resultado de una interacción oxido-reductora entre el metal, el medio ambiente o el agua en la que está sumergido. En consecuencia, se dice que las causas más conocidas de la corrosión son los cambios en la estructura química de un metal provocados por la exposición al aire. Por ejemplo, el hierro y el acero pueden desarrollar una sustancia marrón que degrada los materiales hasta el punto de que pueden romperse o agrietarse, un fenómeno comúnmente conocido como “óxido o herrumbre”, del mismo modo, la corrosión puede observarse en el cobre, mostrándose con una coloración verde negruzca en la superficie del material. Esta coloración también puede observarse en aleaciones de cobre con bronce.

Por lo tanto, se puede decir que la corrosión es un problema que afecta directamente a las industrias, ya que puede provocar lesiones a los trabajadores debido a la rotura del material causada por la corrosión y porque sustituir un elemento de este tipo es caro.

En la actualidad la corrosión viene afectando a las actividades de alta tensión, específicamente en las que se ubican en zonas costeras, algunos elementos afectados son herrajes de cadenas de aisladores, conductores y perfiles de torres y pórticos, tal como se muestra en la figura 2.1.

Figura 2.1.

Presencia de corrosión en actividades de alta tensión (Herrajes de cadenas de aisladores, conductores de aluminio y perfiles de torres y pórticos) (Poma Montes, 2016)..



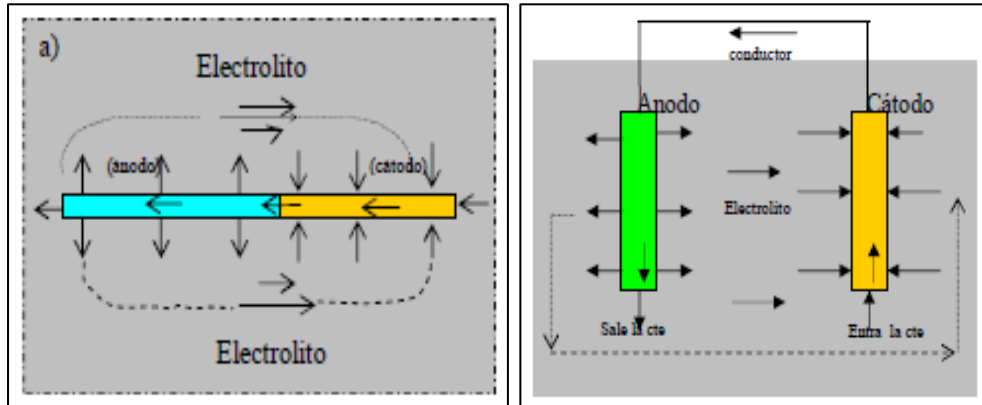
En la figura 2.2 se aprecia los 4 componentes necesarios para que exista una celda de corrosión:

- Debe haber un ánodo.
- Debe haber un cátodo.
- Un conductor entre cátodo y ánodo.

- El ánodo y cátodo deben estar inmersos en un electrolito eléctricamente conductivo (terreno con presencia de sales, húmedo, etc.).

Figura 2.2.

Proceso de formación de corrosión



(Google imágenes 2020).

2.1.2. Vientos Paracas

El departamento de Ica experimenta una tormenta de arena y polvo conocida como viento Paracas (VP). Según Escobar (1993), la máxima ocurrencia se da entre Julio y Setiembre entre las 12:00 y 17:00 horas, con velocidades superficiales 17 m/s aproximadamente, sin embargo, se desconoce sobre los mecanismos que gatillan el VP.

Además de disminuir la visión y alcanzar velocidades de 30 a 50 kilómetros por hora, estos vientos son conocidos por arrastrar arena y polvo. Ocasionalmente inciden en regiones de la provincia de Cañete que se encuentran al sur del departamento de Lima (Chilca y Mala, por ejemplo). Sin embargo, ¿qué son exactamente estos vientos? Se trata de un viento marino que se origina en la región peninsular de Paracas. El diferencial entre las altas presiones del mar de Grau y las

bajas presiones diarias que se originan en el desierto entre los valles de los ríos Pisco e Ica es lo que determina su génesis y severidad.

Estos vientos son denominados como "locales" porque **son específicos de Ica**, la figura 2.3 representa la incidencia del viento Paracas a lo largo de la Panamericana sur en la región Ica.

Figura 2.3

Fenómeno de vientos Paracas en la región Ica



(Diario Correo 2019).

2.1.3. Meteorología de la costa peruana

Mientras que la Cordillera de los Andes actúa como una barrera topográfica que mantiene las condiciones atmosféricas de la costa oeste del Perú significativamente diferentes a las de la Amazonía, la configuración del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) tiene un impacto significativo en la meteorología de la costa peruana al regular la intensidad de los vientos alisios. Los Andes desvían la trayectoria de los vientos zonales y se genera una subsidencia de aire seco sobre la

costa oeste de Sudamérica, lo cual resulta en la aridez de nuestra costa y en la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) preferencial en el hemisferio norte (Takahashi y Battisti, 2006). Desarrollándose sobre el océano y muy cerca de la costa (dentro de los primeros 50 km desde la costa hacia el mar), el Jet Costero de Ica es un área de mayor velocidad de viento en superficie (entre el nivel del mar y 950 hPa). Su velocidad se ha observado entre 12 y 16 m/s, y la ubicación de su núcleo a aproximadamente a 250 metros de altura sobre la superficie del mar (Quijano, 2011). Por otro lado, la temperatura superficial del mar (TSM) frente a Ica oscila entre 15 y 16°C, es la temperatura más baja en toda la costa, que, se encuentra directamente influenciado por el intenso afloramiento del agua sub-superficial fría (Zuta y Guillen, 1970), que a su vez se encuentra asociado a la alta variabilidad intraestacional del esfuerzo del viento frente a Pisco (~15°S) con respecto al resto de regiones costeras (Dewitte et al. 2011). Existen remolinos de arena y polvo que se forman sobre el desierto algunos inclusive cerca de las playas; este fenómeno también ocurre en otras regiones 8 sudamericanas (Kurgansky et al. 2011). La tormenta de arena y polvo denominado Viento Paracas es el fenómeno más conocido que ocurre en esta región considerada para muchos lugareños locales como parte de su vida diaria, comúnmente en la ciudad de Pisco y Paracas.

Este fenómeno afecta a las instalaciones de alta tensión ubicadas en zonas rodeadas de arena, debido a que contamina el aislamiento, estructuras y mecanismos, que pueden generar inconvenientes a corto y mediano plazo en su correcta operación, una forma de medir es durante las maniobras de apertura y cierre de un seccionador de potencia, cuando se tiene vientos superiores a 20 Km/h el

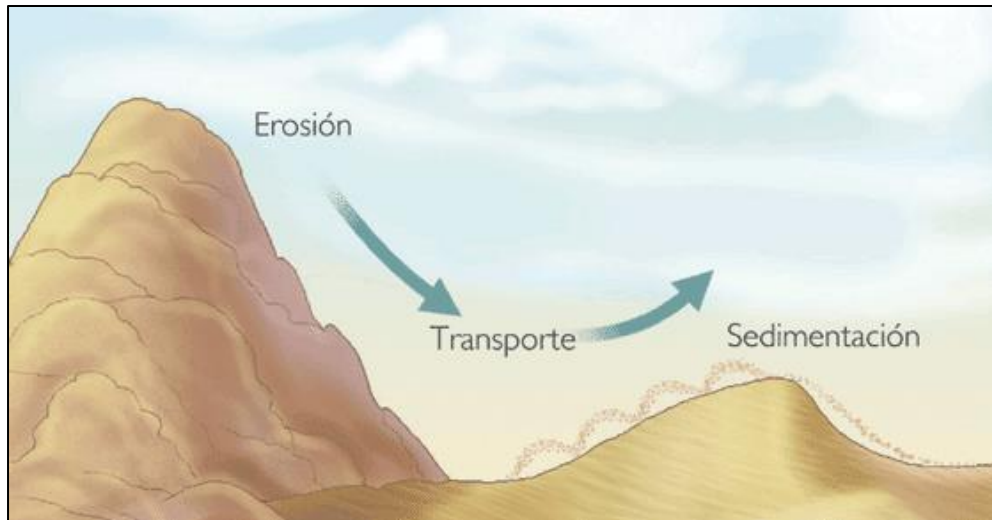
motor se esfuerza y puede generar sobre esfuerzo elevándose la corriente de arranque y constante de 12A y 2.1A a 19A y 3.5A respectivamente.

2.1.4. Erosión eólica

El proceso que separa las partículas del suelo es impulsado por el viento superficial. El uso del suelo (granjas, pastos, minería, etc.), las características orográficas (topografía, aerodinámica de las partículas, vegetación, etc.), los parámetros del suelo (textura, composición, etc.) y las condiciones atmosféricas (temperatura del suelo, precipitaciones, etc.) influyen en este proceso. Para que se produzca la erosión eólica se necesita un suelo erosionable, no rocas. (no roca).

La erosión modifica considerablemente las propiedades del suelo (Shao, 2008). Durante una tormenta de arena y polvo, éste es un mecanismo típico que está conectado con otros procesos internos de la dinámica de las tormentas. Desde una perspectiva física, una característica física que mida la resistencia del suelo a la erosión puede utilizarse para identificar el punto en el que la erosión eólica se vuelve significativa durante una tormenta. La velocidad de fricción es esta característica física, tal como se representa en la figura 2.4.

Figura 2.4.
Erosión eólica



(ABG 2014).

2.2. TEORÍA DE MANTENIMIENTO¹²

2.2.1. Mantenimiento predictivo

Normalmente, el mantenimiento predictivo se lleva a cabo independientemente del mantenimiento preventivo, sobre todo cuando interviene el departamento de ingeniería. No obstante, cumple el mismo objetivo que el mantenimiento preventivo, que es detener los fallos de los equipos anticipando cuándo fallará un componente concreto, como un rodamiento, una caja de cambios o un motor. El mantenimiento predictivo incluye una serie de pruebas y análisis, tales como:

Análisis de Vibraciones.

Termografía.

¹² Tecsup 2017 "Tipos de Mantenimiento", Curso de Planificación y Programación de mantenimiento, Lima.

Pruebas de Aislamiento.

Ensayos no destructivos.

Análisis espectrográfico de Aceite.

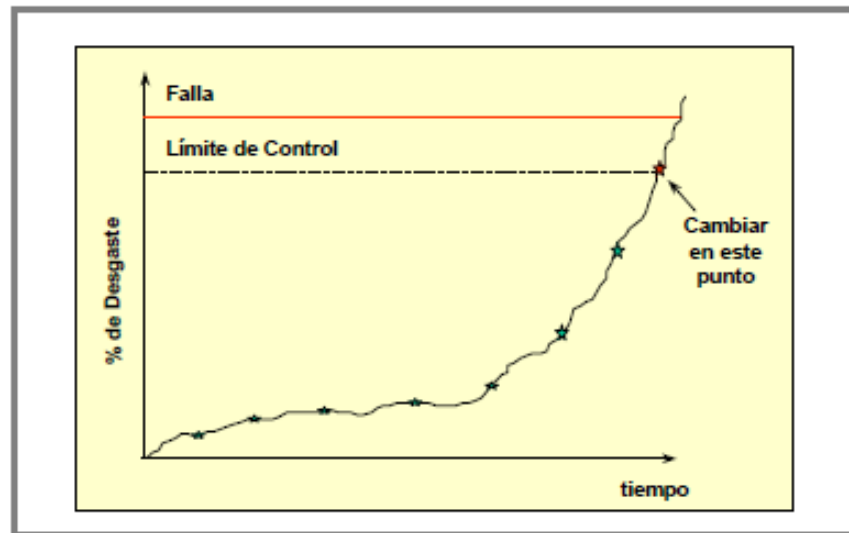
Inspección Infrarroja.

Análisis acústico.

Para realizar Este tipo de mantenimiento es necesario utilizar equipos de prueba sofisticados para lograr predecir cuándo fallará algún componente de la instalación. Estos equipos de prueba inclusive pueden interactuar con un microprocesador para graficar tendencias de desgaste del equipo y mejorar las estimaciones sobre la condición del mismo. Tal sistema permite tomar decisiones importantes como el reemplazo de partes gastadas en un turno de reparación, que no interrumpa con la producción.

Esta técnica ayuda a eliminar la necesidad de establecer normas para el reemplazo de componentes. Al especificar el grado permitido de desgaste, la Figura 2.5 muestra cómo se crea un límite de control. El componente debe ser reemplazado cuando se alcanza este umbral. Se alcanzará el área de falla si no se reemplaza. El momento preciso se puede organizar para evitar interferir con la producción si se pretende cambiar cuando se alcance el límite de control. Es evidente que este tipo de mantenimiento amplía el significado original del mantenimiento preventivo. En ciertos negocios, los operadores utilizan una computadora que está montada en el equipo para leer e interpretar señales de vibración. Muchas otras empresas tienen empleados de mantenimiento predictivo que manejan todos los aspectos del mantenimiento predictivo.

Figura 2.5.
Gráfico de límite de control de desgaste



(Tecsups 2014).

2.2.2. Mantenimiento preventivo

Consiste en proporcionar a los equipos servicios recurrentes (regulares). Puede ir desde una simple rutina de lubricación y apriete de tornillos hasta la eventual personalización de piezas o componentes. Se puede utilizar el tiempo (horas, días, semanas, meses, etc.) o el número de modificaciones de funcionamiento para indicar el intervalo entre servicios. Tras la creación del calendario, es importante confirmar que el intervalo establecido es exacto.

Las siguientes categorías pueden utilizarse para organizar las tareas de mantenimiento preventivo:

Global.

Overhaul.

De rutina.

Tareas de rutina

Las actividades de rutina de Mantenimiento preventivo se pueden definir como las actividades **SISTEMÁTICAS** para realizar:

Lubricación.

Limpieza.

Inspección.

Ajuste.

Prueba.

Reparaciones menores.

Servicio.

Esto con la finalidad de mantener al equipo en buenas condiciones de operación. Estos trabajos suelen durar sólo unos minutos, y el tiempo de desplazamiento del personal de mantenimiento suele ser mayor que el tiempo que realmente dedica a trabajar en los equipos. En este caso, la atención se centra en la sistemática, lo que significa que una serie de tareas diarias, semanales o mensuales se llevan a cabo repetidamente de la misma manera.

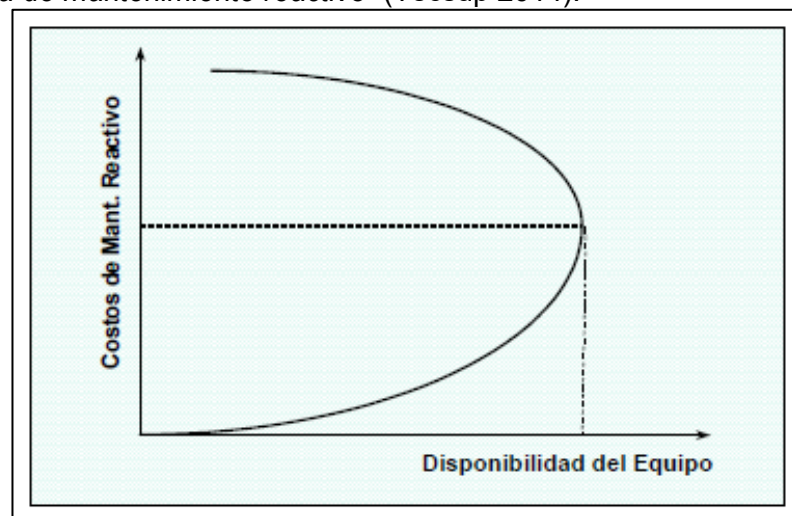
2.2.3. Mantenimiento correctivo

Es el mantenimiento que se realiza sin programación ni planificación. Se utiliza en las empresas, cuando el equipo es de carácter auxiliar que no está directamente relacionado con la producción, y se refiere a la reparación imprevista de problemas. El gasto de mantenimiento sería muy caro si se realizara en equipos relacionados con la producción.

La figura 2.6 ilustra el impacto del mantenimiento reactivo en la disponibilidad de los equipos. La disponibilidad de los equipos aumenta a medida que las inspecciones de Mantenimiento Preventivo disminuyen el Mantenimiento Reactivo. Es importante alejarse de ambos extremos. La situación más rentable se encuentra en algún punto de la curva.

Figura 2.6.

Curva de mantenimiento reactivo (Tecsups 2014).



2.2.4. Mantenimiento proactivo¹³

Para aumentar la eficacia de la gestión del mantenimiento, se realiza un mantenimiento planificado y programado. Esto incluye la idea contemporánea de que algunas tareas de mantenimiento deben delegarse en los departamentos de producción, I+D, diseño, ingeniería, compras y finanzas, así como en los proveedores, la dirección general y los operarios, en lugar de ser responsabilidad exclusiva del departamento de mantenimiento.

¹³ Tecsup 2017 "Tipos de Mantenimiento", Curso de Planificación y Programación de mantenimiento, Lima.

Este tipo de mantenimiento abarca:

El mantenimiento predictivo (MPd).

El mantenimiento preventivo (MP).

El mantenimiento productivo total (TPM).

2.2.5. Confiabilidad

La «confianza» en que una pieza, maquinaria o sistema desempeñará su función fundamental durante un periodo de tiempo predeterminado en condiciones de funcionamiento típicas se conoce como fiabilidad. La probabilidad de que un elemento cumpla su función prevista en un plazo determinado y en condiciones de uso especificadas es otra definición crucial de fiabilidad.

2.2.6. Disponibilidad

El objetivo principal del mantenimiento, la disponibilidad, es la garantía de que un sistema o componente que ha recibido mantenimiento seguirá funcionando según lo previsto durante un periodo de tiempo determinado. Cuando se trata de sistemas en constante funcionamiento, la disponibilidad se define en realidad como la proporción de tiempo que el sistema está preparado para funcionar o generar.

- **Disponibilidad inherente**

Es el grado previsto de disponibilidad que se consigue únicamente mediante prácticas de mantenimiento correctivo. Viene determinado por el diseño del equipo. Se basa en que el personal y las piezas de repuesto estén disponibles al 100% en todo momento.

- **Disponibilidad Operacional**

Es el valor real de la disponibilidad adquirida a lo largo de las operaciones regulares de la planta. Esta cifra representa la eficacia organizativa de la empresa, así como la cantidad de recursos disponibles para las operaciones de mantenimiento de la planta.

2.2.7. Mantenibilidad

La presunción de que, cuando el mantenimiento se lleva a cabo de acuerdo con los protocolos establecidos, un sistema o equipo podrá volver a sus condiciones de funcionamiento en un tiempo predeterminado se conoce como mantenibilidad. «La probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en los plazos deseados, cuando el mantenimiento se realiza en condiciones y con medios predefinidos» es como François Monchy define la mantenibilidad en términos probabilísticos. O simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t.

2.3. TEÓRICA TÉCNICA

2.3.1. Subestación eléctrica¹⁴

Se denomina subestación eléctrica a la exteriorización física de un nodo del sistema eléctrico de potencia, donde la energía es convertida a niveles de tensión adecuados para su transporte, distribución y consumo cumpliendo las normas de calidad. Está formada por un conjunto de dispositivos que regulan el flujo de energía

¹⁴ Ramirez, Carlos Felipe. 1991: “Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión”. Libro. Mejía Villegas SA. Segunda Edición, Año 2003. Colombia.

y utilizan mecanismos automáticos de protección para garantizar la seguridad del sistema, la figura 2.7 ilustra una subestación eléctrica.

Los equipos de alta tensión que comúnmente se encuentran dentro de una subestación eléctrica de potencia son los siguientes:

- **Transformador de potencia**

El transformador es un dispositivo eléctrico de corriente alterna sin elementos móviles con dos bobinas de alambre no magnético aisladas entre sí y montadas sobre un núcleo magnético, está sumergido en aceite aislante que se conserva en un tanque.

Este aparato utiliza el flujo magnético a la misma frecuencia para desplazar la energía de un bobinado al otro, esta máquina transfiere la energía de un devanado al otro a través del flujo magnético a la misma frecuencia.

En función de la relación de vueltas entre los devanados primario y secundario (N_1/N_2), el transformador puede utilizarse como reductor o amplificador de tensión. El devanado que se conecta a la red de consumo se denomina siempre secundario, y el que se conecta a la fuente de alimentación, primario. En la figura 2.7 se aprecia a un transformador de potencia trifásico de alta tensión ubicado en la sierra peruana.

Figura 2.7.
Transformador de potencia



(Registro fotográfico del autor).

- **Interruptor de potencia**

Los interruptores de potencia son dispositivos mecánicos que interrumpen y establecen corrientes en condiciones normales. También pueden interrumpir y crear corrientes en condiciones anormales, como cortocircuitos, y transportar corrientes durante un tiempo predeterminado. Su función principal es conectar o desconectar líneas de transmisión, transformadores, reactores o barras colectoras de un sistema o circuito electrificado.

En la figura 2.8 se muestra a 03 interruptores de potencia de alta tensión unipolares.

Figura 2.8.
Interruptor de potencia



(Registro fotográfico del autor).

- **Seccionador de potencia**

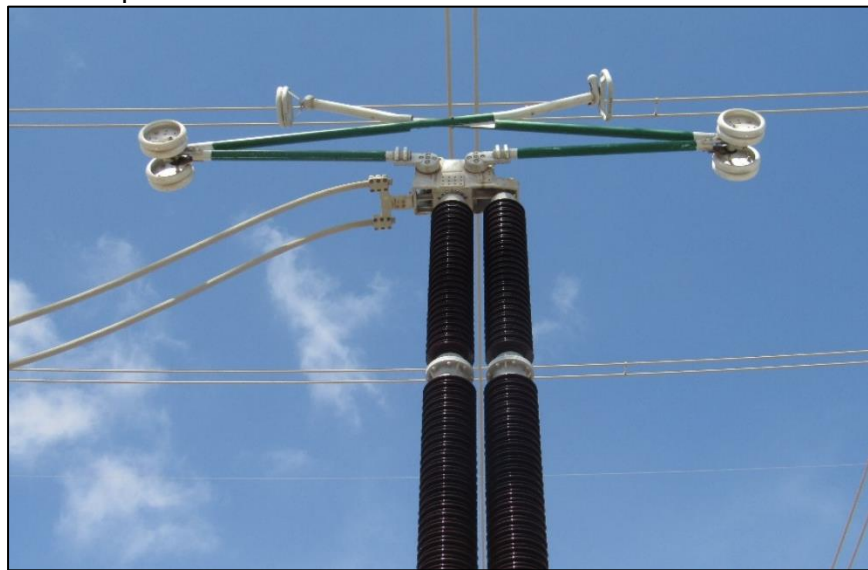
En los sistemas eléctricos, los seccionadores pueden servir para diversos objetivos, pero los más populares son la conmutación de circuitos por necesidades operativas o el aislamiento de componentes del sistema (líneas o equipos) para su reparación. Para que los trabajadores de campo ejecuten los servicios de mantenimiento de forma segura, los seccionadores abiertos que aíslan los componentes sometidos a mantenimiento deben tener una resistencia entre terminales a las tensiones dieléctricas.

Siempre que sea posible, deben respetarse las normas relativas a estos equipos para garantizar la correcta aplicación de los seccionadores.

Es importante señalar que la correcta selección de los seccionadores está ligada a la selección de la disposición física de la subestación.

En la figura 2.9 representa a un seccionador de potencia tipo pantógrafo en la posición abierto de alta tensión.

Figura 2.9.
Seccionador de potencia



(Registro fotográfico del autor).

- **Transformador de tension Capacitivo**

Los dispositivos de medición, relés, contadores, protecciones, etc. se aíslan del circuito de alta tensión mediante transformadores de tensión capacitivos. Con la posibilidad de enviar señales de alta frecuencia a través de líneas de alta tensión, reducen las tensiones a niveles controlables proporcionales a las tensiones primarias iniciales, en la figura 2.10 se aprecia un transformador de tensión de alta tensión.

Los condensadores de acoplamiento, que equivalen a la parte capacitiva de un transformador de tensión capacitivo, se utilizan para acoplar señales de comunicación de alta frecuencia.

Figura 2.10.

Transformador de corriente - 1



(Registro fotográfico del autor).

- **Transformador de corriente**

Los sistemas eléctricos en los diferentes niveles de tensión emplean transformadores de intensidad para medir la corriente. El circuito de alta tensión está conectado en serie con su devanado primario. Aunque se tiene en cuenta la carga conectada al secundario del transformador de corriente, la impedancia del transformador de corriente vista desde el lado del devanado primario es despreciable en comparación con el sistema en el que se va a instalar. De este modo, el circuito de potencia determina la corriente que circulará por el primario de los transformadores de corriente.

En la figura 2.11 se observa transformadore de corriente de 500 kV ubicados en la Subestación eléctrica Ocoña, en la provincia de Camaná, Región Arequipa.

Figura 2.11.

Transformador de corriente - 2



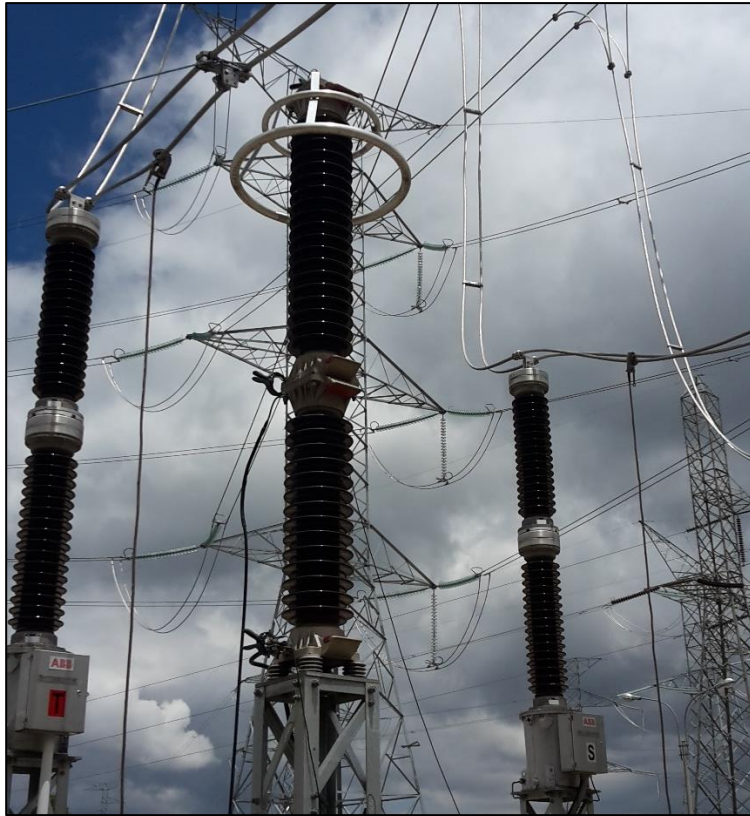
(registro fotográfico del autor).

- **Descargador de sobretensión (Pararrayo)**

Un pararrayo se utiliza para proteger los transformadores de la red de alta tensión contra las sobretensiones atmosféricas, las zonas de grandes tormentas, las baterías de condensadores, las redes eléctricas, los cables del metro, los edificios, las personas y las estructuras, entre otras cosas.

En la figura 2.12 se observa un pararrayo de 220 kV que actualmente se encuentra operando.

Figura 2.12.
Transformador de corriente - 3



(registro fotográfico del autor).

- **Bobinas de bloqueo**

Los dispositivos conocidos como trampas de onda o bobinas de bloqueo se conectan en serie en las líneas de transmisión de energía, sin embargo, deben ser relativamente altos para cualquier rango de frecuencia que se utilice para la comunicación portadora. Para la comunicación portadora, la gama de frecuencias

típica oscila entre 30 kHz y 500 kHz. La elección se basa en la longitud de la línea y las frecuencias que utiliza actualmente la compañía eléctrica.

La función principal de estos dispositivos es bloquear las señales transportadas en la portadora para que solo pasen al equipo de comunicaciones y prevenir el paso de estas señales a la subestación, la figura 2.13 representa una trampa de onda instalada en un pórtico metálico.

Figura 2.13.
Trampa de onda



(Registro fotográfico del autor).

- **Banco de compensación en serie**

Las empresas pueden aumentar su rentabilidad ampliando la capacidad de transferencia de energía tanto de las nuevas líneas de transmisión como de su infraestructura actual con el uso de un banco de compensación en serie.

Instalados en serie con la línea de transmisión de alta tensión, los sistemas de compensación en serie están formados por un sistema integrado diseñado a medida con numerosos condensadores de potencia organizados en paralelo y en serie. El sistema de protección en paralelo, que protege contra daños a los condensadores durante los cortes del sistema eléctrico, es la pieza más importante del equipo.

En la figura 2.14 se muestra un banco de compensación en serie ubicado en la subestación Poroma de la provincia de Nasca, región Ica.

Figura 2.14.
Banco de compensación en serie

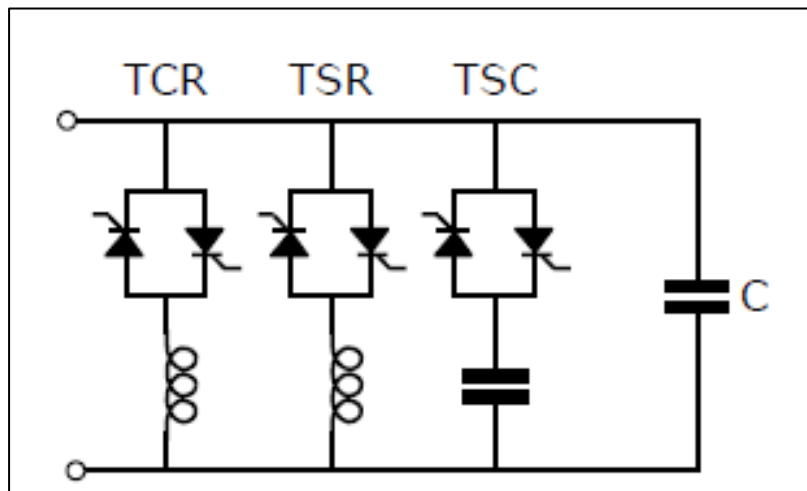


(Registro fotográfico del autor).

- **SVC¹⁵**

Dado que estos dispositivos contienen la electrónica de potencia, los condensadores conmutados por tiristor (TSC) y las bobinas conmutadas por tiristor (TSR) o bobinas controladas por tiristor (TCR) son los componentes más característicos de un SVC. En la figura 2.15 se muestra una arquitectura de SVC simplificada con los componentes antes mencionados, y en la figura 2.16 se muestra una imagen de un SVC de alta tensión actualmente operativo en la ciudad de Cajamarca.

Figura 2.15.
SVC - 1



(Registro fotográfico del autor).

¹⁵ Carrillo Gonzales, Camilo José & Cidrás Pidre José. "Compensadores estáticos de potencia reactiva. Año 2003. Vigo.

Figura 2.16.
SVC - 2



(Registro fotográfico del autor).

- **Subestación Eléctrica**

Las subestaciones pueden estar conectadas a centrales de generación para gestionar directamente el flujo de energía al sistema, o pueden enlazar vías de flujo al mismo nivel de tensión y utilizar transformadores de potencia para cambiar la tensión de suministro a niveles superiores o inferiores. Una subestación puede realizar diversas tareas.

En esencia, una subestación está formada por varios circuitos de entrada y salida que se conectan a un punto común denominado barra colectora. El interruptor es el componente primario de un circuito, y se complementa con transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos junto con sistemas secundarios como control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares en los correspondientes equipos de alta tensión.

En la ilustración 2.17 se aprecia una subestación eléctrica de alta tensión.

Figura 2.17.
Subestación eléctrica de potencia



(Registro fotográfico del autor).

2.3.2. Lavado de aisladores de alta tensión

El mantenimiento de las Líneas de transmisión de y los Sistemas de Distribución es normalmente una de las mayores responsabilidades de las compañías eléctricas mundiales. Los costes relacionados con el mantenimiento regular son objeto de estudio por todas estas compañías, siendo un problema cuando se aplican programas de mantenimiento inapropiados debido a que generalmente los costes asociados a las acciones correctivas, debido a la falta de mantenimiento, son mucho mayores que la implementación de programas adecuados de mantenimiento.

Teniendo en cuenta que los programas de mantenimiento apropiados extienden la vida útil de las instalaciones, asegurando el valor de los componentes y añadiendo valor añadido con mantenimientos adecuados de las líneas de transporte y distribución, la fiabilidad de éstas aumenta, permitiendo la continuidad del servicio en condiciones meteorológicas adversas y ahorrando costes debido a la ausencia de

pérdidas de carga, interrupciones de servicio debido a fallos y carencia de cortes en las líneas. Obviamente se obtiene ahorro de costes ante la menor cantidad de fallos y daños críticos en las redes, en la figura 2.18 se tiene representación del lavado de aisladores de una cadena de vidrio.

Figura 2.18.

Lavado de aisladores de alta tensión



(High line división 2020).

El lavado en tensión de líneas aéreas y subestaciones es un método de uso extendido desde los años 60, y considerado como uno de los procedimientos más seguros para el mantenimiento de aisladores. El lavado regular de líneas de transporte y distribución asegura la ausencia de cortes debidos a fenómenos de niebla, humedad, suciedad y otros.

Por lo tanto, se aumenta la eficiencia y fiabilidad de los circuitos, se mejora la seguridad y disminuye los costes en comparación con otros métodos de mantenimiento sin tensión.

2.3.3. Aisladores de alta tensión

Existen varios tipos de aisladores utilizados en los sistemas eléctricos de alta tensión, pero todos cumplen la misma función. En concreto, para mantener el aislamiento mecánico de los conductores de la línea de tierra y otros componentes conductores. A continuación, se describen los tipos de aisladores y una lista de los requisitos que deben cumplir estos componentes para una línea eléctrica en general.

- Tipos de aisladores: características

Los aislantes se fabrican para resistir la tensión mecánica que ejerce sobre ellos un conductor. De hecho, la finalidad de los aislantes es mantener el aislamiento eléctrico de los llamados conductores de soporte. Para lograrlo, pueden tolerar la tensión tanto en circunstancias normales como patológicas, incluida la sobretensión. Es fundamental comprender que tanto el material aislante como su superficie y el aire circundante deben ser capaces de soportar la tensión. Por consiguiente, entre los atributos de los distintos tipos de aislantes deben figurar los siguientes:

- Adecuada tensión de contorneamiento: configuración adecuada para que la tensión soportada sea alta y no provoque descargas que atraviesen los aislantes entre los conductores y el soporte.
- Una tensión de perforación adecuada: es el punto en el que la rigidez dieléctrica presenta valores lo suficientemente altos como para permitir la mayor tensión de perforación.

- Ausencia de degradación a lo largo de la vida útil de la línea.
- Una resistencia combinada que puede superar pruebas mecánicas, eléctricas y tecnológicas.

Tanto la resistencia a la intemperie como la resistencia a la temperatura son ejemplos de resistencia frente a las temperaturas.

- Tipos de aisladores

A continuación, se mencionan los tipos de aisladores que existen.

Aisladores de campana

Utilizados normalmente para tensiones medias y bajas, tienen forma de campana. Suelen ser de vidrio o porcelana. Están disponibles en cadenas. También se denominan aisladores de disco.

Aisladores de barra

Pueden soportar enormes niveles de tensión. Su diseño alargado les permite soportar grandes cantidades de compresión y flexión. Se originan como resultado de una gran tensión. Normalmente, se componen de diversos materiales o porcelana.

- Tipos de aisladores según sus materiales

Aunque existen varios tipos de aislantes, todos deben cumplir una serie de requisitos. Alta resistividad y resistencia mecánica a alta tensión son los dos requisitos fundamentales.

Aisladores de porcelana

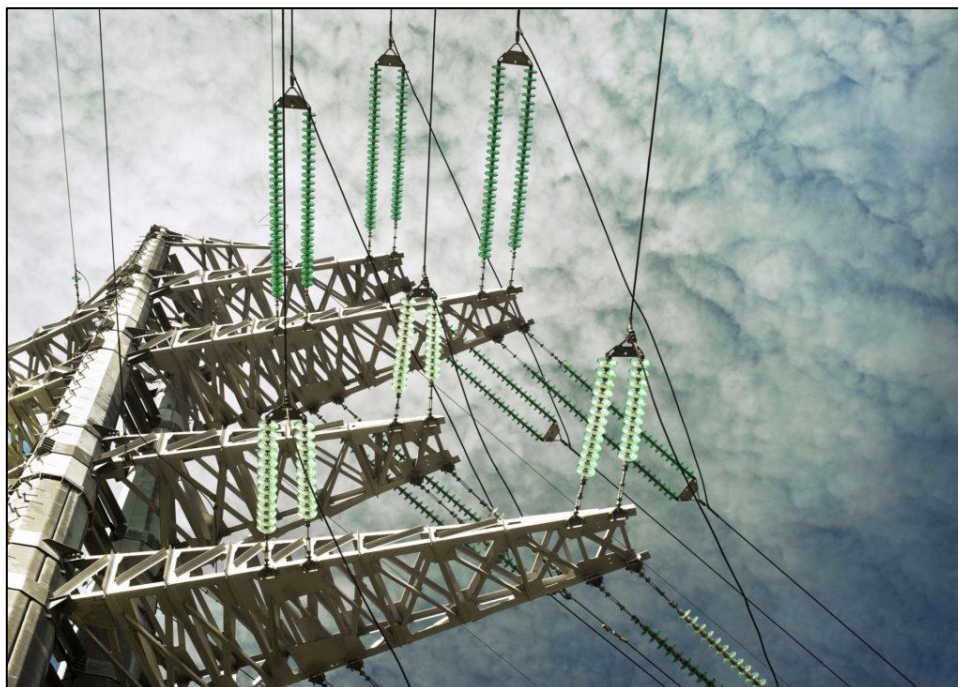
La alta resistencia a la compresión de los aislantes de porcelana es una de sus características más valiosas. En la instalación de líneas eléctricas aéreas, es el material más utilizado.

Aisladores de vidrio

El vidrio es una sustancia muy dura. También es resistente a los cambios de temperatura y tiene una gran resistencia mecánica. Como se ve en la figura 2.9, que muestra las distintas cadenas de vidrio de una torre de alta tensión, también es menos caro que la porcelana, por lo que se utiliza con frecuencia en instalaciones de numerosos países e infraestructuras públicas.

Figura 2.19.

Cadena de aisladores de vidrio



(Instrumentación digital 2019).

2.4. DIAGRAMA DE PARETO

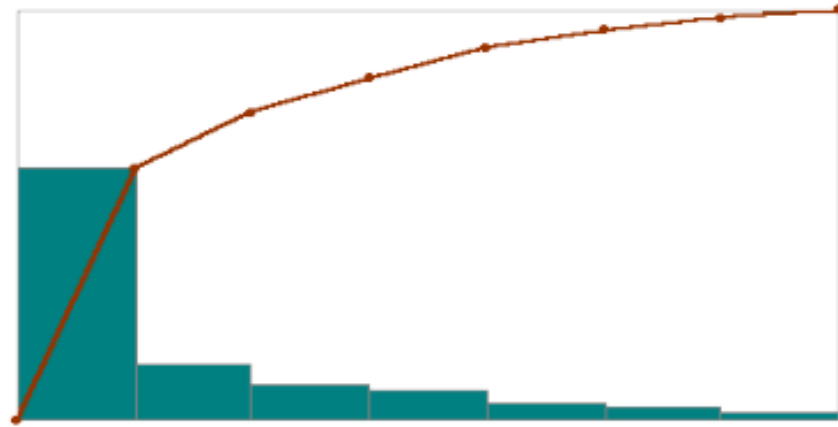
Para determinar cuáles de las numerosas razones potenciales de un problema son realmente significativas (las pocas causas críticas) y cuáles son irrelevantes (las muchas causas triviales), el Diagrama de Pareto es una herramienta útil para concentrar los esfuerzos en la búsqueda de la causa o causas de un problema. La herramienta debe su nombre al economista italiano Vilfredo Pareto, que observó que el 80% de las propiedades de su nación pertenecían a sólo el 20% de las personas mientras investigaba la distribución de la riqueza a finales del siglo XIX. Por eso el principio de Pareto se conoce a menudo como la ley 80-20.

Juran fue el primero en aplicar este principio a los problemas de calidad, denominando con su nombre actual a esta herramienta (Izar y González, 2004). La herramienta puede aplicarse para buscar causas y también efectos de un problema de calidad, pero también para otros casos, como hacer análisis para encontrar lo verdaderamente importante en una situación donde haya mucha información, a fin de enfocar los esfuerzos en donde rindan mayores dividendos.

Es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar.

- Conocido también como “Diagrama ABC” o “Diagrama 80-20”.
- Su premisa es que la mayoría de los efectos (80%) son producidos por un pequeño porcentaje de las causas (20%). Por lo tanto, es necesario encontrar esta pequeña porción de causas «vitales» para abordarlas con la máxima prioridad.

Figura 2.20.
Diagrama de Pareto.



CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LOS EVENTOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS

PATIO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS POROMA Y OCOÑA

EN BASE A LOS REPORTES CLIMATOLÓGICOS DE SENAMHI E

HISTORIAL DE FALLAS SUSCITADOS

En el presente capítulo, el estudio estará dirigido en las instalaciones de las subestaciones eléctricas de potencia de 500 kV ubicadas en las provincias de Nasca y Camaná pertenecientes a la costa sur del Perú, contexto donde aplicaremos la metodología planteada.

La propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de patio se fundamenta principalmente en los siguientes aspectos:

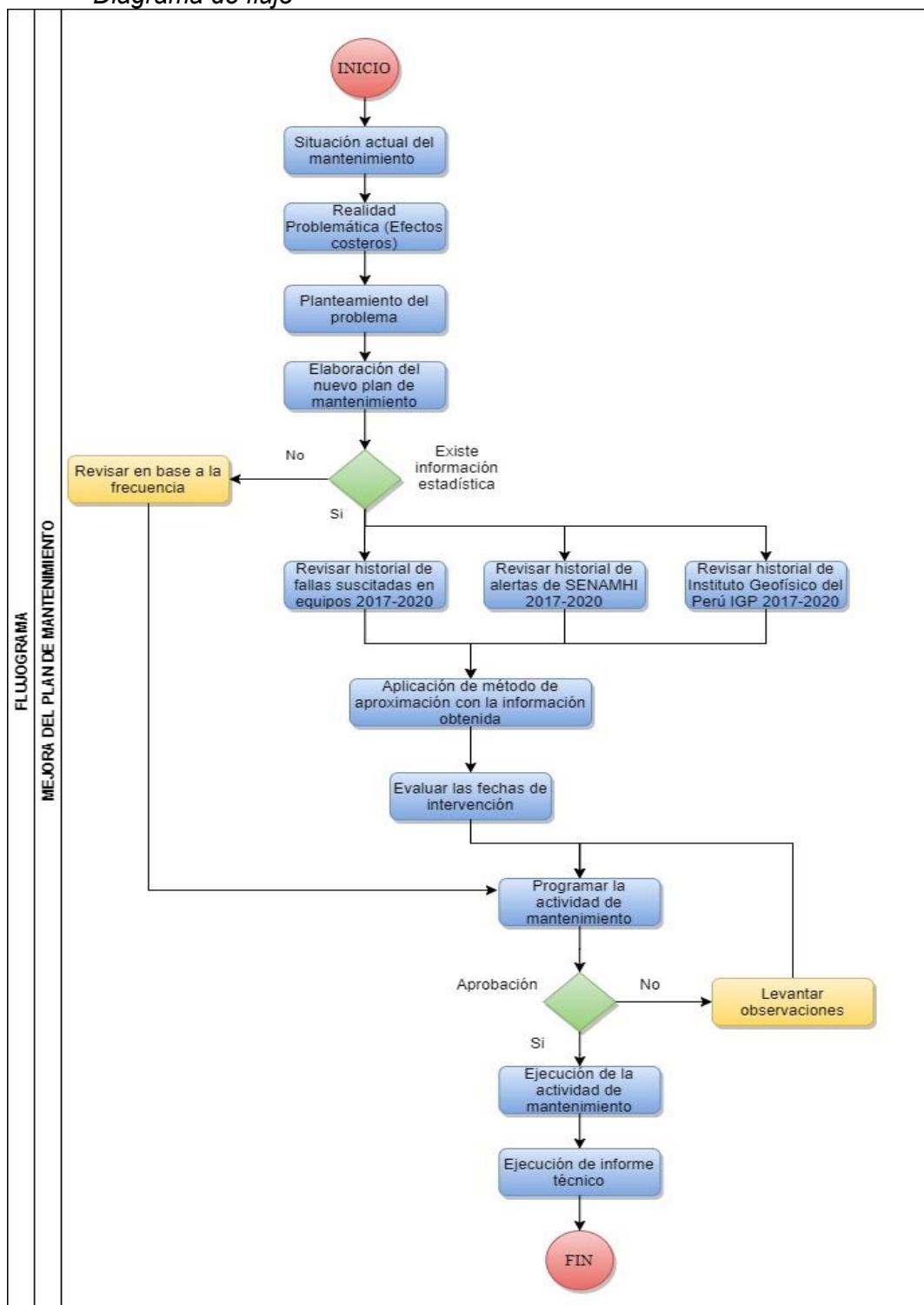
1. Recopilar información de los reportes emitidos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de los últimos 07 años en las zonas de estudio.
2. Consolidar las fallas suscitadas en los equipos de patio de las Subestaciones de estudio de los últimos 07 años.
3. Elaborar diagramas de Pareto e identificar los meses donde se evidencia mayor cantidad de eventos que afecten la operación normal de las Subestaciones Eléctricas de estudio.
4. Cruzar la información obtenida mediante gráficos dinámicos donde se logre observar el punto más alto donde se tenga la mayor cantidad de eventos de falla.

5. Elaborar un análisis de modo y efecto de falla que permita identificar las anomalías que vienen afectando a la buena operación de los equipos de patio y determinar las medidas a tomar para la mejora respectiva.

3.1. DISEÑO DE ESTUDIO

Se analizó la data histórica de eventos de falla relacionados a factores climatológicos costeros suscitados en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña en los últimos 07 años, información de SENAMHI y el Instituto Geofísico del Perú (IGP), posteriormente se plantea la utilización de la técnica de aproximación con la finalidad de encontrar la función que nos lleve a determinar los meses con mayor incidencia de fallas y redireccionar el mantenimiento preventivo, el siguiente flujograma de la figura 3.1 muestra el procedimiento planteado para la mejora de la programación, donde tiene una etapa inicial de la situación actual del mantenimiento, la realidad problemática, el conjunto de metodologías a utilizar para la elección de la mejor programación del mantenimiento, posteriormente la ejecución y finalmente la evaluación y control de medidas a tomar.

Figura 3.1.
Diagrama de flujo



(Fuente propia).

3.2. POBLACIÓN

Son todos los eventos de falla ocurridos entre el 2017 al 2023 en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, los cuales están registrados en la consolidación de actividades de mantenimiento.

3.3. MUESTRA

La muestra son los eventos de falla específicos analizados en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, los cuales se representan del comportamiento actual de los fenómenos ambientales en dicha zona de las regiones Nasca y Camaná.

3.3.1. DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La información emitida por SENAMHI da un mejor panorama sobre los fenómenos climatológicos en la costa peruana, específicamente en las provincias correspondientes a la presente investigación en la siguiente tabla 3.1 se aprecia la escala de evaluación de niveles de peligro.

Tabla 3.1.
Escala evaluación de peligro

Niveles de Peligro	Descripción
Nivel 1	No es necesario tomar precauciones especiales.
Nivel 2	Sea prudente se realiza actividades al aire libre que puedan acarrear riesgos en caso de mal tiempo, pueden ocurrir fenómenos meteorológicos que sin embargo son comunes en esta región. Manténgase al corriente de la situación meteorológica.

Nivel 3	Se predicen fenómenos meteorológicos peligrosos. Manténgase al corriente del desarrollo de la situación y cumpla los consejos e instrucciones dado por las autoridades.
Nivel 4	Sea extremadamente precavido; se predicen fenómenos meteorológicos de gran magnitud. Este al corriente en todo momento al desarrollo de la situación y cumpla los consejos e instrucciones dados por las autoridades.

Fuente: SENAMHI

En general en la data histórica proporcionada por SENAMHI se aprecia un nivel 3 de alerta donde predomina el incremento de vientos que alcanzan las velocidades de 35 km/h y ráfagas superiores a 40 km/h. Este incremento de viento genera levantamiento de polvo y arena, también reducción de la visibilidad horizontal en la costa de Ica. Durante la noche y primeras horas de la mañana se espera llovizna aislada y niebla/neblina en localidades cercanas al litoral, todas estas anomalías afectan la operación normal de los equipos de las subestaciones Poroma y Ocoña, en la tabla 3.2 se aprecia todos los eventos suscitados los cuales son avisos meteorológicos de carácter preventivo ante eventos severos.

Tabla 3.2.

Reporte de eventos climatológicos 2017 - 2023

N°	Aviso	Nivel	Fecha de reporte	Descripción
1	4	3	10/01/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA)
2	15	3	03/02/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
3	29	3	01/03/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
4	39	3	18/03/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
5	42	3	26/03/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)

6	60	3	16/05/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
7	67	3	05/06/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
8	74	3	23/06/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
9	77	3	12/07/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
10	85	3	09/08/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
11	88	3	31/08/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
12	90	3	07/09/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
13	91	3	11/09/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
14	94	3	18/09/2017	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
15	22	3	01/03/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
16	23	3	07/03/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
17	28	3	15/03/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
18	50	3	15/05/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
19	55	3	28/05/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
20	60	3	04/06/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
21	62	3	08/06/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
22	65	3	12/06/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
23	69	3	18/06/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
24	71	2	04/07/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
25	76	3	14/07/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)

26	81	3	20/07/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
27	83	3	25/07/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
28	90	3	11/08/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
29	98	3	21/08/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
30	102	3	28/08/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
31	112	3	17/09/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
32	115	3	29/09/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
33	120	3	10/10/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
34	122	2	24/10/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
35	125	3	10/11/2018	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
36	4	3	11/01/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
37	7	3	15/01/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
38	13	2	27/01/2019	Incremento de temperatura en la costa (ICA)
39	15	2	30/01/2019	Incremento de temperatura en la costa (ICA)
40	20	2	08/02/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
41	27	3	17/02/2019	Incremento de temperatura en la costa (ICA, AREQUIPA)
42	29	3	20/02/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
43	51	2	29/03/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
44	56	2	06/04/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
45	58	2	11/04/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA)
46	62	3	22/04/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)

47	66	3	06/05/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
48	72	3	17/05/2019	Incremento de vientos en la costa (ICA, AREQUIPA)
49	76	3	28/05/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
50	81	3	12/06/2019	Incremento de viento y llovizna en la costa (ICA, AREQUIPA)
51	85	3	21/06/2019	Incremento de viento y llovizna en la costa (AREQUIPA)
52	87	3	24/06/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
53	90	3	29/06/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
54	95	2	07/07/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
55	97	3	10/07/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
56	100	2	15/07/2019	Incremento de viento en la costa (ICA)
57	101	4	18/07/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
58	106	2	27/07/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
59	109	2	31/07/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
60	112	3	05/08/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
61	124	3	05/09/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
62	131	3	29/09/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
63	141	3	15/10/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
64	143	3	18/10/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
65	147	2	26/10/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
66	150	2	30/10/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
67	164	3	26/11/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)

68	173	3	08/12/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
69	178	2	12/12/2019	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
70	5	3	06/01/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
71	30	3	05/02/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
72	33	2	08/02/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
73	46	3	19/02/2020	Incremento de temperatura en la costa (ICA)
74	49	2	23/02/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
75	56	2	01/03/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
76	61	2	07/03/2020	Incremento de temperatura en la costa (ICA, AREQUIPA)
77	64	2	10/03/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
78	79	2	30/03/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
79	89	2	10/04/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
80	93	2	15/04/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
81	99	3	24/04/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
82	105	2	09/05/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
83	107	2	12/05/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
84	111	3	18/05/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
85	118	3	28/05/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
85	120	3	31/05/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
86	128	3	15/06/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)

87	138	3	04/07/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
88	148	3	19/07/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
89	150	3	21/07/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
90	164	3	12/08/2020	Incremento de viento en la costa (ICA)
91	170	3	16/08/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
92	174	3	23/08/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
93	178	3	28/08/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
94	183	2	08/09/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
95	194	3	01/10/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
96	207	2	16/10/2020	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
97	15	2	28/01/2021	Incremento de viento en la costa (ICA)
98	21	2	2/01/2021	Incremento de viento en la costa (ICA)
99	34	2	20/02/2021	Incremento de viento en la costa (ICA)
100	52	3	18/03/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
101	56	3	22/03/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
102	60	3	25/03/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
103	70	3	8/04/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
104	82	3	24/04/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
105	94	3	9/05/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
106	102	2	21/05/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
107	123	2	18/06/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
108	137	4	14/07/2021	Incremento de viento en la costa (ICA)
109	138	4	15/07/2021	Incremento de viento en la costa (ICA)

110	146	2	27/07/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
111	163	2	21/08/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
112	166	3	26/08/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
113	173	3	8/09/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
114	178	2	13/09/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
115	186	2	3/10/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
116	191	2	13/10/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
117	194	2	17/10/2021	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
118	13	2	20/01/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
119	28	3	4/02/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
120	37	2	17/02/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
121	60	3	18/03/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
122	65	3	23/03/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
123	73	2	30/03/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
124	80	2	12/04/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
125	86	2	22/04/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
126	88	2	27/04/2022	Incremento de viento en la costa (ICA)
127	93	2	9/05/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
128	99	2	22/05/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
129	106	3	6/06/2022	Incremento de viento en la costa (ICA)
130	116	3	17/06/2022	Incremento de viento en la costa (ICA)

131	126	3	28/06/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
132	129	2	3/07/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
133	132	2	6/07/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
134	135	2	11/07/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
135	135	3	16/07/2022	Incremento de viento en la costa (ICA)
136	146	2	28/07/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
137	151	2	3/08/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
138	154	3	8/08/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
139	172	2	2/09/2022	Incremento de viento en la costa (ICA)
140	179	2	13/09/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
141	186	3	21/09/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
142	192	2	26/09/2022	Incremento de viento en la costa (ICA)
143	207	2	12/10/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
144	255	2	23/12/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
145	261	2	28/12/2022	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
146	265	2	2/01/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
147	23	2	9/02/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
148	33	2	22/02/2023	Incremento de temperatura diurna en la costa (ICA, AREQUIPA)
149	35	2	25/02/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
150	72	3	11/04/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
151	78	3	18/04/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
152	94	3	2/05/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)

153	97	2	4/05/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
154	110	3	19/05/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
155	115	2	27/05/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
156	121	3	13/06/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
157	126	2	14/06/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
158	140	2	12/07/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
159	143	2	13/07/2023	Incremento de temperatura diurna en la costa (ICA)
160	149	2	25/07/2023	Incremento de viento en la costa (ICA)
161	170	3	18/08/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
162	188	2	4/09/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
163	191	2	5/09/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
164	192	2	8/09/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
165	197	3	14/09/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
166	205	3	26/09/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
167	213	2	4/10/2023	Incremento de viento en la costa (ICA)
168	232	2	24/10/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
169	237	3	31/10/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
170	241	2	3/11/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
171	255	2	17/11/2023	Incremento de viento en la costa (ICA, AREQUIPA)
172	269	2	3/12/2023	Incremento de viento en la costa (ICA)

Fuente: SENAMHI.

En las siguientes figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 se visualiza los reportes de SENAMHI de alertas climatológicas del 2017 al 2023 respectivamente.

Figura 3.2.
Reportes de SENAMHI 2017

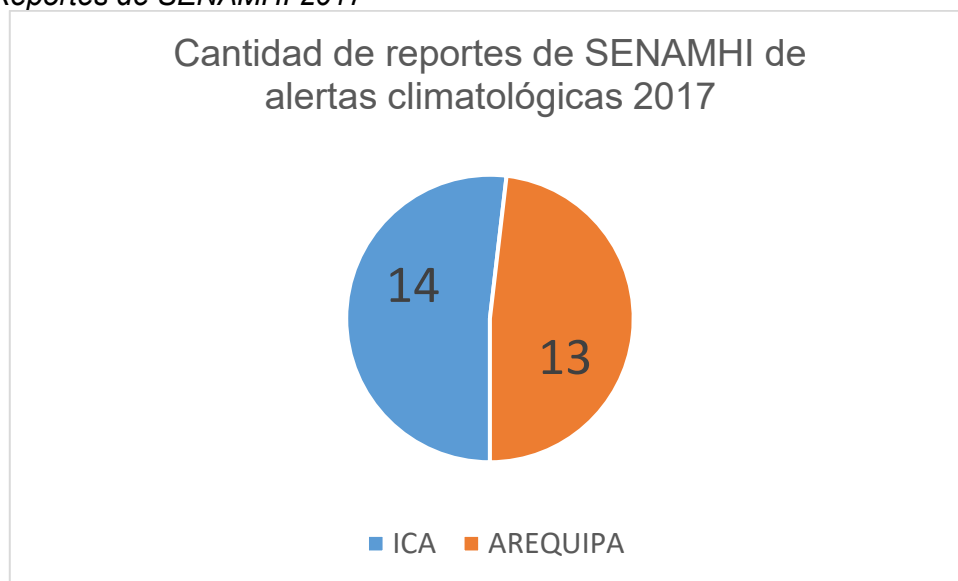


Figura 3.3.
Reportes de SENAMHI 2018

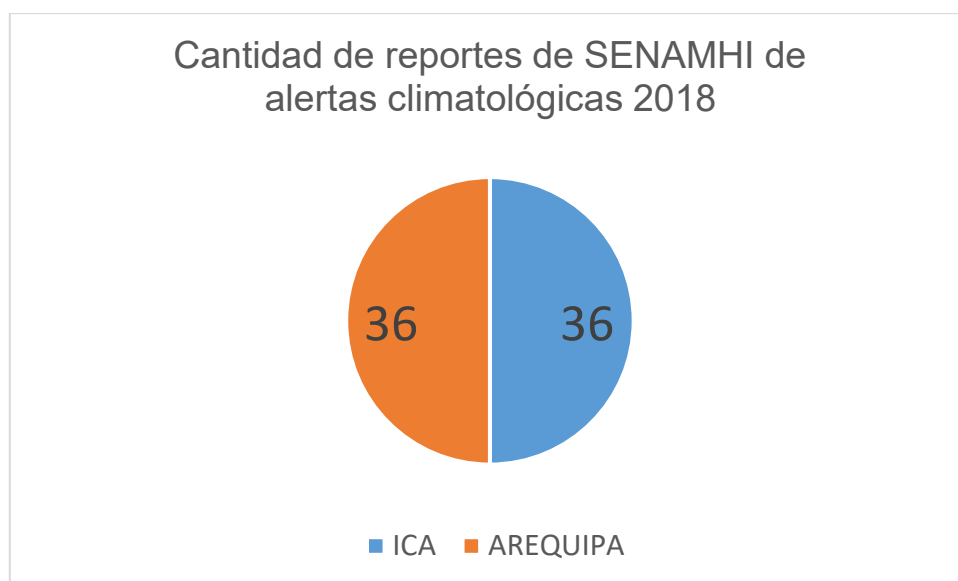


Figura 3.4.
Reportes de SENAMHI 2019

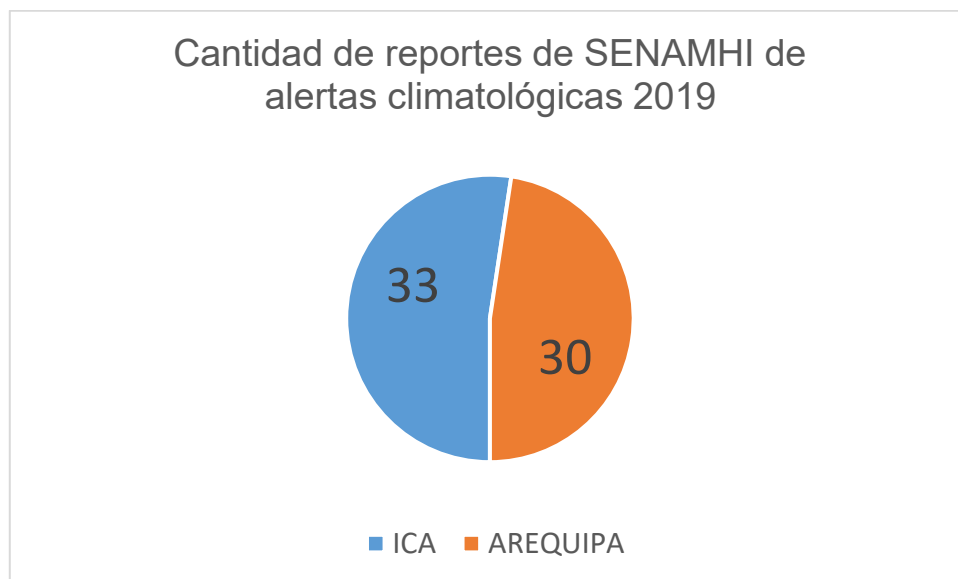


Figura 3.5.
Reportes de SENAMHI 2020

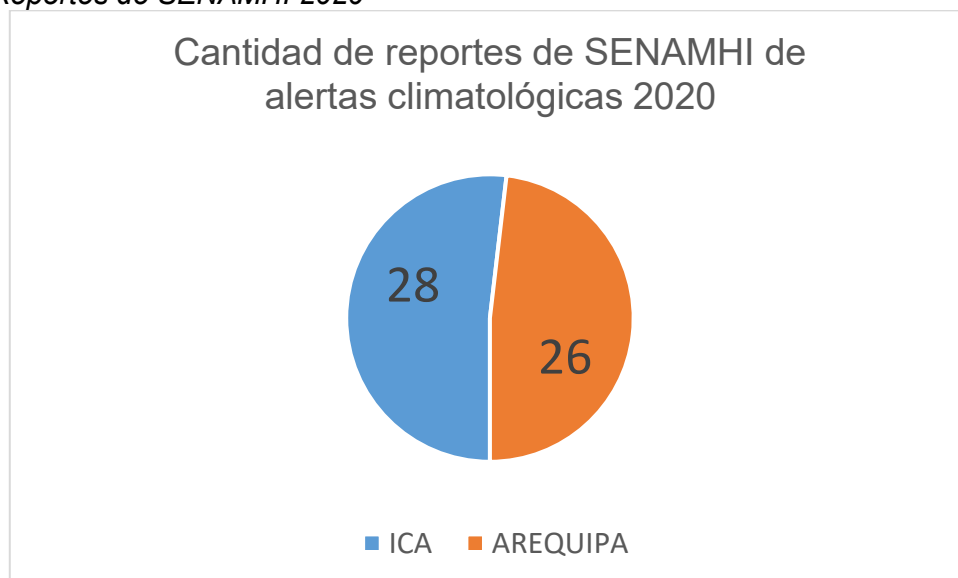


Figura 3.6.
Reportes de SENAMHI 2021

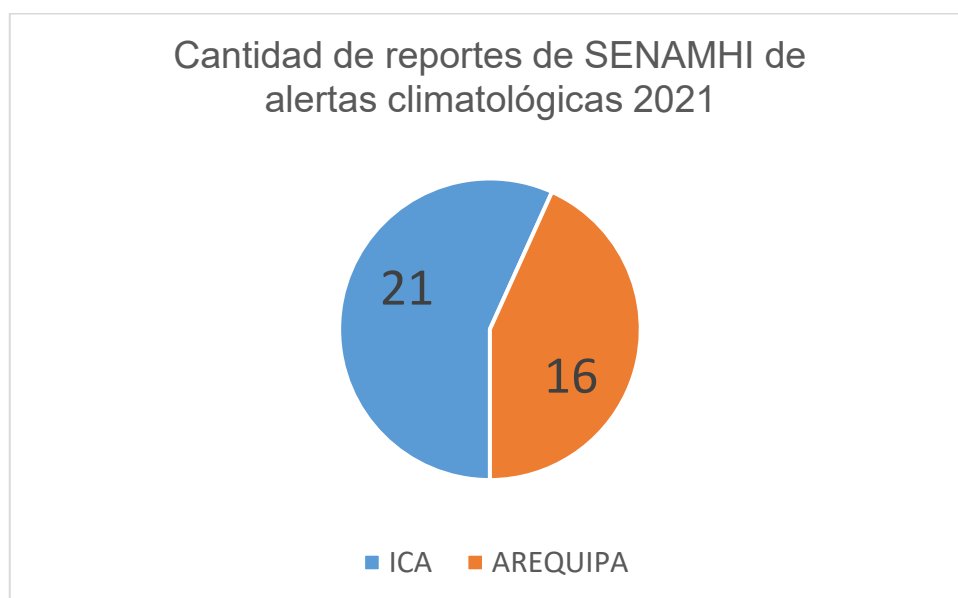


Figura 3.7.
Reportes de SENAMHI 2022

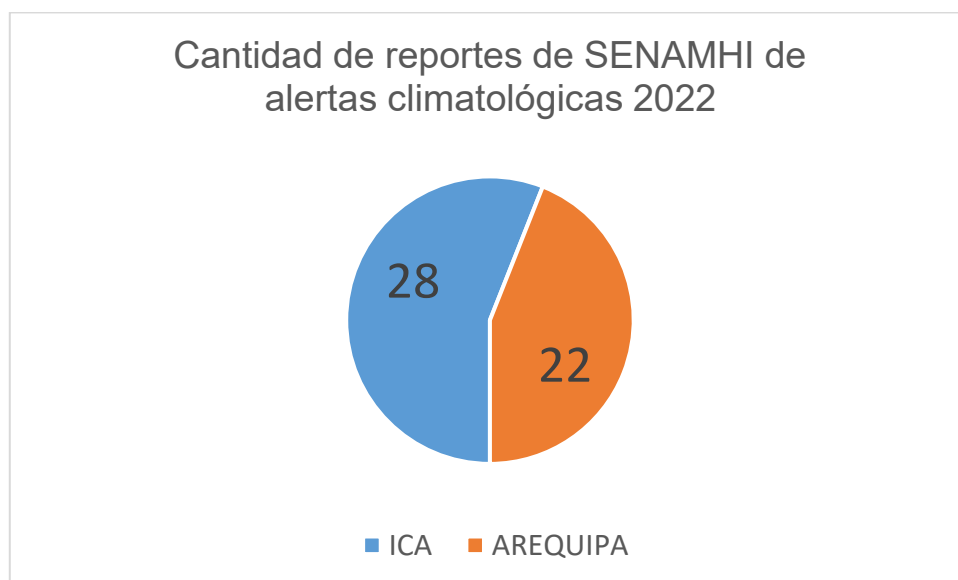
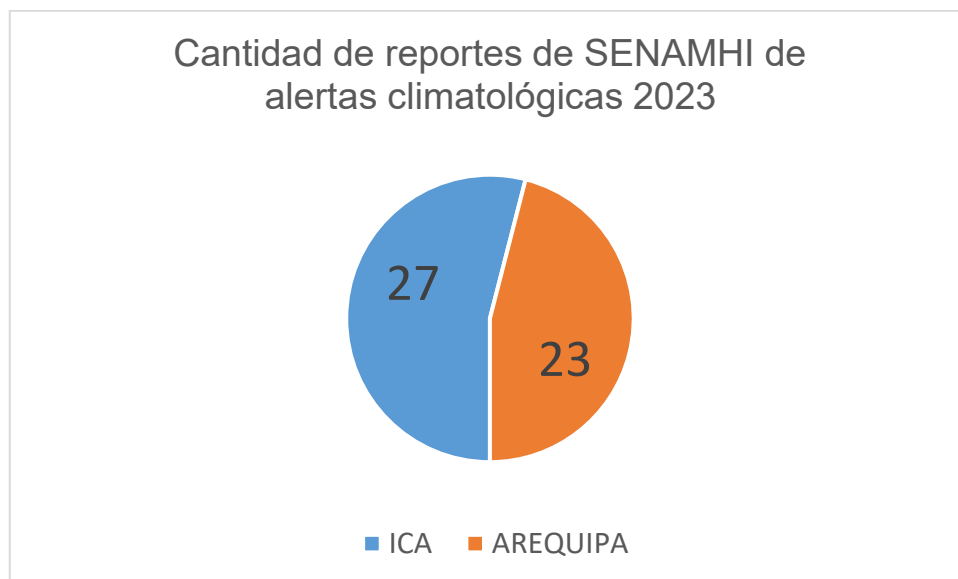


Figura 3.8.
Reportes de SENAMHI 2023



3.3.2. DATOS DE HISTORIAL DE FALLAS POR EVENTOS CLIMATOLÓGICOS

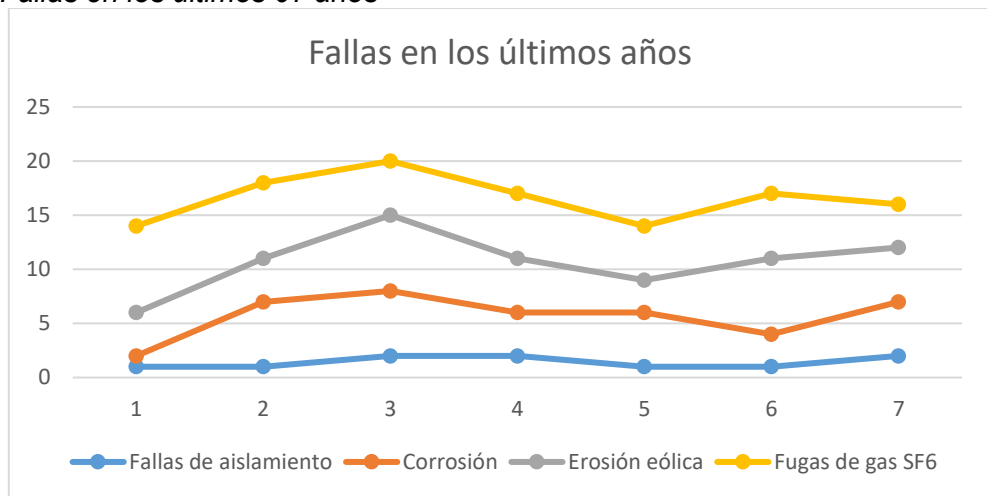
A continuación, se muestra en la tabla 3.3 y la figura 3.6 la cantidad de fallas suscitadas desde el año 2017 al 2023 en las subestaciones Poroma y Ocoña.

Tabla 3.3.
Cantidad de eventos de fallas suscitados desde 2017 al 2023

Tipos de fallas	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fallas de aislamiento	1	1	2	2	1	1	2
Corrosión	1	6	6	4	5	3	5
Erosión eólica	4	4	7	5	3	7	5
Fugas de gas SF6	8	7	5	6	5	6	4

Fuente: Propia

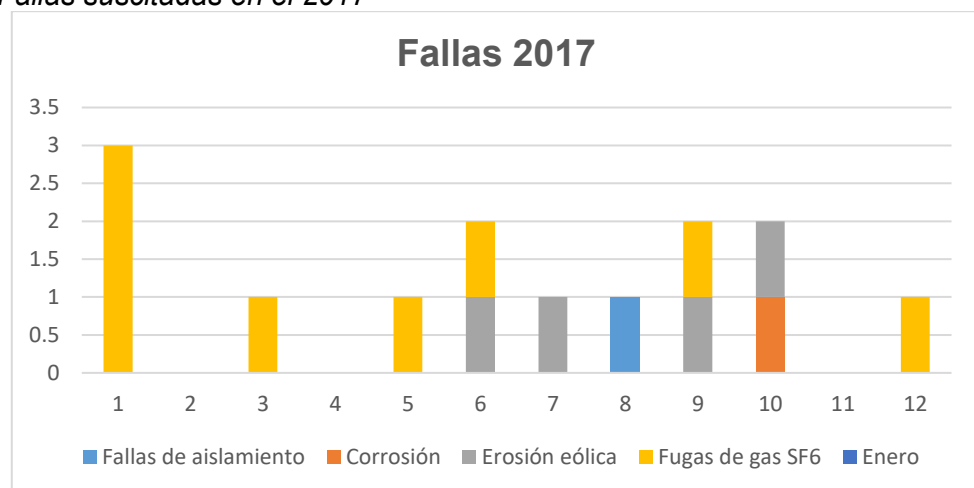
Figura 3.9.
Fallas en los últimos 07 años



(Fuente propia).

De la recopilación de información el año 2017, en la figura 3.10 se aprecia eventos de falla en los meses de enero y diciembre (Fugas de gas SF6) en agosto (Falla de aislamiento).

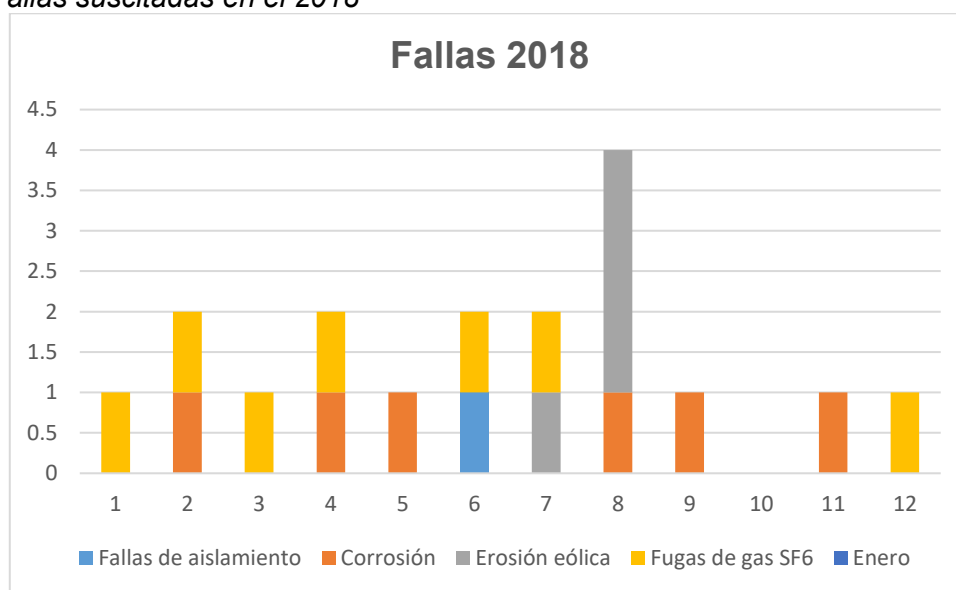
Figura 3.10.
Fallas suscitadas en el 2017



(Fuente propia).

De la recopilación de información del año 2018, en la figura 3.11 se aprecia eventos de falla en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre (Fugas de gas SF6) en junio (Falla de aislamiento), abril, mayo, agosto, noviembre y diciembre (Corrosión), Erosión eólica en agosto.

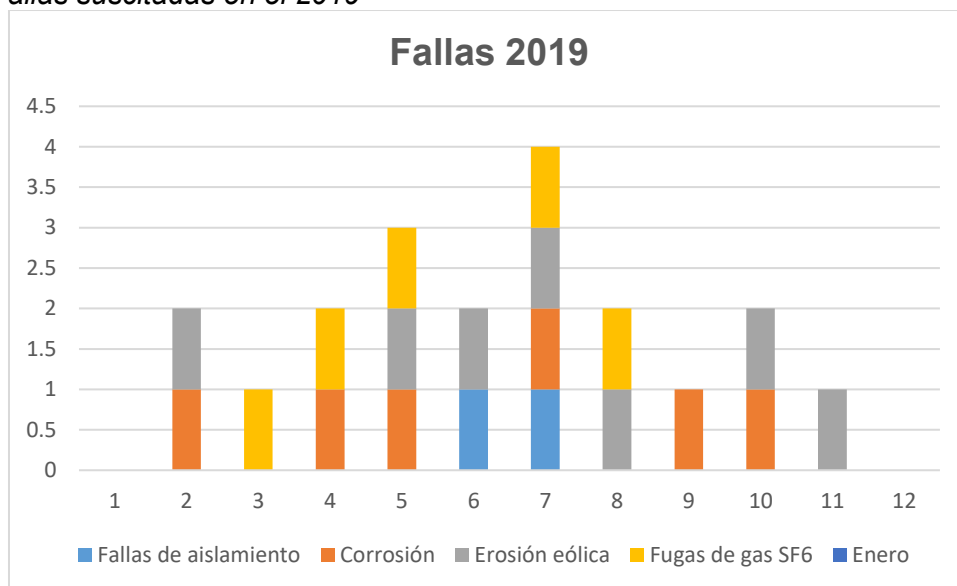
Figura 3.11.
Fallas suscitadas en el 2018



(Fuente propia).

De la recopilación de información del año 2019 en la figura 3.12 se aprecia eventos de falla en los meses de enero y julio (Fugas de gas SF6) en julio (Falla de aislamiento), enero y abril (Corrosión), Erosión eólica en noviembre.

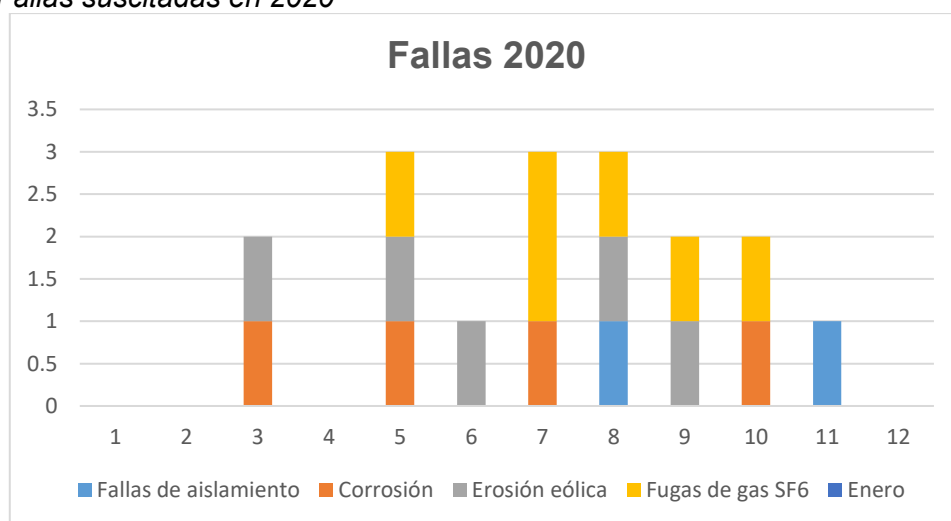
Figura 3.12.
Fallas suscitadas en el 2019



(Fuente propia).

De la recopilación de información del año 2020, en la figura 3.13 se aprecia eventos de falla de fugas de gas SF6 en agosto y fallas de aislamiento en agosto y noviembre.

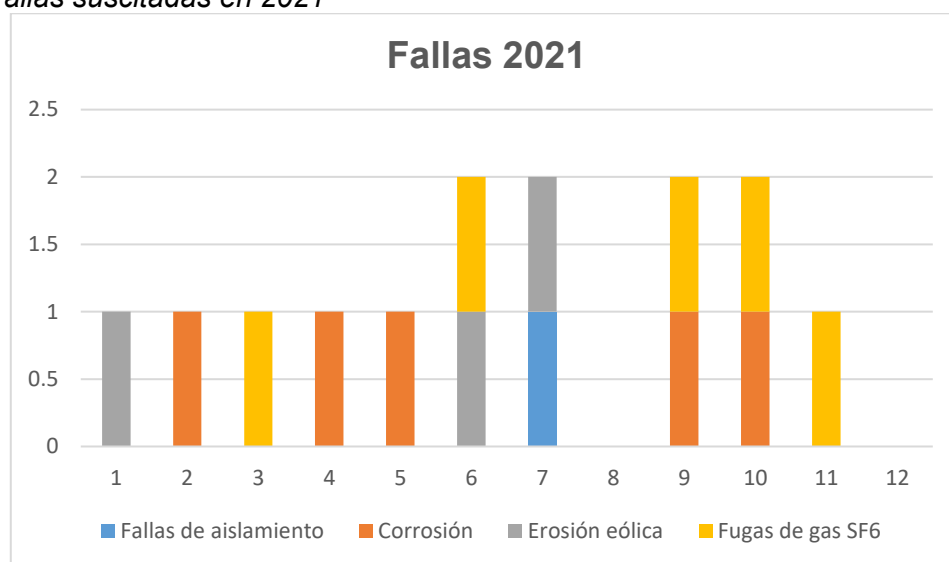
Figura 3.13.
Fallas suscitadas en 2020



(Fuente propia).

De la recopilación de información del año 2021, en la figura 3.14 se aprecia eventos de falla de corrosión en abril y mayo y de fugas de gas SF6 en noviembre.

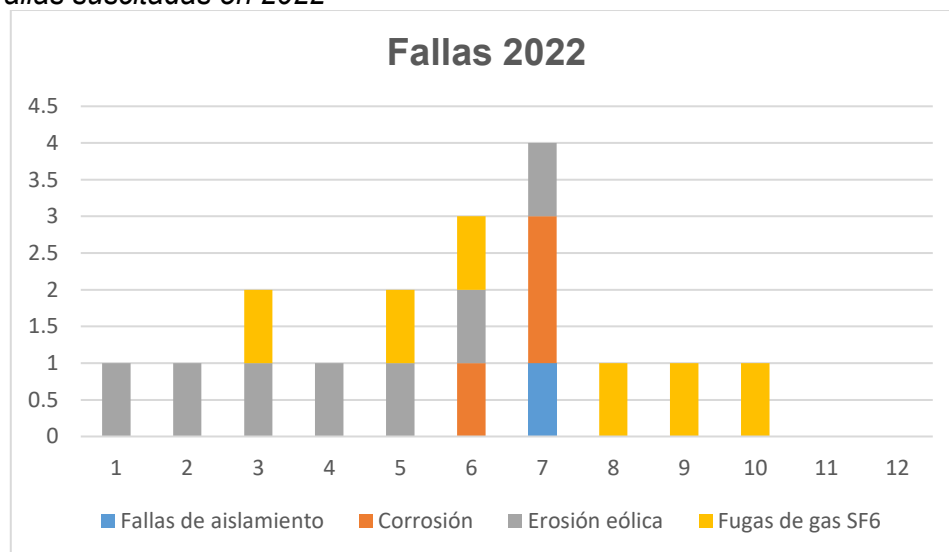
Figura 3.14.
Fallas suscitadas en 2021



(Fuente propia).

De la recopilación de información del año 2022, en la figura 3.15 se aprecia eventos de falla de corrosión en el mes de julio y de fuga de gas SF6 en octubre.

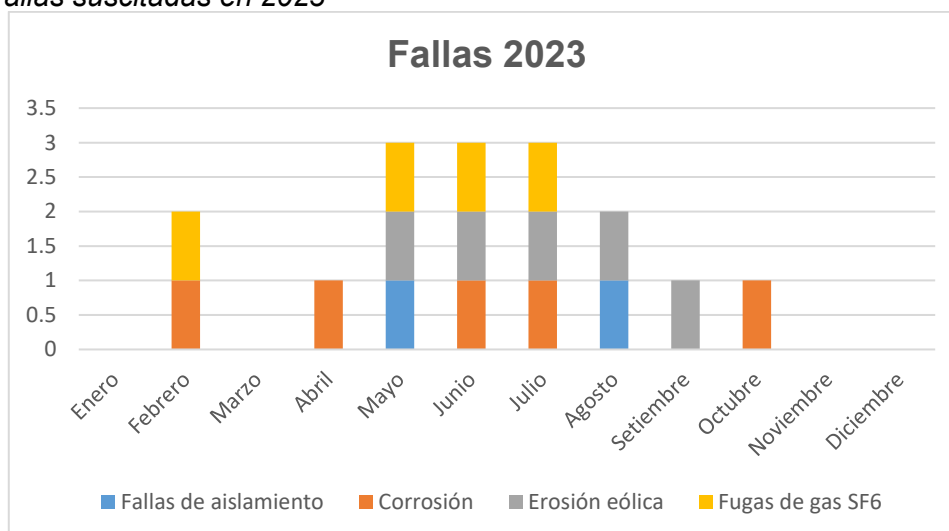
Figura 3.15.
Fallas suscitadas en 2022



(Fuente propia).

De la recopilación de información del año 2023, en la figura 3.16 se aprecia eventos de falla de erosión eólica en los meses de abril, junio y septiembre y de fuga de corrosión en octubre.

Figura 3.16.
Fallas suscitadas en 2023



(Fuente propia).

Como dato importante se realizó una recopilación de la cantidad de interruptores con la anomalía de gas SF6, donde se aprecia claramente que la mayor cantidad con esta observación se encuentran en la Subestación Poroma, esto nos confirma el impacto que genera el clima costero en dicha subestación.

En la figura 3.17 se aprecia una inspección de fuga de gas SF6 realizado en la subestación Poroma y en la tabla 3.4 se da a conocer los eventos de fallas suscitados por la pérdida de gas SF6 de lo interruptores de potencia monitoreados.

Figura 3.17.

Inspección de fuga de gas SF6 de interruptor de potencia ubicado en la Subestación Poroma



(registro fotográfico del autor).

Tabla 3.4.

Cantidad de eventos de fallas por fuga de gas SF6

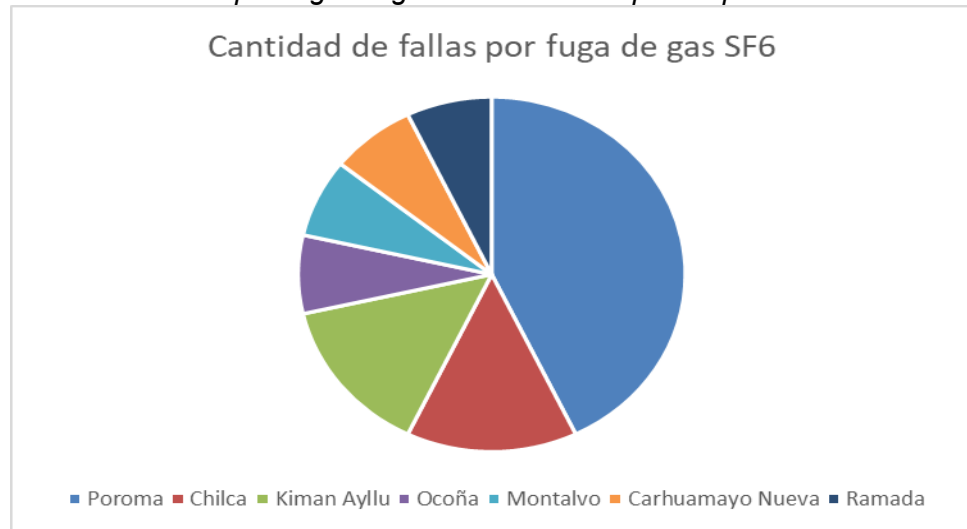
Subestación eléctrica	Cantidad de fallas por fuga de gas SF6
Poroma	6
Chilca	2
Kiman Ayllu	2
Ocoña	1
Montalvo	1
Carhuamayo Nueva	1
Ramada	1

En la figura 3.18 se aprecia que la mayor incidencia de fallas por fuga de gas SF6 se da en la subestación eléctrica Poroma a diferencia de las otras Subestaciones eléctricas operadas.

Esto nos lleva a plantearnos y a analizar que dicha zona geográfica afecta de una u otra manera negativamente a la estructura metálica y empaques que hermetizan los interruptores de potencia.

Figura 3.18.

Cantidad de fallas por fuga de gas SF6 de interruptores por subestación.



Otro punto para resaltar en la investigación es que las fallas de aislamiento se han suscitado entre los meses de mayo y agosto en ambas subestaciones, fecha donde se tiene alta humedad relativa en horas de la madrugada, excesiva polución producto de vientos Paracas, en la figura 3.19 se aprecia las descargas eléctricas por pérdida de aislamiento presentada en equipos de patio en el año 2019.

Figura 3.19.

Pérdida de aislamiento en aislador soporte en la Subestación Poroma en julio del 2019



(Registro fotográfico del autor).

En la figura 3.20 nos da a conocer un aviso meteorológico emitido por SENAMHI sobre el incremento de vientos en la costa peruana que coincidentemente tiene relación con la falla de aislamiento suscitada en dicha fecha.

Figura 3.20.

Información de incremento de vientos en la costa peruana

9/7/2019

SENAMHI - Perú



Tiempo / Aviso Meteorológico

Aviso Meteorológico

Los Avisos Meteorológicos son pronósticos de carácter preventivo ante eventos severos, indicando las áreas que podrían verse afectadas y el nivel de peligrosidad.

[Aviso # 090](#)

[Aviso # 090](#)

[Anteriores](#)

Aviso N°090

NIVEL 3

Fecha de emisión: Sábado , 29 de Junio de 2019

INCREMENTO DE VIENTO EN LA COSTA

El SENAMHI informa que desde el domingo 30 hasta el martes 02 de julio se prevé el incremento de viento en gran parte de la costa. Los valores más altos se registrarán en la costa central con velocidades por encima de los 40 km/h y ráfagas superiores a los 50 km/h. Este incremento de viento generará levantamiento de polvo/arena y reducción de la visibilidad horizontal, en especial en la costa de Ica. Posterior al incremento de viento, se espera llovizna y niebla/neblina en el litoral durante las primeras horas de la mañana.

Departamentos alertados: [ANCASH](#) [AREQUIPA](#) [CALLAO](#) [ICA](#) [LA LIBERTAD](#) [LAMBAYEQUE](#) [LIMA](#) [MOQUEGUA](#) [PIURA](#)

Inicio del evento: Domingo , 30 de Junio de 2019 a las 12:00 horas (hora local)
Fin del evento: Martes , 02 de Julio de 2019 a las 18:00 horas (hora local)
Periodo de vigencia del aviso: **54 horas**

(Reporte de SENAMHI).

La figura 3.21 muestra una pérdida de aislamiento de un aislador soporte de un equipo de alta tensión suscitado en el mes de agosto del 2020 en la Subestación eléctrica Ocoña.

Figura 3.21.

Pérdida de aislamiento en aislador soporte de trampa de onda en la Subestación Ocoña en agosto del 2020



(Registro fotográfico del autor).

Adicionalmente la formación de corrosión en la estructura de los equipos de patio tiene una particularidad única en la Subestación Poroma, ya que se ha evidenciado que en otras subestaciones no sucede dicha anomalía en los puntos específicos encontrados, este fenómeno si bien es cierto su avance es lento, su accionar ha complicado la operación normal del sistema, es necesario mejorar el plan de mantenimiento para la su prevención.

Como ejemplos tenemos los siguientes casos.

En las figuras 3.22 y 3.23 se aprecia eventos relacionados a la formación de corrosión en diversos puntos de equipos de patio donde normalmente en otras subestaciones no se manifiestan.

Figura 3.22.

Presencia de corrosión en borneras de gabinete secundario de transformador de tensión en Subestación Poroma



(Registro fotográfico del autor).

Figura 3.23.

Presencia de corrosión en tanque de compensación en Subestación Poroma



(Registro fotográfico del autor).

3.4. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS.

3.4.1. Análisis mediante el diagrama de Pareto.

Con la finalidad de ordenar de manera prioritaria y mejorar la programación de actividades de mantenimiento preventivo y por ende la toma de decisiones, en la presente tesis se aplicará la metodología del diagrama de Pareto.

En la tabla 3.5 se recopila la cantidad de fallas del 2017 al 2023 suscitados en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña y los meses donde ocurrieron, también se calcula el porcentaje respecto al total y el porcentaje acumulado.

Tabla 3.5.

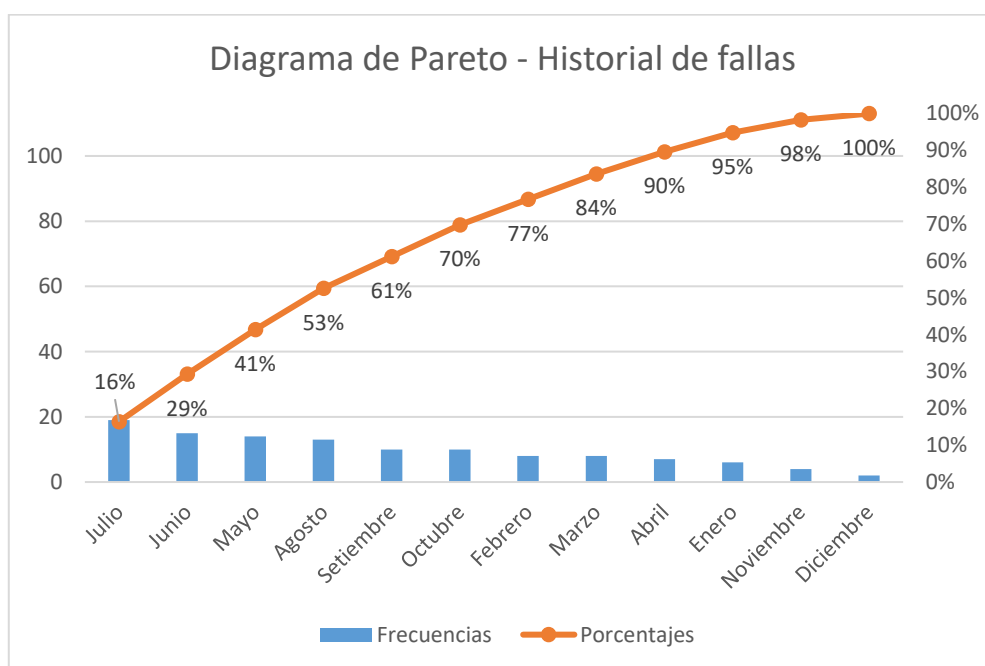
Evaluación de cantidad de fallas por mes para evaluación por el diagrama de Pareto - 1.

Mes	Cantidad de fallas Historial (2017-2023)	%	% Acumulado
Julio	19	16%	16%
Junio	15	13%	29%
Mayo	14	12%	41%
Agosto	13	11%	53%
Setiembre	10	9%	61%
Octubre	10	9%	70%
Febrero	8	7%	77%
Marzo	8	7%	84%
Abril	7	6%	90%
Enero	6	5%	95%
Noviembre	4	3%	98%
Diciembre	2	2%	100%
Total	116	100%	

A continuación, en el diagrama de Pareto de la figura 3.24 producto de la recopilación de información de fallas suscitadas entre 2017 y 2023 en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña se aprecia que los meses donde se deben

considerar prioritarios para la programación de mantenimiento son julio, junio, mayo, agosto y septiembre, ya que en los mismos se aprecia la mayor ocurrencia de fallas, y el mayor porcentaje respecto al total.

Figura 3.24.
Diagrama de Pareto – Historial de fallas.



En la tabla 3.6 se recopila los eventos climatológicos del 2017 al 2023 reportados por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) suscitados en la zona geográfica donde se encuentran ubicadas las Subestaciones eléctricas de Poroma y Ocoña y los meses donde ocurrieron con mayor incidencia, también se calcula el porcentaje respecto al total y el porcentaje acumulado.

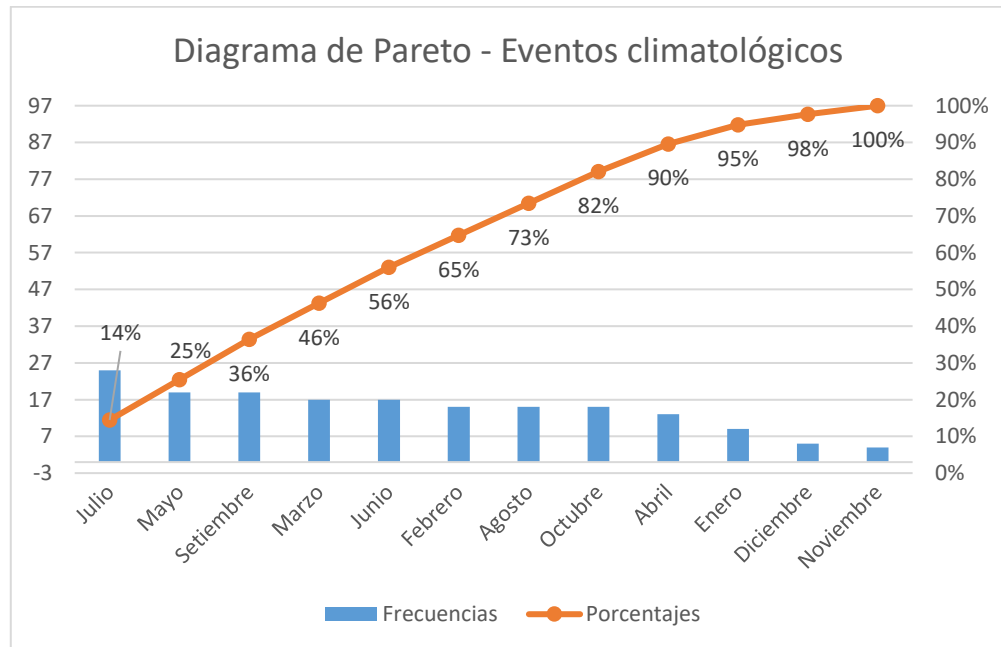
Tabla 3.6.

Evaluación de cantidad de fallas por mes para evaluación por el diagrama de Pareto - 2.

Mes	Eventos Climatológicos SENAMHI (2017-2023)	%	% Acumulado
Julio	25	14%	14%
Mayo	19	11%	25%
Setiembre	19	11%	36%
Marzo	17	10%	46%
Junio	17	10%	56%
Febrero	15	9%	65%
Agosto	15	9%	73%
Octubre	15	9%	82%
Abril	13	8%	90%
Enero	9	5%	95%
Diciembre	5	3%	98%
Noviembre	4	2%	100%
Total	173	100%	

A continuación, en el diagrama de Pareto de la figura 3.25 producto de la recopilación de información de eventos climatológicos suscitados entre el 2017 y 2023 en las áreas geográficas donde se encuentran ubicadas las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, se aprecia que los meses donde se deben considerar prioritarios para la programación de mantenimiento son julio, marzo, mayo, junio y agosto, ya que en los mismos se aprecia la mayor ocurrencia de reporte anómalos climatológicos, y el mayor porcentaje respecto al total de meses.

Figura 3.25.
Diagrama de Pareto – Eventos Climatológicos.



3.4.2. Cálculo de la función continua con los datos históricos de eventos de falla.

Para caracterizar una función continua se procederá a realizar una aproximación con los datos históricos de los últimos 07 años de eventos de falla suscitados relacionados a efectos costeros en las Subestaciones Poroma y Ocoña, y con el apoyo de los diagramas de Pareto elaborados anteriormente en el punto 3.5.1 nos brindará un mejor panorama para identificar los meses claves para la mejora del modelo de Gestión de Mantenimiento.

3.4.3. Cálculo de la función continua con data de SENAMHI.

Para caracterizar una función continua se procederá a realizar una aproximación con los reportes de SENAMHI de los últimos 07 años de fenómenos

naturales suscitados en las regiones Ica y Arequipa donde se encuentran ubicadas las subestaciones de estudio.

3.4.4. Análisis de intersección de datos.

Con la obtención de funciones continuas de aproximación de datos históricos de eventos de falla y reportes de SENAMHI se determinará los meses de mayor incidencia de fallas con la finalidad de mejorar el plan de mantenimiento.

En la tabla 3.7 se tiene la cantidad total de fallas según el registro de incidencias de las subestaciones Poroma y Ocoña desde enero a diciembre del año 2017 al 2023, también los eventos climatológicos reportados por SENAMHI de los últimos 07 años, estos últimos son avisos de carácter preventivo ante eventos severos.

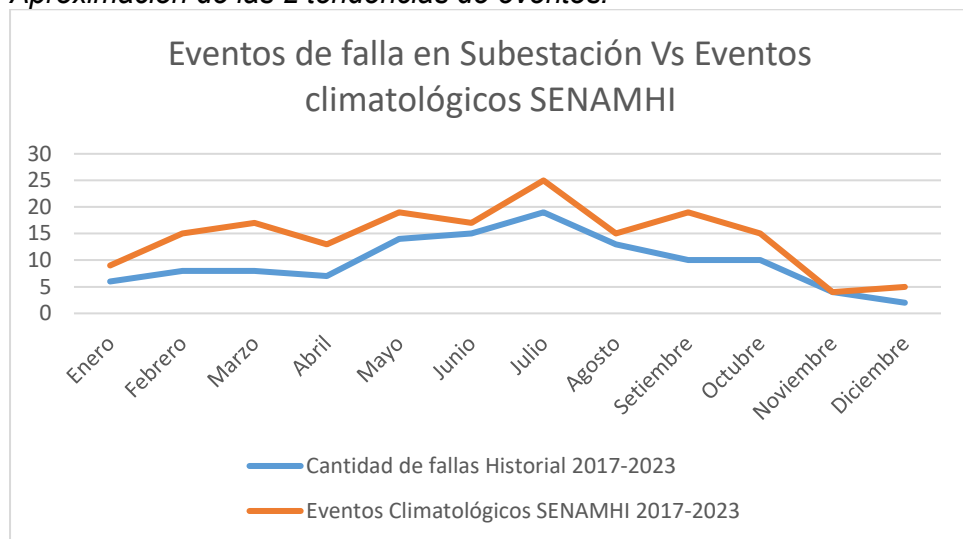
Tabla 3.7.

Cantidad de eventos de fallas y eventos climatológicos

Mes	Cantidad de fallas Historial (2017-2023)	Eventos Climatológicos SENAMHI (2017-2023)
Enero	6	9
Febrero	8	15
Marzo	8	17
Abril	7	13
Mayo	14	19
Junio	15	17
Julio	19	25
Agosto	13	15
Setiembre	10	19
Octubre	10	15
Noviembre	4	4
Diciembre	2	5

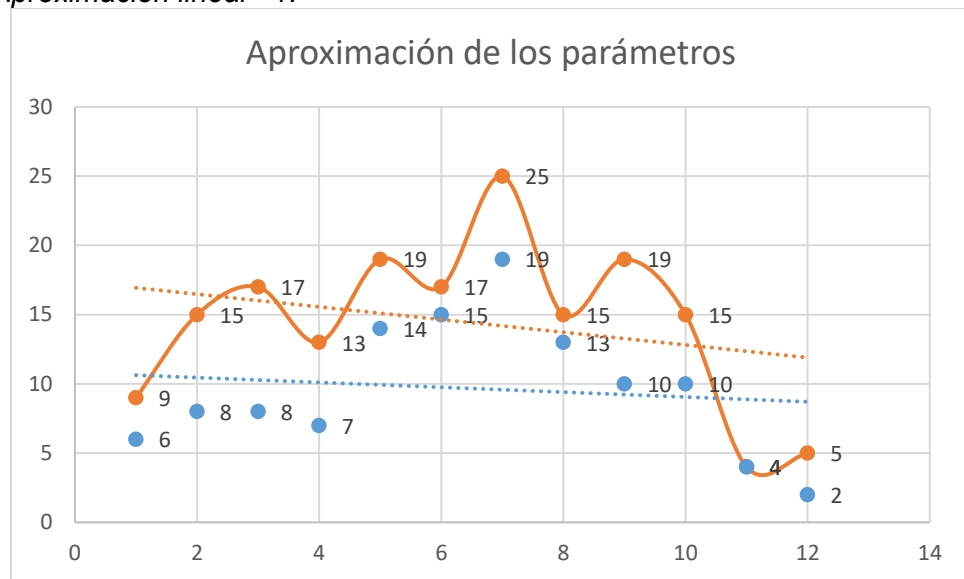
De la aproximación de ambos datos se tiene las siguientes líneas de tendencia mostradas en la figura 3.26, donde se aprecia similitud que permitirá determinar los meses con mayor incidencia, en los presentes gráficos los meses de junio, julio y agosto.

Figura 3.26.
Aproximación de las 2 tendencias de eventos.



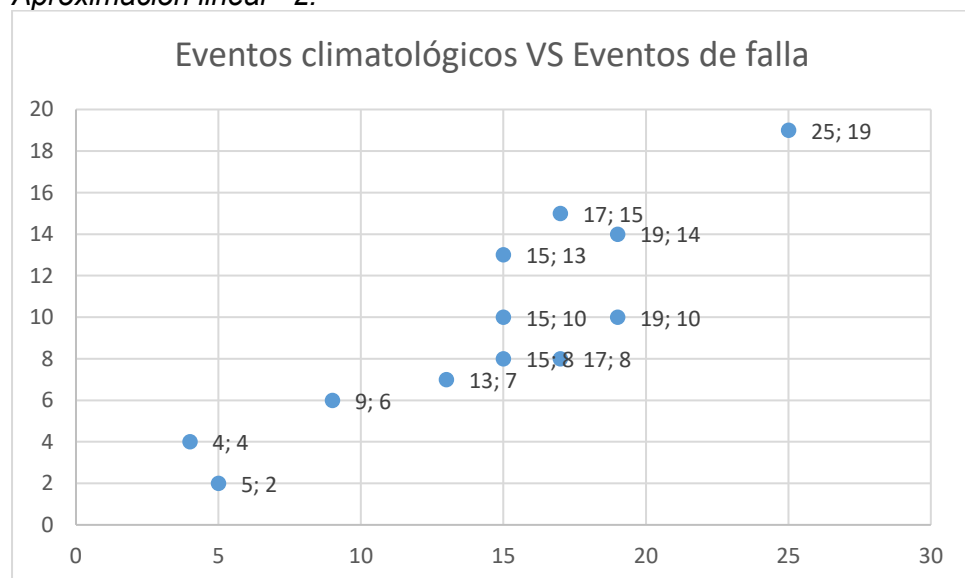
En la siguiente aproximación mostrada en la figura 3.27, claramente se aprecia que no existe una tendencia lineal producto de fallas ocurridos en las subestaciones eléctricas de estudio y también evidentemente no hay frecuencia lineal de los eventos climatológicos suscitados en las zonas de afectación, es por ende que es necesario presentar un mejoramiento al modelo de Gestión de mantenimiento mediante un nuevo programa y plan de mantenimiento.

Figura 3.27.
Aproximación lineal - 1.



En base a la tabla 3.7 también podemos relacionar en la figura 3.22 el número de eventos climatológicos (eje X) con el número de fallas suscitados (eje Y) en las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña donde se aprecia la aglomeración de eventos en los meses centrales.

Figura 3.28.
Aproximación lineal - 2.



Con la información obtenida de los diagramas de Pareto en las figuras 3.24 y 3.25 y el diagrama de aproximación de tendencia mostrada en la figura 3.27 podemos definir y mejorar el plan de mantenimiento preventivo con la siguiente frecuencia y periodicidad mostrada en la tabla 3.8 la cual se profundizará con mayor detalle en el siguiente capítulo.

Con la información obtenida tanto de los diagramas de Pareto y gráficos de aproximación tendencia podemos ver que los meses más afectados por eventos de fallas y climatológicos son desde mayo a septiembre, teniendo un pico en el mes de **julio**, esto servirá para programar actividades de mantenimiento en los meses previos y de esta manera prevenir eventos no deseados que afecten la operación normal de los equipos de las Subestaciones Eléctricas de estudio.

Tabla 3.8

Plan de mantenimiento preventivo planteado 2017-2023

Cantidad de eventos de fallas y climatológico y plan de mantenimiento

Mes	Cantidad de fallas Historial	Eventos Climatológicos SENAMHI	Intervención planteada Mantenimiento preventivo
Enero	6	9	
Febrero	8	15	
Marzo	8	17	x
Abril	7	13	x
Mayo	14	19	x
Junio	15	17	
Julio	19	25	
Agosto	13	15	
Setiembre	10	19	
Octubre	10	15	
Noviembre	4	4	
Diciembre	2	5	

3.4.5. Análisis de modo y efecto de falla.

A continuación, se elabora el siguiente análisis de modo y efecto de fallas en base a lo recopilado en los puntos de la tabla 3.3.

En la tabla 3.9 se presenta el esquema de análisis de modo y efecto de falla donde las evaluaciones de severidad, ocurrencia y detección están en la escala del 1 al 10 y en base a las acciones a tomar el número de prioridad de riesgo debe disminuir.

Tabla 3.9.

Esquema A.M.E.F Análisis de modo y efecto de falla

Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto y consecuencia de la falla	Severidad	Ocurrencia	Controles actuales de prevención	Controles actuales de detección	Detección	NPR	Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Transmisión de energía eléctrica mediante equipos de alta tensión de subestaciones Poroma y Ocoña	Falla de aislamiento en equipos de alta tensión	La pérdida de aislamiento se presenta generalmente entre los meses de junio y agosto	Produce actuación de la protección y por consiguiente desconexión de la instalación eléctrica	8	3	No se tiene	Inspecciones de efluvio anuales	9	216	Programar actividades de mantenimiento preventivo antes de la temporada de invierno entre los meses de marzo y mayo	2	2	4	16
	Contaminación de aisladores producto de vientos Paracas	Incremento de descargas eléctricas en épocas de invierno	Daño de aislador y posible desconexión de la transmisión de energía eléctrica	8	3	Limpieza de aislamiento una vez al año sin direccionamiento	Inspecciones de efluvios anuales	9	216	Programar actividades de limpieza de aislamiento entre los meses de marzo y mayo	2	1	4	8

Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto y consecuencia de la falla	Severidad	Ocurrencia	Controles actuales de prevención	Controles actuales de detección	Detección	NPR	Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Maniobras de apertura y cierre de seccionadores de potencia	Seccionador presenta sobre esfuerzo para maniobrar	Motor de seccioandor presente sobre esfuerzo durante el giro	Daño de motor y por consiguiente indisponibilidad de maniobra eléctrica de seccionador	6	3	No se tiene	Mediciones de corriente de motor anualmente sin fechas direccionadas	9	162	Realizar lubricación de partes móviles y engranajes de seccionador meses previos a julio	2	1	2	4
		Mecanismo de operación y partes móviles presentan dureza al maniobrar	Desgaste de partes móviles y sobre esfuerzo de motor	7	3	Mantenimiento electromecánico anual sin fechas direccionadas	No se tiene	9	189	Realizar mantenimiento electromecánico al seccionador meses previos a julio	2	2	2	8

Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto y consecuencia de la falla	Severidad	Ocurrencia	Controles actuales de prevención	Controles actuales de detección	Detección	NPR	Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Conducción de corriente eléctrica en sistemas de transmisión	Fuga de gas SF6	Daño de empaque de hermetización producto del resacamiento o por altas temperaturas	Produce fuga de gas SF6 con riesgo de bloqueo de interruptor	5	2	No se tiene	Inspección visual de densímetros	9	90	Realizar el cambio y proteger de los rayos solares el empaque de las t�pas y válvulas de gas SF6	2	1	2	4
		Pérdida de calidad de gas SF6 de interruptor	Contaminación de gas SF6	6	2	No se tiene	Medición de calidad de gas SF6	9	108	Proteger los empaques de los rayos solares mediante selladores	2	2	2	8

		Pérdida de presión de gas SF6 de interruptor	Riesgo de bloqueo de interruptor	7	2	No se tiene	Inspección visual de densímetros mensual	9	126	Rellenar gas SF6 y cambiar empaques protegiendo de los rayos solares	2	1	2	4
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto y consecuencia de la falla	Severidad	Ocurrencia	Controles actuales de prevención	Controles actuales de detección	Detección	NPR	Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Estructuras metálicas y aterramiento de subestaciones eléctricas	Presencia de corrosión y formación de sarro	Despredimiento de electrodo de Banco de compensación en serie	Actuación de protección de Autodisparo	6	2	No se tiene	Inspección visual	9	108	Mejorar diseño y material resistente a la corrosión	2	1	2	4
		Daño en conductor de aterramiento	Pérdida de continuidad, actuación de protección	6	2	No se tiene	No se tiene	9	108	Proteger conductor con tubería	2	1	3	6

Corrosión en estructura de condensadores	Fuga de aceite de condensador	5	2	No se tiene	Inspecciones visual	8	80	Tratamiento anticorrosivo o 2 veces al año	2	1	2	4
Formación de sarro entre contactos principales de seccionador	Resistencia de contacto alta en seccionador de potencia	5	2	No se tiene	Mediciones de resistencia de contactos	7	70	Tratamiento anti sarro anualmente	3	1	2	6

3.4.6. Cálculo de MTTR, MTBF y disponibilidad

En base al análisis realizado, a continuación, en la tabla 3.10 se recopila la información de los eventos de desconexión eléctrica producto de los diversos fenómenos generados por el clima costero en las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña donde se evaluará la disponibilidad de los equipos de alta tensión involucrados.

Tabla 3.10.
Eventos de desconexión.

Subestación	Evento	Fecha
Ocoña	Desconexión de BCS-5482	12/08/2024
Poroma	Desconexión de BCS-5382	13/04/2018
Ocoña	Desconexión de BCS-5484	6/05/2018
Poroma	Desconexión de AUT-5371	20/06/2018
Ocoña	Desconexión de BCS-5484	20/08/2018
Poroma	Desconexión de BCS-5382	2/12/2018
Poroma	Desconexión de BCS-5382	6/12/2018
Ocoña	Desconexión de IBP-5382	2/01/2019
Poroma	Desconexión de REN-5381	28/04/2019
Poroma	Desconexión de BCS-5382	7/07/2019
Ocoña	Desconexión de Celda 5462	25/08/2020
Poroma	Desconexión de Celda 5304	4/11/2020
Ocoña	Desconexión de BCS-5482	24/04/2021
Poroma	Desconexión de REB-5350	20/05/2021
Poroma	Desconexión de BCS-5382	26/07/2022
Poroma	Desconexión de SBA-5361	23/06/2023
Ocoña	Desconexión de SBA-5462	24/09/2023

Del cuadro mostrado se calcula los siguientes indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad.

Tiempo total de operación = 60,674 horas

Tiempo total de falla (horas) = 623.50 horas

Número de fallas = 17

Tiempo medio entre falla (MTBF) = 3,569 horas

Tiempo medio para restaurar (MTTR) = 36.68 horas

Disponibilidad = 98.98%

Se observa que los equipos de alta tensión de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña presentan alta disponibilidad, esta alta disponibilidad de cada equipo de las subestaciones eléctricas se debe a que el tiempo medio para restaurar (MTTR) de cada equipo son pequeños comparados con el tiempo medio entre falla (MTBF), es decir, la reparación de cada equipo toma poco tiempo para continuar con la transmisión de energía eléctrica.

Sin embargo, tener una alta disponibilidad no garantiza el éxito en las actividades de transmisión, por lo que necesariamente es necesario realizar un análisis de modo y efecto de falla para tomar las mejores decisiones de mantenimiento preventivo y predictivo que mejores el plan de mantenimiento actual.

CAPÍTULO IV

**PROPUESTA DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE
EQUIPOS DE PATIO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS
POROMA Y OCOÑA EN BASE A UN NUEVO PLAN DE
MANTENIMIENTO. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y
CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS**

En el presente capítulo, el estudio estará dirigido en las instalaciones de las subestaciones eléctricas de potencia de 500 kV ubicadas en las provincias de Nasca y Camaná pertenecientes a la costa sur del Perú, contexto donde plantearemos la propuesta de mejora del mantenimiento preventivo de equipos de patio.

Se ha determinado que el actual plan y programa de mantenimiento no ha funcionado de la mejor manera debido a que es muy general y aplicado para equipos ubicados en otras instalaciones.

Adicional se analizará los resultados y contrastará las hipótesis.

4.1. DATOS DE ENTRADA

En esta sección, se identifica y muestra los datos de entrada que nos servirán para determinar y dar un mejor panorama a los datos de salida referente al resultado final obtenido para la mejora del programa de mantenimiento.

Como datos de entrada tenemos lo siguiente:

- Relación de equipos de patio involucrados en el mantenimiento programado en las Subestaciones Poroma y Ocoña.

- Plan de mantenimiento anual actualmente definido y generalizado para todas las instalaciones.

En las tablas 4.1 y 4.2 se menciona los equipos pertenecientes a las Subestaciones Poroma y Ocoña respectivamente.

Tabla 4.1.
Equipos de patio de Subestación Poroma

Ítem	Equipo	Cantidad	Descripción de falla	Medida correctiva
1	Cadena de aisladores	229	Descarga eléctrica, efecto corona	Realizar limpieza de aislamiento
2	Banco de compensación en serie	1	Descarga eléctrica en aisladores soporte	Realizar limpieza de aislamiento
3	Interruptor de potencia	13	Descarga eléctrica en Cámaras y soporte, Fuga de gas por daño de empaques	Realizar limpieza de aislamiento, proteger empaques
4	Seccionador	36	Descarga eléctrica en aisladores, descalibraciones	Realizar limpieza de aislamiento
5	Trampa de onda	2	Descarga eléctrica en aisladores	Realizar limpieza de aislamiento
6	Transformador y reactor de potencia	14	Descarga eléctrica en bornes, daño de empaques, corrosión	Realizar limpieza de aislamiento, proteger empaques,

				Tratamiento anticorrosivo
7	Pararrayos	8	Descarga eléctrica	Realizar limpieza de aislamiento
8	Transformadores de medida	17	Descarga eléctrica, daño en empaques Corrosión en tanque de expansión	Realizar limpieza de aislamiento Realizar tratamiento anticorrosivo

Tabla 4.2
Equipos de patio de Subestación Ocoña

Ítem	Equipo	Cantidad	Descripción de falla	Medida correctiva
1	Cadena de aisladores	163	Descarga eléctrica, efecto corona	Realizar limpieza de aislamiento
2	Banco de compensación en serie	2	Descarga eléctrica en aisladores soporte	Realizar limpieza de aislamiento
3	Interruptor de potencia	8	Descarga eléctrica en Cámaras y soporte, Fuga de gas por daño de empaques	Realizar limpieza de aislamiento, proteger empaques
4	Seccionador	24	Descarga eléctrica en aisladores, descalibraciones	Realizar limpieza de aislamiento

5	Trampa de onda	2	Descarga eléctrica en aisladores	Realizar limpieza de aislamiento
6	Transformador y reactor de potencia	9	Descarga eléctrica en bornes, daño de empaques, corrosión	Realizar limpieza de aislamiento, proteger empaques, Tratamiento anticorrosivo
7	Pararrayos	6	Descarga eléctrica	Realizar limpieza de aislamiento
8	Transformadores de medida	7	Descarga eléctrica, daño en empaques	Realizar limpieza de aislamiento

En la tabla 4.3 se muestra las actividades que comprenden el programa de mantenimiento actual.

Tabla 4.3
Plan de mantenimiento

Ítem	Equipo	Actividad	Frecuencia de mantenimiento
1	Cadena de aisladores	Limpieza de aislamiento	01 vez al año
2	Banco de compensación en serie	Limpieza de aislamiento	01 vez al año
3	Interruptor de potencia	Limpieza de aislamiento Protección de empaques	01 vez al año No determinado

4	Seccionador	Limpieza de aislamiento Mantenimiento electromecánico	01 vez al año
5	Trampa de onda	Limpieza de aislamiento	01 vez al año
6	Transformador y reactor de potencia	Limpieza de aislamiento Tratamiento anticorrosivo	01 vez al año Por condición
7	Pararrayos	Limpieza de aislamiento	01 vez al año
8	Transformadores de medida	Limpieza de aislamiento	01 vez al año

4.2. DATOS DE SALIDA

Como datos de salida tenemos la propuesta del nuevo plan de mantenimiento con la finalidad de contrarrestar los efectos causados por clima costeros, esta información resulta del análisis realizado en conjunto de los datos históricos de falla, los eventos anómalos reportados por SENAMHI y el análisis de los diagramas de Pareto, los cuales se detallan en las tablas 4.4 y 4.5.

Esta información crucial de la investigación es el resultado de la investigación mediante el método de análisis Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) desarrollado en el punto 4.3.

Tabla 4.4*Plan de mantenimiento planteado para la Subestación Poroma*

Ítem	Equipo	Actividad	Frecuencia de mantenimiento	Mes de intervención planteado
1	Cadena de aisladores	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	abril
2	Banco de compensación en serie	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	abril
		Tratamiento anticorrosivo	No determinado	mayo
3	Interruptor de potencia	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
		Protección de empaques de posibles puntos de fuga	No determinado	mayo
4	Seccionador	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	Mayo diciembre
		Mantenimiento electromecánico	02 veces al año en seccionadores expuestos al viento a la entrada de la SE	
		Presencia de sarro en contactos principales	Tratamiento anticorrosivo de contactos	
5	Trampa de onda	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
6		Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo

	Transformador y reactor de potencia	Tratamiento anticorrosivo	Por condición	abril
7	Pararrayos	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
		Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
8	Transformadores de medida	Tratamiento anticorrosivo	No determinado	junio
		Sellado de gabinetes secundarios		

Tabla 4.5.

Plan de mantenimiento planteado para la subestación Ocoña

Ítem	Equipo	Actividad	Frecuencia de mantenimiento	Mes de intervención planteado
1	Cadena de aisladores	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	abril
2	Banco de compensación en serie	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	abril
		Tratamiento anticorrosivo	01 vez al año	mayo
3	Interruptor de potencia	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
		Protección de empaques	01 vez al año	mayo
4	Seccionador	Limpieza de aislamiento	01 vez al año 02 veces al año en seccionadores expuestos al	Mayo diciembre

		Mantenimiento electromecánico	viento a la entrada de la SE	
5	Trampa de onda	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
6	Transformador y reactor de potencia	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
		Tratamiento anticorrosivo	01 vez al año	abril
7	Pararrayos	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
8	Transformadores de medida	Limpieza de aislamiento	01 vez al año	mayo
		Sellado de gabinetes secundarios	01 vez al año	

4.3. COMPARATIVO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

A continuación, en la tabla 4.6 se presenta el presupuesto anual de la compañía por las actividades de mantenimiento preventivo en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña.

Tabla 4.6.

Presupuesto de mantenimiento preventivo 2017 al 2023

Presupuesto por mantenimiento preventivo anual (USD)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	78000	78000	78000	78000	78000	78000	78000

Fuente: Propia

En la tabla 4.7 se presenta los costos en dólares de mantenimiento correctivo los cuales no son predecibles al no ser actividades programadas.

Tabla 4.7.*Costos de mantenimiento correctivo 2017 al 2023*

Tipos de fallas	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fallas de aislamiento	5200	2900	3100	3400	3400	3200	5600
Corrosión	1500	10900	8500	4200	6100	3200	8800
Erosión eólica	4500	4500	6300	5100	3700	6300	5100
Fugas de gas SF6	6800	5950	4250	5100	4250	5100	3400

Fuente: Propia

En la tabla 4.8 se compara en porcentaje los costos de mantenimiento preventivo versus el mantenimiento correctivo.

Tabla 4.8.*Comparativo de costos de mantenimiento preventivo y correctivo*

Tipos de fallas	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
% costo Mantto Preventivo	81.3%	76.3%	77.9%	81.4%	81.7%	81.4%	77.3%
% costo Mantto Correctivo	18.8%	23.7%	22.1%	18.6%	18.3%	18.6%	22.7%

En las siguientes figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 se visualiza el comparativo de costos de mantenimiento preventivo y correctivo del 2017 al 2023 respectivamente.

Figura 4.1.
Comparativo Mantenimiento preventivo – correctivo 2017.

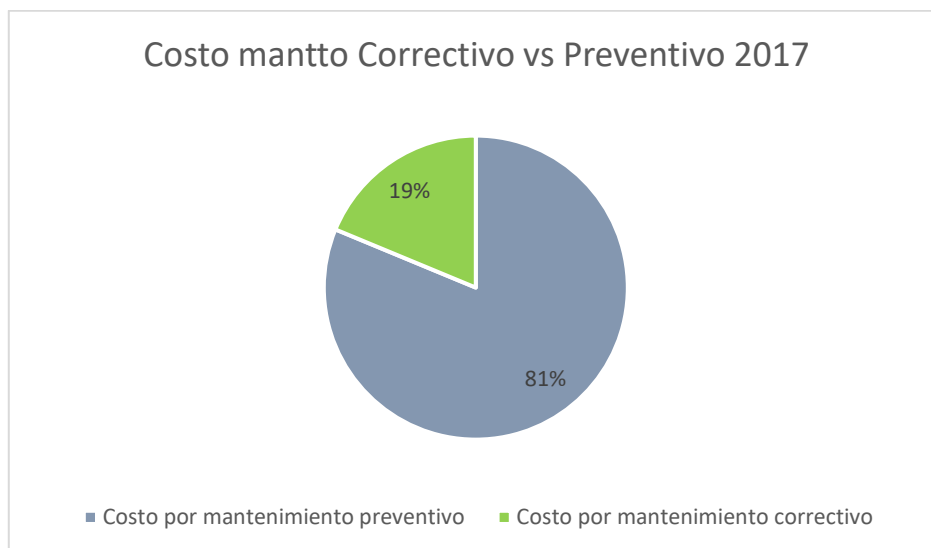


Figura 4.2.
Comparativo Mantenimiento preventivo – correctivo 2018.

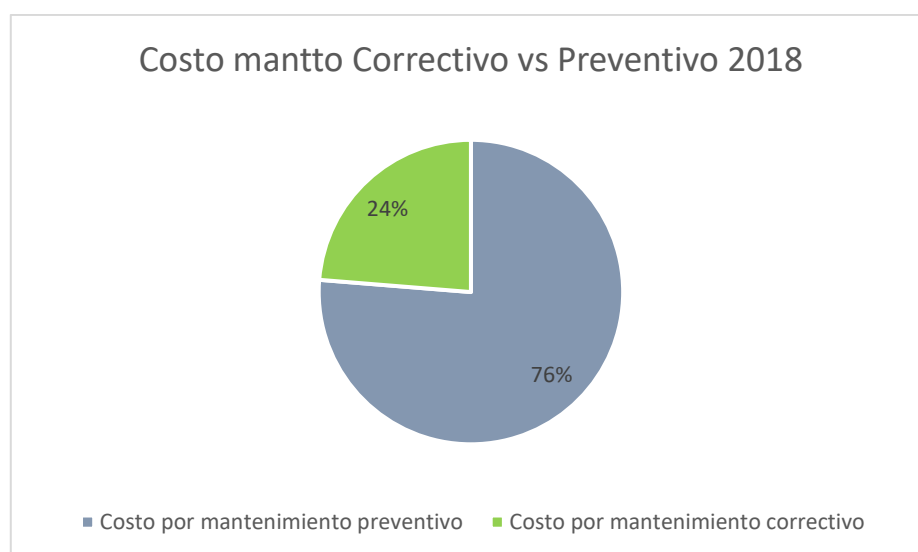


Figura 4.3.
Comparativo Mantenimiento preventivo – correctivo 2019.

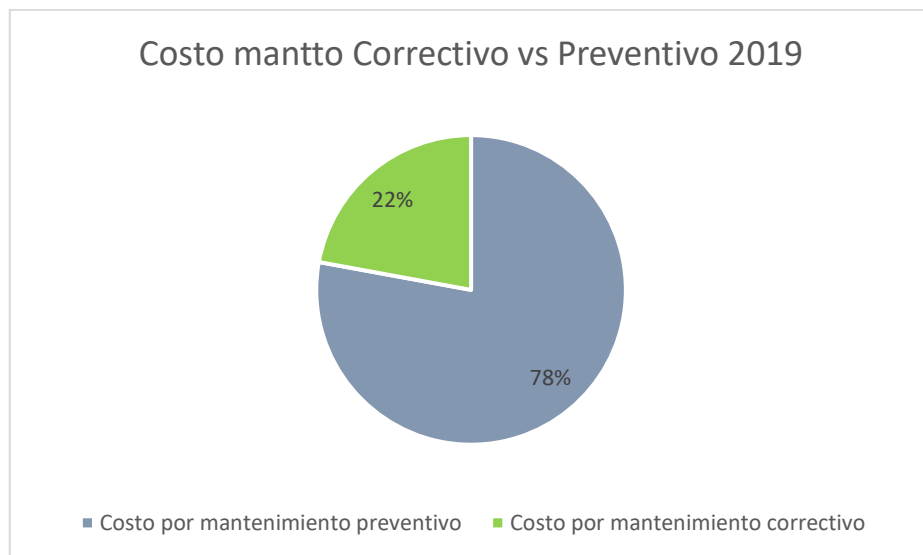


Figura 4.4.
Comparativo Mantenimiento preventivo – correctivo 2020.

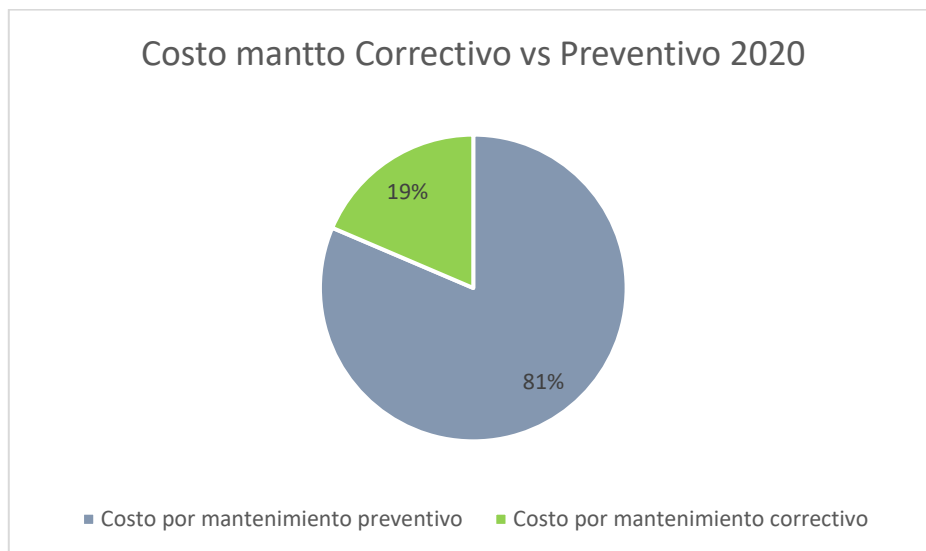


Figura 4.5.
Comparativo Mantenimiento preventivo – correctivo 2021.

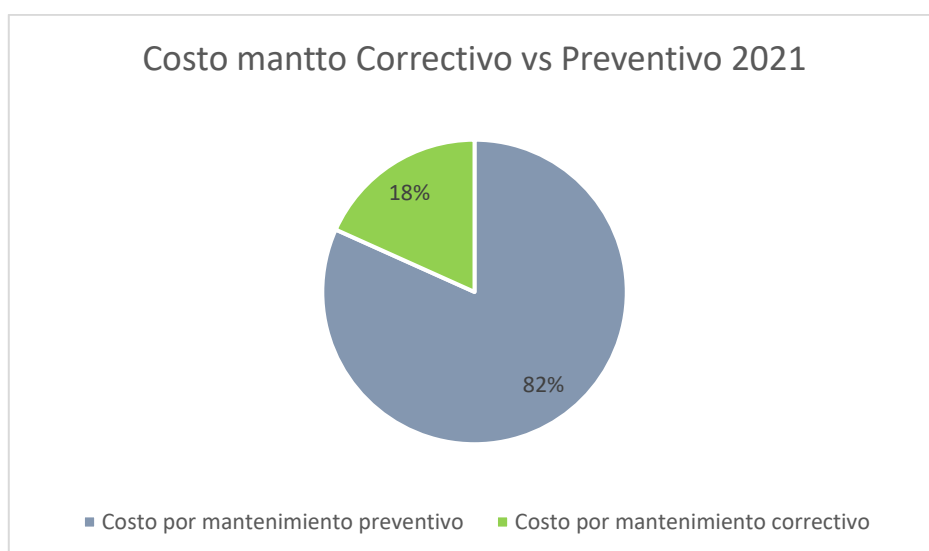


Figura 4.6.
Comparativo Mantenimiento preventivo – correctivo 2022.

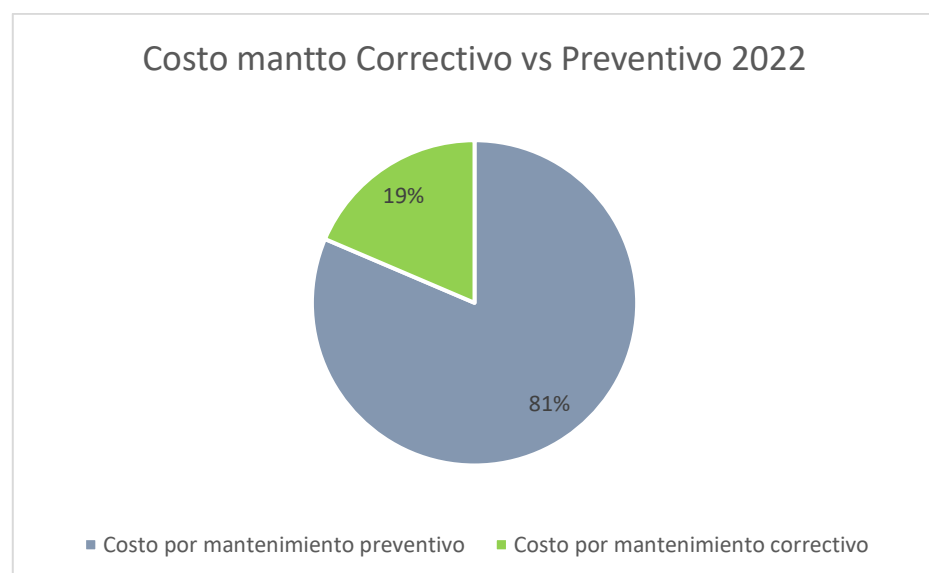
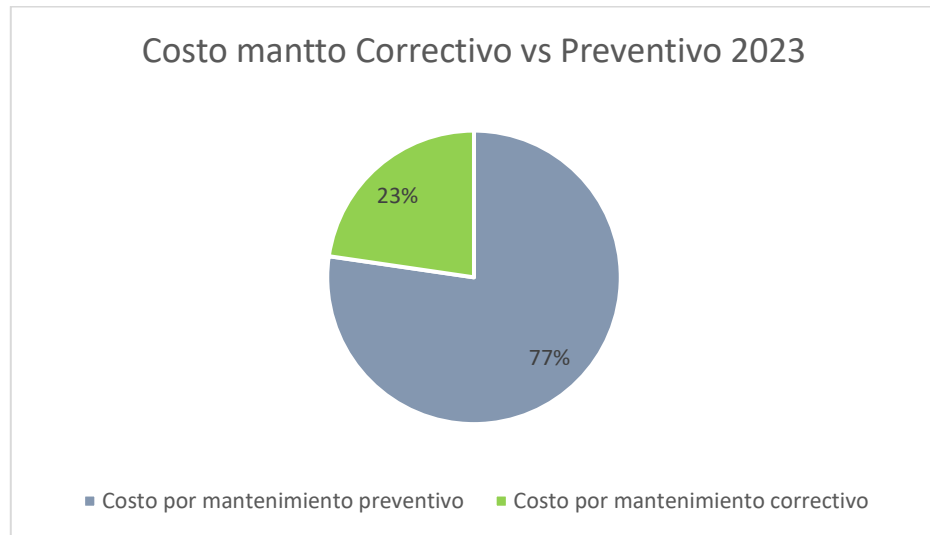


Figura 4.7.
Comparativo Mantenimiento preventivo – correctivo 2023.



4.4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

De la evaluación realizada del actual mantenimiento preventivo de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, se desprende que, para el objetivo general de mejorar el mantenimiento de las subestaciones de estudio, fue necesario identificar el origen de las anomalías provenientes de la afectación del clima costero, hacer un análisis con la información recabada y direccionar el mantenimiento preventivo de las Subestaciones Poroma y Ocoña.

En respuesta al objetivo específico 1 con la base de datos de la compañía se ha consolidado la cantidad de eventos suscitados del 2017 al 2023, referidos a fenómenos climatológicos en las subestaciones de estudio, estos se dividieron en 4 anomalías (Fallas de aislamiento, Corrosión, erosión eólica y Fugas de gas SF6), ver la tabla 3.3.

Referente al objetivo específico 2 con la información pública de SENAMHI de la web, se filtró los avisos meteorológicos de nivel 2, 3 y 4 de las regiones de Ica y Arequipa y se analizó los meses de mayor incidencia, ver tabla 3.2.

En la evaluación mediante diagramas de Pareto y gráficos de tendencia se puede apreciar que la afectación a los equipos de alta tensión de las Subestaciones de estudio se da con mayor incidencia en los meses centrales de año, teniendo un pico en el mes de julio.

Con la base de datos proporcionada por la compañía de los tipos de fallas y con la información obtenida de los meses de mayor afectación, se realiza un análisis de modo y efecto de falla de las 4 anomalías seleccionadas (Fallas de aislamiento, Corrosión, erosión eólica y Fugas de gas SF6) con la finalidad de plantear la medida correctiva.

En respuesta al objetivo específico 5 se determinó mediante los indicadores de mantenimiento, la disponibilidad de la Subestación con todas las anomalías que generaron corte de energía, ver tabla 4.6.

Un resultado importante es el planteamiento del nuevo plan de mantenimiento donde se direcciona la intervención en actividades de mantenimiento preventivo y los meses donde se debe programar estas actividades, tanto la Subestación Poroma y Ocoña deben tener su mantenimiento específico.

Otro aspecto importante respondiendo al objetivo específico 7 es que con los datos actuales del 2024 correspondientes a actividades realizadas por mantenimiento correctivo debido a efectos climatológicos y los proyectados de los

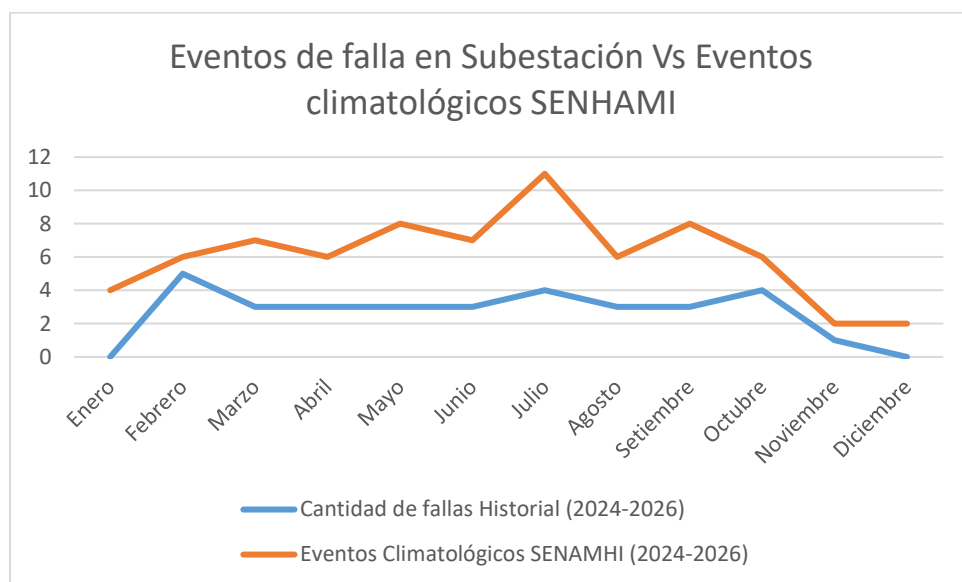
años 2025 y 2026 los cuales fueron estimados, tal como se muestra en la siguiente tabla 4.9.

Tabla 4.9.
Proyección de eventos 2024-2026

Mes	Cantidad de fallas Historial (2024-2026)	Eventos Climatológicos SENAMHI (2024-2026)
Enero	0	4
Febrero	5	6
Marzo	3	7
Abril	3	6
Mayo	3	8
Junio	3	7
Julio	4	11
Agosto	3	6
Setiembre	3	8
Octubre	4	6
Noviembre	1	2
Diciembre	0	2

En la siguiente figura 4.9 comparando ambos eventos, se observa que la tendencia de eventos de falla toma una forma lineal a diferencia de los eventos climatológicos.

Figura 4.8.
Tendencia de eventos de falla vs evento climatológicos



Con esta información se tiene el costo por mantenimiento correctivo del año 2024 y la estimación de los años 2025 y 2026 en la tabla 4.10 los cuales fueron obtenidos mediante la información estadística de la tabla 4.9.

Tabla 4.10.
Costos por mantenimiento correctivo 2024-2026

Costo por mantenimiento correctivo en dólares	Analizado	Proyectado	
	2024	2025	2026
Fallas de aislamiento	3400	3200	2900
Corrosión	4450	4500	3200
Erosión eólica	2800	2477.5	2072.5
Fugas de gas SF6	850	850	850

Se aprecia que el costo total realizado el 2024 por actividades de mantenimiento correctivo producto de efectos climatológicos representa el 50.22% respecto el costo del año 2023, por lo tanto, se tiene una reducción del 49.78% respecto al año anterior. Para los siguientes 2 años se debe reducir 51.84% y 60.60% con la referencia del año 2023.

4.5. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS

Se plantean: H_i = Hipótesis de Investigación, H_o = Hipótesis Nula

H_i : Aplicando un mantenimiento preventivo para las Subestaciones Eléctricas de alta tensión Poroma y Ocoña permitirá reducir los efectos causados por el clima costero.

H_o : Aplicando un mantenimiento preventivo para las Subestaciones Eléctricas de alta tensión de Poroma y Ocoña no permitirá reducir los efectos causados por el clima costero.

Luego del estudio realizado en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña donde se planteó una actualización del plan de mantenimiento preventivo se compararon los valores antes y después del número de fallas originadas por factores costeros y los costos de mantenimiento correctivo.

Tras la implementación del nuevo plan de mantenimiento preventivo se observó una reducción significativa de eventos causados por efectos por climas costeros en las Subestaciones eléctricas de estudio.

Como resultado, las paradas imprevistas de los equipos de alta tensión y costos por mantenimiento correctivo disminuyeron de manera notable. El

direccionamiento de actividades de mantenimiento específicas para cada subestación de estudio permite detectar signos tempranos de deterioro y adelantarnos al mantenimiento antes de la llegada de los meses con clima agresivo.

Decisión, dado que el nuevo plan de **Mantenimiento preventivo** reduce los efectos causados por climas costeros en las Subestaciones eléctricas de Alta tensión Poroma y Ocoña. Se confirma la H_1 hipótesis de investigación y se rechaza la H_0 hipótesis nula.

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con lo mencionado en la Tesis de maestría de Quijano, J. (2013). “Estudio numérico y observacional de la dinámica de viento Paracas, asociado al Transporte eólico hacia el océano frente a la costa de ICA- Perú” menciona como resultados, que la máxima intensidad de los vientos Paracas ocurre entre los meses de Julio y setiembre y las horas con mayor incidencia son entre las 12:00 y 19:00 hora local, por lo tanto se valida la presente investigación, el cual se contrasta que al realizar la recopilación de eventos de falla suscitados en las Subestaciones Poroma y Ocoña, y los avisos meteorológicos de SENAMHI coinciden en los meses de la investigación de Quijano.

También La tesis de maestría de Mahecha, W. (2019) “Metodología para el desarrollo de un modelo de Gestión de mantenimiento aplicado a Subestaciones de distribución de energía eléctrica” busca a través de la intervención en equipos de patío críticos de una Subestación eléctrica, garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico, de esta manera optimiza el proceso de mantenimiento al direccionar ciertas actividades en dichos equipos de la subestación, por lo tanto se valida la presente

tesis ya que en base a toda la información obtenida del historial de fallas y eventos de SENAMHI de los últimos 7 años, se ha direccionado el plan de mantenimiento de las Subestaciones Poroma y Ocoña seleccionando diversas frecuencias de intervención para ciertos equipos de patio y también determinados meses donde la intervención será más eficiente con la finalidad de reducir indisponibilidades y costos de mantenimiento correctivo elevado.

CONCLUSIONES

1. De esta manera se logró consolidar un historial de los eventos causados por fallas originadas por el clima costero en los equipos de alta tensión del 2017 al 2023 suscitados en las Subestaciones Poroma y Ocoña, los cuales fueron de gran trascendencia para el análisis y la actualización de plan de mantenimiento preventivo.
2. Mediante la extracción de la información de SENAMHI de todos los avisos meteorológicos que se presentaron en las regiones Ica y Arequipa en del 2017 al 2023 se brindó un soporte importante al contrastar los meses donde se suscitaron fallas en las subestaciones de estudio y el nivel de riesgo de los avisos meteorológicos.
3. A partir de los resultados obtenidos y el análisis realizado mediante la metodología de los diagramas de Pareto y gráficos de tendencia, se concluye que al recopilar información sobre los informes de condiciones climatológicas adversas emitida por SENAMHI y el historial de fallas en las Subestaciones Poroma y Ocoña, podemos determinar los meses más críticos en términos de ocurrencia de eventos no deseados, los cuales se concentran entre mayo y agosto.
4. En cuanto al análisis AMEF (Análisis de modo y efecto de falla) realizado, se analizó el tipo de fallas suscitados por eventos climatológicos costeros, y se ha determinado el número de prioridad de riesgo y las acciones a tomar con la finalidad de mitigar su afectación a la operación normal de las Subestaciones de estudio, ver tabla 3.9.

5. Los equipos de alta tensión presentan alta disponibilidad debido a que los tiempos medio para restaurar son cortos a diferencia de los tiempos medio entre falla.
6. Se concluye que en base al análisis estadístico realizado de las ocurrencias de falla de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña producto de efectos climatológicos costeros y los meses de mayor incidencia según información de SENAMHI es necesario implementar un nuevo plan de mantenimiento direccionado a cada Subestación y con frecuencias de mantenimiento particulares en ciertos equipos de patio.
7. Por último, en temas de costos logramos apreciar una reducción importante en el año 2024, se aprecia que el costo total realizado el 2024 por actividades de mantenimiento correctivo producto de efectos climatológicos representa el 50.22% respecto el costo del año 2023, **por lo tanto, se tiene una reducción del 49.78% respecto al año anterior.** Para los siguientes 2 años se debe reducir 51.84% y 60.60% con la referencia del año 2023.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere la implementación de un programa de mantenimiento anual específico para cada subestación eléctrica, priorizando en particular las actividades preventivas. Esto nos permitirá prevenir inconvenientes causados por intervenciones correctivas derivadas de condiciones climatológicas costeras anómalas, Basándonos en los hallazgos de esta investigación, se propone iniciar estas actividades de la siguiente manera:
2. Se sugiere que se inicien las tareas de limpieza del aislamiento de equipos de patio y cadenas de aisladores en los meses de abril y mayo de cada año. Este enfoque se fundamenta en la necesidad de prevenir contratiempos y fallos durante la temporada invernal en la zona costera. Llevar a cabo estas labores de limpieza de manera puntual asegura un rendimiento óptimo y reduce al mínimo los riesgos relacionados con condiciones climáticas desfavorables
3. Es altamente recomendable llevar a cabo la protección de los empaques de los interruptores durante los primeros meses del año, con el fin de prevenir fugas de gas SF₆. Esta medida de protección es fundamental para asegurar un funcionamiento seguro y confiable de los interruptores, evitando pérdidas de gas y minimizando los posibles impactos ambientales y riesgos asociados. Al implementar esta práctica en el

momento adecuado, se garantiza la integridad del sistema y se optimiza su desempeño.

4. Es esencial llevar a cabo inspecciones y mantenimientos preventivos anticorrosivos en los puntos identificados donde se ha detectado corrosión en la Subestación Eléctrica Poroma. Estas actividades deben realizarse una vez al año, preferiblemente durante los primeros meses del año. Este enfoque garantizará la protección y el adecuado funcionamiento de los equipos y estructuras, previniendo el deterioro causado por la corrosión. Al implementar estas medidas de manera regular y oportuna, se asegura la integridad y confiabilidad de la Subestación eléctrica.
5. Se sugiere implementar el nuevo plan de mantenimiento durante un periodo de 3 años. Posteriormente, se deben evaluar los resultados obtenidos utilizando indicadores de fallas para determinar la efectividad del plan. Esta evaluación permitirá tomar decisiones informadas sobre la continuidad del plan o identificar áreas de mejora necesarias. Al realizar este seguimiento y análisis sistemático, se busca asegurar la optimización continua de las actividades de mantenimiento y garantizar la confiabilidad y rendimiento óptimo del sistema.
6. Dado que el personal técnico de mantenimiento presenta deficiencias en términos de conocimientos técnicos cualitativos y cuantitativos en el ámbito del mantenimiento, se sugiere la implementación de programas de capacitación y concientización específicos sobre las actividades de mantenimiento preventivo. Estas iniciativas tienen como objetivo mejorar la preparación del personal, brindándoles las habilidades y conocimientos

necesarios para llevar a cabo de manera efectiva las labores de mantenimiento preventivo. Al fortalecer la formación técnica del personal, se promueve una mayor eficiencia, reduciendo las posibilidades de errores y mejorando la confiabilidad y el rendimiento de los equipos y sistemas.

7. Para implementar adecuadamente las recomendaciones propuestas, es esencial que el personal del departamento de programación de la empresa comprenda el impacto generado por las condiciones climáticas costeras en las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña. Esto les permitirá tener una perspectiva más realista y precisa al mejorar el plan de mantenimiento. Mediante una comprensión profunda de los desafíos específicos asociados al clima costero, el personal estará mejor equipado para desarrollar estrategias efectivas y ajustar el plan de mantenimiento de manera más acertada.
8. Se sugiere dar continuidad a la investigación de las nuevas fallas que surgen como resultado del impacto del clima costero en las subestaciones eléctricas objeto de estudio. Estas nuevas fallas deben ser debidamente analizadas y documentadas para luego ser incorporadas en el plan de mantenimiento existente. Al realizar este proceso de manera sistemática, se garantiza la actualización y mejora constante del plan de mantenimiento, permitiendo abordar de manera efectiva los desafíos específicos relacionados con el clima costero. Esta práctica contribuirá a la confiabilidad y el rendimiento óptimo de las Subestaciones eléctricas.

9. Por último, se recomienda seguir con la extracción de datos de avisos meteorológicos de SENAMHI en los siguientes años, con la finalidad de seguir contrastando y/o actualizando la tendencia de meses con mayor afectación por el clima costero de la zona sur del Perú, considerar avisos de nivel 2, 3 y 4.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORDA, A. (2014). Planificación del mantenimiento para la gestión de activos en la red de distribución de energía eléctrica, utilizando métodos y análisis estadístico de datos de interrupción caso SEAL Arequipa. Facultad de ingeniería de producción y servicios. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tesis de maestría en Gestión de la energía.
- CARRILLO, J. CIDRÁS, J. (2003) Compensadores estáticos de potencia reactiva.
- CASTILLO, R. OVIEDO, O. CANDELO, J.& SOTO, J (2018). Modelo de corriente de fuga de aisladores cerámicos sometidos a altos niveles de polución para mejorar las actividades de mantenimiento. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de minas.
- CHICO, B. OTERO, E. MARIACA, L. & MORCILLO, M. (1998). La corrosión en atmósferas marinas Efecto de la distancia a la costa. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Revista de Metalurgia.
- EAHSA ARTECHE. (2008). Transformadores de Tensión Capacitivos y Condensadores de Acoplamiento hasta 765 kV.
- EMAD, I. (1998). Corrosion Control in Electric Power Systems. Department of Electrical Machines and Power Engineering. Faculty of Engineering. Helwan University.
- GOMEZ, I. (2005). Evaluación del índice de salidas de líneas de transmisión de alta tensión en ambientes contaminados. Departamento de ingeniería eléctrica. Instituto politécnico nacional.

- GRONDES, I. LAJES, S. & DEL CASTILLO, S (2017). Gestión del mantenimiento a interruptores de potencia. Revista chilena de ingeniería vol. 26 No 2, 2018, pp. 192-202.
- IDME MACHACA, V. (2018). Planteamiento de una metodología para la implementación de proyectos de transmisión eléctrica en empresas de distribución del estado peruano. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Tesis de maestría en administración y dirección de proyectos.
- JACINTO TAYCO, M. (2014). Propuesta de un sistema de indicadores ambientales y socio económicos en la zona marino costera de Pisco – Paracas. Facultad de ingeniería ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis de maestría en ciencias con mención en Gestión ambiental.
- MAHECHA, W. (2019). Metodología para el desarrollo de un modelo de Gestión de mantenimiento aplicado a subestaciones de distribución de energía eléctrica. Facultad de ingeniería. Universidad de Ibagué. Tesis de maestría en Gestión industrial.
- MOLINA, J. VILLADA, F. & MESA, N. (2011). La corrosión atmosférica en sistema de transporte de energía eléctrica: modelo de vida útil y su remuneración de Colombia. Universidad de Antioquia. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- MURGA, A. (2018). Servicio de identificación de ciudades de atmosferas homogéneas considerando la Norma ISO 9223, donde se determinan las estaciones de monitoreo del estudio de corrosión atmosférica en el territorio nacional.
- POMA MONTES, M. (2016). Corrosión en el sector eléctrico en la zona costera del Perú. Cite energía.

- POMA MONTES, M. (2017). Sistema de Pararrayos y su importancia para la seguridad. Cite energía.
- QUIJANO, J. (2013). Estudio numérico y observacional de la dinámica de viento Paracas, asociado al Transporte eólico hacia el océano frente a la costa de ICA-Perú. Universidad Nacional Cayetano Heredia. Tesis de maestría en ciencias del mar.
- RAMÍREZ, C. (2003). H MV Ingenieros - Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión.
- SALAS, D. (2013). Diagnóstico, análisis y propuesta de mejora al proceso de gestión de interrupciones imprevistas en el suministro eléctrico de baja tensión. Facultad de Gestión y alta dirección. Pontificia Universidad Católica del Perú. Tesis de título de Gestión empresarial.
- SECTOR ELECTRICIDAD. (2018). Sistema de compensación en serie.
- SEGUROS RIMAC (2020). Vientos Paracas. Centro de monitoreo y prevención Rimac. Artículo de interés.
- TRUJILLO, C. (2018). Contribución de las dunas costeras en los servicios ecosistémicos en el litoral de Tanaca, distrito de Yauca, provincia de Caravelí, Región Arequipa 2017. Facultad de ciencias histórico-sociales. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tesis de maestría en ciencias con mención en Geografía Ambiental y Ordenamiento Territorial.
- BONET CARLOS (2005). Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad. Ingeniería mecánica. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Convención científica de ingeniería y arquitectura. Ingeniería mecánica, Vol.8 número 3.
- SENAMHI. Aviso Meteorológico a nivel nacional 2017 – 2023.
- [SENAMHI - Aviso Meteorológico](#)

ANEXOS

ANEXO 1: <u> </u> MATRIZ DE CONSISTENCIA	1
--	---

ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	METODOLOGÍA
¿De qué manera el mantenimiento preventivo de subestaciones eléctricas de alta tensión Poroma y Ocoña reducirá los efectos causados por el clima costero?.	Mejorar el mantenimiento preventivo en las Subestaciones Eléctricas de Alta tensión de Poroma y Ocoña para reducir los efectos causados por el clima costero.	Aplicando un mantenimiento preventivo para las Subestaciones Eléctricas de alta tensión de Poroma y Ocoña permitirá reducir los efectos causados por el clima costero.	<u>V. Independiente:</u> X: Mantenimiento preventivo en Subestaciones eléctricas de alta tensión <u>Indicadores</u> X1: Fallas de equipos de subestaciones por clima costero X2: Tiempo medio entre fallas de los equipos de alta tensión X3: Tiempo medio para restaurar de los equipos de alta tensión X4: Análisis de Modo y Efecto de falla. <u>V. Dependiente:</u> Y: Reducir efectos causados por el clima costero <u>Indicadores</u> Y1: Técnicas de procesamiento de datos Y2: Disponibilidad de equipos Y3: Plan de mantenimiento preventivo Y4: Costos de mantenimiento correctivo y preventivo	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Explicativo o causal Enfoque: Cuantitativo Diseño de la investigación: Cuasi experimental

PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	DIMENSIONES:	POBLACIÓN Y MUESTRA:
¿De qué manera la extracción de un historial de eventos de falla de las subestaciones Poroma y Ocoña causados por el clima costero permitirá nutrir el plan de mantenimiento preventivo?.	1. Consolidar un historial de los eventos causados por fallas originadas por el clima costero en los equipos de alta tensión del 2017 al 2023 suscitados en las Subestaciones Poroma y Ocoña.	1. Consolidando un historial de los eventos causados por fallas originadas por el clima costero en los equipos de alta tensión y cadena de aisladores de la Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, se logrará tener un mejor panorama e identificar los tipos de equipos que vienen siendo más afectados y designar una adecuada frecuencia de mantenimiento preventivo.	<u>Dimensiones de variable Independiente</u> Indisponibilidad de equipos Duración del tiempo medio entre fallas Duración del tiempo medio para restaurar Criticidad de anomalías	Técnicas e instrumentación de recolección de datos Fuentes abiertas Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos Diagrama de Pareto Gráficos comparativos Indicadores AMEF
¿De qué manera la elaboración de un diagrama de Pareto, gráficos de tendencia, indicadores y AMEF permitirá dar un mejor panorama para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo?.	2. Extraer la información de SENAMHI de todos los avisos meteorológicos que se presentaron en las regiones Ica y Arequipa en del 2017 al 2023.	2. Evaluando en qué temporadas del año se presenta mayor índice de fallas originadas por el clima costero y basándonos en el análisis del diagrama de Pareto, AMEF, Indicadores se podrá direccionar la programación del mantenimiento preventivo de manera más eficiente, y de esta manera evitar pérdidas económicas innecesarias por mantenimiento correctivo en la Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña.	<u>Dimensiones de variable Dependiente</u> Estadística y métodos de mantenimiento Operación de equipos de subestación Frecuencias de mantenimiento Costos totales anual	
¿De qué manera la evaluación de los registros climatológicos de SENAMHI permitirá enfocar de una mejor manera la programación de actividades del plan de mantenimiento preventivo?.	3. Evaluar en Analizar mediante el diagrama de Pareto, gráficos de tendencia y tablas, que meses son los más afectados en los equipos de patio por la incidencia del clima costero en las Subestaciones Poroma y Ocoña.	3. Direccionando y mejorando el plan de mantenimiento preventivo ante fallas originadas por el clima costero se dará mayor confiabilidad a los		
¿De qué manera la disminución de gastos asociados a mantenimiento correctivo debido a intervenciones por fallas originadas por las	4. Evaluar las fallas de los equipos de las subestaciones eléctricas de estudio utilizando la herramienta de Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).			

condiciones climáticas, permitirá evitar afectar a la compañía?.

5. Determinar el indicador de disponibilidad del periodo del 2017 al 2023 de origen climatológico que generó corte de suministro eléctrico en las subestaciones Poroma y Ocoña.
6. Direccinar las frecuencias de intervención y mejorar el plan de mantenimiento actual de las subestaciones Poroma y Ocoña.
7. Disminuir los costos asociados al mantenimiento correctivo requerido debido a las intervenciones por fallas originadas por las condiciones climáticas costeras en los equipos de alta tensión de las Subestaciones Poroma y Ocoña.

- equipos de las subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña, específicamente en relación con las fallas causadas por el clima costero. Al abordar estas fallas de manera más efectiva, podremos aumentar la confiabilidad de los equipos y reducir las situaciones en las que se requiere justificar indisponibilidades ante los clientes finales.
4. Implementando el nuevo plan de mantenimiento preventivo se reducirán los costos anuales de mantenimiento correctivo y de esta manera evitar pérdidas económicas innecesarias en las Subestaciones eléctricas Poroma y Ocoña.