

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE AISLADORES DE VIDRIO
RECUBIERTOS CON GOMA SILICONA EN LA ZONA DE LIMA DEL PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE SISTEMAS DE
ENERGÍA ELÉCTRICA**

NEYMER HARO LÓPEZ

CALLAO, 2021

PERÚ

Document Information

Analyzed document Tesis carelec 16-09-2020.docx (D86059743)
Submitted 11/20/2020 2:03:00 PM
Submitted by
Submitter email neymerh@gmail.com
Similarity 0%
Analysis address fiee.posgrado.unac@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://www.coes.org.pe/Portal/eventos/relevantes/GUTI Fetched: 11/20/2020 4:13:00 PM	 1
SA	Universidad Nacional del Callao / TESIS - MONITOREO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS AISLADORES DE LAS LÍNEAS DE ... Document: TESIS - MONITOREO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS AISLADORES DE LAS LÍNEAS DE ... (D54012540) Submitted by: glanfrancohinoestroza@gmail.com Receiver: investigacion.fiee.unao@analysis.orkund.com	 2

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

TÍTULO: “ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE AISLADORES DE VIDRIO RECUBIERTOS CON GOMA SILICONA EN LA ZONA DE LIMA DEL PERÚ”

AUTOR:

- **Nombre y Apellidos:** NEYMER HARO LÓPEZ
 - Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2713-2626>
 - DNI: 46161235

ASESOR:

- **Nombre y Apellidos:** CIRO ÍTALO TERÁN DIANDERAS
 - Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7830-6435>
 - DNI: 07850380

LUGAR DE EJECUCIÓN: Zona de Lima del Perú

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada

UNIDAD DE ANÁLISIS: Aisladores de vidrio con recubierto de goma silicona

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo, correlacional y explicativo

Tema OCDE: 2.2.1 INGENIERÍA ELÉCTRICA, INGENIERÍA ELECTRÓNICA

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Ing	: JUAN HERBER GRADOS GAMARRA	PRESIDENTE
Dr. Ing.	: FERNANDO JOSÉ OYANGUREN RAMÍREZ	SECRETARIO
Dr. Lic.	: ADÁN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS	MIEMBRO
Mg. Lic.	: JUAN NEIL MENDOZA NOLORBE	MIEMBRO
Dr.	: CIRO ITALO TERAN DIANDERAS	ASESOR

Nº DE LIBRO : 1

FOLIO : 102

FECHA DE APROBACIÓN : 13 DE MARZO 2021

RESOLUCIÓN DIRECTORAL : Nº 245-2018-CU

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre Domitila López Carlos, quien es ejemplo de esfuerzo, perseverancia, estrategia y mucho más. La mujer que más admiro.

A mi padre Maximo Haro Quiroz, quien me recuerda que lo único que nos diferencia de los demás es el esfuerzo que le dedicamos a nuestras tareas.

AGRADECIMIENTO

A dios por mantener a mi familia unida y siempre acompañarme en esta trayectoria profesional.

A mi familia por el sacrificio para darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.

A CARELEC por permitir que los profesionales del sector electricidad estén en constante aprendizaje.

A la Universidad Nacional del Callao por darnos las facilidades y herramientas para culminar la Maestría en Ingeniería Eléctrica con Mención en Gestión de Sistemas de Energía Eléctrica.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	9
RIASSUNTO	10
INTRODUCCIÓN	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 Descripción de la realidad problemática	15
1.2 Formulación del problema.....	21
1.2.1 Problema general	21
1.2.2 Problema específico	21
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivo específico	22
1.4 Limitantes de la investigación	22
1.4.1 Teórico	22

1.4.2	Temporal	22
1.4.3	Espacial.....	23
II.	MARCO TEÓRICO	23
2.1	Antecedentes	23
2.1.1	Internacional.....	23
2.1.2	Nacional	25
2.2	Bases teóricas	31
2.2.1	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)	31
2.2.2	Norma SAE JA1011 – criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad.....	32
2.2.3	Recubrimientos RTV	33
2.2.4	Influencia del trihidrato de alúmina (ATH) en el RTV.....	33
2.2.5	Hidrofobicidad:.....	34
2.2.6	Mantenimiento de aisladores recubiertos con RTV	35
2.3	Conceptual.....	37
2.4	Definición de términos básicos	38
2.4.1	Densidad equivalente de sal depositada (ESDD).....	38
2.4.2	Densidad de depósitos no solubles (NSDD)	38
2.4.3	Contexto operacional.....	38
2.4.4	Corriente de fuga.....	39
2.4.5	Fallas funcionales.....	39

2.4.6	Humedad relativa	40
2.4.7	Niveles de contaminación.....	40
2.4.8	Cámara de niebla salina.....	40
2.4.9	Goma silicona.....	40
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	41
3.1	Hipótesis	41
3.1.1	Hipótesis general.....	41
3.1.2	Hipótesis específicas	41
3.2	Definición conceptual de variables.....	41
3.2.1	Variables independientes	41
3.2.2	Variables dependientes	42
3.2.3	Operacionalización de variables.....	42
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	44
4.1	Tipo y diseño de investigación	44
4.1.1	Diseño descriptivo	44
4.1.2	Diseño correlacional	44
4.1.3	Diseño explicativo.....	44
4.2	Método de investigación	45
4.3	Población y muestra.....	46
4.3.1	Población:.....	46
4.3.2	Muestra:	47

4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado	47
4.4.1	Lugar:	47
4.4.2	Periodo:	47
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	48
4.5.1	Técnicas para recolección de datos	48
4.5.2	Instrumentos para recolección de datos	48
4.6	Análisis y procesamiento de datos	49
4.6.1	Revisión de eventos ocurridos en las líneas	49
4.6.2	Geografía del recorrido de las líneas de transmisión	52
4.6.3	Temperatura y humedad relativa	59
4.6.4	Meses y horas en las que se produce fallas	63
4.6.5	Evidencia de fallas por aislamiento	65
4.6.6	Pruebas de contaminación en aisladores de la línea L5001	69
4.6.7	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para aisladores recubiertos con goma silicona	72
4.7	Análisis costo beneficio	76
V.	RESULTADOS	77
5.1	Resultados descriptivos	77
5.1.1	Tipo de mantenimiento	77
5.1.2	Frecuencia de mantenimiento	82
5.2	Resultados inferenciales	91

5.2.1	Tipo de mantenimiento	91
5.2.2	Frecuencia de mantenimiento	91
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	92
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	92
6.1.1	Prueba de hipótesis general.....	93
6.1.2	Prueba de hipótesis específica 1	94
6.1.3	Prueba de hipótesis específica 2.....	96
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	97
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes.....	98
VII.	CONCLUSIONES.....	99
VIII.	RECOMENDACIONES.....	101
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
	ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Historial de eventos en la línea L5001	49
Tabla 2:	Historial de eventos en la línea L5006, zona Lima.....	50
Tabla 3:	Historial de eventos en la línea L2110, zona Lima.....	51
Tabla 4:	recuento de eventos en la línea L5001	64
Tabla 5:	Recuento de eventos en la L5006.....	65
Tabla 6:	Recuento de eventos en la L2110.....	65

Tabla 7: Costos de mantenimiento de la línea L5001 en el año 2016 y 2017..	76
Tabla 8: Recuento de eventos por perdida de aislamiento en la línea L5001 ..	82
Tabla 9: Historial de mantenimiento de los aisladores en la línea L5001.....	83
Tabla 10: Recuento de eventos por perdida de aislamiento en la línea L5006, zona Lima.....	86
Tabla 11: Historial de mantenimiento de los aisladores en la línea L5006, Zona Lima.	87
Tabla 12: Recuento de eventos por perdida de aislamiento en la línea L2110, zona Lima.....	89
Tabla 13: Historial de mantenimiento de los aisladores en la línea L2110, Zona Lima	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fotografía de renovación de grasa silicona	15
Figura 2: Perdida de aislamiento en la torre T535 de la L2110.....	18
Figura 3: T117 de la L5001	19
Figura 4: Tipos de aisladores a los que se realizó las pruebas de ESDD	26
Figura 5: Nivel de contaminación de los aisladores después de 2 meses	27
Figura 6: Nivel de contaminación de los aisladores después de 2 meses	27
Figura 7: Nivel de contaminación de los aisladores después de 4 meses	28
Figura 8: Nivel de contaminación de los aisladores después de 4 meses	28
Figura 9: Nivel de contaminación de los aisladores después de 6 meses	29
Figura 10: Nivel de contaminación de los aisladores después de 6 meses	29
Figura 11: Cámara de niebla salina en la que se realizaron las pruebas.....	31

Figura 12: Recorrido de la L5001, desde Chilca hasta Carabaylo	52
Figura 13: Colchón de neblina en el vano T110 de la L5001	53
Figura 14: valle costero permite el flujo de vientos marinos a la costa	54
Figura 15: Recorrido de la línea L5006 en la zona de Lima	55
Figura 16: Vano de la Torre T07 de la L5006	55
Figura 17: Valla costero y línea de vista al mar.....	56
Figura 18: Recorrido de la línea L2110 en la zona de Lima	57
Figura 19: T453 de la L2110	57
Figura 20: Valle costero y línea de vista al mar.....	58
Figura 21: Comportamiento de la temperatura LIMA-ESTE.....	59
Figura 22: Comportamiento de la Humedad relativa LIMA-ESTE	60
Figura 23: Correlación entre la temperatura y la humedad relativa LIMA - ESTE	60
Figura 24: Comportamiento de la temperatura AGUA-AZUL	61
Figura 25: Comportamiento de la Humedad relativa AGUA-AZUL	61
Figura 26: Correlación entre la temperatura y la humedad relativa AGUA - AZUL	62
Figura 27: Comportamiento de la HR% y la temperatura en un día.....	63
Figura 28: T145 de la L5001 (01 de junio del 2017).....	66
Figura 29: T117 de la L5001 (fecha 15/09/2017)	67
Figura 30: Efluvios nivel 3 en la torre T08 de la L5006,	68
Figura 31: Informe de inspección nocturna	68
Figura 32: T535 de la línea L2110 (25 de junio del 2016).....	69
Figura 33: severidad de contaminación de acuerdo IEC60815-1 2008.....	70

Figura 34: Severidad de la contaminación en T102 L5001	71
Figura 35: Diagrama de fallas funcionales en el aislamiento	74
Figura 36: Causa de las fallas funcionales.....	74
Figura 37: T02 de la línea L5011, aislador con grasa silicona aplicado sobre la goma silicona	78
Figura 38: Aisladores recubiertos con goma silicona contaminados T542 L2110	80
Figura 39: Limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona de la L5006	80
Figura 40: Limpieza de aisladores en cadenas de suspensión.....	81
Figura 41: Aisladores después de la limpieza con trapo arpillero (L5006)	82
Figura 42: Disponibilidad de la línea L5001	93
Figura 43: Disponibilidad de la línea L2110	94
Figura 44: Contaminación en aislador recubierto con goma silicona de la L2110	96

RESUMEN

Desde el año 2015 se han presentado recierres exitosos y desconexiones en las líneas de transmisión L5001, L5006 y L2110 por pérdida de aislamiento en las cadenas de aisladores recubiertas con goma silicona.

El objetivo del presente trabajo consiste establecer una estrategia de mantenimiento para los aisladores recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú, para lo cual se analizarán los eventos ocurridos en las líneas L5001, L5006 y L2110 desde su puesta en servicio, correlacionaremos las características de las fallas por pérdida de aislamiento y determinaremos los factores que deben de ser tomados en cuenta para determinar las actividades de mantenimiento.

Luego del análisis basado en bibliografía del CIGRE, IEEE e investigaciones relacionadas, se determinó la estrategia de mantenimiento de los aisladores recubiertos con goma silicona, la cual debe de ser a condición. Así mismo, se identificó las características de las zonas de alta contaminación, las cuales deben ser mantenidas cada año desde el primer recierre o desconexión.

RIASSUNTO

Dal 2015 si sono verificate con successo chiusure e disconnessioni nelle linee di trasmissione L5001, L5006 e L2110 a causa della perdita di isolamento nelle stringhe di isolatori ricoperte di gomma siliconica.

L'obiettivo del presente lavoro è definire una strategia di manutenzione per gli isolatori ricoperti di gomma siliconica nell'area di Lima in Perù, per i quali verranno analizzati gli eventi che si sono verificati nelle linee L5001, L5006 e L2110 dalla loro messa in servizio, metteremo in correlazione le caratteristiche dei guasti dovuti alla perdita di isolamento e determineremo i fattori che devono essere presi in considerazione per determinare le attività di manutenzione.

Dopo l'analisi basata sulla bibliografia di CIGRE, IEEE e relative indagini, è stata determinata la strategia di manutenzione degli isolatori rivestiti in gomma siliconica, che deve essere condizionale. Parimenti sono state individuate le caratteristiche delle zone ad alta contaminazione, che devono essere mantenute ogni anno dalla prima richiusura o disconnessione.

INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión de energía eléctrica en la zona de concesión del Departamento Transmisión Centro, de la empresa Red Energía del Perú, Zona Lima. Tiene características medioambientales especiales, con el clima húmedo durante la noche y parte del día y extremadamente húmedo por las noches y madrugadas, el suelo es desértico con alta presencia de salitre y se tienen vientos que aumentan la condensación en ciertas zonas del valle costero por donde pasan líneas de 500kV y 220kV.

En las distintas líneas de transmisión del Departamento de Transmisión Centro, de la empresa Red Energía del Perú, se tienen diferentes técnicas para mantener el aislamiento de las líneas de transmisión de energía eléctrica, se realiza: limpieza de aisladores, renovación de grasa silicona y en determinadas zonas no se realiza mantenimiento de aisladores. Desde el año 2010, con el ingreso de los proyectos nuevos, como las líneas L-5001(Chilca–Carabayllo) en 500kV, L-5006 (Carabayllo – Chimbote) en 500kV y L-2110(Huanza-Carabayllo) en 220kV en las que se empezó hacer uso de cadenas de aisladores de vidrio recubierto con goma silicona para garantizar el mayor tiempo de libre mantenimiento. y así reducir los costos incurridos en mantenimiento. Las ventajas de esta tecnología son su alta hidrofobicidad, alta adherencia al vidrio, facilidad en su aplicación, superficies lisas, entre otros. Aproximadamente, 4 años después de implementada dicha tecnología se han tenido fallas en las líneas L-5001 (Chilca–Carabayllo) en 500Kv, L-5006 (Carabayllo-Chi,bote) en 500kV y L-2110 (Huanza-Carabayllo) en 220kV, por pérdida de aislamiento, cuando no

se esperaba ninguna desconexión por este tipo de modo de falla. De ahí que el presente trabajo tenga como objetivo determinar la estrategia de mantenimiento de los aisladores recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú.

Se utilizó la metodología del Mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC) para determinar las fronteras de las cadenas de aisladores, determinar los parámetros mínimos de operación, los modos de falla, las causas que generan los modos de fallas, las consecuencias de las fallas y las actividades que evitarían desconexiones de línea de transmisión por pérdida de aislamiento.

Las actividades que indique la metodología del MCC serán analizadas desde la puesta en servicio hasta mayo del año 2020 de las líneas de transmisión L5001, L5006 y L2110. Las características de los eventos ocurridos en las líneas mencionadas serán correlacionadas para determinar las características de las zonas en las que se produce las fallas por pérdida de aislamiento.

En el capítulo I, describiremos algunos eventos ocurridos en las líneas de transmisión L5001, L5006 y L2110 y formularemos el problema, determinaremos los objetivos y los límites de la investigación.

En el capítulo II, se resume las conclusiones más importantes de investigaciones relacionados al tema de la presente tesis. Se identifican las bases teóricas que nos ayudaran a justificar los resultados y definiremos los conceptos más importantes.

En el capítulo III, determinaremos las hipótesis que deseamos comprobar. Se ha propuesto que la limpieza de aisladores debe de ser con trapo arpillero seco, seguidamente con trapo arpillero húmedo. Así mismo, que la frecuencia de estas actividades deben de ser cada 4 años, basados en que la primera falla en la línea de transmisión L5001 fue a los 4.5 años.

En el capítulo IV, se define la población y la muestra que será analizada. Así mismo, se presenta el historial de los eventos y mantenimientos en las líneas L5001, L5006 y L2110. Se muestra imágenes de los niveles de contaminación, se demuestra las épocas y las horas del día en las que la humedad relativa presenta sus valores más altos. En este capítulo presentamos los argumentos suficientes para poder correlacionar geografía, tiempo, distancias al mar entre otras variables que se relacionan para determinar las zonas de alta contaminación.

En el capítulo V y VI, presentaremos los resultados literales y los resultados inferidos, de acuerdo con la información presentada en tablas e imágenes. También justificaremos dichos resultados con las bases teóricas que son descritas en el capítulo II.

En el capítulo VII, se indica las principales conclusiones de la investigación.

En el capítulo VIII, se describe algunas recomendaciones que sugerimos se investiguen. La tecnología en el aislamiento de líneas de transmisión cada vez está mejorando. Es importante analizar si los aisladores poliméricos podrían reemplazar a los aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona.

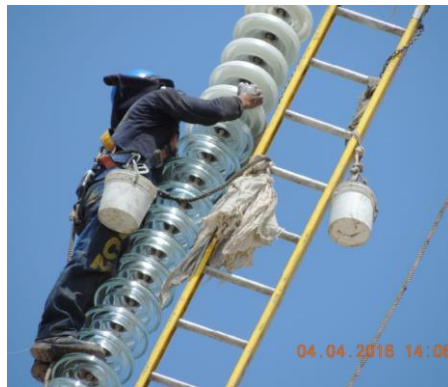
En el capítulo IX, se indica la bibliografía utilizada para la presente investigación. Si bien es cierto, la fuente más antigua que referenciamos es del año 1996, en la cual se realizaron pruebas para determinar el comportamiento de los RTV (recubrimientos con goma silicona), las investigaciones aún continúan en el campo de los RTV. Además, en Perú dicha tecnología no ha sido utilizada a gran escala hasta el año 2010, en años anteriores solo se han realizado pilotos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Los tipos de mantenimiento de las cadenas de aisladores de las líneas de transmisión consiste en la limpieza manual, el lavado de aisladores y la renovación de silicona (ver figura 1).

Figura 1: Fotografía de renovación de grasa silicona



Fuente: Propia

La frecuencia de los mantenimientos es definida por cada línea de transmisión, de acuerdo con las condiciones ambientales a las que están expuestas. En el anexo 1, se indica la estrategia de mantenimiento para el aislamiento de las líneas de la empresa Red Energía del Perú.

Los fabricantes de goma silicona RTV, argumentan que los aisladores con este recubrimiento son de libre mantenimiento. Sin embargo, en la guía normalizada del IEEE (IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society, 2002) indican que se debe de realizar una inspección de sonido, inspección visual, lavado de aisladores y hasta una renovación del recubrimiento RTV.

En Perú, la aplicación de esta tecnología inicio en el año 2010 con la construcción de la línea L-5001(Chilca–Carabayllo) en 500kV, L-5006 (Carabayllo – Chimbote) en 500kV y L-2110(Huanza-Carabayllo) en 220kV para garantizar el mayor tiempo de libre mantenimiento.

En la página web del COES (COES, s.f.), eventos relevantes. Se puede visualizar los eventos relevantes que han ocurrido en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Es así como a continuación resumimos un extracto de algunos eventos que ocurrieron por pérdida de aislamiento en líneas de transmisión de energía eléctrica que tienen aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona.

- El día 22 de junio del 2016, a las 5:47 am, se produjo un recierre monofásico exitoso en la fase “T” de la línea L-2110(Huanza – Carabayllo) de 220kV, el sistema de protección señalizó la activación de la función (21) en zona 1, a una distancia de 9km de la SE Carabayllo. Producto del evento ocurrido, se procedió a realizar una inspección nocturna desde las 11:00pm del día 22 de junio del 2016, hasta las 7:30 am del 23 de junio del 2016. De dicha actividad se reportaron aisladores con efluvio en nivel 4(ver anexo 2). De acuerdo el instructivo de inspección nocturna, de la empresa Red Energía del Perú, existen 5 niveles para clasificar los efluvios en cadenas de aisladores, donde 5 es el nivel más alto (ver anexo 3).
- El día 24 de junio del 2016, a las 00:28 am, se produjo recierre monofásico exitoso en la línea L-2110 (Huanza - Carabayllo) de 220

kV, debido a una falla monofásica a tierra en la fase "R", localizada a 10 km de la S.E. Carabayllo.

- El día 24 de junio del 2016, a la 01:19 am, se produjo recierre monofásico exitoso de la línea L-2110 (Huanza - Carabayllo) de 220 kV, debido a una falla monofásica a tierra en la fase "T". localizada a 10,2 km de la S.E. Carabayllo. (COES, eventos relevantes 2016).
- El 24 de junio del 2016, a las 05:07 am, se produjo recierre monofásico exitoso de la línea L-2110 (Huanza - Carabayllo) de 220 kV, debido a una falla monofásica a tierra en la fase "R", localizada a 9,3 km de la S.E. Carabayllo. (COES, eventos relevantes 2016).

Debido a los recierres exitosos consecutivos y al resultado de la inspección nocturna, la empresa Red Energía del Perú S.A, concesionaria de las líneas de transmisión, realizó el mantenimiento correctivo.

La cuadrilla que realizó los trabajos en la torre T535 de la línea L2110, identificó la fase y los platos que se vieron afectados por los constantes recierres exitosos generados por alta humedad y la acumulación de la contaminación en los aisladores recubiertos con goma silicona (ver figura 2).

Figura 2: Pérdida de aislamiento en la torre T535 de la L2110



Fuente: Propia

- El 23 de octubre del 2015 a las 06:14 am se produjo recierre no exitoso de la línea L-5001 (Chilca - Carabaylo) de 500 kV por falla monofásica en la fase "R". El sistema de protección activó las funciones distancia (21) y diferencial (87L), y localizó la falla a una distancia de 59,5 Km de la S.E. Chilca y 33 Km de la S.E. Carabaylo. Como consecuencia, el usuario libre Sider Perú disminuyó su carga en 3,80 MW por actuación de sus protecciones internas. A las 06:17 h, el CCO-COES coordinó con el CC-SID recuperar el suministro reducido. A las 08:47 h, se conectó la línea L-5001 (Chilca - Carabaylo) de 500 kV.
- El 26 de octubre del 2015 a las 05:28 am se produjo recierre monofásico en la fase "R" no exitoso en la línea L-5001 (Chilca - Carabaylo) de 500 kV. Distancia de falla a 32,5 Km de Carabaylo y 59,9 Km de Chilca. Como consecuencia, el cliente libre Sider Perú

disminuyó su carga de 43,60 MW a 41,10 MW. A las 06:09 h, el CC-CTM declaró al CCO-COES la disponibilidad de la línea L-5001. A las 06:14 h, se conectó la línea L-5001.

El 26 de octubre del 2015 se realizó una inspección por falla desde la torre T115 hasta la T120, solo se reportó presencia de neblina y poca visibilidad, los pobladores reportaron un resplandor cerca de la torre T116. El 27 de octubre del 2015 se realizó una inspección nocturna desde la torre T115 hasta la T120, pese a la neblina no se reportó descargas parciales, solo presencia de sonido. Los días 27 y 28 de octubre del 2015 las condiciones ambientes mejoraron. Por lo que el 28 de octubre se ejecutó una inspección con escalamiento en las torres T115, T116 y T117, la inspección reporto aisladores contaminados y signos de descarga en el espinterómetro de la torre T117 (ver figura 3). Ya que los signos de descarga eran recientes. Se concluyó que este fue el punto de falla ocurrido del 26 de octubre del 2015.

Figura 3: T117 de la L5001



Fuente: ERP de la empresa REP

- El 23 de octubre del 2017 a las 07:27 am, se produjo el recierre exitoso en la línea L-5006 (Carabayllo - Chimbote) de 500 kV en la fase “T”, la falla se produjo por contaminación y humedad. El sistema de protección detectó la falla a una distancia de 120,20 km de la S.E. Carabayllo.
- El 16 de abril del 2018 a las 06:38am, se produjo el recierre exitoso de la línea L-5006 (Carabayllo – Chimbote) de 500 kV, en la fase “T”, la falla se produjo por pérdida de aislamiento y contaminación. El sistema de protección ubicó la falla a una distancia de 121,8 km de la S.E. Carabayllo. No se produjo interrupción de suministros en el SEIN.
- El 13 de junio del 2018 a las 03:31 am, se produjo el recierre monofásico exitoso en la línea L-5006 (Carabayllo – Chimbote) de 500 kV en la fase “T”, la falla se produjo por humedad en la zona. El sistema de protección detectó la falla a una distancia de 1,40 km de la S.E. Carabayllo.

Las constantes desconexiones pueden generar sanciones por el ente regulador. Así como la pérdida de la confianza hacia la empresa concesionaria. Las líneas L-5001 y L5006 de 500kV son muy importante para transmitir la energía eléctrica desde la zona de Chilca al norte del Perú. Es importante recordar que en Chilca se han instalado los generadores de las empresas Kallpa, Engie, Termochilca y Fenix haciendo un total de 3319.8MVA instalados.

Por ello la presente investigación pretende determinar la estrategia de mantenimiento para eliminar los modos de falla por pérdida de aislamiento de los aisladores recubiertos con goma silicona de las líneas L5001, L5006 zona Lima y L2110 zona Lima.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles serán las actividades de mantenimiento preventivo y en que frecuencia se debe aplicar a los aisladores de vidrio recubierto con goma silicona en zona Lima del Perú?

1.2.2 Problema específico

- ¿Qué actividades de mantenimiento preventivo debería aplicarse a los aisladores recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú?
- ¿Con que frecuencia se debe de aplicar las actividades de mantenimiento preventivo a los aisladores recubiertos de goma silicona en la zona de Lima del Perú?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Establecer las actividades de mantenimiento preventivo y frecuencia de aplicación a los aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú

1.3.2 Objetivo específico

- Establecer las actividades de mantenimiento preventivo que será aplicado a los aisladores recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú.
- Establecer la frecuencia de aplicación de las actividades de mantenimiento a los aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona en la zona de lima del Perú.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Teórico

La bibliografía que se ha utilizado para la presente investigación va desde el año 1996 hasta el año 2019, teniendo mayor información en el periodo que va desde el 2000 al 2010. También es importante indicar que no hay experiencia del uso de este tipo de recubrimiento a los aisladores de vidrio en Perú. Los pioneros en aplicar esta tecnología fue la empresa Red Energía del Perú, desde el año 2010, por lo que los resultados se manifestaron aproximadamente 4 años desde su puesta en servicio.

1.4.2 Temporal

La recopilación de información se realizó desde la puesta en servicio de las líneas de transmisión:

- Para la línea L5001, desde noviembre del año 2012 hasta mayo del año 2020.

- Para la línea L5006, desde marzo del año 2011 hasta mayo del año 2020
- Para la línea L2110, desde setiembre del año 2010 hasta mayo del año 2020

1.4.3 Espacial

Para la línea de transmisión L5001 el análisis se realizó en todo su recorrido desde la SE Chilca hasta la SE Carabayllo, en el caso de las líneas de transmisión L5006 y L2110 solo se realizó el estudio en las cadenas de aisladores de las estructuras que están en la provincia de Lima.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacional

- Jaime A. Gutiérrez Gallego y otros en su publicación *“Desarrollo de una estrategia de mantenimiento basada RCM para líneas de transmisión de 115kV”*. Universidad Tecnológica de Pereira ISSN 0122-1701 (GUTIÉRREZGALLEGO, 2009). Muestran la aplicación de la teoría de MCC a un sistema de líneas de transmisión de 115kV, lo que permitió definir tareas de mantenimiento que fueron aterrizadas en un plan de mantenimiento. También concluyen que si bien es cierto la

metodología fue aplicada en una línea de 115KV el proceso sería el mismo para líneas de 220 kV y 500kV.

- Guillermo Aponte y otros en su publicación *“Contamination Level Evaluation on Colombian North Cost”* IEEE Latin America transactions (Aponte, 2009). Presentan un método directo para medir los niveles de contaminación, aplicando la densidad equivalente de sal depositada (ESDD). Metodología que fue aplicada a nueve circuitos de distribución y cinco subestaciones pertenecientes a ELECTRICARIBE S.A.E.S.P situado en la zona norte de Barranquilla en el principal puerto del océano atlántico de Colombia. En este trabajo se puede apreciar las diferentes etapas del estudio, tales como la selección de los lugares, la toma de muestras, la configuración de las muestras, los procedimientos de medición y evaluación de ESDD. El resultado del estudio fue la propuesta de mantenimiento de acuerdo con el nivel de ESDD de cada zona.
- Julio Pombo Acebedo *“Sistema de detección y pronóstico de la contaminación presente en aisladores de alta tensión de la subestación nueva Barranquilla”* Transelca S.A.E.S.P. (Acevedo, 2019). Este trabajo estudió la correlación existente entre las variables atmosféricas y la corriente fuga por el aislamiento. Se obtuvo que la corriente de fuga se encuentra directamente relacionada con la humedad relativa y la velocidad del viento e inversamente relacionada con la

temperatura de ambiente, la radiación solar y la dirección del viento. Así mismo, se evidencia que la falta de mantenimiento del aislamiento de la línea de transmisión más la humedad relativa hace que la corriente de fuga aumente progresivamente con el tiempo. Este trabajo propone realizar el mantenimiento del aislamiento en función de la corriente de fuga del aislamiento. Para lo cual, se implementa un sistema integral de pronóstico y monitoreo de la corriente de fuga y la planeación de los lavados de la subestación.

2.1.2 Nacional

- La empresa Dessau instaló una estación de pruebas para medir la contaminación en aisladores. El laboratorio consistió en montar aisladores en postes, los cuales estaban expuestos a la contaminación de la zona de Morrope, estos aisladores no estaban energizados. Pasado 2 meses algunas muestras fueron bajadas cerca al nivel del piso para ser lavados, se repitió el ejercicio a los 4 meses y 6 meses de exposición a la contaminación natural. A cada muestra se le midió la densidad equivalente de sal depositada (ESDD), con el objetivo de determinar el nivel de contaminación medido en ESDD de 8 tipos de aisladores (Ver figura 4).

Figura 4: Tipos de aisladores a los que se realizó las pruebas de ESDD

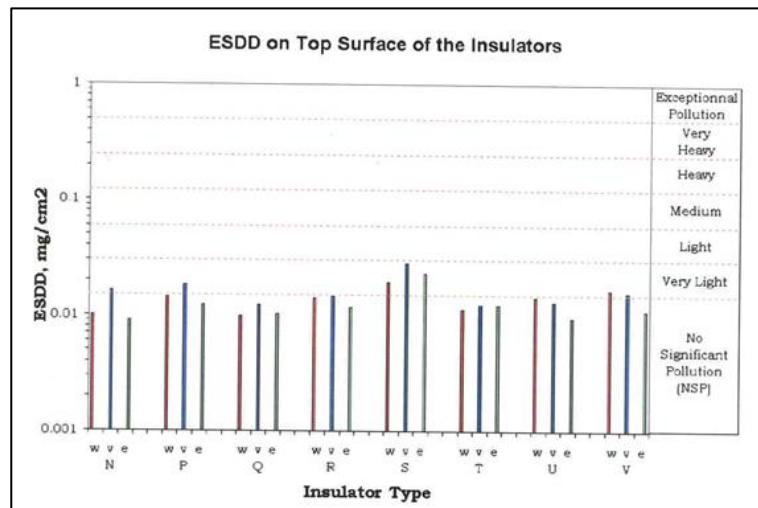
Aisladores	
Identificación	Tipo
Q	Sediver F12 D/127DC
R	Sediver F12 D/146DC
S	Ceram LS75/18+17
T	NGK Fog CA-807 MD
N	Super Fog NGK 821 EX
U	NGK Fog ECA-500 MY
P	Sediver F120 SPF/170DC
V	Sediver F120P/146DC

Fuente: DESSAU INC

Los niveles de ESDD obtenidos en el tiempo de exposición es mostrado a continuación (INC, 2000)

Luego de 2 meses de exposición a la contaminación, la superficie superior de los aisladores registró niveles muy bajos de contaminación (Ver figura 5)

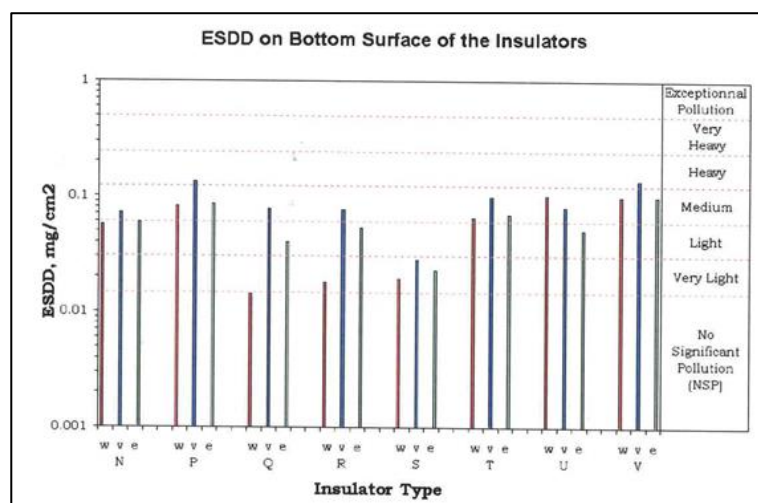
Figura 5: Nivel de contaminación de los aisladores después de 2 meses



Fuente: DESSAU INC

Mientras que la superficie inferior de los aisladores registró niveles medios de contaminación (Ver figura 6)

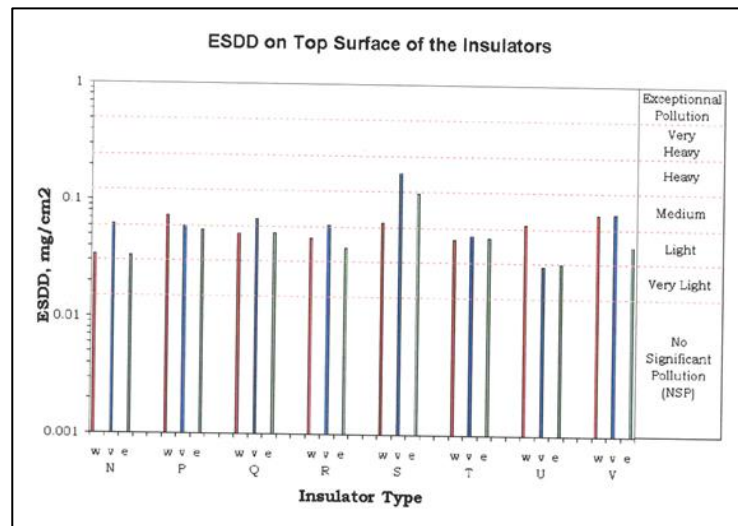
Figura 6: Nivel de contaminación de los aisladores después de 2 meses



Fuente: DESSAU INC

Luego de 4 meses de exposición a la contaminación, la superficie superior de los aisladores registró niveles medios de contaminación (Ver figura 7)

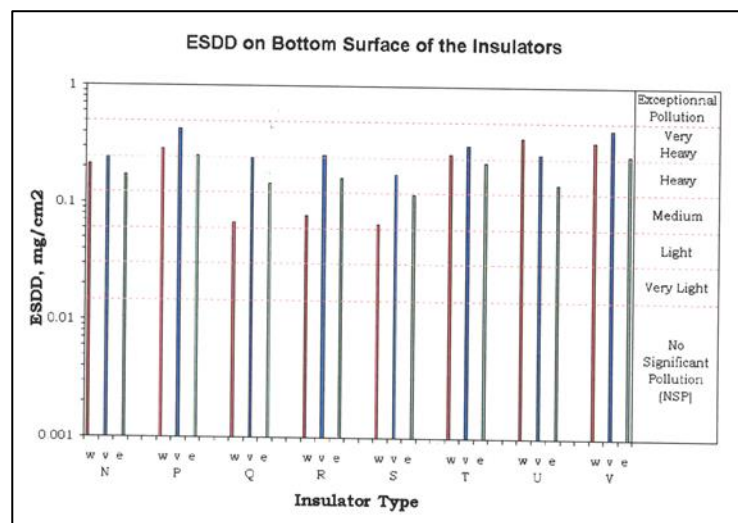
Figura 7: Nivel de contaminación de los aisladores después de 4 meses



Fuente: DESSAU INC

Mientras que la superficie inferior de los aisladores registró niveles altos y muy altos de contaminación (Ver figura 8)

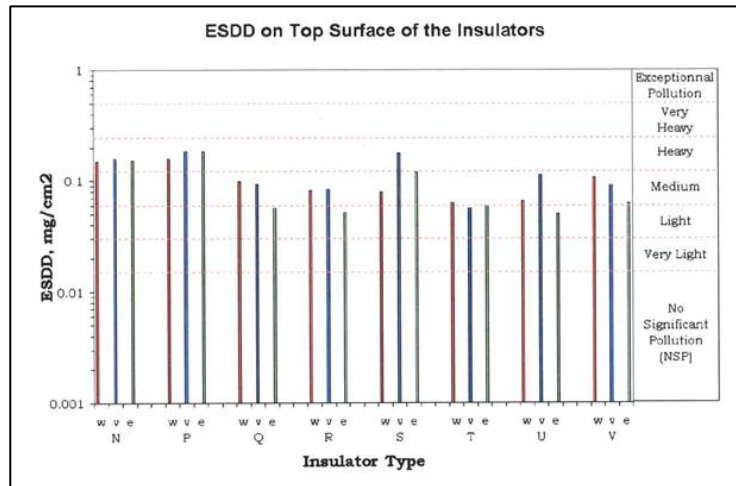
Figura 8: Nivel de contaminación de los aisladores después de 4 meses



Fuente: DESSAU INC

Luego de 6 meses de exposición a la contaminación, la superficie superior de los aisladores registró niveles altos de contaminación (Ver figura 9)

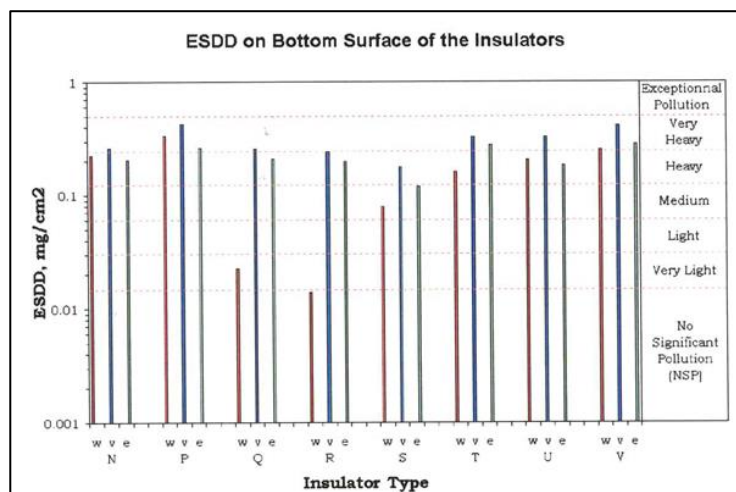
Figura 9: Nivel de contaminación de los aisladores después de 6 meses



Fuente: DESSAU INC

Mientras que la superficie inferior de los aisladores registró niveles muy altos de contaminación (Ver figura 10)

Figura 10: Nivel de contaminación de los aisladores después de 6 meses



Fuente: DESSAU INC

Los altos niveles de contaminación demostrados en la estación de pruebas justificaron la necesidad de realizar cada 4 meses el mantenimiento del aislamiento de las líneas de transmisión de la empresa ETECEN, conforme nos indicaron los técnicos de mantenimiento de líneas de transmisión de la empresa Red Energía del Perú, en las entrevistas realizadas.

- La empresa Silicon Technology SAC en el informe “*evaluación de prueba de tracking y erosión según IEC 1109-C en cámara de niebla salina multiestres a 2000 horas de exposición*” (Wilber Aragonéz Roman, 2010). Los resultados de las pruebas concluyen que los aisladores de vidrio recubierto con goma silicona, luego de 2000 horas de exposición en la cámara de niebla salina (ver figura 11) demuestran un regular desempeño. En los aisladores Sylgardy HVIC se midió una corriente de fuga de 0.26mA, para los aisladores recubiertos con silidriel la corriente de fuga fue de 0.33mA y para el aislador recubierto con SI-Coat 570 la corriente de fuga mínima fue de 0.30mA, estas corrientes no pueden considerarse dañinas para los aisladores, conforme indica el reporte de la empresa Silicon Technology.

“De los resultados obtenidos en la presente prueba de Tracking y Erosión, podemos indicar que el Aislador de Suspensión de vidrio recubierto de mejor performance es el Sylgard HVIC, le sigue el Si-Coat 570 y el Silidriel como

tercero en su desempeño, estando aptos para su aplicación en Redes de Transmisión en Zonas de Alta Contaminación, extremas condiciones ambientales y Niebla Salinas”

Como se esperaba, los aisladores recubiertos con goma silicona presentan un alto desempeño y son recomendados para instalarse en zonas de extrema contaminación.

Figura 11: Cámara de niebla salina en la que se realizaron las pruebas



Fuente: Informe de evaluación N°001-2011 de Silicon Technology

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Proceso utilizado que determina que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúa haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional (Moubray, 2004).

El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil. El proceso permite

determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El MCC ha sido utilizado en muchas empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas, hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan MCC para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, etc.

2.2.2 Norma SAE JA1011 – criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad

El propósito de la norma SAE JA1011, publicada en 1999, es establecer los criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado "MCC". El documento, revisado en agosto de 2009, describe los requerimientos mínimos para que un proceso se considere un método en conformidad con MCC. La norma proporciona los criterios para establecer si un proceso dado sigue los credos de MCC como se propuso originalmente (TECH, 2018).

La norma SAE JA1011, establece siete pasos consecutivos que debe seguir el proceso de MCC. (Nancy Regan, 2007)

1. Delimitar el contexto operativo, las funciones y estándares de desempeño deseados asociados al activo.
2. Determinar como un activo puede fallar en cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).
3. Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).

4. Describir que sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla)
5. Clasificar los efectos de fallas (consecuencias de la falla)
6. Determinar que se debe realizar para prevenir o predecir cada falla (tareas e intervalos de tareas)
7. Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez)

2.2.3 Recubrimientos RTV

Los recubrimientos RTV son cauchos de silicona que se disuelven en un solvente y es curado a temperatura ambiente. Una vez curado forman un elastómero de silicona. A estos polímeros, en adelante llamaremos goma silicona.

El curado ocurre cuando el revestimiento RTV se expone a la humedad atmosférica con la liberación de subproductos. Esta reacción también es conocida como vulcanización, se inicia en la superficie de la capa de caucho de silicona y progresa gradualmente. Las propiedades más importantes de estos materiales son su hidrofobicidad y resistencia a la erosión.

2.2.4 Influencia del trihidrato de alúmina (ATH) en el RTV

La concentración y el tamaño de las partículas de relleno ATH aumentan la conductividad térmica del material. Lo que permite alargar la vida útil del recubrimiento RTV. Así mismo, mejoran su comportamiento frente a estrés eléctrico.

En la publicación (Hui Deng, 1996) Identifican los factores que inciden en un recubrimiento óptimo de goma RTV en aisladores. Las pruebas de laboratorio determinaron que las partículas ATH con tamaños de 13um y 4.5 um son las que más tiempo tardan en desarrollar corrientes de fuga. También identificaron que el espesor de 0.38mm presenta la menor cantidad de fallas de aislamiento y que el nivel óptimo de concentración de partículas ATH se encuentra entre 45% y 55% de su peso

2.2.5 Hidrofobicidad:

La hidrofobicidad suprime actividades de corriente de fuga y mejora el voltaje de descarga, especialmente en condiciones de muy alta contaminación. Una superficie se llama hidrofóbica si tiene baja tensión superficial y es repelente al agua. El agua en las superficies hidrofóbicas forma distintas gotitas. Lo opuesto es una superficie hidrofílica que es humedecida por agua en forma de una película.

El grado de hidrofobicidad se puede medir mediante tres métodos: determinación del ángulo de contacto, determinación de la tensión superficial y pulverización según la guía de STRI (Working Group de CIGRE, 2011).

a) *Pérdida de hidrofobicidad:*

El estrés eléctrico y la radiación UV son los factores principales que generan pérdida de la capacidad de hidrofobicidad en los recubrimientos RTV. La degradación del RTV inicialmente

aparece como una capacidad de recuperación reducida de hidrofobicidad, la pérdida total de hidrofobicidad se da progresivamente.

b) ***Recuperación de la hidrofobicidad:***

La hidrofobicidad se recupera gracias a la migración de moléculas de bajo peso molecular que van desde la parte interna a la superficie. Por lo que la recuperación de la hidrofobicidad está directamente relacionada con la cantidad de estas moléculas, la estructura química, espesor del recubrimiento y formulación química (facilidad del movimiento)

c) ***Transferencia de hidrofobicidad:***

Durante la operación, las superficies de los aisladores son cubiertas por una capa de contaminación. Las moléculas de bajo peso molecular penetran dentro y sobre la capa de contaminación y transfieren la hidrofobicidad a la superficie exterior. La capacidad de transferencia de hidrofobicidad depende de la cantidad de contaminación, tipo de contaminación y calidad de las moléculas de bajo peso molecular. La constante acumulación de contaminación en las superficies de los aisladores puede bloquear la difusión de las moléculas de bajo peso molecular.

2.2.6 Mantenimiento de aisladores recubiertos con RTV

De acuerdo con la guía IEEE para la aplicación, mantenimiento y evaluación del RTV (IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society,

2002) la experiencia general hasta la fecha ha sido muy buena en todas partes, no se ha realizado ningún mantenimiento de los recubrimientos RTV hecho por cualquier usuario. El monitoreo de aisladores recubiertos en las líneas de transmisión lo realizan pocos usuarios. Aunque normalmente no se ha requerido, el mantenimiento puede ser necesario donde la gravedad de la contaminación es muy alta. Los mantenimientos sugeridos por el IEEE (IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society, 2002) son los siguiente:

a) ***Detección audible de descargas parciales.***

Las líneas de transmisión con aisladores recubiertos con RTV presentan poco o nulo ruido por descargas parciales. La presencia de un ruido en las cadenas de aisladores es un indicativo de acumulación de contaminantes.

b) ***Detección visual de descargas parciales:***

La inspección más simple consiste en ver a corta distancia con binoculares evidencias de arco de banda seca. El arco de banda seca se evidencia alrededor del cemento PIN. Esta anomalía también genera pérdida de hidrofobicidad.

c) ***Lavado con agua de aisladores recubiertos.***

El rendimiento del RTV se ve reducido, por lo que es necesario lavar los aisladores en las zonas de contaminación extrema. Normalmente la limpieza debe de ser con agua a alta presión de

6.9MPa (1000lbf/in). Sin embargo, se recomienda consultar con el fabricante del recubrimiento para una orientación adecuada.

d) ***Recubrimiento de aisladores.***

Se debe de quitar el recubrimiento desgastado y limpiar la superficie antes de aplicar el RTV.

2.3 Conceptual

La metodología del MCC ha sido aplicada en distintas industrias y también en el área de transmisión de energía eléctrica, de acuerdo con los antecedentes y bases teóricas indicadas, por lo que es una buena opción para determinar la estrategia de mantenimiento de los aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona (RTV).

Las cadenas de aisladores de vidrio recubierto con goma silicona (RTV) tienen propiedades muy benéficas para alargar su vida útil, ya que son hidrofóbicos y tienen alta resistencia a la erosión. Sin embargo, no tienen un tiempo de vida ilimitado por lo que es necesario determinar actividades para alargar su vida útil y prevenir fallas por aislamiento.

La presencia de sonidos por descargas parciales en las cadenas de aisladores de vidrio recubiertas con goma silicona (RTV) es indicativo que se debe de realizar el mantenimiento de los aisladores.

Las cadenas de aisladores en las que se ha identificado presencia de descargas parciales tanto en las inspecciones de sonido y visual, en el corto plazo será necesario programar su limpieza manual o lavado de los

aisladores. Mientras que se deberá de evaluar si se requiere el cambio de cadenas de aisladores o la reparación de los aisladores que han perdido sus propiedades hidrofóbicas y resistencia a la erosión.

2.4 Definición de términos básicos

2.4.1 Densidad equivalente de sal depositada (ESDD)

Cantidad de NaCl que, depositada sobre la superficie de un aislador, produce la misma conductividad eléctrica que la del contaminante que existe sobre el mismo, disueltos ambos en el mismo volumen de agua desmineralizada, medidos en miligramos por centímetro cuadrado.

2.4.2 Densidad de depósitos no solubles (NSDD)

Cantidad de depósitos no solubles impregnados sobre la superficie de un aislador, medidos en miligramos por centímetro cuadrado.

2.4.3 Contexto operacional

El primer paso para aplicar RCM a un activo físico implica definir su contexto operacional y las funciones requeridas. El punto de partida lógico para diseñar una estrategia de gestión de mantenimiento o fallas (o una política de gestión de activos como lo llama la norma) es entender claramente lo que se quiere del activo. Si queremos mantener el rendimiento de funciones específicas, necesitamos saber exactamente cuáles son las funciones, así como los parámetros operativos que definen los niveles de rendimiento necesarios para satisfacer la demanda operativa (TECH, 2018).

Para definir correctamente el contexto operacional, el equipo de MCC debe describir las funciones, siguiendo la siguiente estructura, de acuerdo con la norma SAE JA1011.

- Las condiciones en las que se prevé que funcionará el activo físico deben estar definidas, registradas y estar disponibles.
- Deben ser identificadas todas las funciones primarias y secundarias del equipo o sistema.
- Todas las declaraciones de funciones deben contener un verbo, un objeto y un estándar de desempeño cuantitativo, siempre que sea posible.
- Los estándares de desempeño utilizados en la declaración de funciones serán el nivel de desempeño deseado por el usuario del activo en su contexto operacional actual.

2.4.4 Corriente de fuga

Corriente que circula por la cadena de aisladores de líneas de transmisión, generalmente esta corriente es mínima y no genera desconexiones o recierres. Sin embargo, producto de la contaminación y la humedad la corriente de fuga se incrementa hasta el punto de provocar las desconexiones de las líneas de transmisión.

2.4.5 Fallas funcionales

Es un estado en el cual un activo físico o sistema no es capaz de ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado. Es

fundamental tener una comprensión perfecta de las funciones de los activos y el nivel de rendimiento deseado para determinar las fallas. Hay fallas funcionales totales o parciales. Esto significa que el activo puede no ser capaz de cumplir una función en particular o que puede realizarla a un nivel de desempeño inferior al deseado. La norma SAE JA1011 requiere que se identifiquen todos los estados de fallas asociados con cada función para que podamos identificar todas las causas relevantes

2.4.6 Humedad relativa

Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire con la máxima cantidad de vapor de agua que podría tener en un instante determinado.

2.4.7 Niveles de contaminación

La norma IEC 815 (IEC) define cuatro niveles de contaminación ligero, medio, alto y muy alto. (ver anexo 5),

2.4.8 Cámara de niebla salina

Estas cámaras permiten la realización de ensayos de corrosión acelerada, reproduce las condiciones agresivas de un entorno salino, también simula radiación solar y permite aplicar un potencial eléctrico.

2.4.9 Goma silicona

Cauchos de silicona que se disuelven en un solvente y es curado a temperatura ambiente. El caucho curado forma un polímero de silicona que tiene propiedades hidrofóbicas y resistente a la erosión.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona cada cuatro años garantizará la operación continua de la línea de transmisión.

3.1.2 Hipótesis específicas

- Se debe de realizar la limpieza de aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona con trapo arpillero seco y con trapo arpillero húmedo.
- La frecuencia de mantenimiento deberá de ser cada 4 años, debido que la primera falla ocurrió aproximadamente en cuatro años y medio desde la puesta en operación de la línea de transmisión L5001.

3.2 Definición conceptual de variables

3.2.1 Variables independientes

a) Tipo de mantenimiento:

Se debe de realizar la limpieza de aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona con trapo arpillero seco y con trapo arpillero húmedo.

b) ***Frecuencia de mantenimiento:***

La frecuencia de mantenimiento debería de ser cada 4 años, debido que la primera falla ocurrió en, aproximadamente, en cuatro años y medio.

3.2.2 Variables dependientes

a) ***Disponibilidad***

Porcentaje de tiempo que la línea de transmisión está disponible para operación. Para su cálculo no se considera los tiempos fuera de servicio por mantenimiento, solo por falla de aislamiento.

3.2.3 Operacionalización de variables

a) ***Fiabilidad.***

Probabilidad de buen funcionamiento, está íntimamente relacionado con el tiempo medio entre fallas.

b) ***Mantenibilidad***

Probabilidad de duración de la reparación o revisión, está íntimamente relacionada con el tiempo medio para reparación.

c) ***Tiempo medio entre fallas (MTBF)***

Suma de tiempos entre paralizaciones preventivos y correctivos. De ahí que haya dos posibles disponibilidades; ambas a mejorar, la asociada a paralizaciones por mantenimientos preventivos y la asociada a los mantenimientos correctivos. Para nuestro análisis estaremos usando la disponibilidad asociada a mantenimiento correctivos por fallas del aislamiento.

d) **Tiempo medio para reparación (MTTR).**

Suma de tiempo en los que el equipo estuvo fuera de servicio, incluye los tiempos de mantenimiento preventivo y correctivo. El presente informe analiza los tiempos de mantenimientos correctivos por fallas del aislamiento.

e) **Disponibilidad**

Porcentaje de tiempo que el sistema o equipo está disponible para operación. El tiempo que esta fuera de servicio debe de contemplar toda paralización tanto preventiva como correctiva. Para el presente estudio solo se considerará los tiempos fuera de servicio por fallas del aislamiento

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total} - \text{tiempo fuera de servicio}}{\text{tiempo total}}$$

$$\text{Disponibilidad} = D$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

La variable dependiente “disponibilidad”, depende que el equipo esté en servicio y operando bajo los estándares nacionales e internacionales. Por lo que la efectividad de las variables independientes debe de ser óptimas para que la disponibilidad se incremente.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación tiene los diseños descriptivo, correlacional y explicativo.

4.1.1 Diseño descriptivo

Se describe los eventos ocurridos desde su puesta en servicio hasta mayo del año 2020 de las líneas L-2110 (Huanza - Carabayllo) de 220kV zona Lima, L-5006 (Carabayllo - Chimbote) de 500kV zona Lima y L-5001 (Chilca – Carabayllo) de 500kV. La información será extraída del portal eventos relevantes del COES (COES, s.f.).

4.1.2 Diseño correlacional

Se revisa las horas del día, estación del año y geografía en las que ha ocurrido las fallas de las líneas L-2110 (Huanza - Carabayllo) de 220kV, L-5006 (Carabayllo - Chimbote) de 500kV y L-5001 (Chilca - Carabayllo) de 500kV. Los eventos ocurridos en cada línea comparten características comunes.

4.1.3 Diseño explicativo

El historial de eventos y las características comunes de las fallas en las líneas L-2110 (Huanza - Carabayllo) de 220kV, L-5006 (Carabayllo - Chimbote) de 500kV y L-5001 (Chilca - Carabayllo) de 500kV permitirán explicar las causas del origen de las fallas y por qué ocurre estos fenómenos.

4.2 Método de investigación

Primeramente, identificamos todas las fallas ocurridos en las líneas de transmisión L5001, L5006 y L2110 desde su puesta en servicio. Mediante las distancias de falla que son registradas en los relés asociados a las líneas, identificaremos las posibles zonas de falla. Estas zonas de falla serán corroboradas con las inspecciones nocturnas y registros fotográficos del mantenimiento de aislamiento de las líneas de transmisión.

Analizamos las zonas geográficas en las que han ocurrido las fallas. Es importante identificar las condiciones ambientales, las condiciones de los aisladores, actividades económicas practicadas en la zona y testimonio de los pobladores cercanos a las zonas de falla de las líneas de transmisión.

Senamhi publica los registros de humedad relativa y temperatura de todos los días de cada año. Sin embargo, hay valores que no hacen sentido y años en los que no se logró registrar información. Por lo que no tenemos información exacta de humedad relativa y temperatura en

las fechas que ocurrió la fallas, sin embargo, podemos obtener la tendencia de estas variables en un periodo de tiempo.

Las pruebas que se hayan hecho a los aisladores de la torre T102 de la línea L5001 (Chilca - Carapongo) de 500kV nos servirán para dimensionar los niveles de contaminación de los aisladores en determinadas zonas.

Del historial de fallas publicado por COES también es posible extraer las fechas y horas en las que ocurrieron las fallas. Por lo que podemos identificar las horas en las que mayormente ocurren las fallas de las líneas de trasmisión con aisladores recubiertos con goma silicona.

Finalmente realizaremos la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad siguiendo el estándar SAE JA1011.

4.3 Población y muestra

El presente trabajo se enmarca en la zona de Lima. Por lo que solo analizaremos las estructuras de las líneas L5001, L5006 y L2110 que están en esta área (Ver anexo 6).

4.3.1 Población:

180 estructuras de la línea de trasmisión L5001 que inicia en la SE Chilca en dirección a la SE Carabayllo

31 estructuras de la línea de trasmisión L5006 que Inicia en la SE Carabayllo con dirección a la SE Chimbote.

Las estructuras de llegada a la SE Carabayllo, desde la torre T530 hasta la torre T558, de la línea de transmisión L2110 que inicia en la SE Huanza.

4.3.2 Muestra:

Zonas adyacentes a las estructuras de la línea L5001 que han tenido fallas desde su puesta en servicio.

Zonas adyacentes a las estructuras de la línea L5006 que han tenido fallas desde su puesta en servicio.

Zonas adyacentes a las estructuras de la línea L2110 que han tenido fallas desde su puesta en servicio.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

4.4.1 Lugar:

La línea L5001 (Chilca - Carabayllo) de 500kV que tiene su recorrido por San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Lurín, Até, Carapongo, Petramas y Carabayllo.

La línea L5006 (Carabayllo - Chimbote) de 500kV que tiene su recorrido en el distrito de Carabayllo

La línea L2110 (Huanza – Carabayllo) de 220kV que tiene su recorrido en el distrito de Carabayllo

4.4.2 Periodo:

Se realizó el análisis desde marzo del año 2011, fecha en la que se puso en servicio la línea L5001, hasta mayo del 2020.

Se realizó el análisis desde noviembre del año 2012, fecha en la que se puso en servicio la línea L5006, hasta mayo del 2020.

Se realizó el análisis desde septiembre del 2010, fecha en la que se puso en servicio la línea L2110, hasta mayo del 2020.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1 Técnicas para recolección de datos

La técnica principal que se utilizara es la observación. En la medida que sea posible, cada vez que se identifique la falla en la línea esta deberá de ser registrada en una fotografía.

Las características geográficas de las zonas en las que se ha producido las fallas de las líneas L5001, L5006 y L2110 serán analizadas en Google Earth.

Para obtener valores medios en caso de las medidas de humedad relativa y temperatura que son publicados cada día, estos serán promediados por mes para poder hacer análisis.

4.5.2 Instrumentos para recolección de datos

- Cámaras fotográficas
- Cámaras para medir UV
- Formatos de inspección nocturna

- Informes de mantenimiento
- Registros de Humedad relativa y temperatura de Senamhi
- Registro de eventos publicado por COES

4.6 Análisis y procesamiento de datos

4.6.1 Revisión de eventos ocurridos en las líneas

De la página web de COES (COES, s.f.) y los cuadros de control del aislamiento (ver anexo 7) se construye el cuadro de historial de eventos en la línea L5001 (Chilca - Carabaylo) de 500KV, 5006 (Carabaylo -Chimbote) de 500kV y L2110 (Huanza - Carabaylo) de 220kV.

De la tabla 1, podemos notar que las cadenas de aisladores de la zona que va desde la torre T115 hasta T120 se han limpiado todos los años desde el año 2015. También podemos notar que en tres ocasiones la línea ha tenido recierres consecutivos.

Tabla 1: Historial de eventos en la línea L5001

Línea	Inicio	Final	Descripción
L-5001	Abr-19	Abr-19	Limpieza de aisladores desde la T5 hasta la T25 y desde T119 a T124
L-5001	Feb-18	Feb-18	Limpieza de aisladores desde la T80 hasta la T110 y desde la T64 hasta la T72
L-5001	15/09/2017 04:41	15/09/2017 18:47	Limpieza de aisladores desde la T116 hasta la T119
L-5001	15/09/2017 04:41	15/09/2017 18:47	Se produjo el recierre no exitoso. el sistema de protección detecto la falla a una distancia de 61,00 km de la s.e. chilca.
L-5001	15/09/2017 01:25	15/09/2017 04:36	Se produjo el recierre no exitoso. el sistema de protección detecto la falla a una distancia de 60,40 km de la s.e. chilca.
L-5001	Jun-17	Jun-17	Limpieza de aisladores desde la T141 hasta la T145 y desde la T126 hasta T129

Línea	Inicio	Final	Descripción
L-5001	1/06/2017 03:38	1/06/2017 17:48	Recierre no exitoso de la línea L-5001
L-5001	1/06/2017 00:52	1/06/2017 03:11	Recierre no exitoso de la línea L-5001
L-5001	1/06/2017 00:11	1/06/2017 00:21	Recierre no exitoso de la línea L-5001
L-5001	31/05/2017 23:17	31/05/2017 23:39	Recierre no exitoso de la línea L-5001
L-5001	31/05/2017 22:02	31/05/2017 22:21	Recierre no exitoso de la línea L-5001
L-5001	Jun-16	Jun-16	Limpieza de aisladores desde la T111 hasta la T123
L-5001	Nov-15	Nov-15	Limpieza de aisladores desde la T115 hasta la T120
L-5001	26/10/2015 05:28	26/10/2015 06:14	Recierre no exitoso en la fase "r" de la línea L-5001
L-5001	23/10/2015 06:14	23/10/2015 08:47	Recierre no exitoso de la línea L-5001
L-5001	25/09/2015 05:31	25/09/2015 13:20	Recierre no exitoso de la línea L-5001
L-5001	14/03/2011 20:07	14/03/2011 20:07	Se energizó por primera vez la línea L-5001 de 500 kV

Fuente: Elaboración propia con información de COES Y REP

La tabla 2, muestra el historial de eventos de la línea L5006, el primer mantenimiento al aislamiento se realizó desde la torre T01 a la T25 en el año 2016, el 2017 no se realizó mantenimiento. Sin embargo, desde el año 2018 al 2020 se ha realizado mantenimiento en dicha zona todos los años. Es importante notar que en tres ocasiones ocurrieron recierres consecutivos.

Tabla 2: Historial de eventos en la línea L5006, zona Lima

Línea	Inicio	Final	Descripción
L-5006	4/03/2020 10:39	4/03/2020 11:49	Desconectó la línea L-5006
L-5006	Feb-20	Feb-20	Limpieza de aisladores desde la torre T27 hasta T44
L-5006	Feb-20	Feb-20	Limpieza de aisladores desde la torre T1 hasta T20
L-5006	May-19	May-19	Limpieza de aisladores desde la torre T1 hasta T20
L-5006	Jun-18	Jun-18	Limpieza de aisladores desde la torre T1 hasta T14
L-5006	13/06/2018 03:31	13/06/2018 03:31	Recierre monofásico exitoso en la línea L-5006

Línea	Inicio	Final	Descripción
L-5006	12/06/2018 21:53	12/06/2018 21:53	Recierre monofásico exitoso de la línea L-5006
L-5006	15/09/2017 06:40	15/09/2017 06:40	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	10/09/2017 06:48	10/09/2017 06:48	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	FEB, JUL, SET 2016	FEB, JUL, SET 2016	Mantenimiento de la T01 a la T25
L-5006	18/12/2015 06:01	18/12/2015 06:01	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	28/11/2015 07:03	28/11/2015 07:03	Recierre monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-5006
L-5006	Dic-12	Dic-12	Puesta en servicio de la L5006

Fuente: Elaboración propia con información de COES Y REP

En la Tabla 3, se muestra el historial de eventos de la línea L2110. Como se puede notar, el primer mantenimiento se realizó el año 2016, desde la torre T528 hasta la torre T558, dos años después se volvió a limpiar la misma zona. Es importante indicar que en dos ocasiones se han presentado recierres consecutivos, motivo por el cual se ejecutó el mantenimiento de los aisladores.

Tabla 3: Historial de eventos en la línea L2110, zona Lima

Línea	Inicio	Final	Descripción
L-2110	12/01/2020 15:43	12/01/2020 17:21	Desconectó la línea L-2110 por falla trifásica
L-2110	Set-19	Set-19	Limpieza de aisladores desde la T550 hasta la T558
L-2110	20/06/2019 11:28	20/06/2019 11:28	Desconectó la línea L-2110
L-2110	Jun-18	Jun-18	Limpieza de aisladores desde la T528 hasta la T549
L-2110	13/06/2018 05:58	13/06/2018 05:58	Recierre monofásico exitoso de la línea L-2110
L-2110	13/06/2018 05:37	13/06/2018 05:37	Recierre monofásico exitoso de la línea L-2110
L-2110	13/06/2018 03:07	13/06/2018 03:07	Recierre monofásico exitoso de la línea L-2110
L-2110	13/06/2018 00:29	13/06/2018 00:29	Recierre monofásico exitoso de la línea L-2110
L-2110	Jun-16	Jun-16	Limpieza de aisladores desde la T528 hasta la T558
L-2110	24/06/2016 05:07	24/06/2016 05:07	Recierre monofásico exitoso de la línea L-2110
L-2110	24/06/2016 01:19	24/06/2016 01:19	Recierre monofásico exitoso de la línea L-2110

Línea	Inicio	Final	Descripción
L-2110	24/06/2016 00:28	24/06/2016 00:28	Recierre monofásico exitoso de la línea L-2110
L-2110	22/06/2016 05:47	22/06/2016 05:47	Recierre monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-2110
L-2110	19/12/2015 14:54	19/12/2015 14:54	Recierre monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-2110
L-2110	26/10/2015 02:52	26/10/2015 02:52	Recierre monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-2110
L-2110	Set-10	Set-10	Puesta en servicio de la línea

Fuente: Elaboración propia con información de COES Y REP

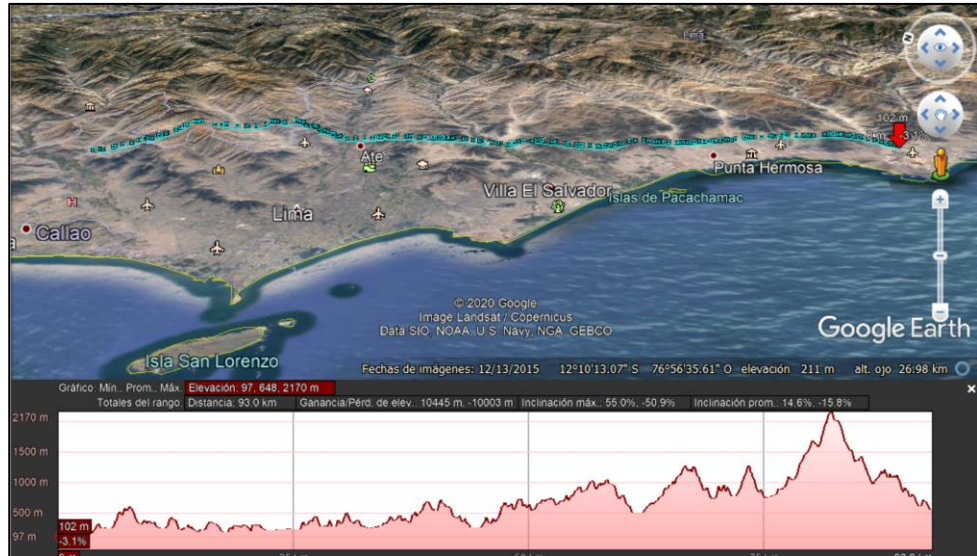
4.6.2 Geografía del recorrido de las líneas de transmisión

a) **Línea L5001 (Chilca - Carapongo) de 500kV**

Hasta el año 2017, la línea L5001 recorría desde la SE Chilca hasta la SE Carabayllo (ver figura 12). Con el ingreso de la SE Carapongo, la línea L5001 fue dividida en L5001 (Chilca - Carapongo) y L5003 (Carapongo – Carabayllo). Por razones prácticas, cuando hagamos referencia a la L5001, se debe de entender que el trayecto es desde la SE Chilca a la SE Carabayllo.

La línea tiene su recorrido de sur a norte, con distancias al mar que va desde los 5km hasta los 30km. Así mismo, su recorrido va desde los 50 msnm hasta los 2170 msnm.

Figura 12: Recorrido de la L5001, desde Chilca hasta Carabayllo



Fuente: Extraído de Google Earth

Los valles costeros se caracterizan por acumulación de neblina. La neblina acumulada forma una especie de “colchón de neblina” que oscila en todas las horas del día, hay horas en las no es posible visualizar las estructuras (ver figura 13).

Figura 13: Colchón de neblina en el vano T110 de la L5001



Fuente: Propia

Estas características se deben a la cercanía del mar y el valle costero.

El valle costero tiene línea de vista al mar (ver figura 14). Por lo que facilita el flujo de los vientos marinos.

Figura 14: valle costero permite el flujo de vientos marinos a la costa



Fuente: extraído de Google Earth

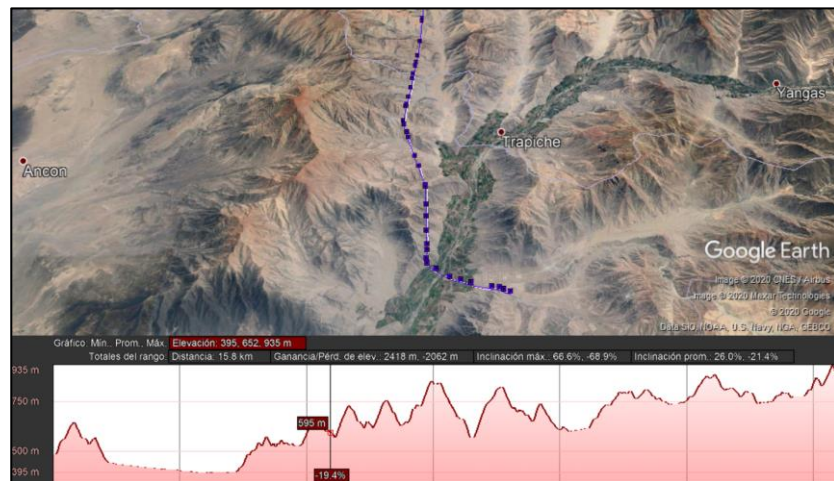
Estas características son muy importantes, ya que permiten identificar qué tipo de contaminación es la presente en las cadenas de aisladores de las líneas de transmisión.

b) **Línea L5006 (Carabayllo - Chimbote) de 500kV**

La línea L5006 de 500kV inicia su recorrido en la SE Carabayllo en dirección a la SE Chimbote. Debido que el trabajo solo se enmarca en la estrategia de mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona en la zona de Lima. Solo se estudió desde la T01 hasta la T31 (ver figura 15).

La línea de transmisión, en el tramo estudiado, esta aproximadamente a 20km del mar y va desde los 395 msnm hasta los 928 msnm.

Figura 15: Recorrido de la línea L5006 en la zona de Lima



Fuente: extraído de Google Earth

En la figura 16, podemos evidenciar que la zona estudiada tiene alta concentración de la humedad relativa.

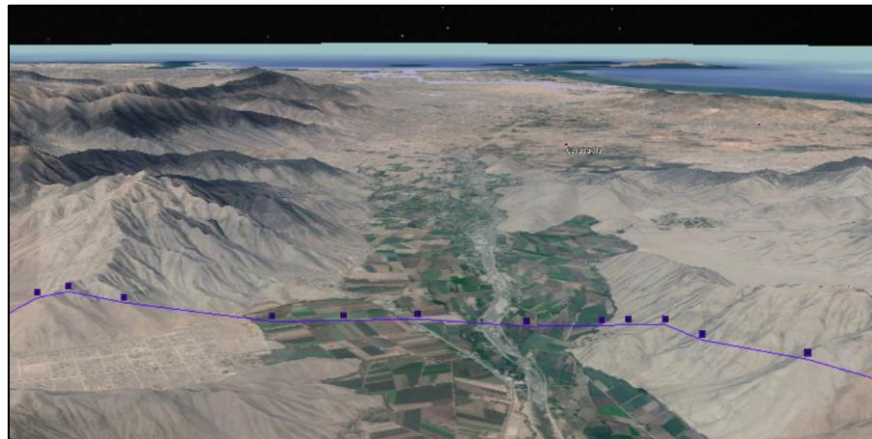
Figura 16: Vano de la Torre T07 de la L5006



Fuente: Propia

En la figura 17, visualizamos que las estructuras tienen línea de vista al mar. Por lo que están fuertemente expuestas a la contaminación marina. Esta característica también la comparte línea L5001 en su recorrido por la zona de Carapongo (ver figura 14).

Figura 17: Valla costero y línea de vista al mar



Fuente: extraído de Google Earth

c) **Línea L2110 (Huanza - Carabayllo) de 220kV**

La línea L2110 inicia su recorrido en la SE Huanza en dirección a la SE Carabayllo. El presente estudio se enmarca desde la torre T528 hasta la T558 zona Lima (ver figura 18). la altitud a la que está expuesta la zona estudiada va desde los 390msnm hasta los 690msnm.

La distancia al mar va desde los 23km hasta los 33km.

Figura 18: Recorrido de la línea L2110 en la zona de Lima



Fuente: extraído de Google Earth

La ruta de la línea de transmisión pasa por el valle costero de Trapiche y el Olivar, zonas que en los meses de junio a octubre se cubren con neblina (ver ilustración 19). La neblina es tan espesa que no permite la visibilidad y la ejecución de los trabajos de mantenimiento.

Los mantenimientos en las zonas de Trapiche y el Olivar en los meses de junio a octubre han iniciado a las 11:00 am, aproximadamente, horas en las que la humedad relativa muestra sus valores más bajos.

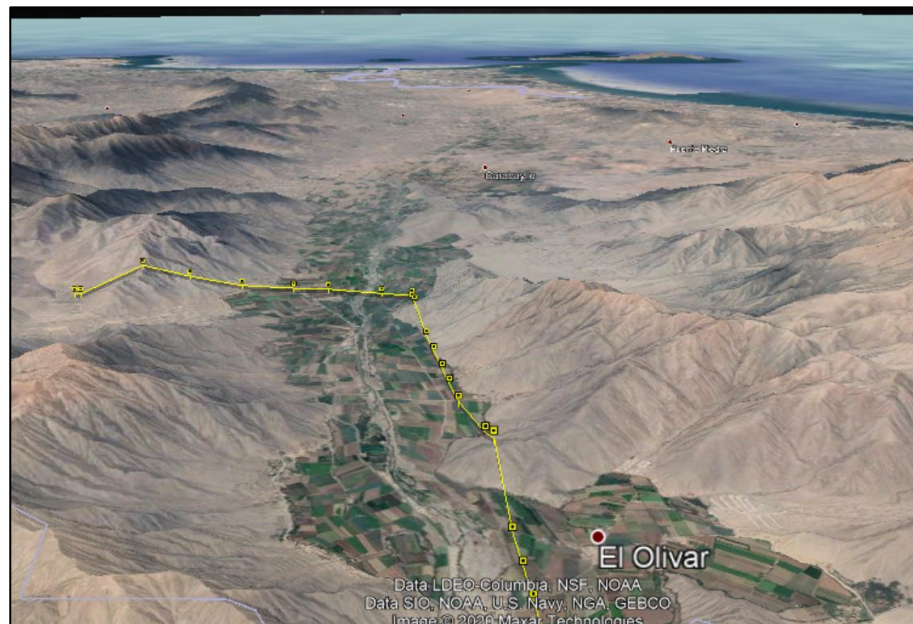
Figura 19: T453 de la L2110



Fuente: Propia

Al igual que la ruta de la L5001 en la zona de Carapongo y la L5006 en la zona de Carabaylo, la línea L2110 presenta las mismas características de línea de vista al mar y las actividades económicas que se practican en la zona (ver figura 20)

Figura 20: Valle costero y línea de vista al mar



Fuente: extraído de Google Earth

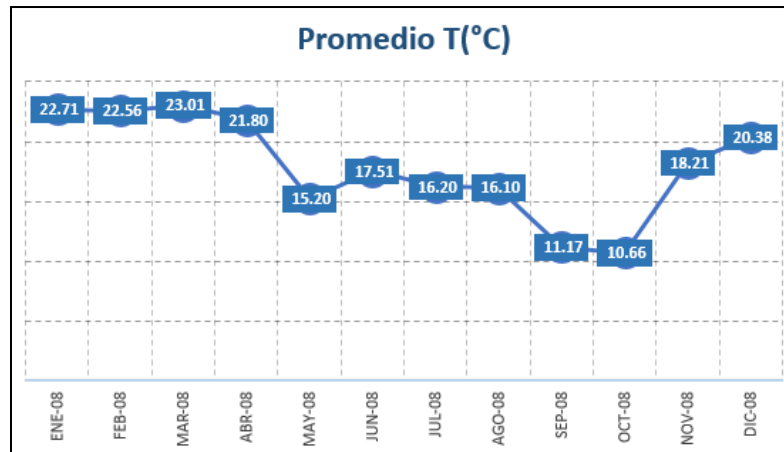
4.6.3 Temperatura y humedad relativa

Senamhi publica los registros de temperatura y humedad relativa de todos los días del año y de cada año. Las estaciones que registran los datos están distribuidas en todo el Perú. No todas las estaciones registran humedad relativa y hay algunos datos que no hacen sentido. Para la presente investigación se ubicó las estaciones más cercanas a la trayectoria de la línea L5001 zona Carapongo, L5006 zona Carabaylo y L2110 zona Carabaylo.

a) Estación Lima este en la Zona Carapongo

Los valores de cada día registrados en la estación LIMA-ESTE 47200634 fueron promediados por mes y graficado en las figuras 21, 22 y 23.

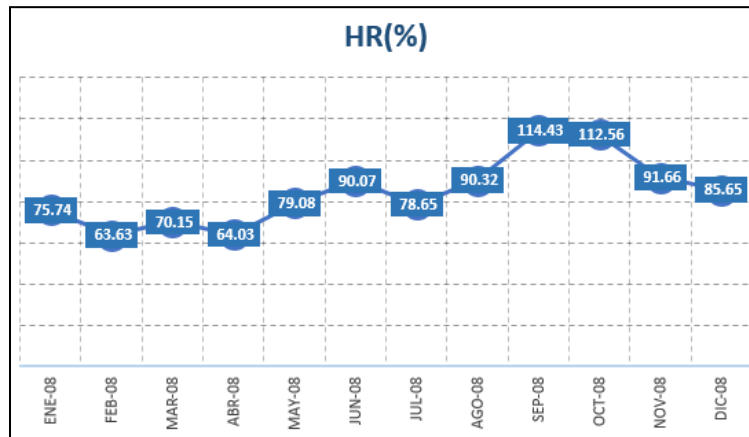
Figura 21: Comportamiento de la temperatura LIMA-ESTE



Fuente: Elaboración propia con datos de Senamhi

Desde mayo hasta octubre la temperatura en la zona de Carapongo disminuye (ver figura 21).

Figura 22: Comportamiento de la Humedad relativa LIMA-ESTE

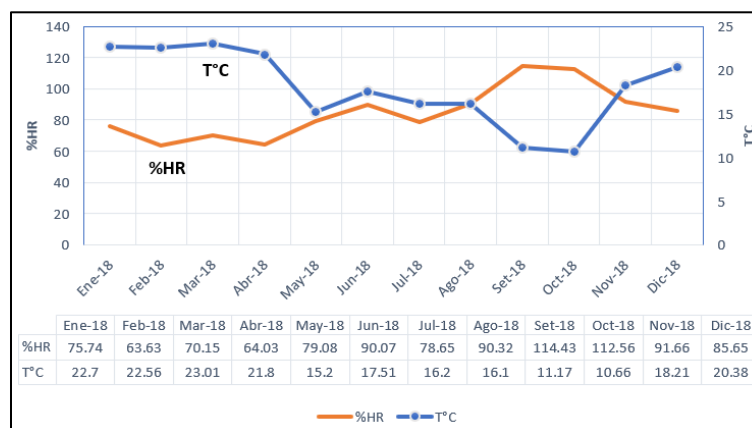


Fuente: Elaboración propia con datos de Senamhi

Como se puede apreciar los meses que tienen mayor humedad relativa son junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre. Meses que coinciden con la temporada de invierno en la ciudad de Lima.

En la figura 23, podemos notar que mientras la temperatura disminuye la humedad relativa va en aumento, lo cual demuestra una relación inversamente de estas variables.

Figura 23: Correlación entre la temperatura y la humedad relativa LIMA - ESTE

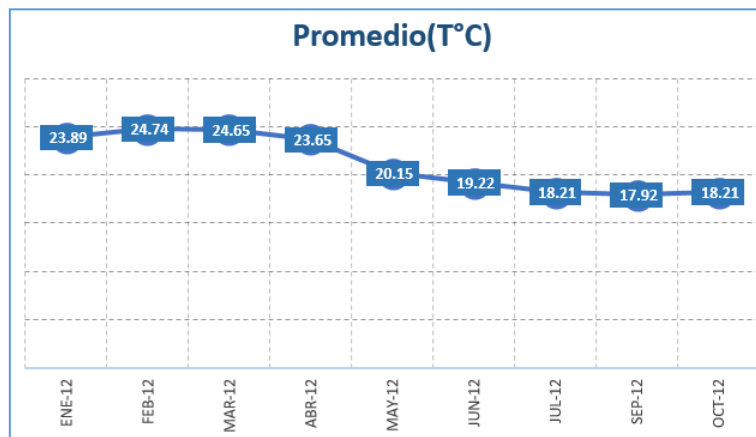


Fuente: elaboración propia con datos de Senamhi

b) **Estación Agua - azul en la zona de Carabayllo**

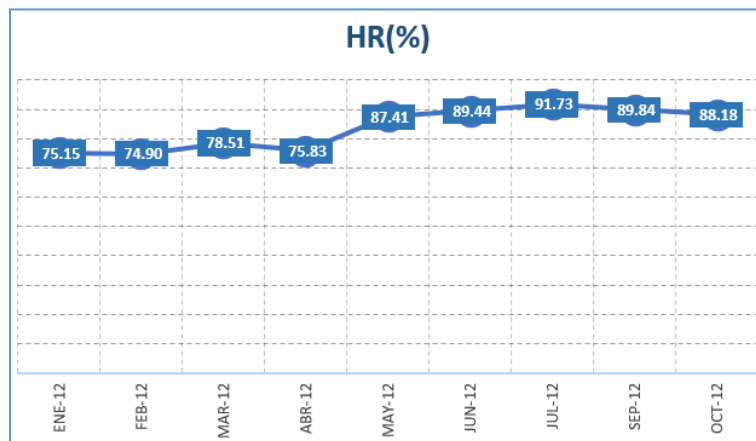
Los valores de cada día registrados en la estación AGUA - AZUL 111161 fueron promediados por mes y graficado en las figuras 24, 25 y 26.

Figura 24: Comportamiento de la temperatura AGUA-AZUL



Fuente: Elaboración propia con datos de Senamhi

Figura 25: Comportamiento de la Humedad relativa AGUA-AZUL



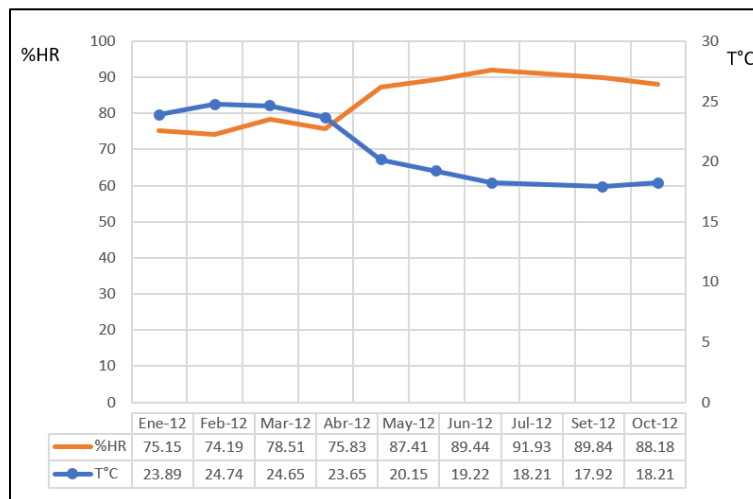
Fuente: Elaboración propia con datos de Senamhi

Como se puede apreciar, los meses que tienen mayor humedad relativa y menor temperatura son mayo, junio, julio, agosto,

setiembre y octubre. Meses que coinciden con la temporada de invierno en la ciudad de Lima.

En la figura 26 se muestra la correlación entre la temperatura y la humedad relativa.

Figura 26: Correlación entre la temperatura y la humedad relativa AGUA - AZUL



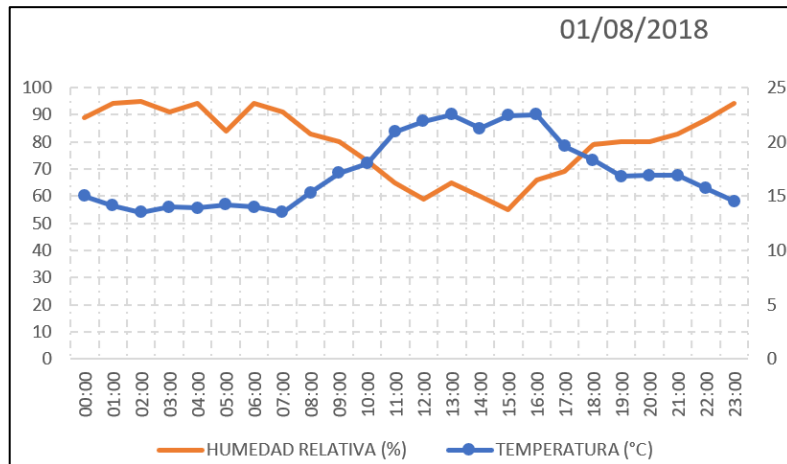
Fuente: Elaboración propia con datos de Senamhi

Al igual que en la figura 23, el comportamiento de la humedad relativa con la temperatura tiene una relación inversa. Información que también son corroborada en el estudio del señor Julio Pombo Acebedo (Acebedo, 2019)

c) **Comportamiento de la humedad relativa y temperatura en un día**

La estación ubicada en la provincia de Lima con código 111290, ha registrado valores de humedad relativa y temperatura. Los valores son mostrados en la figura 27.

Figura 27: Comportamiento de la HR% y la temperatura en un día



Fuente: Senamhi

De la gráfica se puede notar que desde las 00:00 horas hasta las 07:00 horas, la humedad relativa muestra sus valores más altos, mientras que la temperatura es la más baja. Conforme las horas avanzan la humedad va disminuyendo mientras que la temperatura va en aumento.

Al igual que en un periodo de un año la temperatura y la humedad relativa tiene comportamientos inversos, lo mismo pasa en el periodo de un día.

4.6.4 Meses y horas en las que se produce fallas

Las líneas de transmisión con aisladores de vidrio recubierto con goma silicona han presentado eventos en horas de la madrugada en meses de invierno.

a) **Caso línea L-5001**

En esta línea los eventos ocurrieron en los meses de mayo, junio, setiembre y octubre, meses y horas en los que la humedad relativa es la más alta (ver figura 22 y 27).

En la tabla 4, se muestra el historial de eventos por pérdida de aislamiento. En esta tabla 4 podemos apreciar que los eventos se han repetido en los mismos meses y hasta en tiempos muy cortos entre cada falla.

Tabla 4: recuento de eventos en la línea L5001

Línea	año	Día	Mes	Hora de falla
L-5001	2015	25	Setiembre	5:31
L-5001	2015	23	Octubre	6:14
L-5001	2015	26	Octubre	5:28
L-5001	2017	31	Mayo	22:2
L-5001	2017	31	Mayo	23:17
L-5001	2017	1	Junio6	0:11
L-5001	2017	1	Junio6	0:52
L-5001	2017	1	Junio6	3:38
L-5001	2017	15	Setiembre	1:25
L-5001	2017	15	Setiembre	4:41

Fuente: Elaboración propia con información de COES Y REP

b) Caso línea L-5006,

Los eventos ocurridos en la línea L5006 se han producido en los meses de marzo, abril, junio, setiembre y octubre, a excepción de marzo los demás meses son época de invierno (ver figura 25). Al igual que la línea L5001, en la línea L5006 también los eventos ocurrieron en horas de la madrugada (ver tabla 5).

Tabla 5: Recuento de eventos en la L5006

Línea	año	Día	Mes	Hora de falla
L-5006	2012	7	Noviembre	21:23
L-5006	2015	28	Noviembre	07:03
L-5006	2015	18	Diciembre	06:01
L-5006	2017	10	Setiembre9	06:48
L-5006	2017	15	Setiembre9	06:40
L-5006	2018	12	Junio6	21:53
L-5006	2018	13	Junio	03:31

Fuente: Elaboración propia con información de COES Y REP

c) **Caso línea L-2110,**

Al igual que los casos de las líneas L5001 y L5006, las fallas por aislamiento en la línea L2110 ocurrieron en los meses de invierno y en horas de la madrugada (ver tabla 6).

Tabla 6: Recuento de eventos en la L2110

Equipo	año	Día	Mes	Hora de falla
L-2110	2015	25	Octubre	5:35
L-2110	2015	26	Octubre	2:52
L-2110	2016	22	Junio	5:47
L-2110	2016	24	Junio	0:28
L-2110	2016	24	Junio	1:19
L-2110	2016	24	Junio	5:7
L-2110	2018	13	Junio	0:29
L-2110	2018	13	Junio	3:7
L-2110	2018	13	Junio	5:37
L-2110	2018	13	Junio	5:58

Fuente: Elaboración propia con información de COES Y REP

4.6.5 Evidencia de fallas por aislamiento

a) **Caso línea L-5001**

Las fallas ocurridas en la línea L5001 se deben a pérdida de aislamiento, conforme se puede evidenciar en las figuras 1, 28 y

29. Las imágenes también evidencian la alta humedad y contaminación de la zona.

De la tabla 4 identificamos que el 31 de mayo y primero de junio ocurrieron 5 eventos consecutivos en la misma madrugada. Hecho que obligo movilizar al personal de mantenimiento a realizar la limpieza de aisladores. El 01 de junio del año 2017 en la torre T145 se identificó el punto de falla (ver figura 28).

Figura 28: T145 de la L5001 (01 de junio del 2017)



Fuente: Informe de mantenimiento de la L5001

En la tabla 4 se indica que la línea L5001 tuvo dos eventos en la madrugada del día 15 de setiembre del año 2017. Hechos que motivaron la realización de la limpieza de aisladores desde la torre T116 a la T119 (ver tabla 8). El personal liniero asignado a limpiar

los aisladores de la torre T117 identifico el punto de falla, el cual se muestra en la figura 28.

Figura 29: T117 de la L5001 (fecha 15/09/2017)



Fuente: Informe de mantenimiento de la L5001

Es preciso indicar que las fallas de octubre del 2015 y setiembre del 2017 han ocurrido en la torre T117.

b) **Caso línea L-5006**

A diferencia de las evidencias encontradas en la línea L5001. En la línea L5006 no se ha encontrado aisladores con daños similares a la línea L5001. Sin embargo, las inspecciones nocturnas han evidenciado efluvios en niveles 3 y 4.

En la figura 30, mostramos los efluvios registrados por el equipo Daycor en el mes de setiembre del año 2017

Figura 30: Efluvios nivel 3 en la torre T08 de la L5006,



Fuente: Propia

El registro de inspección nocturna de junio del 2018, indica que las cadenas de aisladores de la torre T07 presenta efluvios de grado 4, al igual que algunas cadenas de la torre T09 (ver figura 31). Es preciso indicar que los niveles de efluvios son medidos en el rango de 1 a 5, siendo 5 la condición más crítica.

Figura 31: Informe de inspección nocturna

FORMATO DE INSPECCIÓN NOCTURNA (Nivel de Contaminación Aisladores)														
Torre	Línea	Fase	Nivel de efluvios en Aisladores (-,V,*)			Hora	Fecha	Humedad Relativa	Temp. Ambiente	Bulbo seco DP	Bulbo húmedo WP	Observaciones	Ultima Intervención	Próxima intervención de 30 meses
7	5006	IZQ	4		4	01:00	Jun-18	94.50%	15.8	14.4	15.2	Puntos de ionización fijos en 3/4 en cadena aisladores.	sep-17	
7	5006	CEN	3	4	4	01:00	Jun-18	94.50%	15.8	14.4	15.2	Puntos de ionización fijos en 3/4 en cadena aisladores.	sep-17	
7	5006	DER	3		4	01:00	Jun-18	94.50%	15.8	14.4	15.2	Puntos de ionización fijos en 3/4 en cadena aisladores.	sep-17	
8	5006	IZQ		1		02:10	Jun-18	94.20%	15.2	14.5	14.9	Puntos de ionización fijos en 1 aislador.	Jun-18	
8	5006	CEN		1		02:10	Jun-18	94.20%	15.2	14.5	14.9	Puntos de ionización fijos en 1 aislador.	Jun-18	
8	5006	DER		1		02:10	Jun-18	94.20%	15.2	14.5	14.9	Puntos de ionización fijos en 1 aislador.	Jun-18	
9	5006	IZQ	3	3	4	02:55	Jun-18	95.90%	15.1	14.5	15	Puntos de ionización fijos en 3/4 en cadena aisladores.	sep-17	
9	5006	CEN	3	4	3	02:55	Jun-18	95.90%	15.1	14.5	15	Puntos de ionización fijos en 3/4 en cadena aisladores.	sep-17	
9	5006	DER	3		3	02:55	Jun-18	95.90%	15.1	14.5	15	Puntos de ionización fijos en 1/2 en cadena aisladores.	sep-17	
10	5006	IZQ	2		2	03:27	Jun-18	97.00%	15	14.8	15.1	Puntos de ionización fijos en 1/4 en cadena aisladores.	sep-17	
10	5006	CEN	3	3	2	03:27	Jun-18	97.00%	15	14.8	15.1	Puntos de ionización fijos en 1/2 en cadena aisladores.	sep-17	

Fuente: ERP de la empresa REP

c) **Caso línea L-2110**

En la madrugada del día 22 de junio del 2016 se registró una falla en la línea L2110. Por lo que se procedió a realizar una inspección nocturna en la zona de Trapiche. De la inspección se registro efluvios en nivel 2,3 y 4. El día 24 de junio del año 2016 se registraron 3 eventos consecutivos en la línea L2110 en la misma zona del evento del día 22 de junio (ver tabla 6).

El día 25 de junio se programó la limpieza de aisladores, en la zona de trapiche y dando prioridad a las estructuras con nivel de efluvios 4. Producto de esta actividad se llegó a identificar la torre en la que habría ocurrido los eventos (ver figura 32).

Figura 32: T535 de la línea L2110 (25 de junio del 2016)



Fuente: Informe de mantenimiento de la L2110

4.6.6 Pruebas de contaminación en aisladores de la línea L5001

En julio del 2016 se extrajeron aisladores de una cadena de suspensión la torre T102 de la línea L5001 para realizarle pruebas de

contaminación, las pruebas las realizó la empresa Sediver (SEDIVER, 2017), es importante aclarar que la zona en la que está ubicada la torre T102 no es la de mayor contaminación.

El nivel de contaminación se ha determinado con el método ESDD y NSDD. Las medidas se han realizado de acuerdo con el apéndice D6 de la norma IEC 60507 y el nivel de contaminación se da de acuerdo con la norma IEC 60815.

La cadena de aisladores tiene 29 platos. Las pruebas ejecutadas solo se realizaron a 4 platos de aisladores. Estos son los que tienen la posición 1, 14, 19 y 29, considerando como el plato número 1 el que está ubicado en el lado frío de la cadena de aisladores.

En la figura 33, se muestra el nivel de ESDD y NSDD de 5 años de contaminación acumulada en los aisladores.

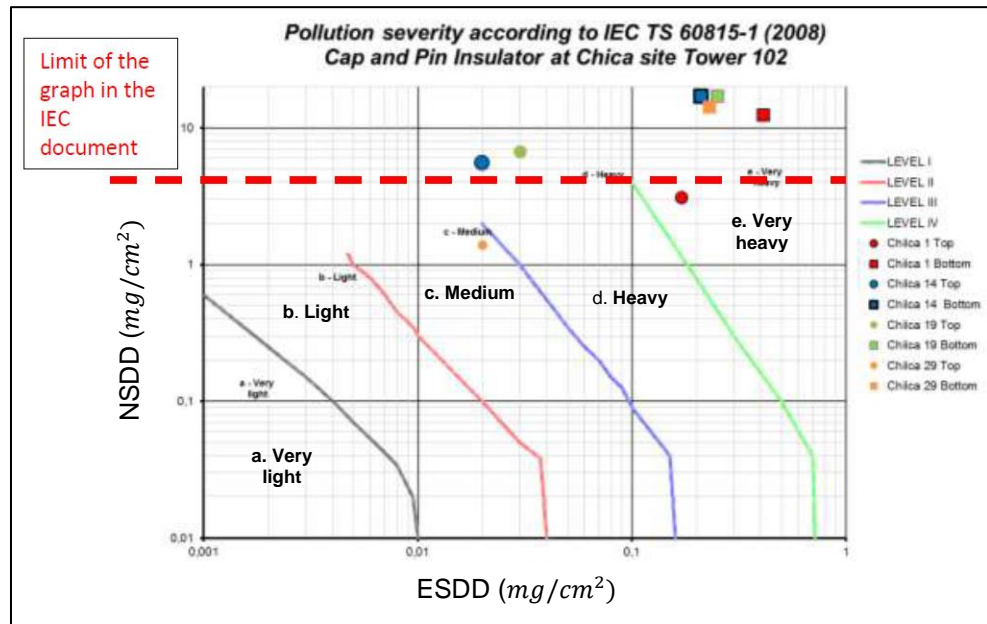
Figura 33: severidad de contaminación de acuerdo IEC60815-1 2008

Insulator	Time in service	ESDD (mg/cm ²)	NSDD (mg/cm ²)	Pollution level
Chilca n°1 (Top surface)	About 5 years	0.17	3.10	Very Heavy
Chilca n°1 (Bottom surface)		0.41	12.5	Very Heavy
Chilca n°1 total		0.33	9.24	Very Heavy
Chilca n°14 (Top surface)		0.02	5.54	Heavy
Chilca n°14 (Bottom surface)		0.21	17.18	Very Heavy
Chilca n°14 total		0.14	13.15	Very Heavy
Chilca n°19 (Top surface)		0.03	6.71	Heavy
Chilca n°19 (Bottom surface)		0.25	17.19	Very Heavy
Chilca n°19 total		0.17	13.56	Very Heavy
Chilca n°29 (Top surface)		0.02	1.39	Medium
Chilca n°29 (Bottom surface)		0.23	14.25	Very Heavy
Chilca n°29 total		0.16	9.80	Very Heavy
Average value for the string		0.20	11.43	Very Heavy

Fuente: Informe de Sediver

En la figura 34, se clasifica los niveles de contaminación de acuerdo al ESDD y NSDD.

Figura 34: Severidad de la contaminación en T102 L5001



Fuente: Informe Sediver

Primero, debe destacarse que, de las 8 mediciones, 6 resultados caen fuera del límite del gráfico dado en IEC TS 60815-1 (2008). Esto muestra claramente los valores inusualmente altos del NSDD (ver figura 34).

Segundo, se observa un mayor nivel de contaminación en las superficies inferiores de los aisladores en comparación con las superficies superiores (ver figura 33).

El nivel de contaminación en las superficies superiores se mide como "heavy" de acuerdo con IEC 60815-1 (2008), mientras que las superficies inferiores exhiben un nivel de contaminación que se clasifica como "very heavy". Esos altos valores de NSDD pueden explicarse por el entorno seco y desértico de la torre

4.6.7 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para aisladores recubiertos con goma silicona

En el subcapítulo 2.2.1, se ha descrito el proceso para determinar actividades de mantenimiento basado en MCC. Por lo que a continuación realizaremos el paso a paso para determinar las actividades que deben de ejecutarse a los aisladores de vidrio recubierto con goma silicona.

a) *Pregunta 1*

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados a la cadena de aisladores en su contexto operacional?

Funciones de las cadenas de aisladores: aislar los conductores de la estructura de transmisión y realizar esfuerzo mecánico para sostener el conductor.

Parámetros de funcionamiento: La línea no debe de operar con efluvios nivel 3 a más.

Contexto operacional:

- La pérdida de aislamiento en la cadena de aisladores provocara la desconexión de la línea de transmisión.
- Las cadenas de aisladores no tienen redundancia.
- La caída de conductores por rotura de aisladores tiene riesgo en la seguridad de las personas

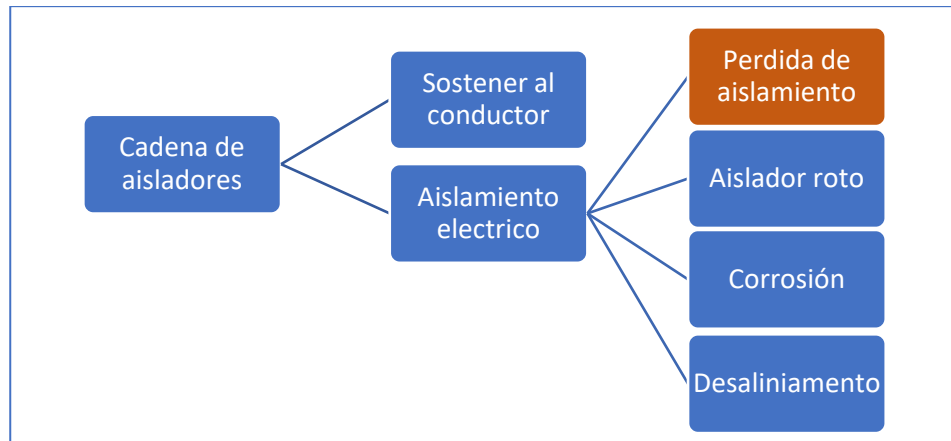
- En los casos de desconexión de la línea, no es fácil identificar la estructura fallada ya que las distancias de falla que calcula el relé no son precisas.
- Los tiempos de mantenimiento por pérdida de aislamiento es de 1 día, como mínimo.

b) **Pregunta 2**

¿De qué manera falla la cadena de aisladores en satisfacer dichas funciones?

La cadena de aisladores falla cuando ha perdido sus propiedades hidrofóbicas y ya no es capaz de aislar la corriente de fuga. También falla cuando hay rotura de aisladores, como consecuencia provoca caída de conductores. En la ilustración 35 se muestra un diagrama detallado de las formas en las que las cadenas de aisladores podrían fallar. Debido que la investigación se enfoca en el recubrimiento de goma silicona, solo analizaremos los modos de falla por pérdida de aislamiento.

Figura 35: Diagrama de fallas funcionales en el aislamiento



Fuente: Propia

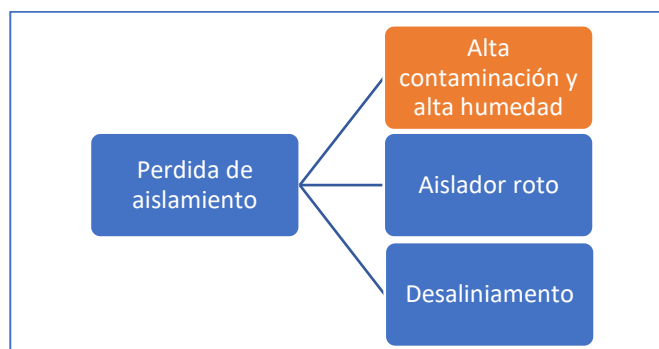
c) **Pregunta 3**

¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

En la figura 36, se muestra las causas de las fallas funcionales por pérdida de aislamiento.

A la fecha no se ha reportado desalineamiento en las cadenas de aisladores de las líneas L5001, L5006 y L2110 y tampoco aisladores rotos. Sin embargo, si hay reportes de recierres exitosos y desconexiones.

Figura 36: Causa de las fallas funcionales



Fuente: propia

d) **Pregunta 4**

¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

La línea de transmisión tiene un recierre exitoso o una desconexión.

En algunos casos se ha registrado reducción de carga de las empresas Quinpac, agrícola el Chira, entre otros.

e) **Pregunta 5**

¿Cuál es la importancia de la falla asociada al efecto sobre la funcionalidad del sistema?

- Pago de compensaciones
- Multa por incumplimiento a contrato
- Perdida de imagen ante los clientes

f) **Pregunta 6**

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

- Aplicación de grasa silicona
- Lavado de aisladores
- Limpieza a trapo de aisladores
- Limpieza con trapo seco y trapo húmedo
- Inspecciones nocturnas

- Inspección del sonido
- Inspección ligera
- Inspección minuciosa
- Cambio de aisladores que han perdido hidrofobicidad

g) **Pregunta 7**

¿Qué debe de hacerse cuando no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Rediseño del aislamiento de las zonas de alta contaminación.

4.7 Análisis costo beneficio

Se realizó un análisis de costo beneficio para determinar si es conveniente implementar la limpieza de aisladores de vidrio recubierto con goma silicona en la línea L5001 (Chilca – Carapongo) de 500kV.

En la tabla 7, se puede apreciar que se gastó 126,371.02 soles para atender el mantenimiento del aislamiento de dicha línea en los años 2016 y 2017.

Tabla 7: Costos de mantenimiento de la línea L5001 en el año 2016 y 2017

Fechas	Equipos intervenidos										Costo de mantenimiento(S/.)
12-Jun-16	T112	T113	T114	T115	T116	T117	T118	T119	T120	T221	32,120.08
26-Jun-16	T111	T122	T123								13,472.28
31-Jul-16	T124	T125	T167	T168	T169	T170	T171	T172	T173	T174	34,585.57
1-Jun-17	T143	T144	T145								18,779.04
2-Jun-17	T146	T147	T148	T149							
11-Jun-17	T126	T127	T128	T129	T133	T141	T142				27,414.05
											126,371.02

De acuerdo con la escala de multas y sanciones de la gerencia de fiscalización, *por no conservar y mantener sus obras e instalaciones en condiciones adecuadas para su operación eficiente de acuerdo con lo previsto en su contrato y la ley*. La empresa podrá ser sancionada hasta un máximo de 300 UIT. El costo de la UIT en el año 2021 es de 4400 soles. Por lo que la sanción máxima sería de 1,320,000 soles

Si por año en la línea L5001 se gastó en mantenimiento un promedio de 63,185.51 soles. El beneficio por la ejecución de esta actividad sería de 1,256,814.49 soles.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

5.1.1 Tipo de mantenimiento

a) *Aplicación de grasa silicona*

La aplicación de grasa silicona se realiza en aisladores de vidrio o porcelana sin ningún tipo de recubrimiento.

En la empresa Red Energía del Perú, la grasa silicona se renueva desde los 30 a 36 meses de operación. La renovación de la grasa silicona es un mantenimiento del tipo reinicio de reloj, ya que cada vez que es ejecutado los aisladores recuperan sus propiedades hidrofóbicas.

La aplicación de grasa silicona sobre la goma silicona acelera el daño de la goma silicona, con lo que sus propiedades hidrofóbicas se ven duramente afectados (Ver figura 37).

Figura 37: T02 de la línea L5011, aislador con grasa silicona aplicado sobre la goma silicona



Fuente: Propia

b) **Lavado en caliente de aisladores**

El lavado en caliente de aisladores es una técnica de mantenimiento a distancia que no requiere desenergización de la línea de transmisión. Este tipo de mantenimiento puede realizarse con unimog o helicóptero.

En Perú no se tiene experiencia para realizar lavado de aisladores con helicóptero. Además, los costos de cotización que se tienen con empresas extranjeras superan por mucho los costos de realizarlo con personal.

No todas las estructuras de las líneas L5001, L5006 y L2110 tienen acceso vehicular. Por lo que llegar a pie de torre no es factible con un vehículo adaptado para realizar lavado de aisladores.

c) ***Limpieza a trapo de aisladores***

Mantenimiento que consiste en extraer la contaminación de los aisladores mediante un trapo arpillero, este mantenimiento es aplicado a los aisladores de vidrio, porcelana y poliméricos.

d) ***Mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona***

En las inspecciones y mantenimientos de líneas de transmisión se ha verificado que la mayor contaminación de los aisladores esta acumulada en las faldas (parte inferior del aislador). Por lo que el lavado de los aisladores no sería efectivo.

Para determinar el tipo de mantenimiento de los aisladores de vidrio recubierto con goma silicona se realizaron las siguientes pruebas: limpieza de aisladores con trapo húmedo, con trapo seco y con alcohol.

La limpieza con alcohol de aisladores recubiertos con goma silicona no es factible por el efecto que causa al personal liniero. El mantenimiento con trapo húmedo tampoco fue factible por la alta contaminación de los aisladores (cada vez que se limpiaba se

formaba barro), la limpieza con trapo seco fue la más adecuada. Sin embargo, no desprendía toda la contaminación.

De las pruebas ejecutadas, la mejor opción para la limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona es la limpieza manual con trapo arpillero seco, ya que garantiza la limpieza de toda el área superficial de aislador (parte inferior y superior), para garantizar la extracción de toda la contaminación se adiciona la limpieza manual con trapo húmedo.

Figura 38: Aisladores recubiertos con goma silicona contaminados T542 L2110



Fuente: Registro fotográfico del técnico Marco Morales

Para la limpieza de las cadenas de aisladores de anclaje, se cubre los aisladores con una frazada, con el objetivo de no dañar la goma silicona (ver figura 39).

Figura 39: Limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona de la L5006

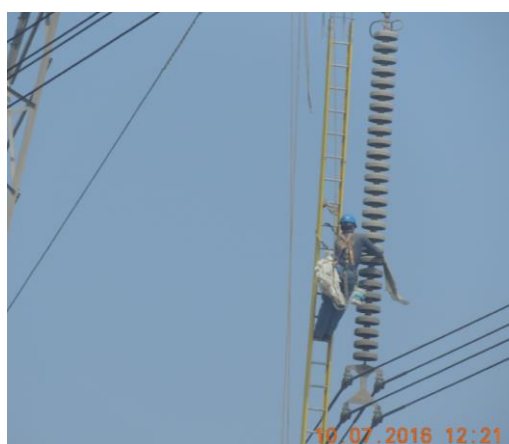


Fuente: Informes de mantenimiento

En la figura 39 se visualiza las cadenas de aisladores contaminados y como va quedando después de la limpieza con trapo arpillero.

En el caso de cadenas de suspensión, el liniero ingresa a los aisladores con la ayuda de una escalera de fibra de vidrio de tipo gancho (figura 40).

Figura 40: Limpieza de aisladores en cadenas de suspensión



Fuente: propia

En la figura 41, se muestra los aisladores después de la limpieza con trapo seco y trapo húmedo.

Figura 41: Aisladores después de la limpieza con trapo arpillero (L5006)



Fuente: informes de mantenimiento

5.1.2 Frecuencia de mantenimiento

e) Línea L5001

La línea L5001 tuvo su primer evento en setiembre del año 2015, después de 4.5 años de libre mantenimiento (ver tabla 7).

Tabla 8: Recuento de eventos por pérdida de aislamiento en la línea L5001

Línea	Inicio	Final	Descripción	Sector de falla	Causa de falla
L-5001	14/03/2011 20:07	14/03/2011 20:07	Se energizo por primera vez		Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	25/09/2015 05:31	25/09/2015 13:20	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Petramas	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	23/10/2015 06:14	23/10/2015 08:47	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Carapongo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	26/10/2015 05:28	26/10/2015 06:14	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Carapongo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	31/05/2017 22:02	31/05/2017 22:21	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Petramas	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad

Línea	Inicio	Final	Descripción	Sector de falla	Causa de falla
L-5001	31/05/2017 23:17	31/05/2017 03:39	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Petramas	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	1/06/2017 00:11	1/06/2017 00:21	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Petramas	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	1/06/2017 00:52	1/06/2017 03:11	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Petramas	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	1/06/2017 03:38	1/06/2017 17:48	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Petramas	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	15/09/2017 01:25	15/09/2017 04:36	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Carapongo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5001	15/09/2017 04:41	15/09/2017 18:47	Recierre no exitoso de la línea L-5001	Carapongo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad

Fuente: COES eventos relevantes

A la fecha se ha realizado la limpieza de cadenas de aisladores en la zona Carapongo todos los años desde el primer evento ocurrido en setiembre del 2015 (ver tabla 8)

Tabla 9: Historial de mantenimiento de los aisladores en la línea L5001

Equipo	Fecha	Actividad	Sector de falla	estructuras intervenidas
L5001	Nov-15	Limpieza de aisladores	Carapongo	Desde T115 a T120
L5001	Jun-16	Limpieza de aisladores	Carapongo	Desde T111 a T123
L5001	Jun-17	Limpieza de aisladores	Petramas y Carapongo	Desde T141 a T145 y T125 a T129
L5001	Set-17	Limpieza de aisladores	Carapongo	Desde T116 a T119
L5001	Feb-18	Limpieza de aisladores	Planicie	Desde T80 a T110 y T64 a T72
L5001	Jul-18	Limpieza de aisladores	Carapongo	Desde T117 y T118
L5001	Abr-19	Limpieza de aisladores	Chilca y Carapongo	Desde T5 a T25 y T119 a T124
L5001	Feb-20	Limpieza de aisladores	Carapongo	Desde T22 a T63

Fuente: ERP SAP de la empresa REP

La primera limpieza de aisladores se realizó como consecuencia de los recierres no exitoso de setiembre y octubre del 2015 (ver tabla 7).

El 2016 se realizó la limpieza de aisladores en la zona de Carapongo y en los mismos aisladores que se realizó la limpieza del año 2015. Como consecuencia en el año 2016 no se presentaron eventos por perdida de aislamiento en la línea L5001.

En la madrugada del primero de junio del año 2017 se tuvo 3 recierres no exitosos en la zona de Petramas (ver tabla 7). Como consecuencia se realizó la limpieza de aisladores, en la cual se pudo identificar las cadenas de aisladores fallados (ver figura 28).

En la madrugada del 15 de setiembre del año 2017, ocurrió dos recierres no exitosos en la zona de Carapongo. la falla fue ubicada en la torre T117 de la línea L5001.

Desde el año 2018 la línea L5001 no ha vuelto a desconectar por problemas de perdida de aislamiento. Así mismo, desde este año se ha realizado el mantenimiento anual de los aisladores de la zona de Carapongo.

Por lo descrito y evidenciado en las tablas 7 y 8, el mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona en la línea L5001, deberá de realizarse al cuarto año de la puesta en servicio y desde el quinto año el mantenimiento deberá de ser todos los años en las zonas de alta contaminación.

Las zonas de alta contaminación se caracterizan por lo siguiente:

- Valle costero
- En los meses de invierno se forma un colchón de neblina
- El colchón de neblina tiene un espesor aproximado de 400m
- La distancia al mar es de aproximadamente 33km

En las zonas que no tienen las características de alta contaminación, el mantenimiento deberá de ser realizado a condición. Por lo que se debe programar actividades de monitoreo.

Las actividades de monitoreo son las inspecciones ligeras, e inspecciones nocturnas, las cuales tienen una frecuencia de una vez por año. Con la inspección ligera se identificará las zonas con aisladores contaminados y la inspección nocturna identificará el nivel de efluvios. Si los efluvios está en nivel 3 o superior se deberá de programar la limpieza de aisladores.

f) **Línea 5006**

La zona Lima de la línea L5006 va desde la torre T01 hasta la T31 y tiene aproximadamente 20km de recorrido. La primera energización de la línea de transmisión fue en noviembre del año 2012.

El primer recierre registrado fue en noviembre del 2015 en la zona de Carabaylo (ver tabla 9). La línea estuvo de libre mantenimiento por 3 años, aproximadamente. (ver tabla 9).

Tabla 10: Recuento de eventos por pérdida de aislamiento en la línea L5006, zona Lima

Equipo	Inicio	Final	Descripción	Sector de falla	Causa de falla
L-5006	13/06/2018 03:31	13/06/2018 03:31	Recierre exitoso	Carabaylo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5006	12/06/2018 21:53	12/06/2018 21:53	Recierre exitoso	Carabaylo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5006	15/09/2017 06:40	15/09/2017 06:40	Recierre exitoso	Carabaylo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5006	10/09/2017 06:48	10/09/2017 06:48	Recierre exitoso	Carabaylo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5006	18/12/2015 06:01	18/12/2015 06:01	Recierre exitoso	Carabaylo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5006	28/11/2015 07:03	28/11/2015 07:03	Recierre exitoso	Carabaylo	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-5006	7/11/2012 21:23	7/11/2012 21:23	Primera energización		

Fuente: COES eventos relevantes

En la tabla 9, se visualiza los reiterados recierres en la línea 5006 en la zona de Carabaylo.

El primer mantenimiento se realizó febrero del año 2016 (ver tabla 10), luego que la línea tuviera sus primeros recierres en noviembre del 2015.

El año 2017 no se realizó mantenimientos y tampoco se registraron fallas.

El año 2018 se volvió a registrar recierres exitosos en la zona de Carabayllo. Por lo que se procedió a realizar la limpieza de los aisladores. Desde este año se ha venido realizando la limpieza de los aisladores de la zona de Carabayllo cada año y como consecuencia la línea no ha presentado fallas.

Tabla 11: Historial de mantenimiento de los aisladores en la línea L5006, Zona Lima.

Equipo	Inicio	Final	Descripción	Sector de falla	Causa de falla
L-5006	2/02/2020	2/02/2020	Limpieza de aisladores	Carabayllo	Desde T01 a T20
L-5006	2/06/2019	2/06/2019	Limpieza de aisladores	Carabayllo	Desde T18 a T20
L-5006	18/05/2019	18/05/2019	Limpieza de aisladores	Carabayllo	Desde T01 a T17
L-5006	23/06/2018	23/06/2018	Limpieza de aisladores	Carabayllo	Desde T01 a T15
L-5006	18/09/2016	18/09/2016	Limpieza de aisladores	Carabayllo	Desde T21 a T25
L-5006	10/07/2016	10/07/2016	Limpieza de aisladores	Carabayllo	Desde T16 a T20
L-5006	7/02/2016	7/02/2016	Limpieza de aisladores	Carabayllo	Desde T01 a T15
L-5006	7/11/2012 21:23	7/11/2012 21:23	Primera energización		

Fuente: ERP SAP de la empresa REP

Por lo descrito y evidenciado en las tablas 9 y 10, el mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona en la línea L5006, se deberá de realizar al tercer año de la puesta en servicio y desde el cuarto año el mantenimiento deberá de ser todos los años en las zonas de alta contaminación.

Las zonas de alta contaminación se caracterizan por lo siguiente:

- Valle costero

- En los meses de invierno se forma un colchón de neblina
- El colchón de neblina tiene un espesor aproximado de 400m
- La distancia al mar es de aproximadamente 33km

En las zonas que no tienen las características de alta contaminación, el mantenimiento deberá de ser realizado a condición. Por lo que se debe programar actividades de monitoreo.

Las actividades de monitoreo son las inspecciones ligeras, e inspecciones nocturnas, las cuales tienen una frecuencia de una vez por año. Con la inspección ligera se identificará las zonas con aisladores contaminados y la inspección nocturna identificará el nivel de efluvios. Si los efluvios está en nivel 3 o superior se deberá de programar la limpieza de aisladores.

g) **Línea L2110**

La zona Lima de la línea L2110 va desde la torre T528 hasta la T558 y tiene aproximadamente 13km de recorrido. La primera energización de la línea de transmisión fue en setiembre del año 2010.

El primer recierre registrado fue en octubre del año 2015 en la zona de Trapiche (ver tabla 11). Por lo que la línea estuvo libre mantenimiento por 5.1 años, aproximadamente.

Tabla 12: Recuento de eventos por pérdida de aislamiento en la línea L2110, zona Lima

Equipo	Inicio	Final	Descripción	Sector falla	Causa de falla
L-2110	13/06/2018 05:58	13/06/2018 05:58	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	13/06/2018 05:37	13/06/2018 05:37	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	13/06/2018 03:07	13/06/2018 03:07	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	13/06/2018 00:29	13/06/2018 00:29	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	24/06/2016 05:07	24/06/2016 05:07	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	24/06/2016 01:19	24/06/2016 01:19	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	24/06/2016 00:28	24/06/2016 00:28	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	22/06/2016 05:47	22/06/2016 05:47	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	26/10/2015 02:52	26/10/2015 02:52	Recierre exitoso	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L-2110	25/10/2015 05:35	25/10/2015 05:44	Desconexión de la L2110	Trapiche	Perdida de aislamiento por contaminación y alta humedad
L2110	30/09/2010				Primera energización

Fuente: Portal COES

El primer mantenimiento se realizó en junio del año 2016 (ver tabla 12), luego que la línea registrara recierres exitosos los días 22 y 24 de junio del año 2016 (ver tabla 11).

El año 2017 no se realizó mantenimientos y tampoco se registraron fallas. El año 2018 se volvió a registrar recierres exitosos en la zona de Trapiche (ver tabla 11). Por lo que se

procedió a realizar la limpieza de los aisladores en la zona de Trapiche. El año 2019 y hasta mayo del año 2020 no se han registrado eventos por pérdida de aislamiento en la línea L2110 zona Lima.

Tabla 13: Historial de mantenimiento de los aisladores en la línea L2110, Zona Lima

Equipo	Inicio	Descripción	Sector falla	Causa de falla
L-2110	10/09/2019	Mantenimiento	Trapiche	Desde T550 a T558
L2110	13/06/2018	Mantenimiento	Trapiche	Desde T528 a T549
L-2110	25/06/2016	Mantenimiento	Trapiche	Desde T530 a T558
L2110	30/09/2010			Primera energización

Fuente: ERP SAP de la empresa REP

Por lo descrito y evidenciado en las tablas 11 y 12, el mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona en la línea L2110, se deberá de realizar al quinto año de la puesta en servicio y desde el sexto año el mantenimiento deberá de ser todos los años en las zonas de alta contaminación.

Las zonas de alta contaminación se caracterizan por lo siguiente:

- Valle costero
- En los meses de invierno se forma un colchón de neblina
- El colchón de neblina tiene un espesor aproximado de 400m
- La distancia al mar es de aproximadamente 33km

En las zonas que no tienen las características de alta contaminación, el mantenimiento deberá de ser realizado a condición. Por lo que se debe programar actividades de monitoreo.

Las actividades de monitoreo son las inspecciones ligeras, e inspecciones nocturnas, las cuales tienen una frecuencia de una vez por año. Con la inspección ligera se identificará las zonas con aisladores contaminados y la inspección nocturna identificará el nivel de efluvios. Si los efluvios está en nivel 3 o superior se deberá de programar la limpieza de aisladores.

5.2 Resultados inferenciales

5.2.1 Tipo de mantenimiento

Por lo expuesto en el subcapítulo 5.1.1, En la zona Lima del Perú el mantenimiento del aislamiento de los aisladores recubiertos con goma silicona RTV debe de ser la limpieza manual con trapo arpillero seco y trapo húmedo.

5.2.2 Frecuencia de mantenimiento

De las tablas 7, 9 y 11 podemos evidenciar que las desconexiones y recierres exitosos ocurrieron en las zonas de alta contaminación. Las zonas de alta contaminación cumplen las siguientes características:

- Línea de trasmisión que tiene estructuras en un valle costero
- Las estructuras tienen línea de vista al mar

- Las estructuras están hasta 33km del mar
- En determinadas horas la neblina cubre las estructuras (colchon de neblina)
- Existe una diferente entre el punto más alto y bajo del valle de aproximadamente 400m.

Por lo descrito y evidenciado en el subcapítulo 5.1.2, la estrategia de mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona de las líneas L5001, L5006 y L2110, tiene dos casos.

En el caso de zonas de alta contaminación, los aisladores deben de ser limpiados cada año desde el primer evento o el nivel de efluvios sea mayor o igual a 3.

En las zonas que no tienen las características de alta contaminación, el mantenimiento deberá de ser realizado a condición. Por lo que se debe programar actividades de monitoreo. Las actividades de monitoreo son las inspecciones ligeras, e inspecciones nocturnas, ejecutadas una vez por año. Con la inspección ligera se identificará las zonas con aisladores contaminados y la inspección nocturna identificará el nivel de efluvios. Si el nivel de efluvios es mayor o igual a 3 se deberá de programar el mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona RTV.

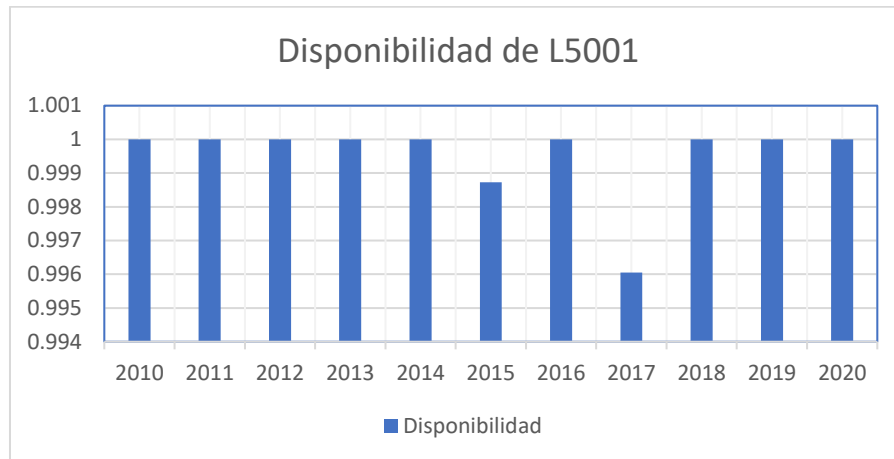
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1 Prueba de hipótesis general

La limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona cada cuatro años garantizará la operación continua de la línea de transmisión

Figura 42: Disponibilidad de la línea L5001



Fuente: Elaboración propia

La disponibilidad de la línea L5001 estuvo en 1 por 4 años. En el año 2015, año en el que se presentó los primeros eventos, la disponibilidad disminuyó a 0.99. En el año 2016 se realizó el mantenimiento del aislamiento y como consecuencia la disponibilidad subió a 1.

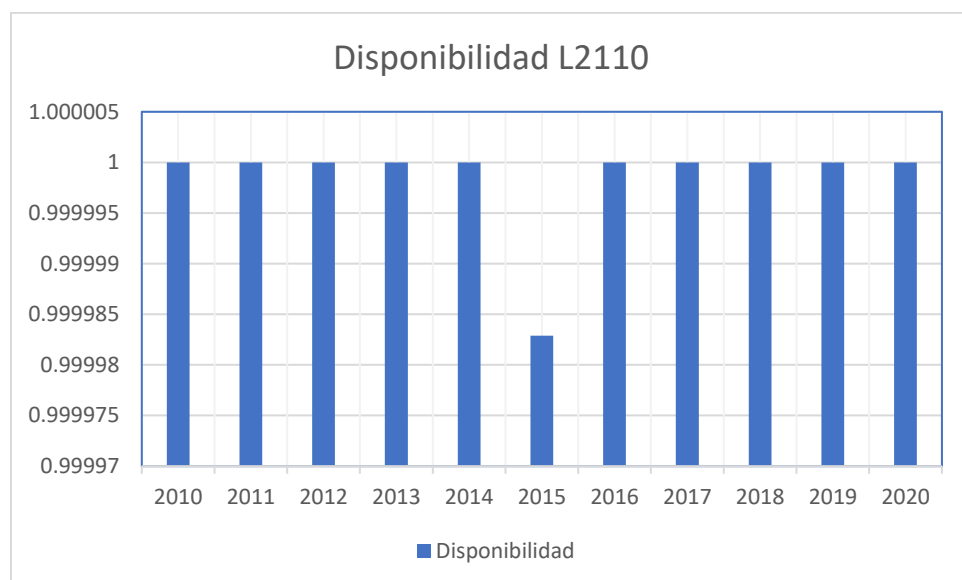
Luego de los eventos del año 2017, año en el que la disponibilidad volvió a bajar, el mantenimiento se empezó a realizar de manera frecuente por lo que la disponibilidad desde el año 2018 hacia adelante es de 1.

En el caso de la línea L5006 la disponibilidad se ha mantenido en 1 todos los años, debido que solo se han presentado recierres exitosos

en el tramo de la zona de Lima. por lo que su disponibilidad no se ha visto afectado. Sin embargo, con la estrategia de mantenimiento se está evitando que la línea presente recierres exitosos que en el algún momento podrían llegar a desconectar la línea de trasmisión.

En el caso de la línea L2110, solo se ha presentado una desconexión de la línea en el año 2015. En los demás años solo han sido recierres exitosos. Por lo que la disponibilidad en el año 2015 fue de 0.99, mientras que los demás años es de 1 (Ver figura 43)

Figura 43: Disponibilidad de la línea L2110



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Prueba de hipótesis específica 1

Hipótesis 1:

“Se debe de realizar la limpieza de aisladores de virio recubiertos con goma silicona con trapo arpillero seco y con trapo arpillero húmedo”.

Los tipos de mantenimiento al aislamiento son:

- Renovación de grasa silicona
- Limpieza de aisladores
- Lavado de aisladores

La renovación de la silicona solo es aplicable en los casos en los que el recubrimiento es grasa silicona. Por lo que no será factible aplicar este tipo de mantenimiento. Con respecto al lavado de aisladores, este requiere que las estructuras tengan acceso vehicular para un Unimoc, carros en los que se ha acondicionado equipos de lavado de aisladores. Sin embargo, muchas estructuras no tienen acceso vehicular. Por lo que no será factible realizar este tipo de mantenimiento.

A la fecha, el único mantenimiento factible se realizar es la limpieza manual con trapo arpillero seco y humedo. En la figura 44, se visualiza la contaminación en los aisladores recubiertos con goma silicona.

Figura 44: Contaminación en aislador recubierto con goma silicona de la L2110



Fuente: Informes de mantenimiento de la L2110

6.1.3 Prueba de hipótesis específica 2

Hipótesis 2:

“La frecuencia de mantenimiento deberá de ser cada 4 años, debido que la primera falla ocurrió aproximadamente en cuatro años y medio desde la puesta en operación de la línea de transmisión”

En el proyecto de tesis, se indicó que la frecuencia de los mantenimientos debe de ser cada 4 años. Sin embargo, se ha demostrado que el mantenimiento en los aisladores recubiertos con goma silicona no es reinicio de reloj. Esto lo verificamos con las frecuencias de eventos que se han presentado en las líneas L5001, L5006 y L2110. Así mismo, en las bases teóricas, la guía de mantenimiento del IEEE hace referencia de la degradación de las

propiedades hidrofóbicas de los aisladores recubiertos con goma silicona.

Por lo evidenciado en el historial de eventos de las líneas L5001, L5006 y L2110, se concluye que el mantenimiento de los aisladores recubiertos con goma silicona será a condición en las zonas que no cumplen las características de alta contaminación.

Un mantenimiento a condición tiene asociado un mantenimiento preventivo de monitoreo. En el caso de análisis, los mantenimientos preventivos frecuentes de una vez por año son: la inspección ligera e inspección nocturna.

La inspección ligera identificará las cadenas de aisladores contaminados y con la inspección nocturna se identificará los niveles de efluvios. Si el nivel de efluvios es 3 o superior se deberá de programar el mantenimiento de los aisladores.

En el caso de las zonas de alta contaminación la limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona se realizará todos los años desde que se ha presentado el primer evento o desde que se idéntico cadenas de aisladores con efluvios nivel 3 o superior.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Se ha evidenciado que las propiedades de los aisladores recubiertos con goma silicona pierden sus propiedades hidrofóbicas, conforme indica el CIGRE en su documento "Important Material Properties of RTV Silicone Rubber Insulator Coatings". Así mismo los resultados de ejecutar el

mantenimiento a condición. Lo cual implica actividades preventivas para el monitoreo recomendadas en el documento “*IEEE guide for the Application Maintenance, and Evaluation of Room -Temperature Vulcanizing (RTV) Silicone Ribber Coating For Outdoor Ceramic Insulators*”.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

La investigación ha sido basada en las referencias bibliográficas indicadas en los antecedentes y bases teóricas, todo debidamente referenciado en la bibliografía. El historial de fallas es información pública que el Comité de Operación Económica del Sistema actualiza todos los días en su página web.

VII. CONCLUSIONES

- Las zonas de alta contaminación son las que cumplen las siguientes características: Estructuras instaladas en valles costeros, las estructuras tienen línea de vista al mar, las estructuras están a una distancia de hasta 33km del mar, en determinadas horas la neblina cubre las estructuras (colchón de neblina) y existe una diferencia entre el punto más alto y bajo del valle de aproximadamente 400m.
- El mantenimiento de los aisladores en las zonas de alta contaminación se realizará cada año a partir del primer evento o desde que se haya identificado efluvios de nivel 3 o superior.
- La estrategia de mantenimiento de aisladores recubiertos con goma silicona en las zonas de no muy alta contaminación debe de ser a condición. Las actividades preventivas asociadas a la estrategia de condición serán las inspecciones ligeras y las inspecciones nocturnas, las cuales serán ejecutadas una vez por año. Con la inspección ligera se identificará las zonas en las que las cadenas de aisladores tienen alta contaminación y con la inspección nocturna se identificará el nivel de efluvios, si el nivel de efluvios es 3 o superior se debe de programar su mantenimiento.
- El mantenimiento de los aisladores recubiertos con goma silicona se realizará con trapo arpillero seco. Cuando se concluye con el retiro de la contaminación acumulada se limpia con un trapo arpillero húmedo.
- El nivel de efluvios es más severo en las cadenas de aisladores del tipo suspensión. Esto se debe a la condensación de la neblina en la

superficie de los aisladores y a la caída de las gotas de agua por efecto de la gravedad.

- El mantenimiento de limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona no es del tipo “reseteo de reloj”. Esto significa que las propiedades aislantes no se recuperan. La hidrofobicidad disminuye de forma heterogénea en toda la superficie del aislador.
- El nivel de contaminación de la zona de lima del Perú es superior a lo indicado en la norma IEC 815 (SEDIVER , 2017). Por lo que es necesario realizar un estudio y determinar cuál es la línea de fuga específica que debe de considerarse para dimensionar el aislamiento en las zonas de alta contaminación.
- La sanción máxima por no mantener las instalaciones en condiciones adecuadas es de 300 UIT. Lo que equivale a una multa de 1,320,000 soles. En la línea L5001 (Chilca – Carapongo) de 500kV se ha gastado 63,185.51 soles por año. Por lo que el beneficio de implementar el mantenimiento del aislamiento de vidrio recubierto con goma silicona sería de 1,256,814.49 soles.

VIII. RECOMENDACIONES

- En las zonas de alta contaminación, evaluar si conviene técnica y económicamente realizar el mantenimiento de limpieza o cambio de aisladores recubiertos con goma silicona.
- Las tecnologías han estado avanzando rápidamente y con ello nuevos servicios de mantenimiento. En Perú el costo de lavado de aisladores con helicóptero es caro. Sin embargo, estos costos deben de ir disminuyendo con la oferta y demanda del mercado. Por lo que es necesario tener costos actualizados para poder tomar las mejores decisiones.
- Los aisladores poliméricos de la generación del año 2019, comprados por la empresa REP, han tenido mejoras como la eliminación del boro en la caña de fibra de vidrio, superficies lisas, entre otras. Por lo que es necesario estudiar su comportamiento en zonas de alta contaminación como los valles costeros de la zona de Lima del Perú.
- No todas las inspecciones nocturnas son exitosas, debido que presentan riesgo de desbarrancamiento del personal ejecutar, por lo que es necesario estudiar e implementar nuevas técnicas de inspección de efluvios.
- Los niveles de contaminación en la zona de Lima son mayores a los indicados en la norma IEC 815 (SEDIVER , 2017), por lo que es necesario realizar un estudio y determinar cuál es la distancia de fuga específica ideal para dimensionar el aislamiento de líneas de transmisión en la zona de Lima.

- Se ha implementado el recubrimiento con goma silicona en equipos de patio en las subestaciones de Planicie, Zorritos y Poroma. Por lo que es necesario estudiar el comportamiento del recubrimiento en estos equipos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, J. C. (2019). *Sistema de Detección y Pronóstico de la Contaminación presente en Aisladores de Alta Tensión de la Subestación Nueva Barranquilla*. Barranquilla .

Aponte, G. (2009). Contamination Level Evaluation on Colombian North Cost. *IEEE Latin America Transactions* · July 2009, 7(2), 190-195.

COES. (s.f.). *Eventos relevantes* . Obtenido de <http://www.coes.org.pe/Portal/eventos/relevantes/>

GUTIÉRREZGALLEGO, J. A. (Agosto de 2009). Desarrollo de una estrategia de mantenimiento basada en RCM para líneas de transmisión de 115kV. (U. T. Pereira, Ed.) *Scientia et Technica*, XV, 11-16.

Hui Deng. (January de 1996). Influence of thickness, substrate type, amount of silicone fluid and solvent type on the electrical performance of RTV silicone rubber coating. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(1), 431-443.

IEC. (s.f.). *ANEXO N° 4.3.1 GRADOS DE CONTAMINACIÓN (NORMA IEC 815)*.

IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society. (2002). *IEEE Guide for the Application, Maintenance, and Evaluation of Room-Temperature*

Vulcanizing (RTV) Silicone Rubber Coatings for Outdoor Ceramic Insulators. New York.

INC, D. (2000). *Estudio para la reducción de perdidas y efectos salinos en el sistema de transmisión costero de ETECEN SA 220kV.*

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* Leicestershire: Biddles Ltd.

Nancy Regan. (2007). *Full-blown SAE JA1011 compliant Reliability Centered Maintenance (RCM) is only part of the solution.*

SEDIVER . (2017). *Silicone coated glass insulators (FS160PR) returned from ISA PERU: Line 500kV Chilca - Carabayllo.*

SENAMHI. (s.f.). Obtenido de <https://senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

STRI Guide. (s.f.). *Hydrophobicity Classification Guide.*

TECH. (2 de Mayo de 2018). *Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).* Recuperado el 29 de Mayo de 2020, de <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>

Wilber Aragonéz Roman. (2010). *Evaluación de prueba de tracking y erosión según IEC 1109-C en la cámara de niebla salina multiestres a 2000 horas de exposición.* Silicon Technology SAC, Lima.

Working Group de CIGRE. (2011). *Important Material Properties of RTV Silicone Rubber Insulator Coating.*

ANEXOS

ANEXOS 1: Estrategia de mantenimientos de las líneas de la empresa Red Energía del Perú

Item	Tarea	Frecuencia	kV	Circuito
1	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2018SJUAIND
2	Inspección Nocturna engomados y poliméricos)	2A Inicio 2020	220	L2018SJUAIND
3	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A Inicio 2024	220	L2018SJUAIND
4	Inspección Nocturna	3A	220	L2213PANUHUA
5	Inspección Nocturna	3A	220	L2279PANUHUA
6	Inspección Nocturna	3A	220	L2215CHIPANU
7	Inspección Nocturna	3A	220	L2216CHIPANU
8	Inspección Nocturna	3A	220	L2234TRUJGUA
9	Inspección Nocturna	3A	220	L2236GUADREQ
10	Inspección Nocturna	5A	220	L2297CHICREQ
11	Inspección Nocturna	3A	220	L2238CHICFEL
12	Inspección Nocturna	3A	220	L2162FELPIUR
13	Inspección Nocturna	30M	220	L2248PARIPIU
14	Inspección Nocturna	3A	220	L2253VIZPANU
15	Inspección Nocturna	3A	220	L2278CONOPAN
16	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2010SROSIND
17	Inspección Nocturna	30M	220	L2090CHILCAN
18	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A	220	L2089
19	Inspección Nocturna	30M	220	L2089
20	Inspección Nocturna	30M	220	L2091CHILDES
21	Inspección Nocturna	30M	220	L2094SJUCHIL
22	Inspección Nocturna	30M	220	L2095SJUCHIL
23	Inspección Nocturna engomados)	3A empezar año 202	220	L2003SROCHAV
24	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2205POMASJU
25	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2206POMASJU
26	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2207CANTIND
27	Inspección Nocturna	30M	220	L2208DESINDE
28	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2209INDEICA
29	Inspección Nocturna engomados y poliméricos)	2A	220	L2209INDEICA
30	Inspección Nocturna	1A	220	L2211ICAMARC
31	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2212HUACZAP
32	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	L2214HUACLUM

Item	Tarea	Frecuencia	kV	Circuito
33	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2214HUACL0M
34	Inspección Nocturna siliconados)	30M	220	L2117L0MZAP
35	Inspección Nocturna	30M	220	L2110HNZACAR
36	Limpieza manual de aisladores de vidrio	2A	220	L2231HVCAIND
37	Inspección Nocturna	1A	60	L6627
38	Inspección Nocturna	1A	60	L6628
39	Inspección Nocturna. 3 meses antes del engrasado	30M	60	L6629
40	Inspección Nocturna	30M	220	L2107CARAZAP
41	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	220	L2107CARAZAP
43	Inspección Nocturna	30M	220	L2210
46	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	L2248PARIPUI
47	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	L2250TALAPIU
48	Limp manual e insp de aisl polimeric	1A	220	L2003SROCHAV
49	Limp manual e insp de aisl polimeric	1A	220	L2004SROCHAV
50	Inspección Nocturna	2A	220	L2132HVCAIND
51	Limpieza manual de aisladores de vidrio	2A	220	L2132HVCAIND
52	Limpieza manual de aisladores de vidrio	3A	220	L2205POMASJU
53	Inspección Nocturna engomados)	4A	220	L2206POMASJU
54	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	220	L2206POMASJU
55	Limpieza manual de aisladores de vidrio	3A	220	L2206POMASJU
56	Limp manual e insp de aisl polimeric	3A	220	L2212HUACZAP
57	Inspección Nocturna	2A	220	L2110HNZACAR
58	Limpieza manual de aisladores de vidrio	3A	220	L2110HNZACAR
59	Limpieza manual de aisladores de vidrio	3A	220	L2222PACHCAL
60	Limpieza manual de aisladores de vidrio	3A	220	L2223PACHCAL
61	Limp manual e insp de aisl polimeric	1A	220	L2244VENCHAV
62	Limp manual e insp de aisl polimeric	1A	220	L2245VENCHAV
63	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	L2247VENCHAV
64	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	L2246VENCHAV
65	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	L2109PLACHIA
66	Limpieza manual de aisladores de vidrio	2A	138	L1121HUAPIEB
67	Inspección Nocturna engomados y poliméricos)	2A	220	L2010SROSIND
68	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A Inicio 2024	220	L2010SROSIND
69	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A iniciar 2024	220	L2011SROSJUA
70	Inspección Nocturna engomados)	2A	220	L2207CANTIND
71	Inspección Nocturna engomados)	3A/1A	220	L2212HUACZAP

Item	Tarea	Frecuencia	kV	Circuito
72	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	220	L2212HUACZAP
73	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A	220	L2212HUACZAP
74	Inspección nocturna	1A, empezando en el año 2021	220	L2246VENCHAV
75	inspección nocturna	1A	220	L2103CHIAPLA
76	Inspección nocturna	1A	220	L2105PLANCAR
79	Limp manual e insp aisl vidr engom	1A	500	L5011FENICHI
80	Limp manual e insp aisl vidr engom	3A	500	L5013OLLECHI
81	Limp manual e insp aisl vidr engom	5A	500	L5010TRJLNIN-CTMP
82	Limp manual e insp de aisl polimeric	5A	500	L5010TRJLNIN-CTMP
83	Inspección nocturna	1A	500	L5001CHIACAR
84	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	500	L5001CHIACAR
85	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A	500	L5001CHIACAR
86	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	500	L5003
87	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A	500	L5003
88	Inspección nocturna	2A	220	L2092SJUCHIL
89	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	220	L2092SJUCHIL
91	Inspección Nocturna engomados)	3A	220	L2242ZAPAVEN
92	Inspección nocturna	1A empezando en el año 2021	220	L2244VENCHAV
93	Inspección Nocturna engomados)	3A/1A	220	L2214HUACL0M
94	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A	220	L2214HUACL0M
95	Inspección Nocturna engomados)	3A/1A	220	L2117LOMZAPA
96	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	220	L2117LOMZAPA
97	Inspección nocturna	3A	220	L2232CHITRUJ
98	Inspección nocturna	1A	500	L5006CARACHI
99	Limp manual e insp aisl vidr engom	1A	500	L5006CARACHI
100	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	500	L5006CARACHI
101	Limp manual e insp aisl vidr engom	6A	500	L5006CARACHI
102	Inspección Nocturna engomados)	4A	220	L2205POMASJU
103	Limp manual e insp aisl vidr engom	4A	220	L2205POMASJU
104	Limpieza manual de aisladores de porcelana	1A	138	L1012
105	Limpieza manual de aisladores de vidrio	2A	138	L1025
106	Limpieza manual de aisladores de porcelana	2A	138	L1026
107	Limpieza manual de aisladores de porcelana	1A	138	L1029
108	Inspección nocturna	3A	138	L1030
109	Lavado de aisladores	1A	138	L1030
110	Lavado de aisladores	6A	220	L2053
111	Lavado de aisladores	6A	220	L2054

Item	Tarea	Frecuencia	kV	Circuito
112	Inspección nocturna	2A	220	L2088PRADCHI
113	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	Talara Pariñas
114	Inspección nocturna	3A	220	L2008CARPCAL
115	Prueba de hidrofobisidad e inspección detallada de aislador polimérico	2A	220	L2232CHITRUJ
116	Limp manual e insp de aisl polimeric	2A	220	L2232CHITRUJ

Anexo 2: Reporte de inspección nocturna de la línea L2110

Torre	Hora	Clima	Zona	Tipo de protección del aislador	Fecha de aplicación de protección	Grado de contaminación	Observaciones
521 (A)	00:50	Fuerte nubosidad	Chacra	Grasa silicona	27.07.2013	Puntos de ionización de más de un aislador de color azulino/naranja sobre la cadena de aislador (G2)	Escaso chisporroteo
535(S)	01:30	Zona con neblina	Chacra	Aislador engomado	Se cambió a vidrio engomado 120 Kn el 27.12.2011.	Descargas parciales fugaces entre sectores, de color naranja (G4)	Fuerte chisporroteo.
537(AS)	02:00	Zona con neblina	Chacra	Aislador engomado	SUSP: cambio a vidrio con goma 120 Kn el 27.12.2011.	Descargas parciales fugaces entre sectores, de color naranja (G4)	Fuerte chisporroteo, mayormente en las suspensiones de las fases superior e inferior.
540 (S)	05:00	Zona con neblina	Chacra	Aislador engomado	Se cambió a vidrio engomado 120 Kn el 27.12.2011.	Descargas parciales fugaces entre sectores, de color naranja (G4)	Fuerte chisporroteo.
550 (A)	05:30	Zona con escasa neblina	Chacra/cerro	Aislador engomado	Se cambió a vidrio engomado 120 Kn. en mayo-2015.	Puntos de ionización de más de un aislador de color azulino/naranja sobre la cadena de aislador (G2)	Escaso chisporroteo.
552 (A)	06:00	Zona con neblina	Chacra	Aislador engomado	Vidrio engomado de obra, realizado el año 2010 de T. 551 a 558.	Puntos de ionización a lo largo de toda la cadena de aisladores sin descargas parciales, color Azulino/naranja (G3)	Chisporroteo moderado.
554 (A)	06:20	Zona con neblina	Chacra	Aislador engomado	Vidrio engomado de obra, realizado el año 2010 de T. 551 a 558.	Puntos de ionización a lo largo de toda la cadena de aisladores sin descargas parciales, color Azulino/naranja (G3)	Chisporroteo moderado.

ANEXO 3: Clasificación de niveles de efluvios

NIVELES DE CONTAMINACIÓN.

1. Contaminación:

Conformada por los depósitos de las sales marinas y aquellas que provienen del suelo desértico en la región costera. En las zonas urbanas se agrega el ensuciamiento que ocasionan el tráfico vehicular, las industrias y en las zonas agrícolas la contaminación por movimiento de tierra de los cultivos.

Todos estos tipos de depósitos más la acción de la humedad alteran las características dieléctricas nominales de los aisladores de las líneas de transmisión y subestaciones.

Un indicativo de la necesidad del mantenimiento del aislamiento es la presencia de efluvios, que se aprecia en la inspección nocturna, entre las 1 a.m. a 4 a.m. cuando las condiciones de humedad son críticas.

2. Niveles de Contaminación:

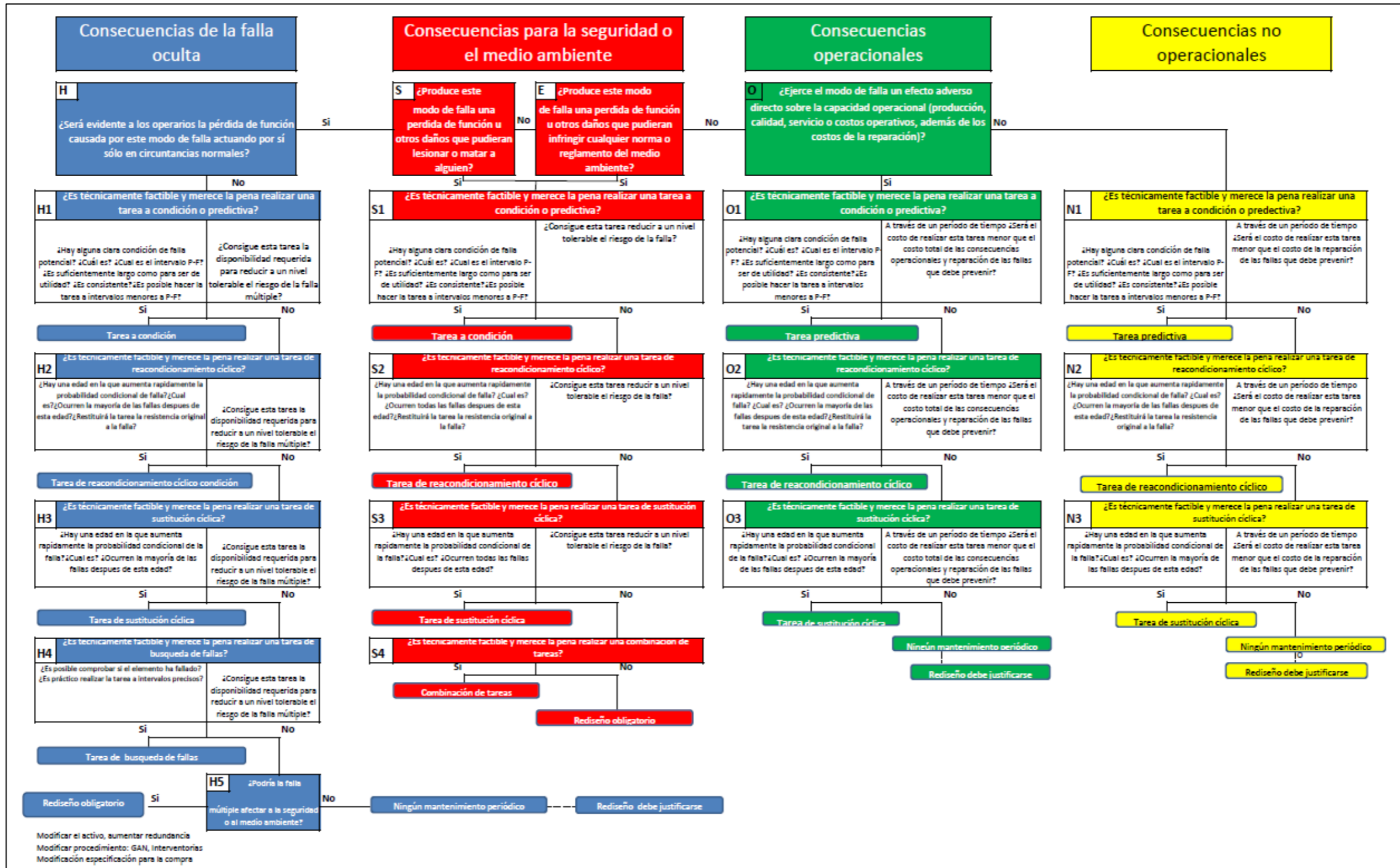
Los niveles de contaminación se obtienen de los criterios adoptados por REP para la evaluación de efluvios en aisladores, esta evaluación se hace a través de una inspección nocturna de los aisladores en condiciones de humedad.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE EFLUVIOS EN AISLADORES

NIVEL DE EFLUVIOS	DESCRIPCIÓN
1	Puntos de ionización (descargas) de color azulino sobre la parte inferior del primer aislador, cerca al pin y/o próximo al conductor.
2	Puntos de ionización de más de un aislador de color azulino/naranja sobre la cadena de aislador.
3	Puntos de ionización a lo largo de toda la cadena de aisladores sin descargas parciales, color Azulino/naranja.
4	Descargas parciales fugaces entre sectores, de color naranja.
5	Descarga eléctrica total (Flash Over) color naranja lo largo de toda la cadena.

El lavado, limpieza o renovación de silicona debe programarse cuando está en nivel 4.

ANEXO 4: Diagrama de flujo del MCC



XX

ANEXO 5: Niveles de contaminación según IEC 815

ANEXO N° 4.3.1
GRADOS DE CONTAMINACIÓN
(NORMA IEC 815)

Nivel de Contaminación	Descripción del Ambiente	Distancia de fuga Nominal mínima
		mm/kV ϕ - ϕ
Ligero Nivel I	<ul style="list-style-type: none"> - Areas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción. - Areas con baja densidad de industrias o casas pero sujetas a frecuentes vientos o lluvia. - Areas agrícolas - Areas montañosas - Todas las áreas situadas de 10 km a 20 km del mar y no expuestas a vientos directos provenientes del mar. 	16
Medio Nivel II	<ul style="list-style-type: none"> - Areas con industrias que no producen humo contaminante y/o con densidad moderada de casas equipadas con calefacción. - Areas con alta densidad de casas pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvia. - Areas expuestas a vientos del mar pero no cercanas a la costa (al menos varios kilómetros de distancia). 	20
Alto Nivel III	<ul style="list-style-type: none"> - Areas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de casas con calefacción que generen contaminación. - Areas cercanas al mar o expuestas a vientos relativamente fuertes procedentes del mar. 	25
Muy Alto Nivel IV	<ul style="list-style-type: none"> - Areas generalmente de extensión moderada, sujetas a contaminantes conductivos, y humo industrial, que produzca depósitos espesos de contaminantes. - Areas de extensión moderada, muy cercanas a la costa y expuestas a rocío del mar, o a vientos muy fuertes con contaminación procedentes del mar. - Areas desérticas, caracterizadas por falta de lluvia durante largos períodos, expuesta a fuertes vientos que transporten arena y sal, y sujetas a condensación con regularidad. 	31





ANEXO 7: Control de aislamiento actualizado hasta mayo del 2020

N° ESTR.	Tipo de estructura	Fecha de Instalación	Tipo de mantto	N° de meses	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
1	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	22.87			Jul-18							Mar-11
2	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	22.87			Jul-18							Mar-11
3	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	22.87			Jul-18							Mar-11
4	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	22.87			Jul-18							Mar-11
5	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	14		Abr-19								Mar-11
6	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	14		Abr-19								Mar-11
7	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	14		Abr-19								Mar-11
8	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	14		Abr-19								Mar-11
9	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	14		Abr-19								Mar-11
10	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	14		Abr-19								Mar-11
11	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	14		Abr-19								Mar-11
12	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
13	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
14	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
15	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
16	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
17	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
18	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
19	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
20	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
21	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	12.4		May-19								Mar-11
22	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
23	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11

N° ESTR.	Tipo de estructura	Fecha de Instalación	Tipo de manto	N° de meses	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
24	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
25	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
26	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
27	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
28	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
29	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
30	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
31	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
32	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
33	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.27	Feb-20									Mar-11
34	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	0.7	May-20									Mar-11
35	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	0.7	May-20									Mar-11
36	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	0.7	May-20									Mar-11
37	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
38	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
39	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
40	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
41	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
42	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
43	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
44	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
45	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
46	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
47	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
48	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11

N° ESTR.	Tipo de estructura	Fecha de Instalación	Tipo de manto	N° de meses	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
49	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
50	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
51	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	3.3	Feb-20									Mar-11
52	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.67	Abr-20									Mar-11
53	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.67	Abr-20									Mar-11
54	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.67	Abr-20									Mar-11
55	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.67	Abr-20									Mar-11
56	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.67	Abr-20									Mar-11
57	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.67	Abr-20									Mar-11
58	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.43	Abr-20									Mar-11
59	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.43	Abr-20									Mar-11
60	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.43	Abr-20									Mar-11
61	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.4	Abr-20									Mar-11
62	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.4	Abr-20									Mar-11
63	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.4	Abr-20									Mar-11
64	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
65	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
66	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
67	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
68	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
69	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
70	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
71	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
72	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	16.1		Feb-19								Mar-11
73	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.4	Abr-20									Mar-11

N° ESTR.	Tipo de estructura	Fecha de Instalación	Tipo de manto	N° de meses	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
74	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	112.2										Mar-11
75	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	1.4	Abr-20									Mar-11
76	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	112.2										Mar-11
77	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	112.2										Mar-11
78	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	112.2										Mar-11
79	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	112.2										Mar-11
80	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.3			Feb-18							Mar-11
81	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.3			Feb-18							Mar-11
82	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.33			Feb-18							Mar-11
83	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.33			Feb-18							Mar-11
84	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.33			Feb-18							Mar-11
85	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.33			Feb-18							Mar-11
86	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.33			Feb-18							Mar-11
87	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	22.87			Jul-18							Mar-11
88	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	22.87			Jul-18							Mar-11
89	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	22.87			Jul-18							Mar-11
90	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.33			Feb-18							Mar-11
91	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.3			Feb-18							Mar-11
92	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.3			Feb-18							Mar-11
93	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.3			Feb-18							Mar-11
94	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.3			Feb-18							Mar-11
95	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.3			Feb-18							Mar-11
96	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.27			Feb-18							Mar-11
97	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.27			Feb-18							Mar-11
98	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.27			Feb-18							Mar-11

N° ESTR.	Tipo de estructura	Fecha de Instalación	Tipo de manto	N° de meses	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
99	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.27			Feb-18							Mar-11
100	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CM]	28.27			Feb-18							Mar-11
101	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.27			Feb-18							Mar-11
102	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.27			Feb-18							Mar-11
103	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.27			Feb-18							Mar-11
104	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.27			Feb-18							Mar-11
105	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.27			Feb-18							Mar-11
106	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.27			Feb-18							Mar-11
107	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.13			Feb-18							Mar-11
108	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.13			Feb-18							Mar-11
109	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.13			Feb-18							Mar-11
110	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	28.13			Feb-18							Mar-11
111	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	48.3					Jun-16					Mar-11
112	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	48.3					Jun-16					Mar-11
113	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	48.3					Jun-16					Mar-11
114	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	48.3					Jun-16					Mar-11
115	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	48.3					Jun-16					Mar-11
116	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	31.97				Oct-17	Jun-16					Mar-11
117	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	22.87			Jul-18		Jun-16					Mar-11
118	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	22.87			Jul-18		Jun-16					Mar-11
119	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	14.03		Abr-19		Oct-18	Jun-16					Mar-11
120	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	14.03		Abr-19			Jun-16					Mar-11
121	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	14.03		Abr-19			Jun-16					Mar-11
122	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	14.03		Abr-19			Jun-16					Mar-11
123	S	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	14.03		Abr-19			Jun-16					Mar-11

N° ESTR.	Tipo de estructura	Fecha de Instalación	Tipo de mantto	N° de meses	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
124	A	14/05/2011	Limpieza a trapo [CA]	14.03		Abr-19			Jun-16					Mar-11
125	S	1/03/2018	Limpieza a trapo [CA]	27.4			Mar-18		Jun-16					Mar-11
126	A	1/03/2018	Limpieza a trapo [CA]	27.4			Mar-18	Jun-17						Mar-11

ANEXO 8: Historial de fallas y mantenimientos en la línea L5006

Equipo	Inicio	Final	Descripción
L-5006	4/03/2020 10:39	4/03/2020 11:49	Desconectó la línea L-5006
L-5006	Feb-20	Feb-20	Limpieza de aisladores desde la torre T27 hasta T44
L-5006	Feb-20	Feb-20	Limpieza de aisladores desde la torre T1 hasta T20
L-5006	May-19	May-19	Limpieza de aisladores desde la torre T1 hasta T20
L-5006	May-19	May-19	Limpieza de aisladores desde la torre T327 hasta T335
L-5006	Set-18	Set-18	Limpieza de aisladores desde la torre T339 hasta T342
L-5006	Jun-18	Jun-18	Limpieza de aisladores desde la torre T166 hasta T178
L-5006	Jun-18	Jun-18	Limpieza de aisladores desde la torre T325 hasta T339
L-5006	Jun-18	Jun-18	Limpieza de aisladores desde la torre T1 hasta T14
L-5006	13/06/2018 03:31	13/06/2018 03:31	Recierre monofásico exitoso en la línea L-5006
L-5006	12/06/2018 21:53	12/06/2018 21:53	Recierre monofásico exitoso de la línea L-5006
L-5006	May-18	May-18	Limpieza de aisladores desde la torre T319 hasta T323
L-5006	Abr-18	Abr-18	Limpieza de aisladores desde la torre T250 hasta T254
L-5006	16/04/2018 06:38	16/04/2018 06:38	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	23/10/2017 07:27	23/10/2017 07:27	Recierre exitoso en la línea L-5006
L-5006	18/09/2017 06:58	18/09/2017 06:58	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	15/09/2017 06:40	15/09/2017 06:40	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	10/09/2017 06:48	10/09/2017 06:48	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	Abr-17	Abr-17	Mantenimiento de la T278 hasta T305 y T320 a T323
L-5006	10/03/2017 02:55	10/03/2017 02:55	Recierre exitoso monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-5006
L-5006	10/03/2017 02:50	10/03/2017 02:50	Recierre exitoso monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-5006

Equipo	Inicio	Final	Descripción
L-5006	10/03/2017 02:42	10/03/2017 02:42	Recierre exitoso monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-5006
L-5006	10/03/2017 02:32	10/03/2017 02:32	Recierre exitoso monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-5006
L-5006	2/11/2016 17:02	2/11/2016 17:02	Recierre monofásico exitoso en la fase "R" de la línea L-5006
L-5006	FEB, JUL, SET 2016	FEB, JUL, SET 2016	Mantenimiento de la T01 a la T25
L-5006	18/12/2015 06:01	18/12/2015 06:01	Recierre exitoso de la línea L-5006
L-5006	28/11/2015 07:03	28/11/2015 07:03	Recierre monofásico exitoso en la fase "T" de la línea L-5006
L-5006	15/09/2013 11:38	15/09/2013 14:08	Se produjo la desconexión de la línea L-5006
L-5006	10/05/2013 16:28	10/05/2013 17:34	Se produjo la desconexión de la línea L-5006
L-5006	7/11/2012 21:23	7/11/2012 21:23	Se energizó por primera vez la línea L-5006 de 500 kV

Anexo 9: Matriz de consistencia

Título del Proyecto: “Estrategia de mantenimiento de aisladores de vidrio recubierto con goma silicona en la zona de Lima del Perú”				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
General	Objetivo general	Hipótesis principal	Variable dependiente:	$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
¿Cuáles serán las actividades de mantenimiento preventivo y en que frecuencia se debe aplicar a los aisladores de vidrio recubierto con goma silicona en zona Lima del Perú?	Establecer las actividades de mantenimiento preventivo y frecuencia de aplicación a los aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú	La limpieza de aisladores recubiertos con goma silicona cada cuatro años garantizará la operación continua de la línea de trasmisión.	Disponibilidad de la operación de las cadenas de aisladores	
Específico 1	Objetivo específico 1	Hipótesis 1	Variable 1 independiente:	Interventorías de mantenimiento
¿Qué actividades de mantenimiento preventivo debería aplicarse a los aisladores recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú?	Establecer las actividades de mantenimiento preventivo que será aplicado a los aisladores recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú.	Se debe de realizar la limpieza de aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona con trapo arpillero seco y trapo arpillero húmedo.	Tipo de mantenimiento	
Específico 2	Objetivo específico 2	Hipótesis 2	Variable 2 independiente:	En zonas de alta contaminación una vez por año desde que se registró el primer evento o identifico nivel de efluvios 3 o superior. En zonas que no son de alta contaminación el mantenimiento será a condición. Con actividades de monitoreo de una vez por año de inspección ligera e inspección nocturna.
¿Con que frecuencia se debe de aplicar las actividades de mantenimiento preventivo a los aisladores recubiertos de goma silicona en la zona de Lima del Perú?	Establecer la frecuencia de aplicación de las actividades de mantenimiento a los aisladores de vidrio recubiertos con goma silicona en la zona de Lima del Perú.	La frecuencia de mantenimiento deberá de ser cada 4 años, debido que la primera falla ocurrió aproximadamente en cuatro años y medio desde la puesta en operación de la línea L5001	Frecuencia de mantenimiento	

