



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**



---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA**

**III Programa de Elaboración de Tesis**

“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE RENDIMIENTO DE LA  
APLICACIÓN DE GRASA SILICONA Y ENGOMADO EN  
AISLADORES PARA MITIGAR EFECTOS DE POLUCIÓN EN LA  
LÍNEA 2238 CHICLAYO - PIURA, ZONA DE MORROPE.”

**TESIS**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor:

**BACH. LUIS DAVID CASTRILLON NUÑEZ**

Asesor:

**MG. ING. NORMAN OSVALDO AGUIRRE ZAQUINAULA**

**Lambayeque – Perú**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**



---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA  
III Programa de Elaboración de Tesis**

“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE RENDIMIENTO DE LA  
APLICACIÓN DE GRASA SILICONA Y ENGOMADO EN AISLADORES  
PARA MITIGAR EFECTOS DE POLUCIÓN EN LA LÍNEA 2238 CHICLAYO  
- PIURA, ZONA DE MORROPE.”

**TESIS**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESIDENTE:** Dr. Aníbal Jesús Salazar Mendoza  
**SECRETARIO:** Mg. Ing. Oscar Mendez Cruz  
**VOCAL:** Ing. Percy Edwar Niño Vasquez  
**ASESOR:** Mg. Ing. Norman Osvaldo Aguirre Zaquinaula

**Lambayeque – Perú  
2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
III Programa de Elaboración de Tesis**

**TESIS DE INGENIERÍA**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE RENDIMIENTO DE LA APLICACIÓN  
DE GRASA SILICONA Y ENGOMADO EN AISLADORES PARA MITIGAR  
EFECTOS DE POLUCIÓN EN LA LÍNEA 2238 CHICLAYO - PIURA, ZONA  
DE MORROPE”**

**CONTENIDOS**

INTRODUCCIÓN

**CAPÍTULO I:** PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

**CAPÍTULO II:** MARCO TEÓRICO

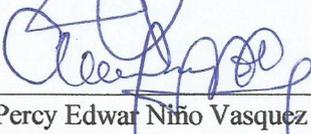
**CAPÍTULO II:** MARCO METODOLÓGICO

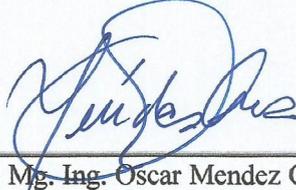
**CAPÍTULO IV:** ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

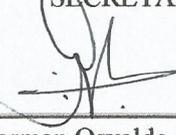
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

**AUTOR: Bach. LUIS DAVID CASTRILLON NUÑEZ**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Aníbal Jesús Salazar Mendoza  
PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Percy Edwar Niño Vasquez  
MIEMBRO

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Ing. Oscar Mendez Cruz  
SECRETARIO

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Ing. Norman Osvaldo Aguirre Zaquinaula  
ASESOR

**Lambayeque – Perú  
2022**

## **DEDICATORIA**

A Dios, que nos da la fuerza, salud y el espíritu para seguir adelante.

A mis padres que me dieron la vida y son el pilar de mi familia, a mis hermanos, siempre presentes en cada paso que doy para apoyarme de manera incondicional.

A todos aquellos que me brindaron su apoyo para alcanzar esta meta propuesta, la cual representa un gran paso en mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, quien nos guía por el camino correcto en nuestra formación espiritual y académica, y su vez, nos brinda salud y fuerzas para seguir adelante, luchando por nuestras metas y objetivos.

Mi agradecimiento sincero a todos nuestros docentes, quienes nos transmitieron sus conocimientos, valores, virtudes, formando grandes profesionales y ayudándonos a cumplir la meta de obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.

A mi asesor, por haberme brindado su ayuda, compartiendo sus conocimientos en el desarrollo y ejecución de la presente tesis, así mismo a los Ingenieros de la Facultad por su tiempo y dedicación.

A mi familia, la cual me brinda su apoyo incondicional, a pesar de la compleja situación que atravesamos, siempre están para alentarnos e impulsarnos a continuar con todas las metas propuestas.

## RESUMEN

En la presente tesis, se realizó el análisis el ciclo de vida de los Recubrimientos de Aisladores por Goma Silicona y Grasa Silicona, para comparar su rendimiento en su superficie, en base al comportamiento del Nivel de descargas eléctricas por Efluvios y los costos realizados en su ciclo de vida, expuestos a polución del medio ambiente. En el análisis del comportamiento del Nivel de descargas por Efluvo en superficie de los aisladores con Recubrimiento por Grasa Silicona, luego de 3 años de su aplicación, se obtuvo valores entre 2,3 y 4, lo cual significa la existencia de descargas, siendo este el comportamiento esperado y establecido por los fabricantes y la experiencia de uso de dicho recubrimiento. Por otra parte, el Recubrimiento por Goma Silicona ha presentado altos Niveles de descargas por Efluvo, valores entre 3 y 4, pasados 11 años de su instalación, siendo esto una señal para el final de su vida útil. Según la experiencia del personal técnico en mantenimiento a cargo de la Línea de Transmisión L-2238, se determinó que faltarían 3 años más, para el final de su ciclo de vida. Todo en ello, repercute en la parte económica que implica la aplicación para cada recubrimiento, donde se realizó el análisis del Costo por Ciclo de vida (CCV) y el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). Obteniendo como resultado que los costos incurridos con el recubrimiento por Goma Silicona equivalen entre 4 a 7 veces comparado con el recubrimiento por Grasa Silicona, aproximadamente. Realizar pruebas de laboratorio es recomendable para establecer los valores de Densidad Equivalente de Deposito de Sal (ESDD), Densidad de Deposito No Soluble (NSDD), Corriente de fuga. También, implementar un aislador equipado, que pueda monitorear las condiciones en las que se encuentra la superficie del aislador, que implican directamente la aparición de las descargas.

***Palabras Clave:*** Aislador, Polución, Recubrimiento de Aisladores, Grasa Silicona, Goma Silicona, Nivel de descargas por Efluvo, Ciclo de vida.

## ABSTRACT

In this thesis, the life cycle of the Insulator Coatings by Silicone Rubber and Silicone Grease was analyzed, to compare their performance on their surface, based on the behavior of the Effluvium Discharge Level and the costs incurred in their life cycle, exposed to environmental pollution. In the analysis of the behavior of the Discharge Level by Effluvium on the surface of the insulators with Silicone Grease Coating, after 3 years of its application, values between 2,3 and 4 were obtained, which means the existence of discharges. This behavior was expected and established by the manufacturers and the experience of using said coating. On the other hand, the Silicone Rubber Coating has presented high Discharge Level by Effluvium, values between 3 and 4, after 11 years of its installation, this being a sign for the end of its useful life. According to the experience of the technical maintenance staff in charge of Transmission Line L-2238, it was determined that there would be 3 more years until the end of its life cycle. Therefore, there's an impact on the economic part that the application implies for each coating, and carrying out of the analysis of the Life Cycle Cost (LCC) and the Equivalent Uniform Annual Cost (CAUE). Obtaining as a result that the costs incurred with the Silicone Rubber coating are equivalent, on average, 6 times compared to the Silicone Grease coating. Performing laboratory tests is recommended to establish the values of Equivalent Salt Density Density (ESDD), No soluble Density Density (NSDD), Leakage current, and others. Also, equipped isolator would be implemented to purpose to get information of the insulator surface conditions which imply the appearance of discharges.

**Key words:** Insulator, Pollution, Coating of Insulator, Silicone Grease, Silicone Rubber, Life Cycle.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.1. Realidad Problemática .....	17
1.1.1. Contexto Internacional.....	17
1.1.2. Contexto Nacional .....	18
1.1.3. Contexto Local.....	19
1.2. Formulación del Problema.....	20
1.3. Delimitación de la Investigación .....	20
1.3.1. Delimitación Espacial .....	20
1.3.2. Delimitación Temporal .....	20
1.4. Justificación e Importancia de la Tesis .....	21
1.4.1. Técnica - Social.....	22
1.4.2. Tecnológica.....	22
1.4.3. Económica.....	22
1.5. Limitaciones de la Tesis.....	23
1.6. Objetivos .....	23
1.6.1. Objetivo General.....	23
1.6.2. Objetivos Específicos.....	23
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>25</b>
2.2. Antecedentes de estudios .....	25
2.2.1. Contexto Internacional.....	25
2.2.2. Contexto Latinoamericano.....	26
2.2.3. Contexto Nacional .....	27
2.2.4. Contexto Local.....	28
2.3. Desarrollo de la Temática Correspondiente.....	28
2.3.1. Aisladores .....	28
2.3.2. Corriente de fuga.....	30
2.3.3. Hidrofobicidad .....	30
2.3.4. Proceso de Contorneo por Contaminación .....	33
2.3.5. Efecto Corona .....	40
2.3.6. Descargas por Efluvios .....	40
2.3.7. Medidas Mitigatorias: Limpieza de Aisladores .....	41
2.3.8. Monitoreo del nivel de polución.....	41

2.3.9. Clasificación de la Severidad de Polución.....	47
2.3.10. Recubrimiento por Grasa Silicona.....	49
2.3.11. Engomado o Recubrimiento por Goma Silicona.....	52
2.4. Definición Conceptual de la Terminología Aplicada.....	58
2.4.1. Aislador.....	58
2.4.2. Descargas por Efluvios.....	58
2.4.3. Polución.....	58
2.4.4. Hidrofobicidad.....	58
2.4.5. Corriente de Fuga.....	58
2.4.6. Contorneo o Flashover.....	59
2.4.7. Surco Eléctrico o Tracking.....	59
2.4.8. Efecto Corona.....	59
2.4.9. Recubrimiento.....	59
2.4.10. Mantenimiento.....	59
<b>CAPÍTULO III: Marco Metodológico.....</b>	<b>60</b>
3.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	60
3.1.1. Tipo de Investigación.....	60
3.1.2. Diseño de Investigación.....	61
3.2. Población y Muestra.....	61
3.2.1. Población.....	61
3.2.2. Muestra.....	61
3.3. Hipótesis.....	63
3.4. Variables – Operacionalización.....	63
3.5. Métodos y Técnicas de Investigación.....	64
3.5.1. Métodos.....	64
3.5.2. Técnicas.....	64
3.6. Descripción de los Instrumentos Utilizados.....	65
3.7. Análisis Estadístico e Interpretación de Datos.....	66
3.7.1. Análisis Económico del Costo de Ciclo de Vida de los activos.....	67
<b>CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de los Resultados.....</b>	<b>69</b>
4.1. Descripción del Lugar de Estudio.....	69
4.2. Presentación e Interpretación de Resultados.....	71
4.2.1. Nivel de Descargas por Efluvo.....	71
4.2.2. Análisis Económico según Ciclo de Vida.....	80

4.2.3. Discusión de Resultados .....	85
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>87</b>
Conclusiones .....	87
Recomendaciones .....	89

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°1</b> Clasificación de Hidrofobicidad según ángulo de contacto .....	32
<b>Tabla N°2</b> Descripción de la clasificación de los tipos de polución presentes en la superficie del aislador .....	35
<b>Tabla N°3</b> Estándares Internacionales de valores ESDD .....	46
<b>Tabla N°4</b> Clasificación de Severidad de Polución .....	48
<b>Tabla N°5</b> Cantidad de Cadenas de Aisladores según tipo de recubrimiento en Tramo P110 - 205.....	62
<b>Tabla N°6</b> Determinación Conceptual y Operacional de Variables .....	63
<b>Tabla N°7</b> Reglas para Diagnostico de Nivel de Descargas por Efluvios .....	65
<b>Tabla N°8</b> Descripción de Instrumentos utilizados .....	66
<b>Tabla N°9</b> Descripción del Tramo P110 - 205 de la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo – Felam.....	69
<b>Tabla N°10</b> Base de datos de Nivel de Descarga por Efluvo y actividades de mantenimiento 2010 – 2020.....	71
<b>Tabla N°11</b> Descripción de Unidad de Estudio para Análisis Económico .....	80
<b>Tabla N°12</b> Resumen de Cotización de las Actividades en el Ciclo de Vida según el Recubrimiento.....	81
<b>Tabla N°13</b> Cuadro de Análisis para establecer Costo Anual Uniforme Equivalente según Ciclo de Vida .....	83
<b>Tabla N°14</b> Cuadro Comparativo de Costo Anual Uniforme Equivalente según el Tipo de Recubrimiento.....	84

### Anexo

<b>Tabla A. 1</b> Lista de Ejemplificación de Ambientes Típicos.....	100
--	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°1</b> Ruta Topográfica del tramo P110-205 de la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo - Felam.....	21
<b>Figura N°2</b> Costes de mantenimiento a lo largo del tiempo.....	26
<b>Figura N°3</b> Detalle de aisladores eléctricos en una estructura de celosía de anclaje.....	29
<b>Figura N°4</b> Ejemplos típicos de la clasificación de la Hidrofobicidad (HC1 – HC6) a tamaño natural .....	31
<b>Figura N° 5</b> Detalle de los ángulos de contacto de las gotas según la superficie .....	32
<b>Figura N°6</b> Relación entre la distancia a la costa y el valor de ESDD en un aislador estándar en condiciones de contaminación salina.....	36
<b>Figura N°7</b> Desarrollo de una superficie hidrófila, contaminada y humedecida de un aislador arbitrario.....	38
<b>Figura N°8</b> Circuito de propagación de las descargas eléctricas sobre la superficie del aislador	39
<b>Figura N°9</b> Descripción de Aislador Equipado y su visualización de datos .....	43
<b>Figura N°10</b> Documentación fotográfica de Inspección visual .....	44
<b>Figura N°11</b> Detalle de circuito y disposición de equipos para prueba de Corriente de Fuga ....	46
<b>Figura N°12</b> Aislador con Recubrimiento de Grasa Silicona.....	52
<b>Figura N°13</b> Aislador con Recubrimiento de Goma Silicona .....	53
<b>Figura N°14</b> Resumen de Procedimiento de aplicación de Goma Silicona.....	55
<b>Figura N°15</b> Ciclo de Funcionamiento de Recubrimiento de Goma Silicona.....	56
<b>Figura N°16</b> Alcances de un estudio Cuantitativo.....	60
<b>Figura N°17</b> Distribución Porcentual de Cadenas de Aisladores según tipo de recubrimiento en Tramo P110 - 205 .....	62
<b>Figura N°18</b> Inserción de Base de datos a la interfaz en Software IBM SPSS®17 .....	76
<b>Figura N°19</b> Configuración de variables Software IBM SPSS®17 .....	76
<b>Figura N°20</b> Interfaz de Obtención de gráficos en Software IBM SPSS®17 .....	77
<b>Figura N°21</b> Registro de Nivel de Descargas por Efluvio de Cadena de Aisladores con Recubrimiento de Grasa Silicona.....	78
<b>Figura N°22</b> Registro de Nivel de Descargas por Efluvio de Cadena de Aisladores con Recubrimiento de Goma Silicona .....	79
<b>Figura N°23</b> Flujo monetario al aplicar el recubrimiento de Grasa Silicona en Aisladores Cerámicos .....	82
<b>Figura N°24</b> Flujo monetario al aplicar el recubrimiento de Goma Silicona en Aisladores Cerámicos .....	82
<b>Figura N°25</b> Valores CAUE según el recubrimiento aplicado en la superficie de los Aisladores Cerámicos del Tramo 110 – 205 de la Línea de Transmisión 2238 .....	85

### Anexo

<b>Figura A1</b> Severidad de la contaminación en sitio Tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para aislador de referencia tipo caperuza y vástago.....	98
<b>Figura A2</b> Severidad de la contaminación en sitios Tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para aislador de referencia tipo barra.....	99
<b>Figura A3</b> Severidad de la contaminación en sitios Tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para aislador de referencia o monitor.....	100

## INTRODUCCIÓN

A través de los años, los altos niveles de polución presentes en la costa norte del Perú, han sido uno de los mayores problemas para el desempeño de las cadenas de aisladores de las líneas de transmisión. Por ello, se implementó el recubrimiento de la superficie de los aisladores para disminuir el efecto de la dicha contaminación.

**En el primer capítulo**, se relata como internacionalmente se han presentado inconvenientes en el rendimiento de las cadenas de aisladores. Tal es el caso de Grecia, donde las líneas de transmisión están expuestas a zonas cercas al mar donde se presentan niveles altos de polución. Por otro lado, tenemos en Colombia, la línea de transmisión Mosquera – Balsillas, presenta gran acumulación de contaminación orgánica e inorgánica en sus cadenas de aisladores. Así también, en el entorno nacional, específicamente el norte del Perú, en la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Piura, actualmente dividida, siendo definida en la zona de Morrope como línea 2238 Chiclayo – Felam, la que atraviesa por zona agrícola y desértica, donde se presentan altos niveles de polución.

Por ello, **en el segundo capítulo** se detallan los estudios e investigaciones con la finalidad de comparar, demostrar y mejorar el rendimiento de las cadenas de aisladores. Tal es el caso de Grecia, donde se realizaron pruebas de laboratorio para comparar el comportamiento de los aisladores con recubrimiento de goma silicona o recubrimiento room temperature vulcanized y los aisladores poliméricos. Además, en el II Congreso Venezolano de Redes y Energía Eléctrica respaldados por la CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas), se expuso un artículo científico basado en la evaluación de un recubrimiento polimérico, teniendo como indicador principal la corriente superficial en diferentes condiciones. En Perú, específicamente la costa norte del Perú, en la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Piura, se aplican dos tipos de

recubrimientos para sus aisladores: de Grasa Silicona y de Goma Silicona (Engomado), este último presentando un gran rendimiento en la Sub Estación Chiclayo Oeste, mermando considerablemente los efectos de la polución en la Sub Estación Chiclayo. En el presente capítulo, también se definen y detallan los diferentes procesos, conceptos y términos a usar para comprender la investigación realizada. Algunos de ellos son:

- Descargas por Efluvio: descargas eléctricas en la superficie de los aisladores, producidas por la contaminación o polución.
- Engomado: procedimiento que hace referencia a la aplicación de Goma Silicona en la superficie de los aisladores.
- Polución: Contaminación producida por residuos de procedencia humana, biológica o de procesos industriales.

Además, se explica el Proceso de Contorneo por Contaminación, el cual comprende desde fase de acumulación de la polución en la superficie de las cadenas de aisladores hasta la descarga eléctrica producida por la humectación de la capa de contaminación superficial, en otras palabras, el Contorneo o Flashover. Y para determinar el Nivel de Severidad de Polución presente en dichas cadenas de aisladores existen una clasificación referencial presentada por la Norma IEC 60815.

Para ello, se debe tener conocimiento del Monitoreo del Nivel de Polución, donde se presentan las diferentes formas y métodos que se utilizan para verificar el comportamiento de las cadenas de aisladores frente a las diferentes condiciones ambientales.

**En el tercer capítulo**, se ha planteado la siguiente hipótesis:

“La aplicación del recubrimiento por Goma Silicona o Engomado favorece al rendimiento de las cadenas de aisladores, frente a la polución”

Con ello, se inició el desarrollo de la investigación, que tiene un enfoque Cuantitativo y un alcance Descriptivo Comparativo, estableciendo una variable independiente y dependiente, las cuales son el rendimiento y el ciclo de vida, respectivamente. Ello se ha obtenido a través de los formatos de Inspección Nocturna, donde se plasman los valores de Nivel de descargas por Efluvio, siguiendo las reglas para diagnóstico, la cual describe los niveles en mención. Además, se ha determinado la población, la cual está definida por las cadenas de aisladores de tramo del poste 110-205 de la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Felam, representando actualmente al tramo de la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Piura ubicado en la zona de Morrope, donde el 21 % del total son cadenas de aisladores con aplicación de Engomado y el 79% restante, con aplicación de Grasa Silicona. Cabe agregar que se realizó un análisis estadístico descriptivo de todos los datos de Nivel de descargas por Efluvios, mediante el software llamado IBM SPSS<sup>®14</sup>. Con respecto al análisis económico, se estableció el Costo de Ciclo de Vida (CCV) para cada recubrimiento, estableciendo los gastos incurridos a lo largo de su periodo de vida. Sin embargo, ambos ciclos de vida tienen diferente tiempo de vida útil, para lo cual se utilizó el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), lo que nos permite realizar una comparación de ambos.

**En el cuarto capítulo,** inicia con la identificación de las características tales como Datos Generales, Datos Climatológicos y Clasificación según Norma IEC 60815-1 de la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo – Felam. Luego, se desarrolla el análisis planteado en el capítulo anterior, comenzando por la obtención de la Base de Datos, conformada por el Nivel de descargas por Efluvio en las cadenas de aisladores estudiados, donde se puede extraer el comportamiento de los valores a través de los años, los cuales oscilan entre 2, 3 y 4, lo que significa presencia de descargas eléctricas. Además, presenta las actividades de mantenimiento tales como limpieza

manual de aisladores y Siliconado<sup>1</sup>. Con ello, se definen las siguientes fases del ciclo de vida de los recubrimientos estudiados, con sus actividades correspondientes, para el análisis económico:

- **Aplicación:** Siliconado, Engomado
- **Mantenimiento:** Inspección Nocturna, Limpieza Manual
- **Descarte:** Renovación

Todo ello, para establecer un gráfico que plasme el comportamiento de ambos recubrimientos con respecto al Nivel de descargas por Efluvio, en el periodo del 2009 al 2020 para el recubrimiento por Goma Silicona y en el periodo 2017 – 2020, para el recubrimiento por Grasa Silicona, y definir los costos de cada fase del ciclo de vida, lo cual permitió el cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente. Concluyendo que el rendimiento del recubrimiento de Grasa Silicona, a través de su ciclo de vida de entre 3 a 5 años, está próximo a lo recomendado por la experiencia del personal técnico en el mantenimiento de la línea de transmisión estudiada y empresas que utilizan el recubrimiento en mención. Sin embargo, en el caso del recubrimiento de Goma Silicona muestra deficiencias en su rendimiento antes de los parámetros ofrecidos por diferentes empresas especialistas en su uso, conllevando a gastos en mantenimiento en dicho recubrimiento. A partir de ello se realizó el análisis económico propuesto en la presente tesis. Utilizando el valor de Costo Anual Uniforme Equivalente, se reflejó que el recubrimiento por Goma Silicona tiene un valor de sus costos incurridos es entre 4 a 7 veces el valor que se obtiene con la aplicación del recubrimiento por Grasa Silicona.

---

<sup>1</sup> Aplicación del recubrimiento por Grasa Silicona

# PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. Realidad Problemática

Existen muchos factores que ocasionan fallas en el aislamiento externo de las líneas de transmisión y, en consecuencia, el aumento en el número de mantenimientos realizados en ellas. Uno que presenta mayor impacto es la alta contaminación en el ambiente, la cual afecta directamente en el rendimiento de los aisladores de las líneas de transmisión. Por ello se ha buscado mejorar su desempeño a través de la aplicación de recubrimientos que ayuden a mejorar la resistencia de aislamiento, viéndose perjudicada por los efectos de la polución en dichos elementos. Para llegar a cumplir este propósito se realizaron diferentes estudios, los cuales consisten en evaluar el rendimiento de recubrimientos ya sean provenientes de innovaciones o métodos existentes.

### 1.1.1. Contexto Internacional

A nivel mundial tenemos un claro ejemplo en Creta, periferia (región) de Grecia. Aquí el alto nivel de polución causó 216 fallas a lo largo de 276 km de líneas en la parte Este de la zona, lo cual se expresó en los 80s y 90s con un porcentaje de fallas de 32.5% y 19.6%, respectivamente. Teniendo en cuenta lo mencionado, realizaron un estudio para comparar el comportamiento y desempeño entre aisladores poliméricos y aisladores de vidrio con revestimiento Room Temperature Vulcanizes <sup>2</sup> (Pylarinos, Siderakis, & Thalassinakis, 2015).

En **Colombia** se han presentado inconvenientes por la acumulación de contaminación de naturaleza orgánica e inorgánica en aisladores de sus líneas de transmisión, principalmente en zonas donde las fuertes corrientes de viento y la alta humedad se hacen presente (Línea Mosquera

---

<sup>2</sup> También llamado Recubrimiento de Goma Silicona.

- Balsillas, Cundimarca, Colombia). Por ello, la frecuencia de sus mantenimientos programados ha aumentado en zonas donde existe alta incidencia de ensuciamiento o polución de los aisladores. En consecuencia, se vieron incrementados los mantenimientos, descartes y reposiciones de los aisladores. Además, los cortes de servicio, ya sea por el tipo de mantenimiento realizado o por fallas ocasionadas por la contaminación, generan pérdidas en la transmisión continua de la energía, lo que conlleva a la inconformidad de los usuarios (Correa, y otros, 2012).

### **1.1.2. Contexto Nacional**

En el año 2004, las líneas costeras del **Perú**, que están a cargo de la empresa Red Energía del Perú S.A se vieron afectadas por el alto nivel de contaminación, lo cual llevó a un deterioro rápido de aisladores poliméricos EPDM (Etileno-Propileno Dieno Monómero) instalados, principalmente en estructuras de anclaje, entre los años 1998 y 2000. Por ello, se realizó un estudio que determinó los efectos adversos en dichos aisladores, tales como rotura de núcleo de fibra de vidrio, niveles altos de hidrofobicidad en el orden de 5 y 6 (valores desfavorables), alta acumulación de contaminación soluble y no soluble, entre otros, que llevaron al bajo rendimiento de los aisladores mencionados (Mari, 2010).

Seis años después, se produjeron roturas de aisladores poliméricos que representó un 77.8% de las fallas en las líneas de transmisión del norte. De manera que se decidió realizar el cambio de los aisladores poliméricos a aisladores de vidrio con recubrimiento por goma silicona (engomado) en las líneas de transmisión, tal fue el caso de la Línea 2238 Chiclayo - Piura, donde se realizaron 162 cambios ese año, en el mes de diciembre, y 629 en el mes de Julio del año 2011 (Elizarbe, 2011).

### 1.1.3. Contexto Local

Se sabe que los niveles de polución que presenta las líneas de la costa norte del Perú son de un valor considerable, en especial la Línea 2238 Chiclayo - Piura (Bazan, 2008).

Para mitigar sus efectos, se realizaba la limpieza de aisladores a trapo industrial, que involucraban cortes de energía eléctrica, donde se efectuaría dicho mantenimiento. Además, otra forma de llevar a cabo la limpieza para los aisladores consiste en aplicar agua desmineralizada a presión en los aisladores, llamado también *lavado en caliente* o con *trabajos con tensión* (TCT), debido a que no se realiza corte de energía. El inconveniente de este último es que genera un incremento de costos a causa del uso de equipos y personal calificado, encargado de las maniobras según el procedimiento establecido.

Otro tipo de mantenimiento utilizado en las líneas de transmisión de la costa norte del Perú, es la aplicación de recubrimiento superficial del aislador por **Grasa Silicona**, dando buenos resultados al disminuir los efectos de la contaminación, siendo su renovación cada 36 meses. A partir del año 2009, la empresa Red de Energía del Perú incluyó el uso de aisladores **Engomados** o con recubrimiento por **Goma Silicona**, quedando demostrado el excelente rendimiento en condiciones de polución. Una de las experiencias más significativa es la aplicación de dicho recubrimiento en la Sub Estación Chiclayo Oeste que tuvo un buen resultado al disminuir la frecuencia de mantenimiento y evitando fallas por contaminación (Moreno C. , 2010).

Debido a que se reportó fallas en aisladores con recubrimiento por goma silicona y la consecuente ejecución de su limpieza, en el presente año, se planteó siguiente pregunta de investigación, para la presente tesis.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿La aplicación del Engomado en los aisladores de Línea de Transmisión 2238 Chiclayo – Piura, expuestos en una zona desértica de Morrope y con un nivel de polución alto, significa una mejora en el rendimiento de dichos aisladores y una notable reducción de costos en mantenimiento, en comparación a las cadenas de aisladores con recubrimiento por grasa silicona?

## **1.3. Delimitación de la Investigación**

### **1.3.1. Delimitación Espacial**

El análisis para desarrollar la presente tesis se realizó en la antes denominada, Línea de Transmisión 2238 Chiclayo - Piura, en la zona de Morrope. Actualmente, actualmente representada por el tramo de la torre 110 a 205 de la Línea de transmisión 2238 Chiclayo – Felam.

Cabe mencionar que de esta manera se identificará la zona a estudiada a lo largo de la investigación.

En la Figura N°1, se puede visualizar el recorrido del tramo del poste 110 al 205, representado de rojo.

### **1.3.2. Delimitación Temporal**

La presente tesis se desarrolló en un periodo de seis meses cronológicos.

## Figura N°1

### Ruta Topográfica del tramo P110-205 de la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo - Felam



**Fuente.** Elaboración Propia.

## 1.4. Justificación e Importancia de la Tesis

En los últimos años, gracias a las inspecciones realizadas en las líneas de transmisión cercanas a la costa, en donde usualmente se presentan niveles altos de contaminación, se ha observado un buen desempeño en la aplicación de recubrimientos en la superficie de los aisladores que han contribuido en la reducción de la frecuencia de mantenimiento en aisladores, tales como limpieza a trapo industrial y lavados en caliente.

Por ello, se realizó un análisis sobre los recubrimientos aplicados en aisladores usados en el tramo del poste 110 al 205 de la línea 2238 Chiclayo - Felam, para determinar el rendimiento tanto técnico como económico basado en el Nivel de descargas por Efluvios y en los gatos realizados en su ciclo de vida, respectivamente.

#### **1.4.1. Técnica - Social**

La investigación aporta conocimiento a la comunidad de ingenieros y técnicos especializados en el área de mantenimiento de líneas de transmisión sobre el rendimiento tanto del recubrimiento por goma silicona y por grasa silicona, donde se determinó el comportamiento del Nivel de Descargas por Efluvios a través de los años en cada caso, llegando a obtener valores esperados para la grasa silicona y desfavorables para la goma silicona.

#### **1.4.2. Tecnológica**

El análisis comparativo realizado en la presente tesis entre los recubrimientos superficial de aisladores, por goma silicona y grasa silicona, significará una visión general del comportamiento que tiene en campo, ambas tecnologías, y con lo cual se ha demostrado una deficiencia en los recubrimientos por gomas silicona. Ello llevará al interés por la aplicación y estudio de nueva tecnología e innovaciones en el campo de los recubrimientos de aisladores de las líneas de transmisión costeras del Perú, que presentan condiciones similares.

#### **1.4.3. Económica**

El análisis económico detalla los gastos realizados a lo largo del ciclo de vida de los recubrimientos a estudiar, lo cual proporciona las bases para la implementación de una gestión de activos enfocada en los recubrimientos de los aisladores tanto como para la Línea 2238 Chiclayo – Felam como para otras líneas de transmisión que presenten condiciones similares a la misma (Pistarelli, 2010).

## **1.5. Limitaciones de la Tesis**

- El estudio desarrollado en este proyecto se limita a informes técnicos los cuales corresponden a inspecciones nocturnas efectuadas por la empresa Red de Energía del Perú.
- Por el contexto de pandemia, debido a la enfermedad denominada COVID 19, existen limitaciones tales como la falta de disponibilidad para la realización de pruebas de laboratorio. Además, el acceso a campo no está permitido, para recorrer la Línea 2238 Chiclayo – Felam, contemplado en las normas establecidas por la empresa para evitar el riesgo de exposición al contagio.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Analizar y comparar el rendimiento de la aplicación de Grasa Silicona y Engomado o Goma Silicona sobre la superficie de los aisladores instalados en el tramo de la torre 110 – 205 de la línea 2238 Chiclayo – Felam, el cual representa actualmente la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Piura zona de Morrope, para mitigar efectos de polución, basado en el comportamiento del Nivel de Descargas por Efluvió y un Análisis de Costos correspondiente a su Ciclo de vida.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Evaluar el comportamiento del Nivel de descargas por Efluvios de los aisladores cerámicos, en el tramo del poste 110 al 205 de la Línea 2238 Chiclayo – Felam, con aplicación de recubrimiento por grasa silicona, en su ciclo de vida correspondiente al periodo 2017 – 2020.
- b) Evaluar el comportamiento del Nivel de descargas por Efluvios de los aisladores cerámicos, en el tramo del poste 110 al 205 de la Línea 2238 Chiclayo – Felam, con

aplicación de recubrimiento por goma silicona, en su ciclo de vida correspondiente al periodo 2009 – 2020.

- c) Analizar económicamente los costos involucrados en el ciclo de vida, correspondiente a los recubrimientos por Grasa Silicona y por Goma Silicona (Engomado) aplicados en los aisladores cerámicos del tramo del poste 110 al 205 de la Línea 2238 Chiclayo – Felam.

# MARCO TEÓRICO

## 1.2. Antecedentes de estudios

### 1.2.1. Contexto Internacional

En Grecia, los autores **Dionisios Pylarinos, Kiriakos Siderakis y Emmanuel Thalassinakis** del artículo de investigación “Comparative Investigation of Silicone Rubber Composite and RTV Coated Glass Insulators Installed in Coastal Overhead Transmission Lines”, publicado en la revista IEEE Electrical Insulation, realizaron un análisis comparativo entre aisladores de vidrio con un Recubrimiento Elastómero Vulcanizable, por sus siglas en inglés RTV (Room Temperature Vulcanized)<sup>3</sup> y aisladores poliméricos con composición de caucho silicona, basados en la experiencia de uso adquirida a lo largo del tiempo llegando a la conclusión que el recubrimiento RTV en aisladores puede proveer una solución alternativa que podría reemplazar a los aisladores poliméricos (Pylarinos, Siderakis, & Thalassinakis, 2015).

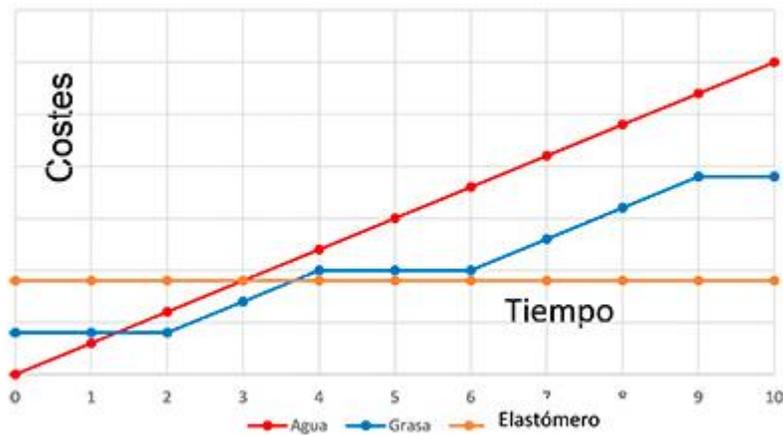
Desde el 2001 la empresa española **Ingemont**, que ofrece soluciones tecnológicas relacionadas con energía, infraestructura, eficiencia energética y energía renovable, utilizan como método de mejora del aislamiento y vida útil de los aisladores de subestaciones, líneas de distribución y transmisión, la aplicación de recubrimiento por Grasa Silicona. En base a su experiencia, indican que la durabilidad de este recubrimiento es entre tres a cinco años. Tres años después, implementó la aplicación de Recubrimiento Elastómero Vulcanizable (RTV), el cual mejora la propiedades y características de los aisladores tanto en protección contra descargas como en ambientes con niveles de polución elevados, dando una garantía de hasta 10 años. Además, destaca el gran ahorro en mantenimiento y la fiabilidad, a un largo plazo, en subestaciones y líneas de transmisión, expresado en la Figura N°2 (Ingemont, s.f.).

---

<sup>3</sup> También llamado Recubrimiento de Goma Silicona o Engomado

**Figura N°2**

Costes de mantenimiento a lo largo del tiempo



**Fuente.** Adaptado de *Recubrimiento de Aisladores Elastómeros Vulcanizables* [Gráfico], por Ingemont, s.f., <https://www.ingemont.com/actividades/energia-y-trabajos-en-tension/recubrimiento-de-aisladores-elastomeros-vulcanizables-rtv/>

### 1.2.2. Contexto Latinoamericano

Según **Oswaldo Quirós, J. Ramirez, M. Martinez, J. Rodriguez** en su artículo “Evaluación de Recubrimiento Polimérico para Aisladores Convencionales”, presentado el II Congreso Venezolano de Redes y Energía Eléctrica respaldados por la CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas), nos explica las mejoras que implica la aplicación de Recubrimiento Polimérico frente a los aisladores que no lo tienen. Realizando una evaluación de rendimiento, basado en la corriente superficial bajo condiciones como humedad, temperatura, niveles de tensión y contaminación. Obteniendo como respuesta que dicho recubrimiento mejora el rendimiento de los aisladores, siempre y cuando su aplicación no presente desperfectos o daños (Quiros, Ramirez, Rodriguez, & Martinez, 2009).

En Colombia, **L. Hencker**, autor del boletín científico “Consideraciones en la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación atmosférica”, en el cual considera la grasa silicona como recubrimiento superficial con propiedades que permiten el uso de ellos en cualquier clima

debido a que su consistencia, viscosidad y energía superficial permanecen constantes a temperaturas de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+200^{\circ}\text{C}$ . Además, indica que el periodo de vida efectiva sería entre seis meses a tres años (Hencker, 2005).

### **1.2.3. Contexto Nacional**

En Perú, el ingeniero **Joel R. Elizarbe Cordova**, en su artículo científico “Cambio de Aisladores Poliméricos de Anclaje y Suspensión en Líneas de Transmisión de 220 KV en el Departamento de Transmisión Norte de Red de Energía del Perú S.A.”, presentado en el V Congreso Internacional Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y Mantenimiento sin Tensión de Instalaciones de AT (Alta Tensión), donde describe, como el grupo ISA, del cual forma parte Red de Energía del Perú (REP), presentan el reemplazo de los aisladores poliméricos por aisladores de vidrio con Recubrimiento de Goma Silicona, como la solución para mitigar los efectos de los altos niveles de contaminación que causaron tracking o fractura frágil en los aisladores poliméricos de sus Líneas de Transmisión (Elizarbe, 2011).

En el III Congreso de Mantenimiento Eléctrico y Expoferia, que tuvo lugar en la ciudad de Lima, Enrique Rodney Troncoso Irarrazabal realizó una ponencia llamada “La importante contribución de recubrimientos de silicona RTV para el funcionamiento de componentes y estructuras auxiliares en Subestaciones y Líneas de Transmisión”, donde concluye que el recubrimiento RTV Si-COAT®570™ garantiza la reducción en los gastos para mantención en su vida útil, eliminando virtualmente la corriente de fuga por un periodo de 10 años a más. Además, ofrece beneficios económicos y ambientales (Troncoso, 2016).

#### **1.2.4. Contexto Local**

Según el ingeniero Cesar Moreno, en su tesis titulada “Evaluación del Desempeño de los Recubrimientos de Goma Silicona en la Subestación Eléctrica Chiclayo Oeste, para evitar fallas de los Aisladores en el Periodo del 2001 al 2014”, para optar el grado académico de Magister en Ingeniería de Mantenimiento en la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, teniendo como objetivo general evaluar el comportamiento de los recubrimientos de goma silicona en la subestación Chiclayo Oeste, para evitar las fallas de los aisladores en el periodo 2001 al 2014. Concluyendo en lo siguiente:

“La utilización de los recubrimientos de goma silicona como alternativa al mantenimiento de los aisladores en zonas de alta contaminación, ha reducido los costos de mantenimiento y optimizar los recursos de la empresa.” (pp. 48)

### **1.3. Desarrollo de la Temática Correspondiente**

#### **1.3.1. Aisladores**

“Es un elemento destinado a ser un soporte flexible o rígido para los conductores eléctricos o equipos eléctricos y aísla eléctricamente estos conductores o equipos respecto a tierra o a otros conductores o equipos” (Portella, 2019).

Dichos elementos o componentes han ido evolucionando tecnológicamente debido a los niveles de tensión requeridos cada vez más altos, cumpliendo con las cualidades tanto eléctricas y mecánicas necesarias para evitar pérdidas de energía, corrientes de fuga o también caídas de conductor provocando una falla a tierra. La definición según Portella, la cual es basada en la norma ANSI C29.1 “Test Methods for Electrical Power Insulator”, abarca una gran variedad de aisladores. Sin embargo, para propósito de esta tesis, se tomarán en cuenta solo los aisladores usados en Líneas de Transmisión.

La disposición de los aisladores en las estructuras de las líneas de transmisión es en grupo o conjunto, comúnmente unidos a través de herrajes, denominados *Cadenas* y presentan dos tipos de posiciones según la estructura en la que se encuentren instaladas las cuales son: de anclaje y de suspensión.

### **Figura N°3**

Detalle de aisladores eléctricos en una estructura de celosía de anclaje



**Fuente.** Elaboración Propia.

**Materiales de Manufactura.** Según los materiales utilizados para la fabricación de los aisladores, hablaremos de dos clasificaciones, las cuales son: Aisladores Cerámicos y Aisladores No Cerámicos.

*Los Aisladores Cerámicos* comprende los materiales tales como la porcelana y vidrio templado que poseen excelente resistencia mecánica. Sin embargo, presentan déficit en cuanto a sus propiedades de hidrofobicidad que no les permiten trabajar correctamente con niveles de polución elevados. Para ellos se han desarrollado distintos tipos de tecnología para mejorar dichos aisladores. Entre ellas tenemos el recubrimiento por grasa silicona, una solución periódica que

ayuda a incrementar la resistencia frente a la contaminación. Por otro lado, encontramos el recubrimiento por goma silicona, que se ha convertido en una solución efectiva a largo plazo, para cubrir y mejorar el déficit que presentan estos tipos de aisladores (Hernandez Ahumada, 2018).

*Los Aisladores No Cerámicos*, también llamados poliméricos, presentan características hidrofóbicas excelentes que evitan la formación de capas de contaminación, en consecuencia, la formación de caminos conductivos en su superficie, lo cual mejora su rendimiento. No obstante, suelen tener fallas mecánicas y carbonización en niveles de alta tensión (Hernandez Ahumada, 2018).

### **1.3.2. Corriente de fuga**

Es la corriente que pasa a través de la superficie de los aisladores, dependiente de la tensión de operación y la conductancia superficial de la capa superficial. La polución puede aumentar la intensidad de la corriente de fuga, conllevando a produciendo calor proveniente de su naturaleza netamente resistiva, significando una pérdida de la rigidez dieléctrica. Por último, dicha corriente puede generar descargas parciales para luego llegar al flashover o contorneo (Moreno C. , 2010).

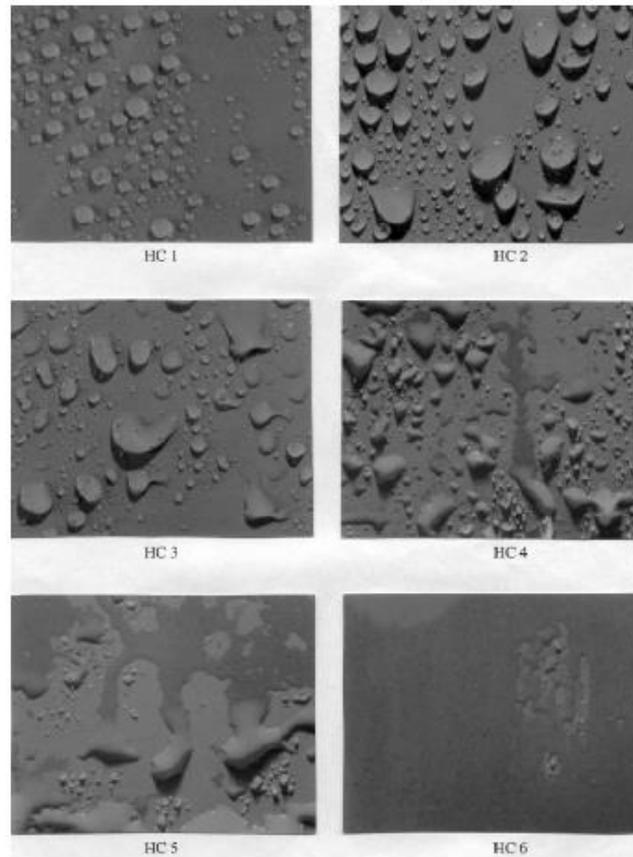
### **1.3.3. Hidrofobicidad**

Se define como la característica de los materiales para inhibir la formación de una película de agua en una superficie aislante, en otras palabras, repeler el agua, haciendo que esta tome la forma de gotas. En consecuencia, evitando la aparición de corrientes fuga y propagación de las descargas eléctricas.

La clasificación de los niveles hidrofobicidad están representados por las siglas HC y van desde el 1 – 7, lo que corresponde a una superficie altamente hidrófoba y a una superficie altamente hidrófila, respectivamente (IEC TS 62073, 2016 citado en Morcelle del Valle, Catalano, Calo, Álvarez, & Mayora, 2019).

#### Figura N°4

Ejemplos típicos de la clasificación de la Hidrofobicidad (HC1 – HC6) a tamaño natural

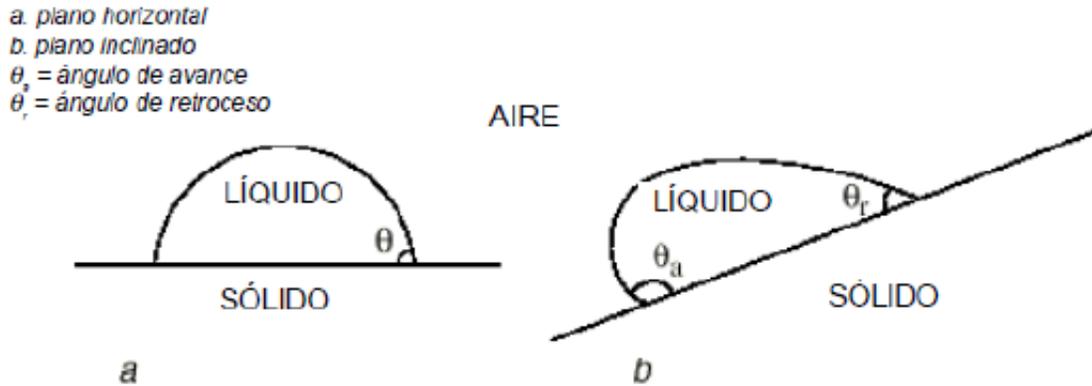


**Fuente.** Adaptado de *Diagnostico y acondicionamiento de aisladores* (pp.23),de ABB, s.f.,  
SCRIBD: <https://es.scribd.com/doc/150243347/2750-515-142-es-rev-0-1>

Según ABB (s.f.), el ángulo de contacto ( $\theta$ ) de las gotas formadas en la superficie de los aisladores debe tenerse en cuenta para la clasificación. Existen dos ángulos de contacto, uno es el ángulo de contacto de avance ( $\theta_a$ ) y el ángulo de contacto de retroceso ( $\theta_r$ ), siendo este último afectado por el ángulo de inclinación de la superficie. La detalla los ángulos de contacto existentes según la orientación del plano, ya sea horizontal o inclinado y en la Tabla N°1, los valores de dichos ángulos, complementando así la clasificación.

## Figura N° 5

Detalle de los ángulos de contacto de las gotas según la superficie



**Fuente.** Adaptado de *Diagnostico y acondicionamiento de aisladores* (pp.22), de ABB, s.f., SCRIBD: <https://es.scribd.com/doc/150243347/2750-515-142-es-rev-0-1>

## Tabla N°1

Clasificación de Hidrofobicidad según ángulo de contacto

HC	Descripción
1	Solo se forman pequeñas gotas. $\theta_r \gg 80^\circ$ o más en la mayoría de gotas.
2	Solo se forman pequeñas gotas. $50^\circ < \theta_r < 80^\circ$ en la mayoría de gotas.
3	Solo se forman pequeñas gotas. $20^\circ < \theta_r < 50^\circ$ en la mayoría de gotas. Generalmente no son redondas.
4	Solo se observan tanto pequeñas gotas como la estela dejada por el recorrido de las mismas. $\theta_r = 0^\circ$ . Áreas totalmente mojadas $< 2 \text{ cm}^2$ . El conjunto cubre $< 90\%$ del área sometida a prueba.
5	Algunas zonas totalmente mojadas $> 2 \text{ cm}^2$ , que cubren $< 90\%$ del área sometida a prueba.

**Tabla N°1 (Continuación)**

6	Continúan observándose áreas mojadas que cubren > 90%, pequeñas zonas mojadas (motas/estelas)
7	Película de agua continua en toda el área sometida a la prueba.

**Fuente.** Adaptado de *Diagnostico y acondicionamiento de aisladores* (pp.22),de ABB. SCRIBD:  
<https://es.scribd.com/doc/150243347/2750-515-142-es-rev-0-1>

#### **1.3.4. Proceso de Contorneo por Contaminación**

El proceso de contorneo o flashover, debido a la contaminación existente en las diferentes zonas por donde pasan las líneas de transmisión, es influenciado por dos condiciones en la superficie según las propiedades del material de manufactura del aislador instalado, las cuales son: una superficie hidrófila y una superficie hidrofóbica.

**Las superficies hidrófilas<sup>4</sup>.** Son caracterizadas en aisladores cerámicos tales como los de porcelana y vidrio, son más propensas a la adhesión de la humedad a su superficie, generando la formación de una película electrolítica.

Según Gençoğlu & Cebeci (2008) el proceso de contorneo en estas superficies se desarrolla a través de las siguientes tres fases (pp. 1915):

**Fase 1: Formación de capa contaminante conductiva:** Consta de dos etapas: La Acumulación de Capa Contaminante y el Humedecimiento de la Capa Contaminante, ambas dependientes de las características y propiedades de la polución presente en la zona.

Autores de diversos textos y artículos proponen diferentes formas de clasificar el tipo de polución o contaminación. La Tabla N°2 estará compuesta por dos clasificaciones, una propuesta por la norma IEC 60815 - 1 (2008) y otra propuesta por la gran mayoría de investigadores.

---

<sup>4</sup> Ver Anexo 1 “Diagrama de Proceso de Contorneo por Contaminación-Superficie Hidrófila”

En la etapa de *Acumulación de capa contaminante*, nos referimos al tipo de contaminante que queda superpuesto en la superficie del aislador. Cabe resaltar que la contaminación tipo A pasa a la etapa de Humedecimiento de la Capa Contaminante. Sin embargo, la contaminación tipo B, pasa directamente a la siguiente fase<sup>5</sup>. Fundamentalmente, tres fuerzas son las que ocasionan el desarrollo de esta etapa.

Según Hernandez Ahumada (2018), afirma que dichas fuerzas involucradas son:

- La fuerza gravitacional
- La fuerza electrostática
- La fuerza del viento

*La fuerza gravitacional* es considerada uno de los factores más importantes en el transporte de polución a la superficie del aislador (J.S.T.Looms, 1991). Actúa sobre partículas más pesadas y haciendo aún más grande el campo que abarca la contaminación sobre la superficie amplificando cada vez más su efecto.

*La fuerza electrostática* sobre una partícula no cargada es proporcional a su volumen y en función de su constante dieléctrica. El efecto de esta fuerza se hace presente cuando ocurre el efecto corona, permitiendo bajo la polarización en tensión alterna un desplazamiento efectivo de la partícula hacia las zonas de mayor intensidad de campo eléctrico (Hernandez Ahumada, 2018, pp. 10).

*La fuerza del viento* es un factor predominante en la contaminación de la superficie del aislador debido a que lleva consigo las partículas de polución a las cercanías del aislador así permitiendo acrecentar la incidencia del resto de las fuerzas.

---

<sup>5</sup> Los tipos de contaminación (A y B) están presentes en diferentes zonas o ambientes típicos, descritos en el Anexo 2 “Ambientes típicos y sus tipos de contaminación”

**Tabla N°2**

Descripción de la clasificación de los tipos de polución presentes en la superficie del aislador

	CONTAMINACIÓN TIPO B	CONTAMINACION TIPO A	
		SOLUBLE	NO SOLUBLE
<b>CONTAMINACIÓN ACTIVA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprendida por electrolitos líquidos.</li> <li>• Ej. la sustancia para fumigación de cultivos, niebla ácida, lluvia ácida, excremento de ave, brisa marina.</li> <li>• Para tomar medida de ello, se realiza con pruebas de Conductancia o Corriente de Fuga.</li> <li>• Se mide mediante el término SES (Site Equivalent Salinity o Salinidad en Sitio Equivalente) con las unidades kg/m<sup>3</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma una capa conductiva, cuando se humedece.</li> <li>• Ej. Capas de sal seca</li> <li>• Se mide mediante el término ESDD (mg/cm<sup>2</sup>)</li> </ul>	-
<b>CONTAMINACION INERTE</b>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma una capa adherente para la contaminación soluble.</li> <li>• Se mide mediante el término NSDD (mg/cm<sup>2</sup>)</li> </ul>

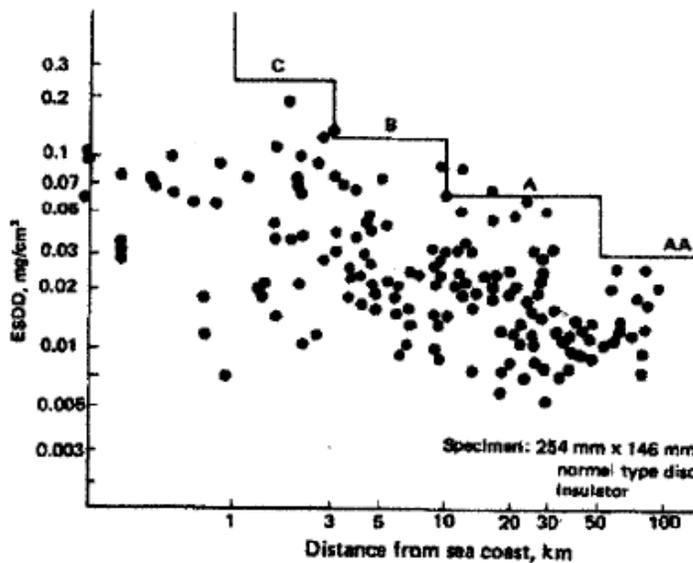
**Fuente.** Esta tabla muestra un resumen de los tipos de contaminación relacionando dos tipos de clasificaciones. ESDD son las siglas en inglés de Densidad Equivalente del Depósito de Sal. NSDD son las siglas en inglés de Densidad del Depósito No Soluble. Ambos términos serán explicados en la sección 2.3.8 Monitoreo del nivel de polución. La Contaminación tipo B está relacionada con áreas cercanas a la costa, por otra parte, la Contaminación A está relacionada con zonas desérticas, industriales.

Elaboración Propia.

Dependiendo de la topología, el efecto de las brisas marinas puede alcanzar a los aisladores a grandes distancias, debido a la gran influencia de la fuerza del viento que transporta los contaminantes tierra adentro, representado en la Figura N°6. Además, en zonas agrícolas, puede llevar consigo fertilizantes o quema de residuos de cosecha (Moreno M. , Curso sobre Contaminación Aislamiento Externo, s.f.).

### Figura N°6

Relación entre la distancia a la costa y el valor de ESDD en un aislador estándar en condiciones de contaminación salina.



**Fuente.** Adaptado de *Curso sobre Contaminación Aislamiento Externo*, por Dr. Marcos Moreno, s.f., <https://es.scribd.com/document/344615628/Contaminacion-en-Aisladores>.

En la etapa de *Humedecimiento de Capa Contaminante*, aumenta la conductividad de la polución acumulada, produciendo corrientes de filtración en la superficie del aislador. Influyen mecanismos de humectación primordiales para su desarrollo los cuales son:

La **Precipitación** es uno de los factores considerados más severos debido a que puede humedecer tanto la superficie superior, como la inferior, dependiendo de parámetros del viento tales como su velocidad y dirección (Moreno M. , Curso sobre Contaminación Aislamiento Externo, s.f.).

Asimismo, la lluvia condiciona dos circunstancias opuestas llevando a una incertidumbre. Una de ellas es la capacidad de realizar una limpieza al aislador y la otra consiste en que forme un puente entre las cadenas de aisladores, acelerando el proceso de contorneo o flashover.

Otro de los mecanismos de humectación es la **Condensación** en la superficie del aislador. Es producido debido a que la temperatura en dicha superficie es menor a la temperatura de saturación del vapor de agua, presente en el aire y que rodea al aislador. A la temperatura de saturación del vapor de agua, se le llama temperatura de Punto de Rocío, uno de los parámetros fundamentales para que se produzca la condensación.

Es una de las principales causas de fallas por contorneo o flashover en cadenas de aisladores, mayormente producidas en las zonas desérticas, la cuales tienen las características propicias para el desarrollo de este mecanismo (Moreno M. , Curso sobre Contaminación Aislamiento Externo, s.f.).

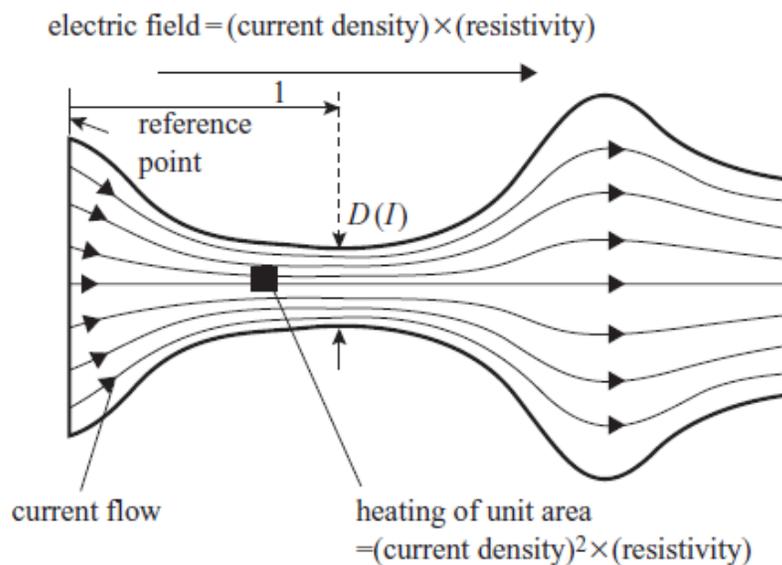
Por último, tenemos la **Absorción**, el cual ocurre en base al parámetro de la Humedad Relativa (HR) de la zona. Si el HR alcanza valores altos (>75%), y también la temperatura del aislador y la del aire que lo rodea son la misma, se produce el mecanismo en mención (IEC 60815 - 1, 2008).

**Fase 2: Formación de pre – descarga en superficie contaminada del aislador:**  
Comprendida por dos etapas la cuales son: La Formación de Bandas Secas y la Ignición de pre-descargas a lo largo de ellas.

En el proceso de la **Formación de Bandas Secas**, encontramos ya formada una capa electrolítica que permite el paso de corriente a través de la superficie, llamada *Corriente de Fuga*. Con la presencia de dicha corriente, se produce el secado no uniforme de las superficies del aislador, llamadas *Bandas Secas*, producidas por sobrecalentamiento correspondiente al efecto Joule definido por  $(j^2\rho)$  donde la densidad de la corriente de fuga en la superficie es  $j$  y la resistividad de la superficie  $\rho$ . La mayor presencia de este fenómeno se presenta en las zonas donde existe mayor densidad de corriente, lo cual está representado en la Figura N°7 (D.A.Swift, 2007).

**Figura N°7**

Desarrollo de una superficie hidrófila, contaminada y humedecida de un aislador arbitrario



**Fuente.** Adaptado de *Insulator for outdoor applications* (pp.274) por D.A.Swift, 2007, en *Advances in High Voltage Engineering*, Electrical Insulation Magazine, IEEE. [https://www.researchgate.net/publication/3258740\\_Advances\\_in\\_High\\_Voltage\\_Engineering\\_Book\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/3258740_Advances_in_High_Voltage_Engineering_Book_Review).

En dichas zonas donde el efecto Joule incrementa su impacto, se produce un aumento de la resistividad de la superficie, implicando así un aumento en el campo eléctrico, debido a que este

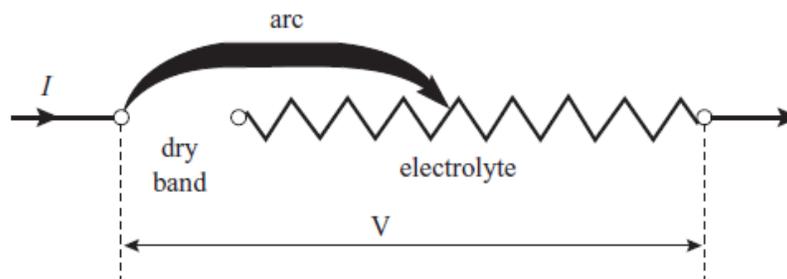
campo de fuerza está definido por  $(j\rho)$ . Además, se produce un corte del flujo de la corriente de fuga y la tensión línea-tierra se hace presente en las bandas.

Así comenzando la etapa de la **Ignición de pre-descargas a lo largo de las bandas secas**. El resultado del incremento del campo eléctrico, ocasiona la ionización del aire que está inmediatamente sobre la zona. En consecuencia, se originan las descargas, ya sean en forma de chispa, resplandor o arco. (D.A.Swift, 2007).

**Fase 3: Propagación de pre-descargas a lo largo de la superficie y corto circuito.** En esta fase ya tenemos 2 partes bien definidas en la superficie contaminada del aislador, una es la banda seca y la otra es la parte electrolítica, que presentan la parte conductora. A causa de una resistencia baja en la parte electrolítica, las descargas formadas en la superficie del aislador comienzan a extenderse a través de la misma (Hernandez Ahumada, 2018).

### Figura N°8

Circuito de propagación de las descargas eléctricas sobre la superficie del aislador



**Fuente.** Debido a la baja resistividad que tiene la parte electrolítica las descargas extiende su alcance, luego produciendo un aumento de las dimensiones de las bandas secas, y así continuamente, en forma de puente, extendiéndose por la superficie del aislador.

Adaptado de *Insulator for outdoor applications* (pp.275), por D.A.Swift, 2007, en *Advances in High Voltage Engineering*, Electrical Insulation Magazine, IEEE. [https://www.researchgate.net/publication/3258740\\_Advances\\_in\\_High\\_Voltage\\_Engineering\\_Book\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/3258740_Advances_in_High_Voltage_Engineering_Book_Review)

Como resultado final, se produce el contorneo en toda una cadena de aisladores en operación, generando una falla de línea a tierra.

***Las superficies hidrófobas.*** Relacionadas directamente con los aisladores poliméricos, las superficies hidrófobas, tienen un dinamismo en cuando actúan frente a la polución, lo cual no permite definir un proceso generalizado para el origen del contorneo o flashover. No obstante, se tienen algunos indicios acerca del desarrollo de este proceso tales como la migración de sal a las gotas de agua formadas por la humedad y la formación de filamentos de líquido que pueden servir de medio para llegar a generarse descargas eléctricas. Cabe resaltar que, a pesar de tener buenas propiedades para hacer frente a la contaminación, algunos de las fases que se desarrolla en el proceso de contorneo en superficies hidrófilas, también pueden estar presente en las superficies hidrófobas (Hernandez Ahumada, 2018).

### **1.3.5. Efecto Corona**

Descarga parcial que se manifiesta de forma visible como un halo luminoso de sección transversal y de forma audible, dado que produce un zumbido fácilmente perceptible. Se presenta en campos no uniformes, donde existe gran intensidad de campo eléctrico o gradiente de potencial. La condición para que se produzca el efecto corona es la ionización del aire, a causa del aumento de la gradiente de potencial hasta el valor de rigidez dieléctrica del aire alrededor de la zona, el cual presenta un valor aproximado de 30 kV/cm, en condiciones estándar (presión atmosférica de 76 cm de Hg y 25°C de temperatura). Cabe resaltar que este fenómeno produce pérdidas de energía (Huamani & Salcedo, 2015).

### **1.3.6. Descargas por Efluvios**

Descarga de naturaleza ramificada y de gran longitud que es ocasionada por valores altos de intensidad de campo eléctrico en bandas secas que presentan disminución de su área, debido al

humedecimiento continuo luego de producirse el secado en la superficie del aislador. Son conocidas como descargas tipo “streamer” y está relacionadas con el efecto corona (Moreno M., 26 - 30 de Julio de 2005).

### **1.3.7. Medidas Mitigatorias: Limpieza de Aisladores**

Consiste básicamente en eliminar la polución de la superficie del aislador, mediante dos formas: lavado en caliente y limpieza a trapo industrial. El lavado en caliente, llamado así porque no se realizan cortes de energía para realizarlos, se efectúa aplicando agua desmineralizada no conductiva, a presión, gracias a un vehículo de lavado ubicado cerca de la estructura (torres de celosía, postes de cemento, postes de madera). En consecuencia, los incrustantes en la superficie son removidos, recuperando la superficie lisa y vidriada de los aisladores, ya sean de vidrio o de porcelana.

Cuando los vehículos de lavado, no pueden llegar a posicionarse próximos a la estructura, debido al difícil acceso, se realiza la limpieza a trapo industrial que fundamentalmente consiste en sacar la polución manualmente. Cabe resaltar, que este mantenimiento se realiza con menos frecuencia.

### **1.3.8. Monitoreo del nivel de polución**

Para conocer el estado de las cadenas de aisladores con respecto a la polución presente en la zona, se utilizan distintos tipos de herramientas. Para propósitos de la presente tesis, se propondrá una clasificación según las siguientes condiciones: En servicio y Fuera de servicio.

**En servicio.** Se realizan cuando los aisladores se encuentran en operación en la línea de transmisión.

***Inspecciones Nocturnas.*** Están enfocadas a la determinación del nivel de descargas por efluvio presente en las cadenas de aisladores. Se puede observar a la emisión lumínica que producen las descargas, solo sin la presencia de luz solar.

***Corriente de fuga.*** Los autores George, Lepley, Brocard, Virlogeux, & Roude (2018), del artículo “Pollution Mitigation Solutions for Overhead Line Insulators”; introducen un concepto de ***aislador equipado***, el cual fue desarrollado en la empresa Sediver y es una nueva opción para tomar medidas de corriente de fuga en la cadena de aisladores en tipo real. En la Figura N°9 se muestra el componente pequeño que permite recolectar, almacenar y transmitir (vía internet) información de corriente de fuga, además de medir información relacionada con factores ambientales que influyen en el rendimiento del aislador en la zona.

***Fuera de servicio.*** Según Pozo, Valle, & Deorsola (2006), exponen las pruebas realizadas para la evaluación de aisladores que son puestos fuera de servicio, es decir, retirados de la estructura aterrada, en comparación con aisladores del mismo modelo sin uso.

Con la finalidad de comprobar su rendimiento en campo y su posible desempeño en el futuro de las nuevos aisladores a instalar, las pruebas<sup>6</sup> son las siguientes:

- Inspección visual
- Hidrofobicidad
- Corriente de fuga
- ESDD/NSDD

---

<sup>6</sup> Cabe resaltar que, para las pruebas de Hidrofobicidad, Corriente de fuga y ESDD/NSDD, se seleccionan diferentes grupos de muestras para cada prueba, con el fin de no alterar la superficie del aislador y, en consecuencia, obtener mediciones verídicas.

## Figura N°9

Descripción de Aislador Equipado y su visualización de datos



**Fuente.** Adaptado de *Pollution Mitigation Solutions for Overhead Line Insulators* (pp 6-7), por George, Lepley, Brocard, Virlogeux, & Roude, 2018, Sevider Research Center, [https://www.sediver.com/wp-content/uploads/SEDOC18322-\\_Pollution-mitigation-solutions-for-overhead-line-insulators-1.pdf](https://www.sediver.com/wp-content/uploads/SEDOC18322-_Pollution-mitigation-solutions-for-overhead-line-insulators-1.pdf)

*Inspección visual* consiste en comprobar e indentificar la existencia de daños o alteraciones en los aisladores. Para ello, se necesita realizar una documentación fotográfica que permita observar cambios de color en la superficie del aislador, ya sea homogéneo o con cambios de intensidad dependiendo la zona. Además, se debe verificar la existencia de materiales depositados tales como hollín, musgo, etc.

## Figura N°10

Documentación fotográfica de Inspección visual



**Fuente.** Adaptado de *Evaluación del Estado de Aisladores Compuestos Retirados de Servicio – Experiencia Tendientes a Determinar la Expectativa de Vida Residual* (pp 3), por Morcelle del Valle, Catalano, Calo, Álvarez, & Mayora, 2019, XIII ERIAC Décimo Octavo encuentro Regional Ibero-Americano de CIGRE, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75465>

**Hidrofobicidad.** Busca ver el nivel de dicha propiedad de la superficie del aislador, explicada en la Sección 2.3.3 Hidrofobicidad. Implica el rocío de agua desmineralizada con un pulverizador para observar si existe repelencia o no, en la superficie. Al respecto conviene decir que el aislador puede presentar varios niveles de hidrofobicidad en diferentes zonas de la superficie del mismo.

**Corriente de Fuga.** Tiene como fin, determinar el valor de la corriente que circula por la película o capa contaminante, a causa de la tensión de aplicada. Para efectuar esta prueba se necesita una fuente de tensión, a frecuencia industrial, lo cual permitirá establecer las solicitaciones

requeridas para la prueba. Es importante aclarar que se representarán artificialmente diferentes condiciones ambientales en las cuales puede estar expuesto un aislador en servicio.

La primera de estas condiciones hace referencia al aislador cuando se encuentra *en seco*, lo que significa que el aislador sometido a la prueba tal y como llegó al laboratorio. La siguiente condición, simula una **condensación** en la superficie, rociando agua con características específicas para asemejarse al agua de lluvia. La simulación de **contaminación con niebla salina**, se realiza rociando al aislador con una solución de NaCl en agua desmineralizada. Es importante saber que para el rocío de agua y soluciones se utiliza un pulverizador. Por último, se representa la condición de **lluvia**, con sus respectivas características de precipitación.

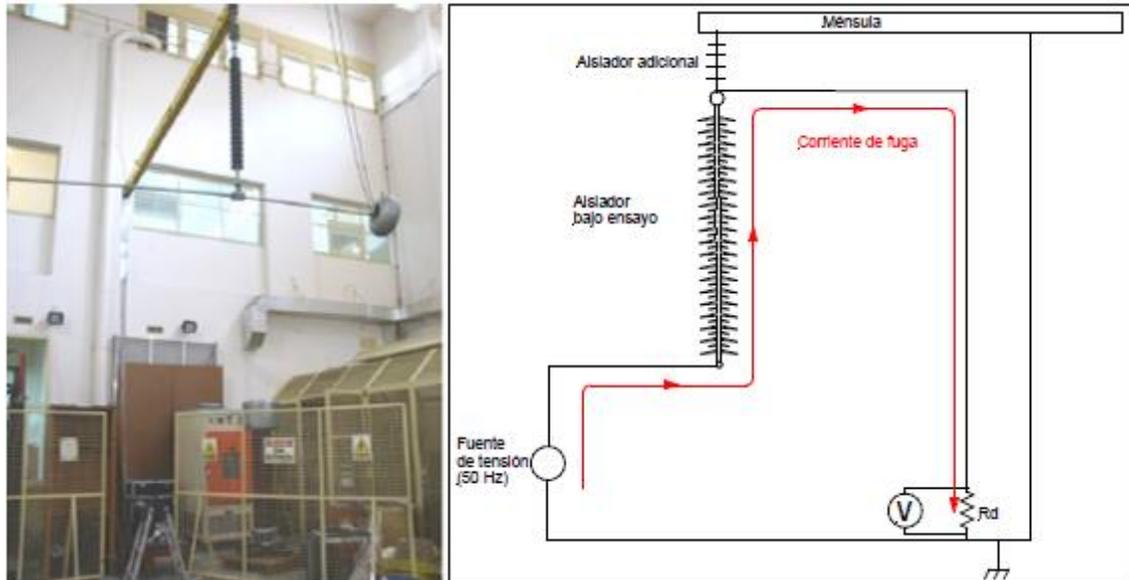
En la Figura N° 11 se muestra un ejemplo de esquema usado para la simulación del aislador en servicio y la medición respectiva de corriente de fuga.

**Mediciones de ESDD y NSDD.** Son métodos directos para medir la severidad de la polución de la zona, debido a que se realiza directamente sobre la superficie del aislador.

La Densidad Equivalente del Depósito de Sal (por sus siglas en inglés ESDD), está definida como la cantidad de NaCl que produce la misma conductividad, comparado con la capa contaminante presente en la superficie del aislador, ambos disueltos en agua desmineralizada (Aponte, y otros, 2009). Los valores adquiridos en esta prueba son comparados con la Tabla N°3 que contiene los valores normalizados, propuestos por los diferentes estándares internacionales. Normalmente se expresa en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

**Figura N°11**

Detalle de circuito y disposición de equipos para prueba de Corriente de Fuga



**Fuente.** Adaptado de *Evaluación del Estado de Aisladores Compuestos Retirados de Servicio – Experiencia Tendientes a Determinar la Expectativa de Vida Residual* (pp 3), por Morcelle del Valle, y otros, 2019, XIII ERIAC Décimo Octavo encuentro Regional Ibero-Americano de CIGRE, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75465>

**Tabla N°3**

Estándares Internacionales de valores ESDD

Nivel de Contaminación	ESDD (mg NaCl/cm <sup>2</sup> )			
	CIGRE <sup>1</sup>	IEEE <sup>2</sup>	IEC 60071-2 <sup>3</sup>	IEC 60507 <sup>4</sup>
<b>Ninguno</b>	0,0075 - 0,015			
<b>Muy ligero</b>	0,015 - 0,03	0 - 0,03		
<b>Ligero</b>	0,03 - 0,06	0,03 - 0,06	0,03 - 0,06	0,03 - 0,06
<b>Mediano</b>	0,06 - 0,12	0,06 - 0,10	0,06 - 0,10	0,10 - 0,20
<b>Alto</b>	0,12 - 0,24	> 0,10	0,10 - 0,30	0,30 - 0,60
<b>Muy Alto</b>	0,24 - 0,48		> 0,10	> 0,60
<b>Excepcional</b>	> 0,48			

**Tabla N°3 (Continuación)**

<b>1</b>	<b>CIGRE WG "Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines"</b>
<b>2</b>	<b>IEEE "Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines"</b>
<b>3</b>	<b>IEC 60071 "Insulation Coordination"</b>
<b>4</b>	<b>IEC 60507 "Artificial Pollution Test on High Voltage Insulators to Be Used on A.C. Systems"</b>

**Fuente.** Adaptado de *Contamination Level Evaluation on Colombian North Cost* (pp. 192), por Aponte, y otros, 2009, IEEE Latin America Transactions, [https://www.researchgate.net/publication/224594220\\_Contamination\\_Level\\_Evaluation\\_on\\_Colombian\\_North\\_Cost](https://www.researchgate.net/publication/224594220_Contamination_Level_Evaluation_on_Colombian_North_Cost)

La Densidad del Depósito No Soluble (por sus siglas en inglés NSDD), está definida como “la cantidad de residuo no soluble retirado de una superficie dada del aislador” (Hernandez Ahumada, 2018). Normalmente se expresa en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

Debemos tener en cuenta que las medidas de NSDD son importantes en zonas desérticas y en ambientes marinos. En este último, los residuos no solubles, combinados con el contaminante activo, afecta considerablemente el voltaje de descargas, el cual puede llegar a reducir su valor en un 25 a 30%, puesto que influye en la capacidad de la capa contaminante para retener agua. Además, La NSDD está correlacionada con la forma del aislador, esto por la acumulación de residuos no solubles, también denominados contaminante inerte, en una zona específica (Bazan, 2008).

### **1.3.9. Clasificación de la Severidad de Polución**

Para normalizar los niveles de severidad de polución, la norma IEC 60815 – 1 (2008), ha establecido cinco niveles<sup>7</sup> a continuación:

---

<sup>7</sup> La norma IEC/TCS 60815 -1, presenta también la cantidad de contaminación en aisladores de referencia, en relación a una lista de ejemplificación de ambientes típicos, dividida en 7 niveles. Detallado en el Anexo 3 “Acumulación de la contaminación en aisladores de referencia en relación de las clases de severidad de polución”.

- a) Leve
- b) Moderado
- c) Alto
- d) Muy Alto

Kuffel, y otros, (2000) proponen en la Tabla N°4 los niveles y sus respectivos ambientes típicos presentes. Además, presenta los valores máximos de ESDD, considerados para cada nivel.

**Tabla N°4**

*Clasificación de Severidad de Polución*

Nivel de Polución	Ejemplos de Ambientes Típicos	Máximo Valor de ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )
<b>Bajo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas sin industrias y pocas casas con calefacción.</li> <li>• Áreas con baja densidad de industrias o casas, sujetas a fuertes vientos y/o frecuentes lluvias.</li> <li>• Áreas montañosas y áreas agrícolas, sin embargo, el uso de fertilizantes en las últimas, podría llevar a un nivel alto de polución.</li> </ul>	0.06
<b>Medio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas con industrias con baja producción de gases contaminantes y/o una cantidad promedio de casas equipadas con calefacción.</li> <li>• Áreas con alta densidad de casa y/o industrias, sujetas a fuertes vientos y/o frecuentes lluvias.</li> <li>• Áreas expuestas a brisa marina, a una distancia considerable de la costa, en kilómetros.</li> </ul>	0.2

**Tabla N°4 (continuación)**

<b>Alto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Áreas con alta densidad de industrias y grandes ciudades con gran cantidad de plantas produciendo polución.</li><li>• Áreas cercanas a la costa o expuesta a fuertes vientos provenientes del mar.</li></ul>	<b>0.6</b>
<b>Muy Alto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Áreas generalmente de amplia extensión, expuestas a contaminantes conductivos y humo industrial, que produzca una capa contaminante espesa.</li><li>• Áreas generalmente de amplia extensión, muy cerca de la costa y expuesta brisa marina o muy fuerte vientos contaminados, procedentes del mar.</li><li>• Áreas desérticas, caracterizadas por falta de lluvias durante largos periodos, expuesta a fuertes vientos que transportan arena y sales, que regularmente están sujetas a condensación.</li></ul>	<b>&gt; 0.60</b>

**Fuente.** Esta tabla está basada en aisladores cerámicos con referencia a la norma IEC 60815. Su uso para aisladores poliméricos aún no está verificado.

Adaptado de *High Voltage Engineering* (pp. 516-517), Newnees, 2000, Obtenido de: <https://www.mv.helsinki.fi/home/tpaulin/Text/hveng.pdf>

### **1.3.10. Recubrimiento por Grasa Silicona**

La denominación más apropiada para Grasa Silicona es Compuesto Silicónico en presentación pasta, el cual consiste en la aplicación de una capa de este recubrimiento renovable sobre la superficie del aislador, con el fin de mantener las características aislantes y la hidrofobicidad, para evitar el rápido deterioro de los aisladores frente a altos niveles de polución (Moreno C. , 2010).

**Características<sup>8</sup>.** Las características más resaltantes son:

- Fácil manipulación.

---

<sup>8</sup> Ver Anexo 4 “Dow Corning® 3099 HVIC Compound: Information about Silicone Compounds”

- Brinda resistencia frente a surco eléctrico, arco eléctrico o descargas eléctricas y flashover o contorno.
- Buena adhesión a la superficie de los aisladores ya sean de vidrio o porcelana.
- Evita la erosión por agua.
- No se deteriora fácilmente con la presencia de elevados niveles de luz ultravioleta.

**Procedimiento.** El término generalmente usado es Siliconado de Aisladores. Establecido en un instructivo elaborado y realizado por una empresa contratista, con la cual Red de Energía del Perú realiza labores de mantenimiento. Cabe resaltar que este procedimiento se realiza en campo, en otras palabras, en la estructura donde este montado la cadena de aisladores. Por lo tanto, es obligatorio efectuar un corte de energía eléctrica.

Consiste básicamente en lo siguiente:

Un primer aspecto es realizar las labores fundamentales, conformadas por: la solicitud del trabajo, reunión de seguridad y difusión del análisis de riesgos. Luego se realiza la inspección previa para prevenir presencia de tensión, presencia de minas, mala señalización, posibles atentados terroristas. A continuación, se debe aterrizar la estructura, donde se realizará el trabajo, de manera temporaria. Después, al escalar la estructura, se procede a limpiar e eliminar cualquier agente que pueda estar presente en la superficie del aislador, con un trapo tipo arpillera<sup>9</sup>. Para la aplicación de la grasa silicona se puede realizar manualmente, con trapo, pincelado o spray “air-less”. La capa a aplicar debe ser homogénea y regular. Además, el espesor debe tener un valor de 1/16” y 1/8”, este último aplicado en zonas con severas condiciones de polución. Por último, los

---

<sup>9</sup> Tela de algodón delgada extra flexible, seca en retazos.

linieros<sup>10</sup> descienden de la estructura, se almacenan los residuos existentes y luego se procede a concluir la solicitud de trabajo.

Para la renovación de este tipo de recubrimiento, se realiza quitando la grasa, abultada en grandes cantidades por partículas provenientes de la contaminación, con un trapo húmedo con el disolvente apropiado.

**Funcionamiento.** Para prevenir descargas parciales o totales (flashover), el recubrimiento de grasa silicona encapsula las partículas contaminantes que lleguen a la superficie, además, proporciona hidrofobicidad, lo cual no permite la formación de una superficie conductiva (J.S.T.Looms, 1991).

**Ciclo de vida**<sup>11</sup>. Se dividirá en tres fases, descritas a continuación:

1. **Fase 1:** Inicia con la **Aplicación** del recubrimiento de grasa silicona en las cadenas de aisladores cerámicos, la cual realiza en campo, escalando las estructuras donde se encuentran los aisladores en mención.
2. **Fase 2:** Después de aplicado, se realizan una o dos **Inspecciones Nocturnas** para verificar el nivel de descargas por efluvió. Esta actividad se realiza pasados 2 a 3 años de la aplicación, según la experiencia de personal técnico en mantenimiento de líneas de transmisión.
3. **Fase 3:** Por último, se lleva a cabo la **Retiro de recubrimiento**, la cual es realizada debido a los altos valores (3 a 6) de nivel de efluvios registrados en las inspecciones nocturnas. Esta actividad consiste en retirar el recubrimiento contaminado, dejando la superficie totalmente limpia.

---

<sup>10</sup> Personal que realiza el escalamiento de estructuras y otras operaciones para realizar el mantenimiento en líneas de transmisión.

<sup>11</sup> El Diagrama de bloques está presente en el Anexo 6 “Ciclo de Vida de Recubrimiento de Grasa Silicona”.

Al respecto de la Fase 3 conviene decir que solo es teórica, con la finalidad de establecer un final en el ciclo de vida del recubrimiento. En la práctica, se realiza el retiro del recubrimiento contaminado y la aplicación de una nueva capa de recubrimiento. Esta actividad se denomina **Renovación**.

### Figura N°12

Aislador con Recubrimiento de Grasa Silicona



**Fuente.** Elaboración Propia.

#### 1.3.11. Engomado o Recubrimiento por Goma Silicona

Es un producto de silicona vulcanizada a temperatura ambiente<sup>12</sup> o también llamado Elastómero Líquido Auto-vulcanizante. La función fundamental es la de recubrir las partículas de contaminación y aislarlas, para luego ser eliminadas por una limpieza natural o un lavado debido a mantenimiento. En la composición de dicho recubrimiento, presenta trihidrato de aluminio<sup>13</sup>, el

---

<sup>12</sup> Proviene del inglés Room Temperature Vulcanize (RTV)

<sup>13</sup> Por sus siglas en inglés ATH (Alumina Trihydrate)

cual brinda protección contra la presencia de efecto corona, absorbiendo la energía producida por las descargas eléctricas en las bandas secas (Troncoso, 2016). Es importante saber que puede ser aplicado tanto en aisladores cerámicos como en poliméricos.

**Características<sup>14</sup>.** Las características más resaltantes son:

- Excelente adhesión a la superficie.
- Tolerancia a los rayos ultravioletas (UV).
- Mantiene y recupera su hidrofobicidad.
- Suprime corriente de fuga.
- Reducción de la polución que con lleva al contorneo o flashover.

### Figura N°13

Aislador con Recubrimiento de Goma Silicona



**Fuente.** Adaptado de *Silicona SI-COAT RTV Recubrimiento de aisladores de alta tensión*, por CSL Silicones Inc., s.f., DOCPLAYER: <https://docplayer.es/94293064-Representantes-exclusivos-en-chile-silicona-si-coat-rtv-recubrimiento-de-aisladores-de-alta-tension.html>

---

<sup>14</sup> Ver Anexo III “SI COAT<sup>®</sup>570<sup>™</sup> RTV Silicone High Voltage Insulator Coating – Technical Data Sheet”

**Procedimiento.** En el caso de aisladores que serán instalados en líneas de transmisión, la aplicación de este recubrimiento es realizado en una planta, donde se tiene los equipos necesarios y las condiciones óptimas para el desarrollo correcto de este procedimiento. Luego son entregados para su transporte y montaje en la línea.

Consiste básicamente en lo siguiente:

En primer lugar, el personal deberá estar implementado con todos los equipos de seguridad. Para iniciar con el procedimiento, se debe realizar de antemano la preparación de la superficie del aislador, quitando cualquier tipo de partícula para luego secar completamente dicha superficie. La limpieza será realizada con trapo algodón seco, luego aplicando Thinner con un trapo humedecido, así asegurando la eliminación total de la grasa. Después de diez minutos aproximadamente, se vuelve a limpiar con alcohol isopropílico. Con el objetivo de obtener una buena adhesión del recubrimiento. Si el aislador ha estado expuesto a contaminación, se puede aplicar un lavado con agua a alta presión. También, se puede pasar un trapo abrasivo si se necesitar quitar partículas muy adheridas tal como material proveniente del cemento.

Al aplicar el recubrimiento en toda la superficie, se debe tener en cuenta la forma compleja del aislador, para tener como resultado una capa homogénea, evitando así la no-uniformidad, goteos y derrames. Cabe resaltar que la aplicación puede ser efectuar por un proceso de inmersión, con brocha o pistola spray “air-less”. Este último siendo el más recomendado. El número de capas debe ser entre tres a cuatro, debido a que se requiere un espesor de 380  $\mu\text{m}$ , el cual es el espesor óptimo. Se debe agregar que el proceso de secado del aislador es de 7 días, para que alcance todas las características expuestas<sup>15</sup>.

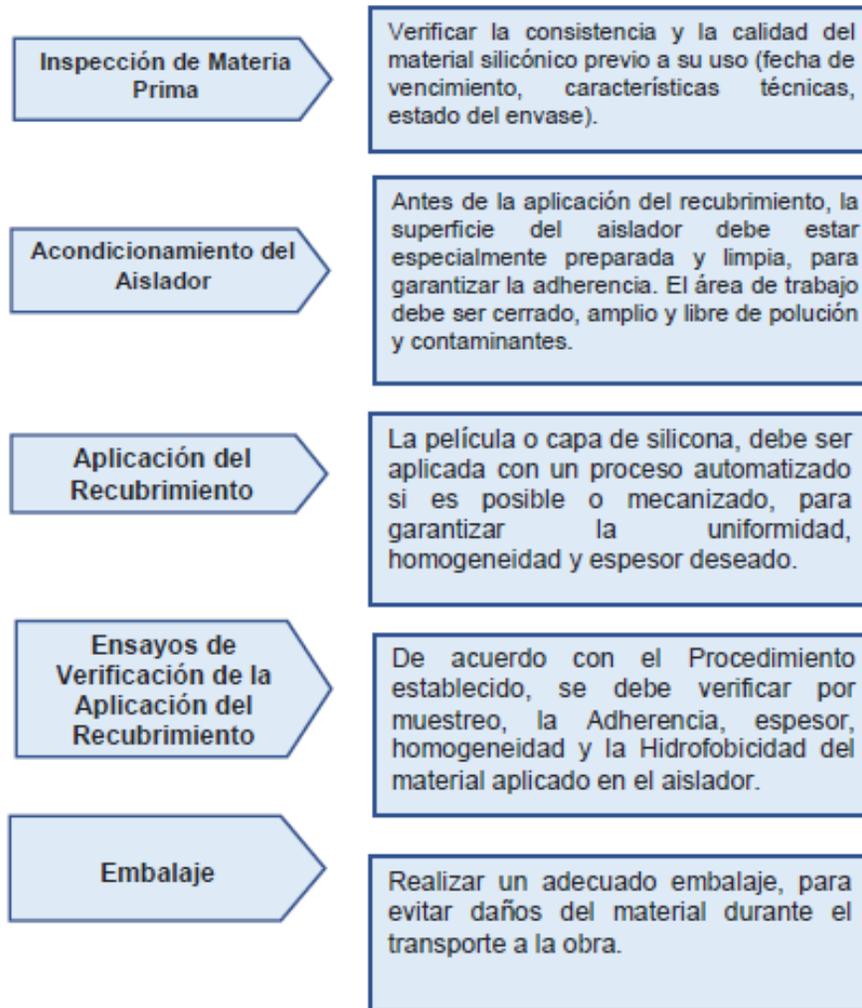
---

<sup>15</sup> Ver Anexo 5 “SI COAT®570™ RTV Silicone High Voltage Insulator Coating – Technical Data Sheet”

Por último, se realizan pruebas tales como: verificación visual del recubrimiento, medición del recubrimiento, prueba de adherencia del revestimiento y la prueba de hidrofobicidad. Con la finalidad de verificar y asegurar una correcta aplicación del recubrimiento silicónico (Moreno C. , 2010).

**Figura N°14**

Resumen de Procedimiento de aplicación de Goma Silicona

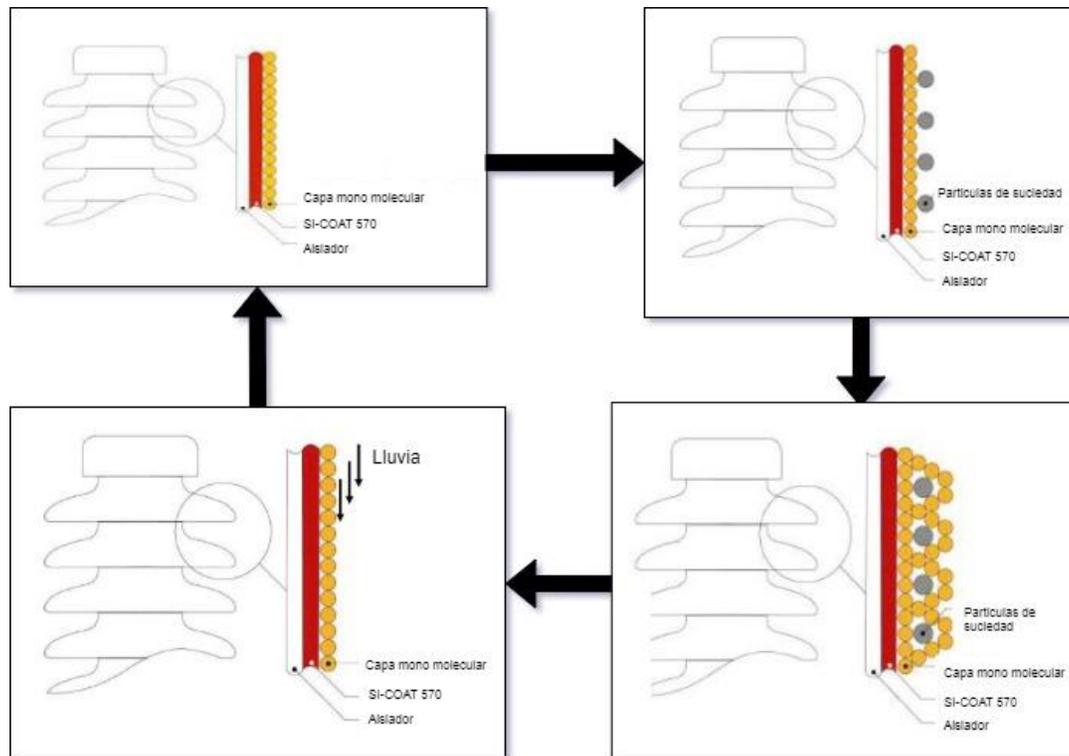


**Fuente.** Adaptado de *Evaluación del Desempeño de los Recubrimientos de Goma Silicona en la Subestación Eléctrica Chiclayo Oeste de 220 KV, para evitar Fallas de los Aisladores en el periodo del 2001 al 2014* [Tesis de Post Grado , Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica] (pp.13), por Moreno Cesar, s.f., Repositorio Universtario.

**Funcionamiento.** La presencia de una capa mono molecular gracias al recubrimiento de goma silicona, permite recubrir o encapsular las partículas contaminantes, existentes en la superficie del aislador cerámico. Debido a ello, mantiene separadas y aisladas entre ellas las partículas ya mencionadas. Para luego, ser arrastradas por la lluvia, tanto las partículas como la capa que las mantiene en capsulada. Por último, se produce la regeneración de la capa mono molecular por difusión natural.

### Figura N°15

Ciclo de Funcionamiento de Recubrimiento de Goma Silicona



**Fuente.** Adaptado de *La importante contribución de recubrimientos de silicona RTV para el funcionamiento de componentes y estructuras auxiliares en Subestaciones y Líneas de Transmisión*, por Troncoso, s.f., . Obtenido de CITE energía : <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/csl-silicones-congreso.pdf>

**Ciclo de Vida**<sup>16</sup>. Se dividirá en tres fases, descritas a continuación:

1. **Fase 1:** Inicia con la **Aplicación** del recubrimiento de goma silicona en las cadenas de aisladores cerámicos, la cual se realiza en plantas o talleres. Luego, se procede con la **Instalación** de dichos aisladores en las estructuras correspondientes de la línea de transmisión.
2. **Fase 2:** Se realizan **Inspecciones Nocturnas** para verificar el nivel de descargas por efluvio. Teniendo en cuenta los valores registrados en las inspecciones, se determina la **Limpieza Manual** de la superficie del recubrimiento de goma silicona aplicada en los aisladores cerámicos, si es necesario.
3. **Fase 3:** Por último, se lleva a cabo la **Retiro de Aisladores**, la cual es realizada debido a los altos valores (3 a 6) de nivel de efluvios registrados en las continuas inspecciones nocturnas o fallas que puedan ocasionar por la pérdida de sus propiedades. Cabe resaltar que el recubrimiento de goma silicona no se puede renovar, es decir, cambiar la capa de recubrimiento del aislador. Por esta razón, se debe desmontar la cadena de aisladores.

Es necesario recalcar que la Fase 3 solo es teórica, con la finalidad de establecer un final en el ciclo de vida del recubrimiento. En la práctica, esta fase está dentro de una actividad completa, en la cual se efectúa tanto el retiro de los aisladores como la instalación de unos nuevos.

---

<sup>16</sup> El Diagrama de bloques está presente en el Anexo 7 “Ciclo de Vida de Recubrimiento de Goma Silicona”.

## **1.4. Definición Conceptual de la Terminología Aplicada**

### **1.4.1. Aislador**

Los aisladores son elementos usados en las líneas de transmisión de alta tensión para soportar, contener los conductores tendidos a lo largo de la línea. Además, evita el paso o derivación de la corriente que fluye por el conductor hacia a la estructura aterrada tales como torres de celosía, postes de madera, postes de cemento. En líneas de transmisión, son instalados en grupos denominados *Cadenas de aisladores*.

### **1.4.2. Descargas por Efluvios**

Descargas eléctricas en la superficie de los aisladores, producidas por diferentes tipos de contaminación o polución y diferentes factores ambientales que implican desde descargas débiles hasta contorneos o flashover.

### **1.4.3. Polución**

“Contaminación intensa y dañina del agua o del aire, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos” (Real Academia Española, 2019,s/p).

### **1.4.4. Hidrofobicidad**

Propiedad o característica de algunos materiales que brinda repelencia al agua (Aragón, s/f; Troncoso, 2016).

### **1.4.5. Corriente de Fuga**

Corriente superficial que pasa a través del aislador, produciendo un sobrecalentamiento debido a que se encuentra en fase con el voltaje de operación, es decir, es netamente resistiva.

#### **1.4.6. Contorneo o Flashover**

Descarga eléctrica total, producida a través de las cadenas de aisladores, debido a la presencia de polución en ellas.

#### **1.4.7. Surco Eléctrico o Tracking**

Es el camino conductor por donde aparecen arborescencias eléctricas bidimensionales desarrolladas en la superficie del material, producidas por el gran nivel de estrés eléctrico por polución. En particular, estos caminos son conductores incluso en seco (GAMMA, 2015).

#### **1.4.8. Efecto Corona**

Fenómeno producido por la ionización del aire que rodea la superficie del aislador. Generando un halo luminoso y un zumbido perceptible para las personas.

#### **1.4.9. Recubrimiento**

Sustancia o compuesto aplicado sobre la superficie de los aisladores para mejorar sus características eléctricas y propiedades frente a los efectos negativos de la contaminación.

#### **1.4.10. Mantenimiento**

Conjunto de acciones de preservación de activos (equipos, herrajes, estructuras, etc.), satisfaciendo los estándares de calidad, seguridad y servicio (Pistarelli, 2010).

# MARCO METODOLÓGICO

## 1.5. Tipo y Diseño de Investigación

### 1.5.1. Tipo de Investigación

La presente investigación tendrá un enfoque *Cuantitativo*, porque se efectúa la medición de un fenómeno, utilizando la estadística para probar la hipótesis propuesta. Con relación al alcance de la investigación, será *Descriptivo Comparativo*, ya que propone a detalle cómo se desarrolla o manifiesta un fenómeno, realizando un análisis de dos grupos y comparándolos con la información medida y recogida de las variables seleccionadas.

#### Figura N°16

Alcances de un estudio Cuantitativo



**Fuente.** Adaptado de *Metodología de la Investigación* (pp. 90), por Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, McGRAW-HILL, Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Según el tipo de fin, será *Tecnológico*, puesto que el objetivo de la investigación determina la comparación de dos tecnologías para determinar cuál de ellas presenta mejor desempeño y poder tener en cuenta las mejoras y, en consecuencia, dar base a las siguientes innovaciones.

### **1.5.2. Diseño de Investigación**

El tipo de diseño es *No experimental* debido a que se analizarán datos en situaciones ya existentes, mas no se manipularán las variables. Mertens (2010) señala que “El diseño no experimental es apropiado para variables que no pueden o deben ser manipulados, en otras palabras, resulta complicado hacerlo” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pp. 153). Cabe resaltar que será con un alcance temporal *Longitudinal*.

## **1.6. Población y Muestra**

### **1.6.1. Población**

La población se determinó por la totalidad de cadenas de aisladores instaladas en tramo de la torre 110 a 205 de la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo – Felam.

### **1.6.2. Muestra**

La muestra presentada en este proyecto está basada en la investigación "Estudio y Metodología de una Estación de Pruebas para Materiales Alternativos en Zonas de Alta Contaminación de Líneas de Transmisión en 220 Kv", en la cual se estableció la zona crítica de la Línea 2238 Chiclayo-Piura que actualmente pertenece al tramo correspondiente de las torres 110-205 de la Línea 2238 Chiclayo-Felam, en la zona de Morrope, distrito de Lambayeque (Bazan, 2008).

El criterio consiste en trasladarse por la ruta de línea de transmisión y determinar tramos, en los cuales es notoria la existencia de descargas parciales, y realizar la inspección. Si se presentan niveles altos de descargas por efluvios, se realiza un aviso y la programación del mantenimiento correspondiente, de lo contrario en peligro la operación continua de la línea de trasmisión.

En la Tabla N°5, se presenta la cantidad de aisladores cerámicos divididos según el recubrimiento aplicado en la superficie. Además, en el **Figura N°17**, permite percibir, de manera visual, dichas cantidades.

**Tabla N°5**

Cantidad de Cadenas de Aisladores según tipo de recubrimiento en Tramo P110 - 205

	<b>Recubrimiento de Grasa Silicona</b>	<b>Recubrimiento de Goma Silicona</b>	<b>Total</b>
<b>N° de cadenas</b>	240	63	303
<b>Proporción</b>	79%	21%	

**Fuente.** Elaboración Propia.

**Figura N°17**

Distribución Porcentual de Cadenas de Aisladores según tipo de recubrimiento en Tramo P110 - 205



**Fuente.** Elaboración Propia

## 1.7. Hipótesis

Las cadenas de aisladores con recubrimiento por goma silicona presentan bajos niveles de descargas por efluvios a través de su ciclo de vida e involucran una mayor reducción de costos por mantenimiento en su ciclo de vida, comparado con las cadenas de aisladores con recubrimiento por grasa silicona en el tramo del poste 110 al 205 de la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo – Felam.

## 1.8. Variables – Operacionalización

Tabla N°6

Determinación Conceptual y Operacional de Variables

Variables	Tipo de variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
<b>Rendimiento</b>	Independiente	Desempeño del recubrimiento de cadenas de aisladores cerámicos, tomando en cuenta una evaluación económica en su aplicación.	Realización de Inspecciones Técnicas para la determinación del nivel de contaminación y nivel de descargas por efluvo. Adicionalmente, la aplicación de un análisis económico basado en los costos involucrados en su tiempo de servicio o hasta su descarte.	Nivel de Descargas por Efluvo  Costo de Ciclo de Vida

**Tabla N°6 (Continuación)**

---

<b>Ciclo de Vida del Recubrimiento</b>	Dependiente	Tiempo transcurrido desde la aplicación del recubrimiento hasta su renovación o descarte, causada por el deterioro o desgaste del mismo, debido a la polución existente en una zona determinada.	Determinación del periodo de vida del recubrimiento a través de Órdenes de Mantenimiento establecidos en programa SAP*	Órdenes de Mantenimiento
--	-------------	--	--	--------------------------

---

**Fuente.** \*SAP es un programa alemán de control especializado, para relacionar diferentes áreas en una empresa, utilizado por Red de Energía del Perú S.A.  
Elaboración Propia.

## **1.9. Métodos y Técnicas de Investigación**

### **1.9.1. Métodos**

En la presente investigación se usará el *Método Inductivo*, puesto que consiste en una observación sistemática de la realidad, analizando casos particulares para concluir en la generalización de un hecho o teoría.

### **1.9.2. Técnicas**

Para la relación de datos se usará un formato elaborado en una hoja de Excel, donde se plasmarán los datos relevantes sobre el Nivel de descargas por Efluvios, para medir el rendimiento de los recubrimientos, siguiendo reglas para diagnóstico, detallada en la Tabla N°7. La obtención de los datos será a través de formatos o fichas estandarizadas del área de mantenimiento de la empresa Red de Energía del Perú S.A.

**Tabla N°7**

Reglas para Diagnostico de Nivel de Descargas por Efluvios

<b>Nivel de Efluvios</b>	<b>Descripción Cualitativa (Inspección Visual)</b>
<b>1</b>	Puntos de Ionización de color blanquecino en faldas aislantes cercanas al conductor, visible solo con binoculares.
<b>2</b>	Formación de penachos, descargas débiles e intermitentes de color blanquecino y azulino.
<b>3</b>	Formación de las descargas casi continuas de color blanquecino azulejo.
<b>4</b>	Formación de descargas en forma continua de color naranja-amarillenta. Van acompañadas de descargas de grado 3 en las faldas aislantes.
<b>5</b>	Formación de descargas en forma continua de color rojizo con el efecto térmico correspondiente que pueda dar lugar a rotura de aisladores. Etapa previa al contorneo total de la cadena de aisladores.
<b>6</b>	Contorneo generalizado (Flashover)

**Fuente.** Se recomienda visualizar toda la cadena de aisladores y anotar grado de contaminación desde el conductor energizado hasta la estructura. Adaptado de *Formato de Inspección MR-F-05*.

### **1.10. Descripción de los Instrumentos Utilizados**

Para la recolección de datos sobre el rendimiento de los recubrimientos en la cadena de aisladores del tramo P110 al 205 de la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Felam, se usarán los siguientes equipos y materiales, dependiendo del tipo de inspección, ya sea nocturna o minuciosa.

La

Tabla N°8 presentará la descripción de los instrumentos para la inspección nocturna.

**Tabla N°8**

Descripción de Instrumentos utilizados

<b>Tipo de Inspección</b>	<b>Instrumentos, equipo y materiales</b>
<b>Nocturna</b>	Formato de Inspección MR-F-05*
	Binoculares
	Cámara fotográfica con Zoom y Fechador
	Lapicero
	Tablilla porta papel
	Camioneta 4x4

**Fuente.** \*El formato de inspección se pueden visualizar en el **Anexo 8** “Formato de Inspección MR-F-05”.

Elaboración Propia.

Para la recolección de datos económicos involucrados en la aplicación de los recubrimientos a estudiar en el presente proyecto, se usará un formato o plantillas donde se detalla los costos representativos para cada operación realizada en cuanto al ciclo de vida del recubrimiento.

### **1.11. Análisis Estadístico e Interpretación de Datos**

El análisis de los datos recopilados sobre la variable identificada para el presente proyecto, se realizarán mediante el software IBM SPSS<sup>®17</sup>, permitiéndonos importar los datos obtenidos del formato de recopilación de datos, elaborado en el programa Excel, con la finalidad de realizar un correcto análisis basado en la Estadística Descriptiva para la variable que nos permitirá observar sus cambios a través del tiempo y, en consecuencia, determinar el rendimiento de cada tipo de

---

<sup>17</sup> Representan las siglas de “Statistical Package for the Social Sciences”, o en su traducción “Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales”

recubrimiento para luego efectuar una comparación, así llegando a cumplir con el objetivo general de la presente tesis.

### **1.11.1. Análisis Económico del Costo de Ciclo de Vida de los activos**

El autor Pistarelli (2010), propone el análisis económico de activos a través del método llamado LCC (por sus siglas en inglés “ Life Cycle Cost”), el cual consiste en la determinación de los costos implicados en el uso de un activo a lo largo de su ciclo vida, los cuales corresponden al Costo de Adquisición ( $C_{AD}$ ), Gasto de Operación ( $GO$ ) y Costo por Obsolescencia ( $C_{OBS}$ ).

Según Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (2014), el análisis LCC, está conformado por la determinación de todos los costos asignables que se efecturan en un flujo monetario a través del ciclo de vida de un activo o servicio. Aunque los datos económicos no se presenten en su totalidad, este análisis cuenta con información relevante para la toma de decisiones por parte de las empresas.

Sin embargo, los dos tipos de recubrimientos que se pretenden analizar en este proyecto de investigación, tienen un periodo de ciclo de vida diferentes, por lo que se ha optado por aplicar un indicador utilizado para la evaluación de proyectos denominado Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE).

El Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) o Valor Anual (VA) consiste en convertir todos los flujos monetarios en flujos uniformes a través del horizonte de un activo o servicio. Este indicador es utilizado para la comparación de proyectos, servicios o activos que tengan diferentes periodos de ciclo de vida (Blank & Tarquin, 2012).

Para este proyecto se tomará en cuenta únicamente los gastos y el valor residual, si que lo hubiese. Por lo tanto, el criterio para selección de una de las alternativas estaría regido por la opción

que presente el menor valor de CAUE, el cual está establecido por la siguiente fórmula (Rocha , 2013):

$$CAUE = VAN * \frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (3.7.1.1)$$

Donde:

**VAN:** Valor Actual Neto, el cual representa el valor presente de un flujo monetario futuro debido a una inversión.

**i:** Tasa de Interés.

**n:** Número de años correspondientes al periodo del ciclo de vida.

Y para determinar el valor del **Valor Actual Neto**, es determinado con la siguiente fórmula:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} \dots\dots\dots (3.7.1.2)$$

Donde:

**A:** Inversión inicial

**Q:** Flujo de caja ( costos involucrados anualmente)

**k:** Tasa de Interés.

**n:** Número de años correspondientes al periodo del ciclo de vida.

Con respecto a la tasa de interés, se establecerán 5 escenarios con las tasas de 5%, 10%, 12%, 15% y 20 %, considerado para inversiones de empresas privadas, para obtener un amplio panorama en los resultados del CAUE (Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco, 2014)

# ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

## 1.12. Descripción del Lugar de Estudio

Antes de realizar el análisis de los resultados debemos determinar ciertos parámetros del Tramo P110 – 205 de la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Felam, tales como datos generales, climatológicos de la zona e identificar algunos de los parámetros de polución definidos en la Norma IEC 60815 - 1 (2008). Todo ello se detallará en la Tabla N°9, que se presentará a continuación.

**Tabla N°9**

Descripción del Tramo P110 - 205 de la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo – Felam

	N°	Items	Descripción
<b>Datos Generales</b>	1	Ubicación	Mórrope
	2	Nivel de Tensión	220 kV / Trifásico
	3	Longitud	26,65 km

	N°	Items	Descripción / Valores
<b>Características técnicas – Aislador <sup>3</sup></b>	1	Material	Porcelana
	2	Tipo	Fog – Ball Socket
	3	Diametro	320 mm
	4	Linea de Fuga	555 mm
	5	Carga Electromecánica	120 kN

**Tabla N°9 (continuación)**

Datos Climatológicos <sup>1</sup>	N°	Items	Valores	
	1	Temperatura	Mínimo	17,04 °C
			Máximo	26,96 °C
	2	Humedad Relativa	82%	
	3	Velocidad del viento <sup>2</sup>	5,7 - 8,8 m/s	
4	Precipitación	35 mm		

Norma IEC 60815 - 1	N°	Items	Descripción
	1	Nivel de Polución	Muy Alto
	2	Ambiente Típico	Área Desértica
	3	Tipo de Contaminación	Tipo A
			Soluble

**Fuente. 1.** Los valores presentados en Datos Climatológicos son promedios anuales entre los años 2012 – 2015, obtenidos de Declaración de Impacto Ambiental de Mejoramiento y Ampliación del Servicio Educativo Inicial en la I.E.I N° 081 Santa Isabel del Caserío Santa Isabel, distrito de Mórrope –Lambayeque (pp. 69-71), por Municipalidad Distrital de Mórrope, 2017, Adaptado de:

[http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos\\_Sica/Expedientes/ContenidoCD/1774618140\\_DIA%20%20FINAL%20-%20Santa%20Isabel-%20SNIP%20375617.pdf](http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_Sica/Expedientes/ContenidoCD/1774618140_DIA%20%20FINAL%20-%20Santa%20Isabel-%20SNIP%20375617.pdf)

**2.** La velocidad del viento ha sido corroborado con el Mapa de Velocidad Media Anual del Viento del Atlas Eólico del Perú, el cual está presente en el Anexo 6.

Elaboración Propia

**3.** Ver **Anexo 12** “Tabla de Datos Técnicos de Aisladores”

### 1.13. Presentación e Interpretación de Resultados

A continuación, se presentará el análisis del ciclo de vida de los recubrimientos descritos en la presente tesis, según los niveles de descargas por efluvo encontrados en las cadenas de aisladores del Tramo P110 – 205 de la línea de transmisión 2238 Chiclayo – Felam. Además, se expondrá los resultados de un análisis económico, el cual nos permitirá comparar en función de los costos incurridos a lo largo de su vida útil, ambos recubrimientos.

#### 1.13.1. Nivel de Descargas por Efluvo

La obtención de los valores de nivel de descarga por efluvo fue efectuada gracias a las inspecciones nocturnas descritas en la Sección 3.5 Métodos y Técnicas de Investigación. Se recolectaron los valores de Niveles de Descargas por Efluvo y actividades de mantenimiento, tales como la aplicación de recubrimiento por goma silicona, grasa silicona y limpieza manual de aisladores expuestos en la Tabla N°10 , la cual muestra una parte de la base de datos de Nivel de Descarga por Efluvo y actividades de mantenimiento 2010 – 2020<sup>18</sup>.

**Tabla N°10**

Base de datos de Nivel de Descarga por Efluvo y actividades de mantenimiento 2010 – 2020

Recolección de Datos							
N.E:	Nivel de descargas por efluvo			1-2-3-4-5-6			
Grasa Silicona							
Goma Silicona		2010	2017	2019	2020		
Estructura	N° de Cadena	N.E	N.E	Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-110	1	1	2	s			s
	2	1	2	s			s
	3	1	2	s			s
P-111	4	1	2	s			s
	5	1	2	s			s
	6	1	2	s			s

<sup>18</sup> Se presenta de manera completa en el Anexo 10.

Recolección de Datos							
<b>N.E:</b>	Nivel de descargas por efluvio			1-2-3-4-5-6			
<b>Grasa Silicona</b>							
<b>Goma Silicona</b>		<b>2010</b>	<b>2017</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>		
<b>Estructura</b>	<b>N° de Cadena</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic/Limp</b>
P-117	22	1	2				Limp
	23	1	2				Limp
	24	1	2				Limp
P-118	25	1	2	s			s
	26	1	2	s			s
	27	1	2	s			s
P-119	28	1	2	s	4		s
	29	1	2	s	4		s
	30	1	2	s	4		s
P-120	31	1	2	s	4		s
	32	1	2	s	4		s
	33	1	2	s	4		s
P-129	58	1	3	s		2	s
	59	1	3	s		2	s
	60	1	3	s		2	s
P-130	61	1	3	s			s
	62	1	3	s			s
	63	1	3	s			s
P-135	76	1	2				Limp
	77	1	2				Limp
	78	1	2				Limp
P-136	79	1	2				Limp
	80	1	2				Limp
	81	1	2				Limp
P-139	94	1	3	s	4		s
	95	1	3	s	4		s
	96	1	3	s	4		s
P-147	118	1	4	s		2	s
	119	1	4	s		2	s
	120	1	4	s		2	s
	121	1	4	s		2	s
	122	1	4	s		2	s
	123	1	4	s		2	s

**Recolección de Datos**

<b>N.E:</b>		Nivel de descargas por efluvio		1-2-3-4-5-6			
<b>Grasa Silicona</b>							
<b>Goma Silicona</b>		<b>2010</b>	<b>2017</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>		
<b>Estructura</b>	<b>N° de Cadena</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic/Limp</b>
P-148	124	1	4	s	4		s
	125	1	4	s	4		s
	126	1	4	s	4		s
P-149	127	1	4	s	4		s
	128	1	4	s	4		s
	129	1	4	s	4		s
P-150	130	1	4	s	4		s
	131	1	4	s	4		s
	132	1	4	s	4		s
P-158	154	1	4	s		3	s
	155	1	4	s		3	s
	156	1	4	s		3	s
P-162	166	1	4	s	4		s
	167	1	4	s	3		s
	168	1	4	s	4		s
P-163	169	1	4	s	4		s
	170	1	4	s	4		s
	171	1	4	s	4		s
P-164	172	1	4	s	4		s
	173	1	4	s	4		s
	174	1	4	s	3		s
P-168	184	1	4	s		2	s
	185	1	4	s		3	s
	186	1	4	s		3	s
P-172	196	1	4	s	2		s
	197	1	4	s	2		s
	198	1	4	s	2		s
	199	1	4	s	3		s
	200	1	4	s	3		s
	201	1	4	s	3		s
	202	1	4	s	2		s
	203	1	4	s	2		s
204	1	4	s	2		s	

Recolección de Datos							
<b>N.E:</b>	Nivel de descargas por efluvio		1-2-3-4-5-6				
<b>Grasa Silicona</b>							
<b>Goma Silicona</b>		<b>2010</b>	<b>2017</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>		
<b>Estructura</b>	<b>N° de Cadena</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic/Limp</b>
P-173	205	1	4	s	3		s
	206	1	4	s	3		s
	207	1	4	s	3		s
P-174	208	1	4	s	4		s
	209	1	4	s	3		s
	210	1	4	s	3		s
P-180	226	1	2			4	Limp
	227	1	2			4	Limp
	228	1	2			4	Limp
P-181	229		2		3	4	Limp
	230		2		3	4	Limp
	231		2		3	4	Limp
P-183	235	2	3			3	Limp
	236	2	3			4	Limp
	237	2	3			3	Limp
P-185	241	1	2				Limp
	242	1	2				Limp
	243	1	2				Limp
P-187	247	1	2				Limp
	248	1	2				Limp
	249	1	2				Limp
P-188	250	1	4	s			s
	251	1	4	s			s
	252	1	4	s			s

Recolección de Datos							
<b>N.E:</b>	Nivel de descargas por efluvo		1-2-3-4-5-6				
<b>Grasa Silicona</b>							
<b>Goma Silicona</b>		<b>2010</b>	<b>2017</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>		
<b>Estructura</b>	<b>N° de Cadena</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic/Limp</b>
P-194	268	1		s	4		s
	269	1		s	3		s
	270	1		s	3		s
P-205	301	1	3	s	3		s
	302	1	3	s	3		s
	303	1	3	s	3		s

**Fuente.** Las celdas que presentan colores, según la leyenda al inicio de la tabla, representan si la estructura tiene cadenas de aisladores con recubrimiento por goma silicona (color plomo) o por grasa silicona (color crema).

Las abreviaturas son las siguientes: Silic/s: Siliconado, Limp: Limpieza manual, N.E: Nivel de descargas por Efluvo.

Elaboración Propia.

Luego de recolectada la base de datos, se insertó al software IBM SPSS®17 y configuraron las variables respectivas para poder llevar a cabo el análisis estadístico. En la Figura N°19, Figura N°18, Figura N°20 se puede apreciar la interfaz de dicho programa.

**Figura N°19**

Configuración de variables Software IBM SPSS®17

The screenshot shows the 'Vista de variables' (View of variables) window in IBM SPSS Statistics. The table below represents the configuration of variables as shown in the interface.

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	Estructura	Cadena	8	0	Estructura ater...	Ninguno	Ninguno	12	Centrado	Nominal	Entrada
2	Cadena	Cadena	8	0	N° Cadena de ...	Ninguno	Ninguno	11	Centrado	Nominal	Entrada
3	Recubrimiento	Numérico	1	0	Tipo de Recubri...	{1, Grasa Si...	Ninguno	15	Centrado	Nominal	Entrada
4	Efluvios	Numérico	1	0	Nivel de Descar...	{1, Grado 1}...	0	8	Centrado	Ordinal	Entrada
5	Año	Numérico	5	0	Año de Medición	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Ordinal	Entrada
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											

**Nota.** Elaboración Propia

**Figura N°18**

Inserción de Base de datos a la interfaz en Software IBM SPSS®17

The screenshot shows the 'Vista de datos' (View of data) window in IBM SPSS Statistics. The table below represents the data entry as shown in the interface.

	Estructura	Cadena	Recubrimiento	Efluvios	Año	var									
1	P-110	1	1	2	2017										
2	P-110	2	1	2	2017										
3	P-110	3	1	2	2017										
4	P-111	4	1	2	2017										
5	P-111	5	1	2	2017										
6	P-111	6	1	2	2017										
7	P-112	7	1	2	2017										
8	P-112	8	1	2	2017										
9	P-112	9	1	2	2017										
10	P-113	10	1	2	2017										
11	P-113	11	1	2	2017										
12	P-113	12	1	2	2017										
13	P-114	13	1	2	2017										
14	P-114	14	1	2	2017										
15	P-114	15	1	2	2017										
16	P-115	16	1	2	2017										
17	P-115	17	1	2	2017										
18	P-115	18	1	2	2017										
19	P-116	19	1	2	2017										
20	P-116	20	1	2	2017										
21	P-116	21	1	2	2017										
22	P-118	25	1	2	2017										
23	P-118	26	1	2	2017										

**Nota.** Elaboración Propia

## Figura N°20

Interfaz de Obtención de gráficos en Software IBM SPSS®17



**Nota.** Elaboración Propia

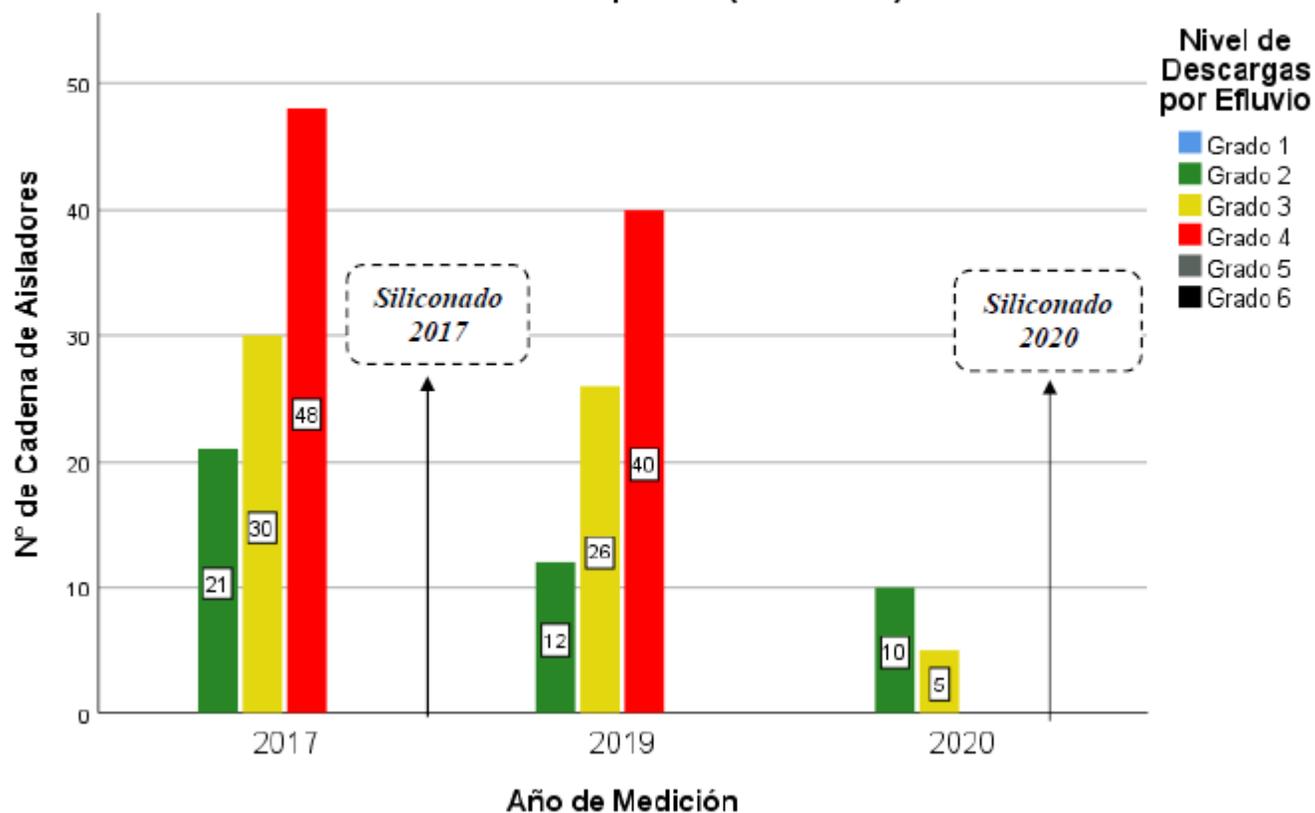
Para la presentación de los Niveles de Descargas por Efluvo en aisladores cerámicos con Recubrimiento de Grasa Silicona, se ha realizado tomando en cuenta su ciclo de vida correspondiente al periodo 2017 – 2020, cuyos resultados están expuestos en la Figura N°21.

Por otro lado, para los Niveles de Descargas por Efluvo en aisladores cerámicos con Recubrimiento de Goma Silicona, han sido recolectados en el periodo 2009 – 2020. Cabe resaltar que aún no llega al final de su ciclo de vida, sin embargo, se están presentando mantenimientos continuos lo que indica que está próximo al final de su vida útil, según la experiencia de los Técnicos en Mantenimiento encargados de la Línea de Transmisión estudiada. Por ello se ha establecido un periodo de 14 de vida útil. Los resultados para este caso están expuestos en la Figura N°22.

**Figura N°21**

Registro de Nivel de Descargas por Efluvo de Cadena de Aisladores con Recubrimiento de Grasa Silicona

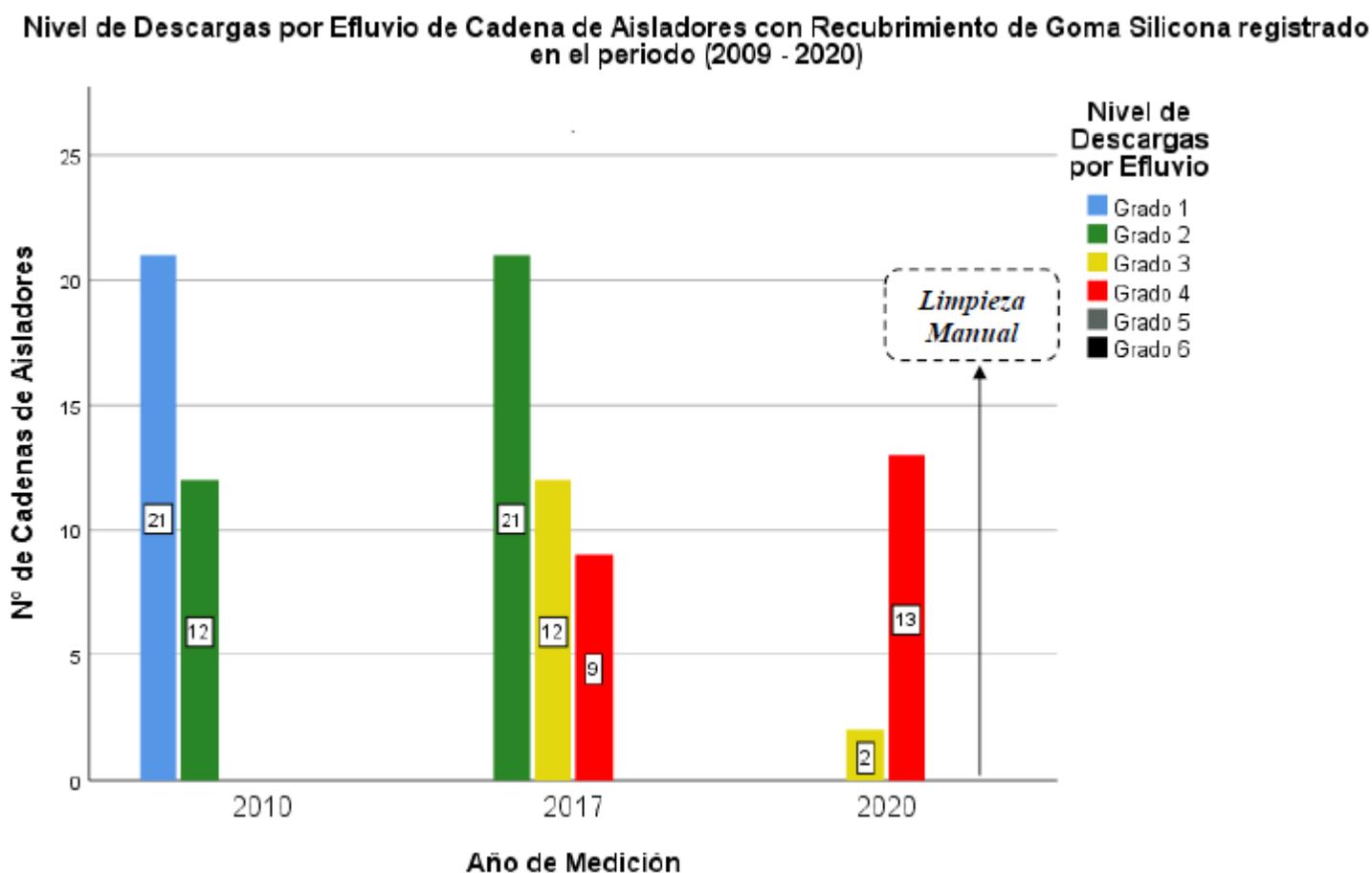
**Nivel de Descargas por Efluvo de Cadena de Aisladores con Recubrimiento de Grasa Silicona registrado en el periodo (2017 - 2020)**



**Fuente.** La actividad “Siliconado”, marca el fin e inicio del ciclo de vida del Recubrimiento de Grasa Silicona. Los valores de los años 2019 y 2020, son complementarios, es decir son valores correspondientes a diferentes cadenas de aisladores. Elaboración Propia.

**Figura N°22**

Registro de Nivel de Descargas por Efluviio de Cadena de Aisladores con Recubrimiento de Goma Silicona



**Fuente.**La actividad Limpieza Manual, representa el primer mantenimiento general realizado en las cadenas de aisladores con Recubrimiento de Goma Silicona.

Elaboración Propia

Los resultados expresados en la Figura N°21 muestran que el Nivel de Descargas por Efluvio presenta los valores entre grado 2 al 4, lo que significa la presencia de descargas eléctricas débiles hasta descargas que se desplazan a través de la cadena de aisladores, pasados dos a tres años de ser aplicado el recubrimiento. Por otro lado, la Figura N°22 se observa el incremento del Nivel de Descargas por Efluvio, en tan solo 7 años de aplicación, con valores que van desde grado 2 al 4.

### 1.13.2. Análisis Económico según Ciclo de Vida

El análisis económico consistirá en determinar el valor de Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), explicado en la sección 7.1 Análisis Económico del Costo de Ciclo de Vida de los activos.

Para comenzar con el análisis determinaremos como unidad de estudio: *La Cadena de Aisladores*, con las siguientes características, expresadas en la Tabla N°11.

#### Tabla N°11

Descripción de Unidad de Estudio para Análisis Económico

Ítem	Descripción	Valor
1	Número de Aisladores	17 -16
2	Nivel de Tensión	220 KV
3	Material de Manufactura	Cerámico

**Fuente.** Elaboración Propia

Con el fin de establecer los costos de las actividades en el ciclo de vida de las cadenas de aisladores según el recubrimiento usado en ellos, se realizó la cotización respectiva. En la Tabla N°12, presenta el costo general de ambos casos.

**Tabla N°12**

Resumen de Cotización de las Actividades en el Ciclo de Vida según el Recubrimiento.

<b>Recubrimiento</b>	<b>Etapas</b>	<b>Actividades</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Grasa Silicona	Inversión	Siliconado - Renovación	Compra y Aplicación del Recubrimiento	S/ 279.00
	Mantenimiento	Inspección Nocturna	Registro del nivel de efluvio presente en las cadenas de aisladores	S/ 13.13
	Descarte	Retiro de Recubrimiento	Retiro del Recubrimiento Contaminado de las cadenas de aisladores	S/ 242.70
Goma Silicona	Inversión	Engomado	Compra, aplicación e Instalación de los aisladores con el Recubrimiento	S/ 7,311.33
	Mantenimiento	Inspección Nocturna	Registro del nivel de efluvio presente en las cadenas de aisladores	S/ 13.13
		Limpieza Manual	Limpieza de los contaminantes depositados en la superficie de la cadena de aisladores	S/ 236.70
	Descarte	Retiro de Aisladores	Se realiza el retiro de los Aisladores con el Recubrimiento	S/ 495.33

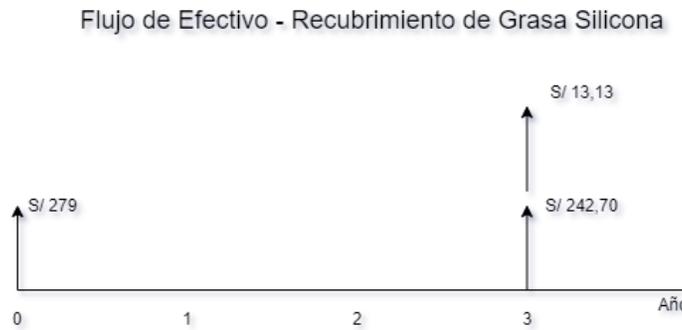
**Fuente.** La cotización detallada de cada actividad se encuentra en el Anexo 11 “Cotizaciones Detalladas de Actividades en el Ciclo de Vida de los Recubrimientos de Aisladores Cerámicos”.

Elaboración Propia.

Para tener un panorama claro de los costos incurridos al año, según las actividades ya expuestas, en la Figura N°23 y Figura N°24, se muestra el flujo monetario, de caja o de efectivo, correspondiente al análisis económico en el uso de recubrimiento a base de grasa silicona y goma silicona, respectivamente.

**Figura N°23**

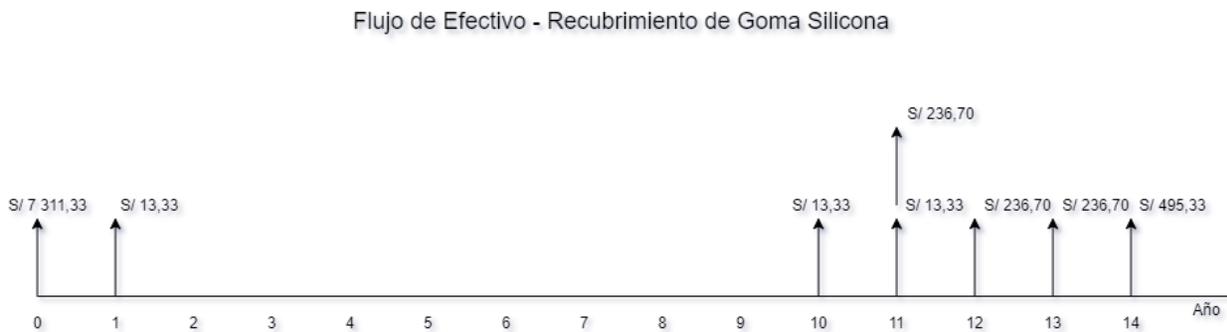
Flujo monetario al aplicar el recubrimiento de Grasa Silicona en Aisladores Cerámicos



**Fuente.** Los montos expuestos provienen de la Tabla N°12.  
Elaboración Propia.

**Figura N°24**

Flujo monetario al aplicar el recubrimiento de Goma Silicona en Aisladores Cerámicos



**Fuente.** Los montos expuestos provienen de la Tabla N°12.  
Elaboración Propia



**Tabla N°13 (Continuación)**

Valor Actual Neto (VAN) - Escenario con diversas tasas de interés					
	5%	10%	12%	15%	20%
<b>Opción A</b>	500.56	472.20	462.22	448.51	428.57
<b>Opción B</b>	7,985.47	7,690.31	7,615.46	7,325.99	7,324.39

**Fuente.** Elaboración Propia.

Por último, con los valores obtenido del VAN en la Tabla N°13, se calcula el valor de CAUE para los dos tipos de recubrimientos estudiados en el presente proyecto, está expresado en la Tabla N°14.

**Tabla N°14**

Cuadro Comparativo de Costo Anual Uniforme Equivalente según el Tipo de Recubrimiento

Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para los Recubrimientos de Aisladores Cerámicos					
Escenario con diversas tasas de interés					
	5%	10%	12%	15%	20%
<b>Opción A</b>	183.81	189.88	169.73	196.44	203.45
<b>Opción B</b>	806.72	1,043.93	769.34	1,279.77	1,588.61

**Fuente.** La Opción A representa el análisis para el Recubrimiento de Grasa Silicona y la Opción B, correspondiente al Recubrimiento de Goma Silicona.

Elaboración Propia

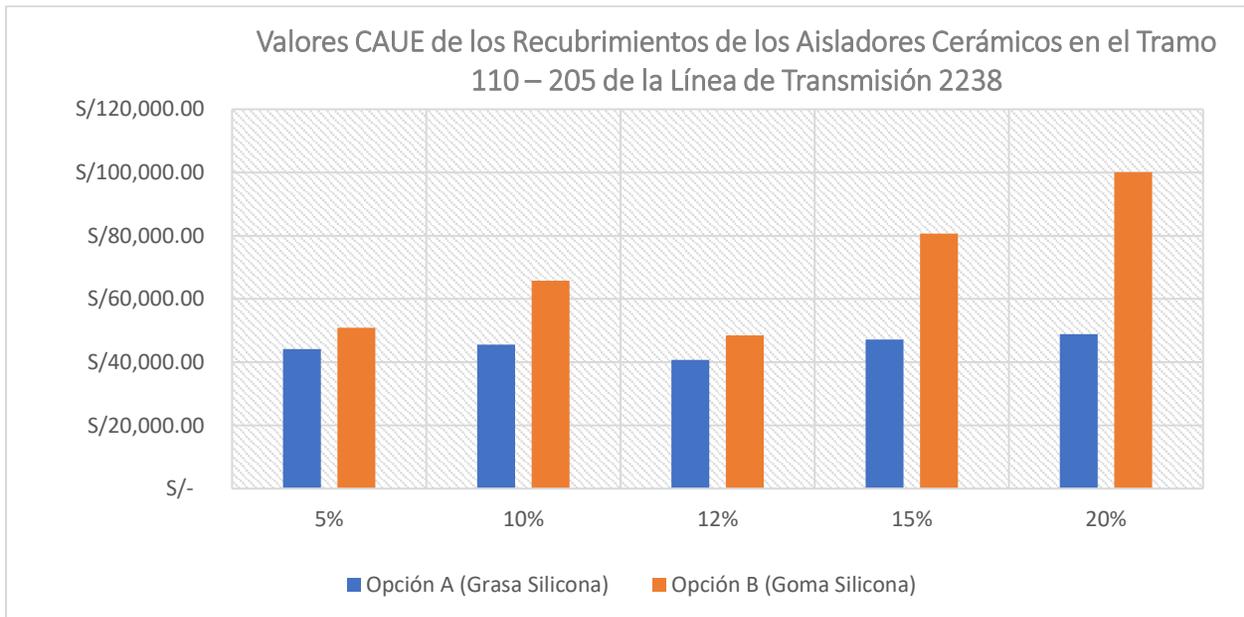
El Cuadro Comparativo expresa la diferencia de costos existente en el uso de Recubrimiento de Grasa Silicona y Goma Silicona, siendo el más elevado el último en mención, con un valor que está entre 4 a 7 veces, según cada uno de los cinco escenarios expuestos con diferentes tasas de interés.

En la Figura N°25 se observa que el valor CAUE considerando la situación actual de la distribución de la cantidad de cadenas de aisladores correspondientes para cada recubrimiento para el Recubrimiento de Goma Silicona es mayor al valor para el Recubrimiento de Grasa Silicona, a

pesar de que existen un número mucho mayor con recubrimiento por Grasa Silicona que por Goma Silicona, en la línea de transmisión 2238, estudiada en la presente tesis.

### Figura N°25

Valores CAUE según el recubrimiento aplicado en la superficie de los Aisladores Cerámicos del Tramo 110 – 205 de la Línea de Transmisión 2238



**Fuente.** Los porcentajes mostrados representan la tasa de interés utilizada en cada escenario. Elaboración Propia.

#### 1.13.3. Discusión de Resultados

- El resultado de evaluar el comportamiento del Nivel de descargas por Efluvios de los Aisladores Cerámicos con Recubrimiento de Grasa Silicona, muestran niveles con valores entre 3 y 4, aproximadamente pasados 2 a 3 años de su aplicación. Basados en la experiencia de la empresa Ingemont (2001), la durabilidad del recubrimiento es entre 3 a 5 años, lo cual está muy cerca a lo analizado en la presente tesis. Una de las causas por la que se observa una menor cantidad de años, debido a las condiciones ambientales (polución) existente en el lugar de estudio.

- Así mismo, en la evaluación del Nivel de Descargas por Efluvios en Aisladores Cerámicos con Recubrimiento de Goma Silicona, muestran un elevado valor (entre 3 y 4), pasados 7 años de su Aplicación. Todo ello, no coincide con la investigación de Moreno (2010), el cual utilizó el recubrimiento de Goma Silicona en la Sub Estación Chiclayo Oeste, y que presentó valores entre 1 a 2, en un periodo de 14 años. Se podría afirmar que la diferencia radica debido a que la línea de transmisión está más expuesta a la polución, siendo la causa de este hecho.

- Por otro lado, en el análisis económico del ciclo de vida de los recubrimientos, se puede observar en el valor de Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), herramienta utilizada para comparar ambos recubrimientos con diferentes periodos de ciclo de vida estudiado y plasmado por Blank & Tarquin (2012), que el CAUE para el Recubrimiento de Goma Silicona, presenta un valor que va entre 4 a 7 veces el CAUE del Recubrimiento de Grasa Silicona, siendo una posible causa sus altos costos en la fase de Inversión para la adquisición de aisladores con el recubrimiento de Goma Silicona. Sin embargo, en la ponencia de Troncoso (2016), se garantiza que el periodo sin mantenimiento del recubrimiento RTV Si-COAT®570™ en su vida útil, es de 10 años a más. Es importante resaltar que, en el caso del recubrimiento de Goma Silicona, presentó deficiencias antes de lo esperado, conllevando a mayores gastos económicos<sup>19</sup>, a pesar de estar presente en menor cantidad de cadenas de aisladores en el tramo de línea de transmisión estudiada.

---

<sup>19</sup> Observar **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** *Valores CAUE según el recubrimiento aplicado en la superficie de los Aisladores Cerámicos del Tramo 110 – 205 de la Línea de Transmisión 2238.*

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- En la presente tesis, se analizó el rendimiento de la aplicación de Grasa Silicona y Engomado (Goma Silicona) en la superficie de los aisladores presentes en la Línea de Transmisión 2238 Chiclayo - Piura, zona de Morrope, la cual es actualmente el tramo del poste 110 al 205 de la Línea 2238 Chiclayo - Felam, basado en el comportamiento de Nivel de descargas por Efluvio y el Análisis de Costos correspondiente al ciclo de vida de ambos, con lo cual se concluyó que el Nivel de descargas por Efluvio de la aplicación de Engomado (Goma Silicona) llegó, aproximadamente a 7 años, sin presentar niveles altos, (entre 3 – 6, presencia de descargas eléctricas continuas), en comparación al recubrimiento por Grasa Silicona, que alcanza dichos niveles después de 2 años de su aplicación. Sin embargo, a través de los análisis del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), se obtuvo que la aplicación del recubrimiento por Goma Silicona tiene un valor entre 4 a 7 veces, el valor obtenido con el recubrimiento por Grasa Silicona, debido a sus altos costos en la adquisición de aisladores con el recubrimiento de Goma Silicona.
  - a) De acuerdo a la evaluación realizada al comportamiento del Nivel de descargas por Efluvio a las cadenas de aisladores con recubrimiento por Grasa Silicona, en los tres años de ciclo de vida, muestra como máximo un valor de Grado 4, a los dos años de su aplicación, lo que significa la presencia de descargas eléctricas continuas. Todo ello, cumple con las expectativas esperadas, debido a que su Renovación se realiza por programación cada tres años.

- b) Por otro lado, la evaluación al comportamiento del Nivel de descargas por Efluvio a las cadenas de aisladores con recubrimiento por Goma Silicona, a partir de séptimo año de su aplicación, presenta valores de Grado 4, siendo un valor desfavorable debido a que se presenta prematuramente, no cumpliendo las expectativas esperadas como las del estudio realizado en la Sub Estación Chiclayo Oeste (Moreno C. , 2010).
- c) Con respecto al análisis económico, teniendo como unidad de análisis la cadena de aisladores, se estudió el Costo de Ciclo de Vida de los recubrimientos dividiéndolo en las fases de Inversión, Mantenimiento y Descarte, con la finalidad de descomponer los gastos realizados en cada fase. Con ello, se compararon ambos recubrimientos a través del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), lo cual demostró que con una tasa de interés del 12%, el valor del CAUE para el recubrimiento por Goma Silicona fue S/. 769,34 y el valor CAUE, correspondiente al recubrimiento por Grasa Silicona, fue S/. 169,73<sup>20</sup>. Concluyendo que existe un mayor costo en la aplicación del recubrimiento por Goma Silicona, a pesar de que tiene un ciclo de vida mucho mayor que el recubrimiento por Grasa Silicona. Cabe resaltar que el ciclo de vida del recubrimiento por Goma Silicona aún no culmina. Por ello, fue de vital importancia la experiencia y conocimiento del personal técnico, especializado en el mantenimiento de líneas de transmisión, para establecer un final al ciclo de vida con las consideraciones correspondientes.

---

<sup>20</sup> Valores obtenidos al 12% de tasa de descuento. También se realizó el análisis con diversas tasas de interés con valores de 5, 10, 15, 20% expuesto en la Tabla N°14, valores para las inversiones de empresas privadas (Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco, 2014).

## Recomendaciones

- Definir los posibles mantenimientos (considerando su frecuencia) u otras actividades administrativas, dirigidas directa o indirectamente a la mantención de las cadenas de aisladores de las líneas de transmisión, descartadas gracias a la aplicación de los recubrimientos. Con la finalidad de reforzar el análisis económico, teniendo en cuenta los costos de dichas actividades, que se dejaron de realizar, las cuales representan beneficios.
- Realizar pruebas de laboratorio a los aisladores cerámicos con recubrimiento de Goma Silicona que sean retirados al fin de su vida útil, para determinar los diferentes índices de polución en la superficie del aislador retirado con la medición de ESDD y NSDD. Además, realizar mediciones de Corriente de fuga en seco y con humedad para establecer cuán afectado se ha visto el desempeño del recubrimiento aplicado en el aislador, por la polución de la zona.
- Con el objetivo de mejorar las características usadas para los recubrimientos de aisladores cerámicos, se recomienda implementar aisladores con un equipo que pueda monitorear las variaciones en parámetros tales como la temperatura, humedad y corriente de fuga en tiempo real y observar las condiciones que llevan directamente a una descarga parcial o total.
- Analizar recubrimientos con nuevas tecnologías que hagan frente a las condiciones adversas de polución presente en las zonas costeras del Perú, y determinar su eficiencia tanto técnica como económica.

## Referencias Bibliográficas

- ABB. (s.f.). *Diagnostico y acondicionamiento de aisladores*. Obtenido de SCRIBD:  
<https://es.scribd.com/doc/150243347/2750-515-142-es-rev-0-1>
- Aponte, G., Castro, J., Sánchez, V., Castro, M., Espinosa, A., & Rosales, N. (2009). Contamination Level Evaluation on Colombia North Cost. *IEEE Latin America Transactions*, 7(2), 190 - 195. Obtenido de  
[https://www.researchgate.net/publication/224594220\\_Contamination\\_Level\\_Evaluation\\_on\\_Colombian\\_North\\_Cost](https://www.researchgate.net/publication/224594220_Contamination_Level_Evaluation_on_Colombian_North_Cost)
- Aragónéz, W. (s/f). *Evaluación y rendimiento de los aislamientos en alta tensión frente a las condiciones del medio ambiente*. Obtenido de CITE energía :  
<http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/evaluacion-y-rendimiento-de-los-aislamientos.pdf>
- Bazan, E. (2008). *Estudio y Metodología de una Estación de Pruebas para Materiales Alternativos en Zonas de Alta Contaminación de Líneas de Transmisión en 220 KV [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Institucional. Obtenido de  
[http://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/uni/10085/1/bazan\\_ge.pdf](http://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/uni/10085/1/bazan_ge.pdf)
- Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Ingeniería Económica*. McGrawHill. Obtenido de  
[https://www.academia.edu/36006062/Ingenier%C3%ADa\\_Econ%C3%B3mica\\_Tarquin\\_7\\_Edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/36006062/Ingenier%C3%ADa_Econ%C3%B3mica_Tarquin_7_Edici%C3%B3n)
- Correa, L., Velilla, E., Gómez Botero, M., Echeverría, F., Marin, A., & Castaño, J. (2012). Evaluación del desempeño de aisladores de porcelana recubiertos con películas de dióxido de titanio para disminuir el ensuciamiento. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 66(66), 131-140. Obtenido de  
[https://www.researchgate.net/publication/285731697\\_Evaluacion\\_del\\_desempeno\\_de\\_aisladores\\_de\\_porcelana\\_recubiertos\\_con\\_pelculas\\_de\\_dioxido\\_de\\_titanio\\_para\\_disminuir\\_el\\_ensuciamiento](https://www.researchgate.net/publication/285731697_Evaluacion_del_desempeno_de_aisladores_de_porcelana_recubiertos_con_pelculas_de_dioxido_de_titanio_para_disminuir_el_ensuciamiento)
- D.A.Swift. (2007). Insulator for outdoor applications. En J. Shea, *Advances in High Voltage Engineering* (Vol. 23, págs. 257-307). Electrical Insulation Magazine, IEEE. Obtenido de  
[https://www.researchgate.net/publication/3258740\\_Advances\\_in\\_High\\_Voltage\\_Engineering\\_Book\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/3258740_Advances_in_High_Voltage_Engineering_Book_Review)

- Del Pozo, M., Deorsola, M., & Morcelle del Valle, P. (2006). Procedimiento de Laboratorio para Comprobar el Estado de Aisladores Orgánicos Retirados de Servicio en Comparación con Aisladores Nuevos. *Congreso Internacional de Distribución Eléctrica - CIDEL*, (págs. 1-6). Obtenido de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36742/Documento\\_completo\\_.3.23\)\\_ProcedimientoA.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36742/Documento_completo_.3.23)_ProcedimientoA.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Elizarbe, J. (30 de Agosto de 2011). *Cambio de Aisladores Poliméricos de Anclaje y Suspensión en Líneas de Transmisión de 220 KV en el Departamento de Transmisión Norte de RED DE ENERGIA DEL PERU S.A.* Obtenido de SlidePlayer: <https://slideplayer.es/slide/7295985/>
- GAMMA. (2015). Pruebas de Tracking y Erosión aplicadas a los Aisladores Poliméricos. *Boletín Técnico GAMMA Corona*, 1-6. Obtenido de <https://usermanual.wiki/Pdf/TrackingYErosion.121334174/view>
- Gençoğlu, M., & Cebeci, M. (Octubre de 2008). The pollution flashover on high voltage insulators. *Electric Power Systems Research*, 78(11), 1914 - 1921. doi:10.1016/j.epsr.2008.03.019.
- George, J., Lepley, D., Brocard, E., Virlogeux, F., & Roude, S. (11- 13 de Noviembre de 2018). *Pollution Mitigation Solutions for Overhead Line Insulators*. Obtenido de Sediver: <https://www.sediver.com/download-center/>
- Gonzalez-Longatt, F. (Mayo de 2007). *Capítulo 1: Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas*. Obtenido de Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/296282681\\_Capitulo\\_1\\_Elementos\\_de\\_Lineas\\_de\\_Transmision\\_Areas](https://www.researchgate.net/publication/296282681_Capitulo_1_Elementos_de_Lineas_de_Transmision_Areas)
- Hencker, J. (2005). *Consideraciones en la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación*. Obtenido de GAMMA: <https://www.gamma.com.co/consideraciones-la-seleccion-aisladores-condiciones-contaminacion-atmosferica/>
- Hernandez Ahumada, F. E. (2018). *Estudio y Evaluación de un Recubrimiento Nano Dieléctrico para uso en Aislador [Tesis de Grado(Título), Universidad Técnica Federico Santa María]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11673/40152>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación [PDF]*. McGRAW-HILL. Obtenido de

- <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huamani, D., & Salcedo, L. (2015). *Análisis del Fenómeno Efecto Corona en la Cadena de Aisladores de la Línea de Transmisión L-1001 Machupicchu - Cachimayo*[Tesis de Grado(Título), Universidad de Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/168>
- IEC 60815 - 1. (2008). Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles. *International Electrotechnical Commission, 1*, 1 - 53. Obtenido de <http://www.transformer-magazine.ir/wp-content/uploads/2015/09/IEC-TS-60815-1-2008.pdf>
- Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco. (18 de 11 de 2014). *El Análisis de Costes Aplicado al Diseño Sostenible de Productos*. Obtenido de Euskadi.eus: [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/analisis\\_costes/es\\_def/adjuntos/AnalisisCostes.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/analisis_costes/es_def/adjuntos/AnalisisCostes.pdf)
- Ingemont. (s.f.). *Aplicación de Grasas de Silicona*. Obtenido de <https://www.ingemont.com/actividades/energia-y-trabajos-en-tension/aplicacion-de-grasas-de-silicona/>
- Ingemont. (sf). *Recubrimiento de Aisladores Elásticos Vulcanizables*. Obtenido de <https://www.ingemont.com/actividades/energia-y-trabajos-en-tension/recubrimiento-de-aisladores-elastomeros-vulcanizables-rtv/>
- J.S.T.Looms. (1991). *Insulators for high voltages*[Books and Reports] (Vol. 11). IEEE Power Engineering Review. doi:10.1109/MPER.1991.90686
- Kuffel, E., Zaengl, W., & Kuffel, J. (2000). *High Voltage Engineering [versión PDF]*. Newnes. Obtenido de <https://www.mv.helsinki.fi/home/tpaulin/Text/hveng.pdf>
- Mari, I. (2010). Experiencia en el uso de aisladores poliméricos en zonas de alta contaminación. *Revista CIER*(57), 51-54. Obtenido de [http://sg.cier.org.uy/Publicaciones/Revista.nsf/0a293b20eacdf8a903257133003ea67d/c44aa1c0021ed6498325782c00496a56/\\$FILE/08\\_ExperienciaenelUso.pdf](http://sg.cier.org.uy/Publicaciones/Revista.nsf/0a293b20eacdf8a903257133003ea67d/c44aa1c0021ed6498325782c00496a56/$FILE/08_ExperienciaenelUso.pdf)
- Morcelle del Valle, P., Catalano, L. J., Calo, E., Álvarez, R. E., & Mayora, H. (2019). Evaluación del estado de Aisladores Compuestos Retirados de servicio – Experiencias tendientes a Determinar la Expectativa de Vida Residual. *XIII ERIAC Décimo Octavo*

- encuentro Regional Ibero-Americano de CIGRE*, (págs. 1 - 8). Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75465>
- Moreno , M. (26 - 30 de Julio de 2005). Capítulo1 El proceso de contaminación del aislamiento eléctrico externo[Tema de Curso Tutorial]. *VII Congreso Latinoamericano y IV Iberoamericano en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico*, (págs. 1-14). Obtenido de <https://ewh.ieee.org/r9/panama/pesaltae2005/archivos/Contaminacion.pdf>
- Moreno, C. (2010). *Evaluación del Desempeño de los Recubrimientos de Goma Silicona en la Subestación Eléctrica Chiclayo Oeste de 220 KV, para evitar Fallas de los Aisladores en el periodo del 2001 al 2014 [Tesis de Post Grado , Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica]*. Repositorio Universitario.
- Moreno, M. (s.f.). *Curso sobre Contaminación Aislamiento Externo*. (ESPOIL Corporation, Ed.) Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/344615628/Contaminacion-en-Aisladores>
- Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de Mantenimiento - Ingeniería, Gestión y Organización*. Buenos Aires.
- Portella, A. (2019). *Aisladores Eléctricos: Reseña Histórica*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/429040552/AISLADORES-ELECTRICOS>
- Pylarinos, D., Siderakis, K., & Thalassinakis, E. (2015). Comparative Investigation of Silicone Rubber Composite and Room Temperature Vulcanized Coated Glass Insulators Installed in Coastal Overhead Transmission Lines. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 31(2), 23-29. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/271703666\\_Comparative\\_Investigation\\_of\\_Silicone\\_Rubber\\_Composite\\_and\\_Room\\_Temperature\\_Vulcanized\\_Coated\\_Glass\\_Insulators\\_Installed\\_in\\_Coastal\\_Overhead\\_Transmission\\_Lines/references](https://www.researchgate.net/publication/271703666_Comparative_Investigation_of_Silicone_Rubber_Composite_and_Room_Temperature_Vulcanized_Coated_Glass_Insulators_Installed_in_Coastal_Overhead_Transmission_Lines/references)
- Quiros, O., Ramirez, J., Rodriguez, J., & Martinez, M. (2009). Evaluación del Recubrimiento Polimérico para Aisladores Convencionales. *II Congreso Venezolano de Redes y Energía Eléctrica, 1*, págs. 1-8. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/257945015\\_Evaluacion\\_del\\_Recubrimiento\\_Polimero\\_para\\_Aisladores\\_Convencionales](https://www.researchgate.net/publication/257945015_Evaluacion_del_Recubrimiento_Polimero_para_Aisladores_Convencionales)
- Real Academia Española. (2019). *Polución*. En Diccionario de la Lengua Española (edición de tricentenario). Obtenido de <https://dle.rae.es/poluci%C3%B3n>

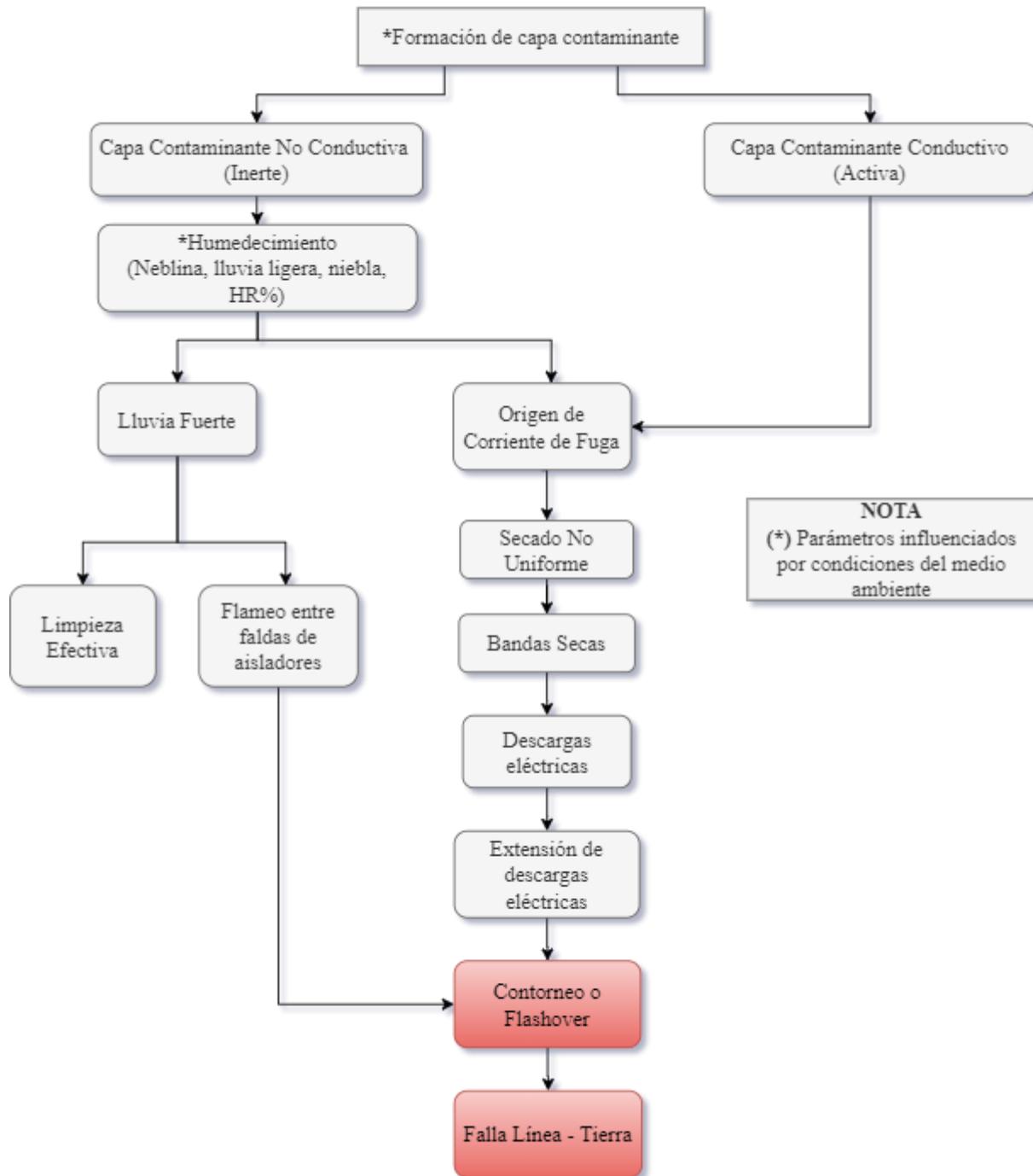
Rocha , S. (27 de Noviembre de 2013). *CAUE - Método para la Evaluación Financiera de Proyectos*. Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/2lxjtk6mhd5a/caue-metodo-para-la-evaluacion-financiera-de-proyectos/>

Troncoso, E. (2016). *La importante contribución de recubrimientos de silicona RTV para el funcionamiento de componentes y estructuras auxiliares en Subestaciones y Líneas de Transmisión*. Obtenido de CITE energía: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/csl-silicones-congreso.pdf>

## **Anexos**

<b>Anexo 1</b> “Diagrama de Proceso de Contorneo por Contaminación-Superficie Hidrófila” .....	96
<b>Anexo 2</b> “Ambientes Típicos y sus tipos de contaminación” .....	97
<b>Anexo 3</b> “Acumulación de la contaminación en aisladores de referencia en relación de las clases de severidad de polución” .....	98
<b>Anexo 4</b> “Dow Corning 3099 HVIC Compound – Information about Silicone Compounds” ..	102
<b>Anexo 5</b> “SI-COAT@570TM RTV Silicone High Voltage Insulator Coating – Technical Data Sheet” .....	105
<b>Anexo 6</b> “Ciclo de Vida de Recubrimiento de Grasa Silicona” .....	108
<b>Anexo 7</b> “Ciclo de Vida de Recubrimiento de Goma Silicona” .....	109
<b>Anexo 8</b> “Formato de Inspección MR-F-05” .....	110
<b>Anexo 9</b> “Velocidad Media Anual del Viento a 25 m” .....	111
<b>Anexo 10</b> “Base de datos de Nivel de Descarga por Efluvio y actividades de mantenimiento 2010 – 2020” .....	112
<b>Anexo 11</b> “Cotizaciones Detalladas de Actividades en el Ciclo de Vida de los Recubrimientos de Aisladores Cerámicos” .....	121
<b>Anexo 12</b> “Tabla de Datos Técnicos de Aisladores” .....	125

# Anexo 1 “Diagrama de Proceso de Contorneo por Contaminación-Superficie Hidrófila”



Fuente. Elaboración Propia

## Anexo 2 “Ambientes Típicos y sus tipos de contaminación”

La norma IEC 60815 – 1 (2008), describe cinco tipos de regiones o zonas y las características típicas de la polución presente en cada una de ellas. Generalmente, en campo podemos tener la presencia de ambos tipos de polución ya mencionados en la Tabla N°2.

Ambiente Desértico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizado por ocupar grandes áreas, tener suelos arenosos, clima seco.</li> <li>• Presencia de polución tipo A: sales que se combinan con componente inerte (alto nivel de NSDD).</li> <li>• La acumulación de polución se da gracias a la fuerza del viento, principalmente.</li> <li>• La forma de humedecimiento, la cual implica un riesgo de contorneo o flashover, es el rocío.</li> <li>• La limpieza natural se efectúa gracias a las lluvias infrecuentes o vientos muy fuertes.</li> </ul>
Ambiente Costero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se considera hasta distancia de 50 km alejado de la costa, según topografía de la zona.</li> <li>• La acumulación de polución se da gracias al rocío, niebla y la fuerza del viento.</li> <li>• Presencia de polución tipo A: sales y componentes inertes.</li> <li>• Presencia de polución tipo B: niebla salina.</li> <li>• La limpieza natural es efectiva por la presencia de sales de rápida disolución.</li> </ul>
Ambiente Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas próximas a industrias (Plantas de acero, de carbón, de generación, fábrica de cemento, plantas químicas)</li> <li>• Presencia de polución tipo A: contaminación inerte, cementos, yeso (nivel altos y medio de NSDD). Generalmente son partículas pesadas que se adhieren en superficies horizontales</li> <li>• Presencia de polución tipo B: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, gases, carbón, depósitos de metal.</li> </ul>
Ambiente Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas cercanas a la actividad agrícola.</li> <li>• Presencia de polución tipo A: arado (nivel alto y medio de NSDD).</li> <li>• Presencia de polución tipo B: fertilizantes y químicos usados en cosechas, excrementos de aves.</li> <li>• Generalmente son partículas pesadas que se adhieren en superficies horizontales.</li> <li>• La acumulación de polución suele efectuarse gracias a la fuerza del viento.</li> </ul>
Ambiente "Tierra dentro"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos niveles de contaminación</li> <li>• Fuente de polución no está definida</li> </ul>

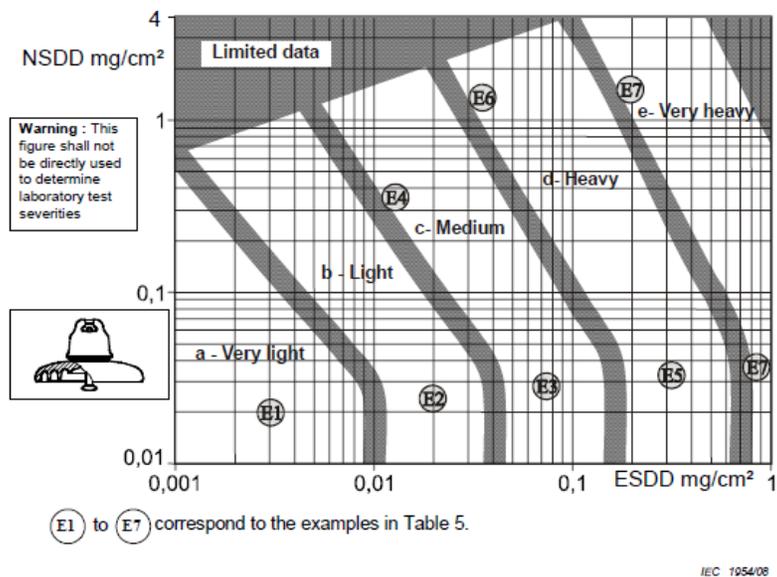
**Fuente.** Elaboración Propia.

### Anexo 3 “Acumulación de la contaminación en aisladores de referencia en relación de las clases de severidad de polución”

La norma IEC/TSC 60815 ofrece gráficos según el tipo de contaminación (A o B), donde se detalla la cantidad de contaminación acumulada en aisladores de referencia. Además, se resaltan 7 ejemplos<sup>21</sup> de ambientes típicos ubicados en el gráfico según severidad de contaminación en sitio (SPS<sup>22</sup>). Cabe aclarar que estos gráficos son referenciales.

#### Figura A1

Severidad de la contaminación en sitio Tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para aislador de referencia tipo caperuza y vástago



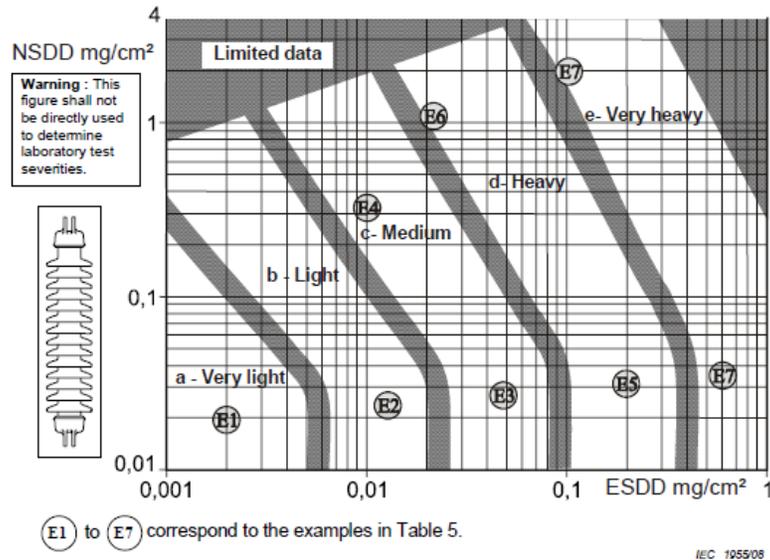
**Fuente.** Adaptado de *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles* (pp. 18), por International Electrotechnical Commission IEC/TSC 60815, 2008, obtenido de: <http://www.transformer-magazine.ir/wp-content/uploads/2015/09/IEC-TS-60815-1-2008.pdf>

<sup>21</sup> Dichos ambientes están descritos en la **Tabla A.1**

<sup>22</sup> Abreviatura de “Site Pollution Severity”

## Figura A2

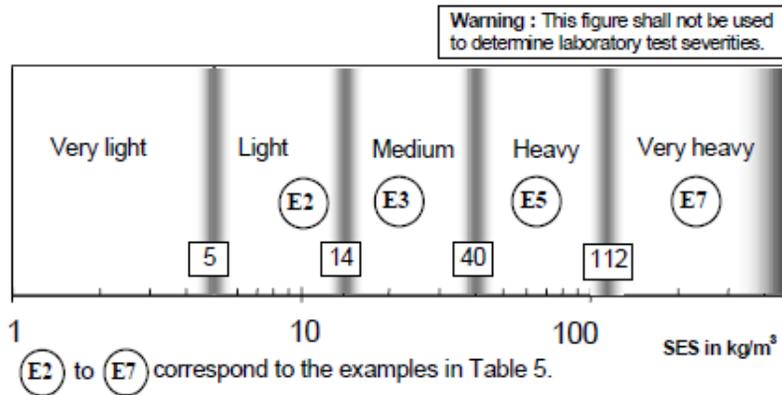
Severidad de la contaminación en sitios Tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para aislador de referencia tipo barra



**Fuente.** Adaptado de *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles* (pp. 18), por International Electrotechnical Commission IEC/TSC 60815, 2008, obtenido de: <http://www.transformer-magazine.ir/wp-content/uploads/2015/09/IEC-TS-60815-1-2008.pdf>

### Figura A3

Severidad de la contaminación en sitios Tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para aislador de referencia o monitor



Fuente.

Adaptado de *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles* (pp. 18), por International Electrotechnical Commission IEC/TSC 60815, 2008, obtenido de: <http://www.transformer-magazine.ir/wp-content/uploads/2015/09/IEC-TS-60815-1-2008.pdf>

### Tabla A. 1

Lista de Ejemplificación de Ambientes Típicos

Ejemplo	Descripción de Ambiente Típicos
<b>E1</b>	> 50 km <sup>a</sup> de cualquier mar, desierto o campo abierto con tierras seca > 10 km de polución o contaminación creada por la población Si se trata de una distancia más corta de la mencionada arriba, el viento predominante no proviene directamente de la fuente y/o existe un lavado mensual regular por lluvia, en relación con las fuentes de contaminación.
<b>E2</b>	10 - 50 km <sup>a</sup> del mar, desierto o campo abierto con tierras seca 5-10 km de fuentes de polución artificial Si se trata de una distancia más corta de E1 de las fuentes de contaminación, con las siguientes condiciones: el viento predominante no proviene directamente de la fuente y/o existe un lavado mensual regular por lluvia.

Tabla A.1 (Continuación)

<b>E3</b>	<b>3-10 km<sup>c</sup> del mar, desierto o campo abierto con tierras secas</b>
	1-5 km de fuentes de polución artificial
	Si se trata de una distancia más corta de la mencionada arriba, el viento predominante no proviene directamente de la fuente y/o existe un lavado mensual regular por lluvia, en relación con las fuentes de contaminación.
<b>E4</b>	Si se trata de una distancia más lejana de E3 de las fuentes de contaminación, con las siguientes condiciones: Existencia frecuente niebla densa luego de una temporada de acumulación de contaminación donde el clima es seco (semanas o meses). Y/o hay un alto nivel de NSDD de entre 5 y 10 veces la ESDD
<b>E5</b>	A una distancia dentro de los 3 km <sup>c</sup> del mar, desierto o campo abierto con tierras secas
	A una distancia dentro de 1 km de polución o contaminación creada por la población <sup>b</sup> .
<b>E6</b>	Si se trata de una distancia más lejana de E5 de las fuentes de contaminación, con las siguientes condiciones: Existencia frecuente niebla densa luego de una temporada de acumulación de contaminación donde el clima es seco (semanas o meses). Y/o hay un alto nivel de NSDD de entre 5 y 10 veces la ESDD
<b>E7</b>	Dentro de la misma distancia de las fuentes de contaminación especificadas para "áreas fuertes" y:
	Sometidas directamente a rociado marino o a niebla salina densa
	O sometidas directamente a contaminantes con alta conductividad, o polvo tipo cemento con alta densidad, y con humectación frecuente de niebla o llovizna
	Áreas desérticas con una rápida acumulación de arena y sal y condensación regular
	<b>a:</b> Durante una tormenta, el nivel de ESDD a tal distancia del mar puede alcanzar un nivel mucho más alto.
	<b>b:</b> la presencia de una ciudad grande tendrá influencia sobre una distancia mayor, es decir, la distancia especificada para el mar, desierto y tierra seca.
	<b>c:</b> Dependiendo de la topografía del área costera y de la intensidad del viento.

**Fuente.** Adaptado de *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles* (pp. 20), por International Electrotechnical Commission IEC/TSC 60815, 2008, obtenido de: <http://www.transformer-magazine.ir/wp-content/uploads/2015/09/IEC-TS-60815-1-2008.pdf>

# Anexo 4 “Dow Corning 3099 HVIC Compound – Information about Silicone Compounds”

## Information About Silicone Compounds

**DOW CORNING**

### DESCRIPTION

DOW CORNING® 3099 HVIC (high voltage insulator coating) Compound is a greaselike silicone coating especially formulated to give electrical insulators long-term resistance to water filming and flashover. Formulation adjustments are incorporated into DOW CORNING 3099 HVIC Compound to extend service life by maximizing performance in contact with high voltage corona stress, ultraviolet light, water erosion, and particulate contamination.

In addition to a high level of flashover resistance, DOW CORNING 3099 HVIC Compound incorporates an arc-resistant filler that inhibits arc growth. This helps protect the insulator from glaze damage when the coating's water repellency is significantly diminished and arcing is experienced.

Another benefit of the Dow Corning 3099 HVIC Compound is the ease of handling. The compound is easy to spread, not stringy, and shows good adhesion to properly prepared insulators.

### USES

DOW CORNING 3099 HVIC Compound is used to give a protective coating to electrical insulators.

The consistency of the compound provides easy application to the required coating thickness. The grey, opaque appearance of DOW CORNING 3099 HVIC Compound makes it easy to insure a uniform and complete coating is obtained.

### DOW CORNING® 3099 HVIC Compound

Type	Silicone compound
Physical Form	Greaselike
Special Properties	Non-tracking; arc and flashover resistant; good adhesion; easy to use
Primary Use	Protective coating for electrical insulators

### Protective Mechanism No. 1 — Water Repellency

DOW CORNING 3099 HVIC Compound has been specifically formulated to provide a high level of flashover resistance under conditions of high voltage stress, even after extended periods of exposure to ultraviolet light.

Many conventional silicone compounds quickly lose their flashover resistance when exposed to ultraviolet light and thus perform no better than clean porcelain. DOW CORNING 3099 HVIC Compound, however, better retains its resistance to flashover.

### TYPICAL PROPERTIES

These values are not intended for use in preparing specifications.

		DOW CORNING 3099 HVIC Compound
	Appearance	Grey Opaque
ASTM D 127	Consistency, Penetration, unworked	260
	worked	270
CTM 0001A*	Specific Gravity at 77°F (25°C)	1.3
CTM 0208	Solids, g/1°C, percent	100
CTM 0006	Flash Point, closed cup, degrees	>250°F (121°C)
ASTM D 150	Dielectric Constant, 100 Hz	3.88
	1000 Hz	3.86
ASTM D 150	Dissipation Factor, 100 Hz	0.0148
	1000 Hz	0.0066
ASTM D 149	Volume Resistivity, ohm-cm	1.46 x 10 <sup>13</sup>
ASTM D 149	Dielectric Strength, 50 mils thick, volts/mil	285
ASTM D 2303	Arc Resistance, time to erode 1/8" coating at 2.5 kv, minutes	800

\* CTMs (Corporate Test Methods) correspond to standard ASTM test methods in most instances. Copies of CTMs are available upon request.

**Specification Writers: Please contact Dow Corning Corporation, Midland, MI, before writing specifications on this product.**

**TABLE 1 — RESULTS OF INCLINED PLANE ARC-TRACK TEST**

<i>Coating</i>	<i>Time To Failure, min</i>
Conventional silicone compounds . . . . .	20-100
DOW CORNING 3099 HVIC Compound . . . . .	800

**TABLE 2 — POWER DISSIPATION OF SURFACE ARCS**

<i>Time, minutes</i>	<i>Conventional Silicone Compound, watts at 2.5 kv</i>	<i>DOW CORNING 3099 HVIC Compound, watts at 2.5 kv</i>
5	84.1	21.4
10	134.2	16.5
15	87.7	15.5
20	tracked	15.4
50	—	13.6
80	—	53.7
180	—	113.5
1200	—	150.0

The long-term flashover protection of DOW CORNING 3099 HVIC Compound is further enhanced by the careful selection and pairing of fillers and stabilizers. This gives a compound that is soft and easy to apply, yet one that forms a tenacious coating that is highly resistant to water erosion. The compound also allows for fluid migration over any trapped particulate contamination, further insuring a maximum of long-term water repellency and flashover protection.

**Protective Mechanism No. 2 — Arc Resistance**

Experience shows that silicone insulator coatings are often exposed to arcing early in their service life. Although the conventional silicone compounds will protect against flashover, they do track quite readily under arcing conditions. This can lead to a melting of the insulator glaze. As the silicone insulator compounds begin to lose their water repellency, tracking increases in severity until skirt blow-off occurs or a flashover is experienced. Because of this, conventional silicone compounds are commonly replaced before they actually reach the end of their service life.

DOW CORNING 3099 HVIC Compound has been specifically formulated to resist arcing. Table 1 shows a comparison of conventional silicone compounds with DOW CORNING 3099 HVIC Compound. The time to erode through a 1/8-inch-thick coating at 2.5 kv was measured. Results showed that conventional compounds would typically fail after 20-100 minutes by completely tracking the 2-inch gap between electrodes. DOW CORNING 3099 HVIC Compound, however, would not support an arc greater than 1/2-inch in length and after 800 minutes had a layer of good compound under the track on the surface. Table 2 gives a relative comparison of the power dissipation of the arc between the conventional and arc-resistant compounds.

**Field Test Results**

1. After 30 months on a 400 kv DC Pacific intertie system (tower 1-4), DOW CORNING 3099 HVIC Compound experienced no flashovers and showed no signs of arcing based on recorder data and visual inspection. All other towers in the area must be washed every 30 days to prevent flashover.

2. In a major West Coast utility coastal test station, after 12 months, three suspension strings coated with DOW CORNING® 5 Compound collectively flashed over 10 times. Four suspension strings coated with the arc-resistant HVIC formulation had no flashovers over the same 12-month period. All units are overstressed, running continuously at approximately 1.4 kv/in.

3. After 12 months on side-by-side bushings in a 34.5 kv substation, both DOW CORNING 5 Compound and the HVIC formulation coatings were resisting flashover and both were still water repellent. However, an arc-track was visible in the DOW CORNING 5 Compound and the insulator glaze under this track was damaged. There were no arc tracks in the arc-resistant DOW CORNING 3099 HVIC Compound.

**HOW TO USE**

**Surface Preparation**

First clean the insulator surface.

Traces of organics or cleaning detergents must be removed. It is particularly important that the insulator surface be dry before applying to insure the best results.

**Application**

Apply DOW CORNING 3099 Compound to the insulator surface by hand, cloth pad, or with a bristle brush. Start with the top insulator, treating the underside first and working down the stack. On fog-type insulators, take care not to overfill between the underside skirts as this shortens the leakage distance and subjects the insulator to an unnecessarily high voltage stress.

The consistency of DOW CORNING 3099 HVIC Compound is such that normal hand application will result in a coating thickness of between 1/16-inch and 1/8-inch. A coating thickness of between 1/16-inch and 1/8-inch can also be obtained by spraying DOW CORNING 3099 HVIC Compound. This is ideal for all but the most severely contaminated conditions where the coating thickness should be 1/8-inch. It is important to apply a smooth, complete coating of DOW CORNING 3099 HVIC Compound. Its grey, opaque nature aids the user in doing this since he can see where it has been applied. DOW CORNING 3099 HVIC Compound can be applied with air-less spray equipment if diluted with an appropriate solvent to the desired viscosity. Handle solvents per manufacturer's recommendations for safety and in accordance with local, state, and federal regulations. A dilution ratio of approximately 70 percent compound and 30 percent solvent is recommended as a starting point. Mix thoroughly to ensure a consistent and even application rate.

Properly diluted DOW CORNING 3099 HVIC Compound can be sprayed with Alemite models 7877, 7827, and 707-B; Gray Company model 225-877; Lincoln Engineering model 83492 Airless pumps and Aro-model 650-044 pump. Other pump manufacturers supply airless spray equipment, which should perform satisfactorily if the compression ratio is at least 26:1.

The air pressure to the pump will vary with the orifice size on the nozzle. Nozzles with orifices from 0.013 to 0.026 inch diameter with fan width angles from 10 to 50 degrees may be used, depending on the size and shape of the insulators to be coated. The larger orifice nozzles require 40 to 60 psi, while the smaller ones require 60 to 80 psi.

#### **Removal**

DOW CORNING 3099 HVIC Compound shows little change in consistency under field conditions and remains soft even though contaminated with large quantities of dirt

particles. It can be removed without heat or excessive force. Just wipe the insulators with coarse textured rags or paper towels. The surface is then ready for a new coat.

#### **Service Life**

When a high voltage insulator coating compound loses a significant portion of its water repellency, the resultant filming leads to arcing conditions. Conventional coatings must be removed at or before the first signs of serious arcing as they readily track, leading to skirt fracture or flashover. As DOW CORNING 3099 HVIC Compound is arc-resistant, a user can determine, through experience at any site, when significant arcing conditions occur by visually inspecting the grey, opaque compound for paths of decomposition. This is not to imply that DOW CORNING 3099 HVIC Compound will indefinitely withstand all arcing conditions. However, test data show that the arc-resistance, in comparison with conventional insulator compounds, may allow extended usage after the first signs of arcing. As always, the exact service life can only be determined by judgment based on experience. This decision will be a more accurate one with an arc-resistant compound.

#### **CAUTION**

Care should be taken to prevent direct contact of DOW CORNING 3099 HVIC Compound with the eye. DOW CORNING 3099 HVIC Compound will cause a transient eye irritation that is similar to windburn. The discomfort is temporary and no damage to the eye occurs.

Do not use flammable or combustible solvents for application to energized circuits.

#### **SHIPPING LIMITATIONS**

None.

#### **STORAGE AND SHELF LIFE**

DOW CORNING 3099 HVIC Compound has a shelf life of 60 months from date of manufacture.

#### **PACKAGING**

DOW CORNING 3099 HVIC Compound is supplied in 12- and 60-lb (5.4- and 27-kg) containers, net weight.

#### **SAFE HANDLING INFORMATION**

PRODUCT SAFETY INFORMATION REQUIRED FOR SAFE USE IS NOT INCLUDED. BEFORE HANDLING, READ PRODUCT AND MATERIAL SAFETY DATA SHEETS AND CONTAINER LABELS FOR SAFE USE, PHYSICAL AND HEALTH HAZARD INFORMATION. THE MATERIAL SAFETY DATA SHEET IS AVAILABLE FROM YOUR DOW CORNING REPRESENTATIVE, OR DISTRIBUTOR, OR BY WRITING TO DOW CORNING CUSTOMER SERVICE, OR BY CALLING 517-496-6000.

#### **LIMITED WARRANTY — PLEASE READ CAREFULLY**

Dow Corning believes that the information in this publication is an accurate description of the typical characteristics and/or uses of the product or products, but it is your responsibility to thoroughly test the product in your specific application to determine its performance, efficacy and safety. Suggestions of uses should not be taken as inducements to infringe any particular patent.

Unless Dow Corning provides you with a specific written warranty of fitness for a particular use, Dow Corning's sole warranty is that the product or products will meet Dow Corning's then current sales specifications. DOW CORNING SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY OTHER EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY, INCLUDING THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND OF FITNESS FOR USE. Your exclusive remedy and Dow Corning's sole liability for breach of warranty is limited to refund of the purchase price or replacement of any product shown to be other than as warranted, and Dow Corning expressly disclaims any liability for incidental or consequential damages.

# Anexo 5 “SI-COAT®570TM RTV Silicone High Voltage Insulator Coating – Technical Data Sheet”

## Si-COAT® 570™

### RTV Silicone High Voltage Insulator Coating Technical Data Sheet

#### INTRODUCTION

Si-COAT® 570™ High Voltage Insulator Coating (HVIC) is a room-temperature vulcanizing (RTV) silicone product. Unlike competitive products, it is supplied ready-to-use without the need of additional thinning or excessive mixing/shaking before use. Si-COAT® 570™ HVIC is based on extensive research and development work that lead to the award of a patent. The basis of the Si-COAT® 570™ patent is the optimally-sized alumina trihydrate (ATH) particle and the optimum concentration of the ATH ingredient, discovered by the engineers and chemists at CSL Silicones Inc. The presence of ATH in the formulation of the HVIC is necessary to protect the coating from the damaging effects of tracking under high electrical activity along the surface of the coating. It is essential that the ATH particle be optimally-sized and in an optimum concentration in order to promote long-term hydrophobicity of the coating.

The downside to the presence of ATH is the potential for the filler to settle during storage and transportation. In order to alleviate the problem, competitive coatings rely on a very fine particle size ATH (below 1 micron diameter). However, this fine particle size is far from the optimum size (13 microns) patented by CSL. By virtue of other key ingredients and a unique manufacturing process, the engineers and chemists behind Si-COAT® 570™ have achieved a finished product in which the larger 13 micron ATH particle will not settle. Hence, excessive agitation prior to application is unnecessary, making Si-COAT® 570™ one of the easiest HVICs to use.

Apart from its very long life and ease-of-use qualities, Si-COAT® 570™ was the first to introduce the benefit of strong adhesion to the insulator surface. It is ideally suited for unprimed application to glass, porcelain and polymer (silicone and EPDM) insulators under all voltage conditions from distribution to very high voltage. Over its greater than 15 years of service history, Si-COAT® 570™ has distinguished itself from its competition by virtue of flawless performance without a single failure of any type. That is far more than any competitor can claim of their HVIC.

For ultimate suppression of leakage current and an untarnished service life greater than that of any other HVIC, turn to Si-COAT® 570™ by CSL Silicones Inc.

#### PRODUCT DESCRIPTION

A single component, RTV, moisture cure, high-build polysiloxane coating providing excellent long-term hydrophobicity, hydrophobicity recovery, electrical characteristics and UV tolerance leading to suppression of leakage current, reduction of pollution related flashover risk and a long service life.

#### INTENDED USES

Suitable for use on both new insulators and old insulators to be refurbished. Can be used, unprimed, on a variety of insulator substrates including glass, porcelain, HTV silicone, LSR type silicone and EPDM.

Further suitable as a refresh coating over old silicone HVICs provided the old HVIC is properly cleaned and still displays strong adhesion to the insulator surface.

Can be used in a variety of pollution environments including, but not limited to, salt spray, salt fog, industrial (cement dust, fly ash, carbon black, acid emissions, etc.) and desert sand.

Designed for use in AC and DC systems, in substations of all voltage levels and on transmission lines under all voltage conditions ranging from low distribution voltages to very high transmission voltages.

#### PRODUCT CHARACTERISTICS AND PRACTICAL INFORMATION

Color	Clay Gray. Custom colors may be available dependent on formulation requirements	
Gloss Level	Semi-gloss	
Percent Solids	57% by volume, nominal 70% by weight, nominal	
Theoretical Thickness	15.0 mil ± 4 mil (380 ± 100 microns) dry film thickness (DFT)	
	26.3 ± 7 mil (667 ± 175 microns) wet film thickness (WFT)	
Theoretical Coverage	15.0 mils (380 µ) DFT	
	<i>sq. ft per US gal</i>	61.1
	<i>sq. ft per lb</i>	6.4
	<i>sq. m per liter</i>	1.5
	<i>sq. m per kg</i>	1.3

#### Allow appropriate loss factor:

Practical Coverage = Theoretical Coverage x [100% - Loss%].  
Coverage will vary with the substrate and texture of surface.

#### Practical Application Thickness Guidance:

380 microns ± 100 microns, in accordance with IEEE Std 1523TM-2002 (IEEE Guide for the Application, Maintenance, and Evaluation of Room Temperature Vulcanizing (RTV) Silicone Rubber Coatings for Outdoor Ceramic Insulators)

#### Method of Application:

Airless spray, brush or dip

#### Application Temperature Range:

41 to 140°F (5 to 60°C) [ambient]  
41 to 266°F (5 to 130°C) [substrate]

#### Drying Time:

Skin-over Time	20-25 minutes nominal*
Tack-free Time	30-40 minutes nominal*
Cure Through	6 hours nominal*
Full Physical Characteristics	7 days nominal*

\*At standard conditions [77°F (25°C) and 50% relative humidity – 10 mils wet film thickness]

#### REGULATORY DATA

Flash Point	100°F (38°C)
VOC	2.83 lb/US gallon (340 g/liter), nominal
Product Weight	9.6 lb/US gallon (1.15 kg/liter), nominal



## PHYSICAL PROPERTIES

(Typical properties - values not to be used as specifications)

Uncured	
Appearance	Thick Paint
Viscosity	1,350 ± 350 cP
Cure System	Neutral, moisture cure
Cured At Standard Conditions* for 7 Days	
Dielectric Strength (ASTM D149)	701.8 V/mil @ 16.1 mil (276.3 kV/cm @ 0.041 cm)
Volume Resistivity (ASTM D257)	1.37 x 10 <sup>16</sup> Ω.in (3.48 x 10 <sup>16</sup> Ω.cm)
Surface Resistivity (ASTM D257)	1.36 x 10 <sup>16</sup> Ω/□
Dissipation Factor (ASTM D150)	at 100 Hz: 0.01 (DFT = 214 microns) at 100 Hz: 0.0292 (DFT = 878 microns) at 100 kHz: 0.00494 (DFT = 878 microns)
Dielectric Constant (ASTM D150)	at 100 Hz: 2.74 at 100 kHz: 2.63
Tracking Wheel Withstand (CEA LWIWG-01)	> 1,000 hrs
Dry Arc Resistance (ASTM D495)	Track: 184 sec Burnout: > 450 sec
Temperature Stability	-40 to 480°F (-40 to 250°C)
Thermal Expansion Coefficient	1.33 x 10 <sup>-5</sup> in./in.°F (2.4 x 10 <sup>-5</sup> cm/cm.°C)
Thermal Conductivity	1.70 x 10 <sup>-5</sup> BTU/hr.ft. °F (7.0 x 10 <sup>-4</sup> Cal/sec.cm.°C)
Loss Tangent at 100 Hz (ASTM D150)	0.0292
Water Repellency Angle (IEC 62073)	Static: 121.3 degrees Advancing: 121.4 degrees Receding: 104.4 degrees
UV & Salt Fog Accelerated Weathering (IEC61109, 5,000 hours)	No degradation
Inclined Plane Tracking & Erosion Test (IEC 60587)	PASS: 1A 4.5; 1B 4.5
Adhesion Testing (IEEE 957)	Water Blast Test: PASS
Adhesion Testing (CEA LWIWG-02)	100 hrs Boiling Water Test: PASS

\*At standard conditions 77°F (25°C) and 50% relative humidity

## SURFACE PREPARATION & CLEANLINESS\*

All surfaces to be coated should be free of dirt, dust, grease, oil, release agents, curing compounds, and other foreign matter including frost, water and microscopic condensed moisture. In addition, prior to applying the coating, all surfaces must be dry. Such precaution will ensure proper adhesion of the Si-COAT® 570™ coating to the insulator surface.

High-pressure water washing is the suggested method for cleaning the insulator surface. The suggested pressure washing parameters are 3,000 psi @ 8 – 10 gallons per minute (210 kg/cm<sup>2</sup> @ 30 – 40 liters per minute). Insulators contaminated with cementitious material should be cleaned with a dry abrasive cleaner such as crushed corncob or walnut shells mixed with limestone.

For insulators covered in silicone or hydrocarbon grease, remove the bulk of the grease with a dry abrasive cleaner as above, or by hand wiping with a rag. Once the bulk of the grease has been removed, the surface should be wiped clean using an oil-free solvent such as acetone. Isopropyl alcohol is suggested for the final wipe and coating should commence once the insulators are dry. If for whatever reason the Si-COAT application is delayed after cleaning of the insulator, the insulator must be re-cleaned.

## COATING APPLICATION

**Mixing:** Si-COAT® 570™ is supplied as a one-part, ready-to-use coating. It is normal, however, during shipment or extended storage, for the solids to settle to the bottom of the container. Upon opening of the container, **mix by power agitator until an even consistency of the coating is achieved. Be sure to work/scrape the bottom of the container to ensure all settle solids are dispersed back into the coating.**

**Application:** All surfaces should be clean and dry prior to application. The coating should be applied in a manner that prevents runs, sags, drips, spills, etc. and that completely covers surfaces without holidays. The temperature of the surface to be coated should be between 41 and 122°F (5 and 50°C) and environmental temperature should be at least 5°F (3°C) above the dew point prior to and during application.

All areas particularly prone to corrosion such as the caps and pins of insulator discs can also be coated to provide added protection and a uniform monolithic surface.

The entire insulator should be coated with a minimum 15.0 mil (381 micron) to 20.0 mil (508 micron) DFT of Si-COAT® 570™. The maximum advisable DFT of Si-COAT® 570™ is 50 mil (1,270 micron).

**Airless Spray:** *Recommended* - Tip sizes to range from 17 to 21 thou (432 to 533 micron) with a 6 to 10 inch (15 to 25 cm) fan at 1 ft (30 cm) distance. Pump pressure ratio of 40:1. Total output fluid pressure at spray tip not less than 2,000 psi (141 kg/cm<sup>2</sup>). Minimum 1/2 inch (1.3 cm) ID, maximum 50 ft (15 m) length spray line. See recommended spray apparatus in Section 9.

**Dip:** *Suitable* - Constant nitrogen purge should be used over liquid surface in container to avoid formation of skins while dipping. Rotate insulators after dipping to avoid formation of drip marks. Generally, higher DFT is achieved. Thinning may be necessary.

**Brush:** *Suitable* - Generally, 10 to 15 mil (254 to 381 micron) DFT can be achieved

**Thinner:** Naphtha or Odorless Mineral Spirits. It is recommended, however, that Si-COAT® 570™ be used at the viscosity supplied. If product is thinned, do not exceed local environmental legislation.

**Work Stoppages & Restarts:** Work stoppages are not recommended with only partial utilization of a container of Si-COAT® 570™. If work must stop after only a portion of a container of Si-COAT® 570™ is used, seal to minimize air and moisture contact with the coating by covering the surface of the coating with a sheet of polyethylene film, then reseal the container to be airtight.

Upon reopening the container to restart work, peel back the polyethylene film. If curing of the coating has occurred, use a utility knife to cut the cured coating away from the wall of the container. Peel away the cured layer of coating to expose fresh coating underneath.

**Clean-up:** Do not allow material to remain in hoses, gun or spray equipment. Thoroughly flush all equipment with Si-COAT equipment cleaner, naphtha or mineral spirits. **Cleaner:** Si-COAT equipment cleaner, naphtha or mineral spirits.

Fully cured coating is environmentally benign (will not harm) and is suitable for landfill disposal. However, always check local environmental regulations before disposal.



## RECOMMENDED SPRAY APPARATUS

For Low Productivity	
<i>Spray Pump</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use an electric or compressed air-driven 30:1 ratio pump</li> <li>Ensure pump volume output of 1.2 to 3.5 L (0.3 to 1.0 US gal) per minute</li> <li>Pump is to be equipped with a pail suction tube or be suitable for immersion into the coating container</li> </ul>
<i>High-Pressure Filter</i>	Use a high-pressure filter located at the outlet side of the spray pump
<i>Hoses</i>	Use a single hose from 7 to 15 meters (25 to 50 ft.) length and 65 mm (0.25 in.) inside diameter for connecting outlet of high-pressure filter to inlet of spray
<i>Airless Spray Guns and Spray Tips</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use a single airless spray gun equipped with a filter housing at the gun handle</li> <li>Ensure the gun is designed to accept reversible spray tips</li> <li>Use a 100-micron filter in the gun filter housing</li> <li>Use reversible tips that produce a 10 cm (4 in.) fan width (measured at 30 cm [12 in.] from tip orifice)</li> <li>Use tips with orifices ranging from 280 to 380 microns (0.011 to 0.015 in.)</li> </ul>
For Medium Productivity (low productivity equipment with following improvements)	
<i>Spray Pump</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ensure pump volume output of minimum 3.5 L (1.0 US gal) per minute</li> <li>Other specifications as per low productivity equipment</li> </ul>
<i>High-Pressure Filter</i>	Specifications as per low productivity equipment
<i>Hoses</i>	Use up to 2 hoses from 15 to 30 meters (50 to 100 ft.) length and 65 mm (0.25 in.) inside diameter for connecting outlet of high-pressure filter to inlet of spray gun
<i>Airless Spray Guns and Spray Tips</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use up to 2 airless spray guns equipped with a filter housing at the gun handle</li> <li>Other specifications as per low productivity equipment</li> </ul>
For High Productivity (medium productivity equipment with following improvements)	
<i>Spray Pump</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use ONLY a compressed air-driven spray pump</li> <li>Other specifications as per medium productivity equipment</li> </ul>
<i>Transfer Pump</i>	Use a 2:1 ratio air-driven pail transfer pump equipped with an agitator to force feed the coating from the coating container into a low pressure filter
<i>Low-Pressure Filter</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use a large external low-pressure bag filter located between the transfer pump and the spray pump</li> <li>Use a 200-micron filter</li> </ul>
<i>High-Pressure Filter</i>	Not required
<i>Hoses</i>	Specifications as per medium productivity equipment
<i>Airless Spray Guns &amp; Tips</i>	Specifications as per medium productivity equipment

## PRODUCT CHARACTERISTICS

Level of sheen and surface finish is dependent on application method. Avoid using a combination of application methods whenever possible. Best results in terms of gloss and appearance will always be obtained with airless spray.

If over coating Si-COAT® 570™ after weathering or ageing, ensure the coating is fully cleaned to remove all surface contamination such as dust, grease, oil, salt crystals, traffic fumes, etc. before application of a further coat of Si-COAT® 570™.

This product must only be thinned using the recommended thinners. The use of alternate thinners may inhibit the curing mechanism of the coating.

Do not apply to substrate temperatures below 41°F (5°C).

When applying Si-COAT® 570™ in confined spaces ensure adequate ventilation and/or respiratory equipment is available. Consult the Si-COAT® 570™ SDS for further details.

Condensation occurring during or immediately following application may result in a matte finish.

Si-COAT® 570™ has excellent tolerance to airborne chemical exposure. When severe chemical or solvent splashing/pooling is likely to occur, please contact CSL Silicones Inc. for information regarding suitability.

## SAFETY PRECAUTIONS

This product is intended for use only by professional applicators in industrial situations in accordance with the advice given in this document, the Safety Data Sheet (SDS) and the container(s), and should not be used without reference to the SDS that CSL Silicones Inc. has provided to its customers.

All work involving the application and use of this product should be performed in compliance with all relevant national, Health, Safety & Environmental standards & regulations.

In the event welding or flame cutting is performed on metal coated with this product, dust and fumes may be emitted that will require the use of appropriate personal protective equipment and adequate local exhaust ventilation.

If in doubt regarding the suitability of use of this product, consult CSL Silicones Inc. for further advice.

## PACKAGING\*

Size (unit)	Product Volume	Product Weight	Shipping Weight
1 US gal	1.0 US gal (3.8 l)	9.5 lb (4.3 kg)	11.0 lb (5.0 kg)
2.5 US gal	2.5 US gal (9.5 l)	23.6 lb (10.7 kg)	26.5 lb (12.0 kg)
5 US gal	5.0 US gal (18.9 l)	46.3 lb (21.0 kg)	50.7 lb (23.0 kg)
50 US gal	50.0 US gal (189.3 l)	470.6 lb (213.9 kg)	514.8 lb (234.0 kg)

\*For availability of other package sizes, please contact CSL Silicones Inc.

## STORAGE

**Shelf Life:** 12 months from date of manufacture in the original unopened container below 90°F (32°C). Subject to re-inspection thereafter. Store in dry, shaded conditions away from sources of heat or ignition.

CSL is ISO 9001:2015 Registered

### Disclaimer

The information given in this sheet is not intended to be exhaustive and any person using the product for any purpose other than that specifically recommended in this document without first obtaining written confirmation from CSL Silicones Inc. as to the suitability of the product for the intended purpose does so at his/her own risk. The information contained herein has been prepared in good faith to comply with applicable federal and provincial (state) laws. However, no warranty of any kind is given or implied and CSL Silicones Inc. will not be responsible for any damages, losses or injuries that may result from the use of any information contained herein. While CSL endeavors to ensure all advice it gives about the product (whether in this document or otherwise) is correct, we have no control over either the quality or condition of the substrate or the many factors affecting the use and application of the product. Therefore, unless CSL specifically agrees in writing to do so, it does not accept any liability whatsoever or howsoever arising for the performance of the product, or for any consequential loss or damage arising out of the use of the product. Any warranty, if given or specific Terms & Conditions of Sale are contained in CSL's Terms & Conditions of Sale, a copy of which can be obtained upon request. The information contained herein is liable to modification from time-to-time in light of experience and CSL's policy of continuous product improvement. It is the user's responsibility to check that this document is current prior to using the product. This document must not be used for specification writing.

### CSL Silicones Inc.

144 Woodlawn Rd. W.  
Guelph, ON N1H 1B5  
Canada

T +1 519.836.9044

TF + 1 800.265.2753

[www.cslsilicones.com](http://www.cslsilicones.com)

Si-COAT® 570™ Reviewed 2019-06-13  
All trademarks registered. All rights reserved

Page 3/3 - Si-COAT® 570™

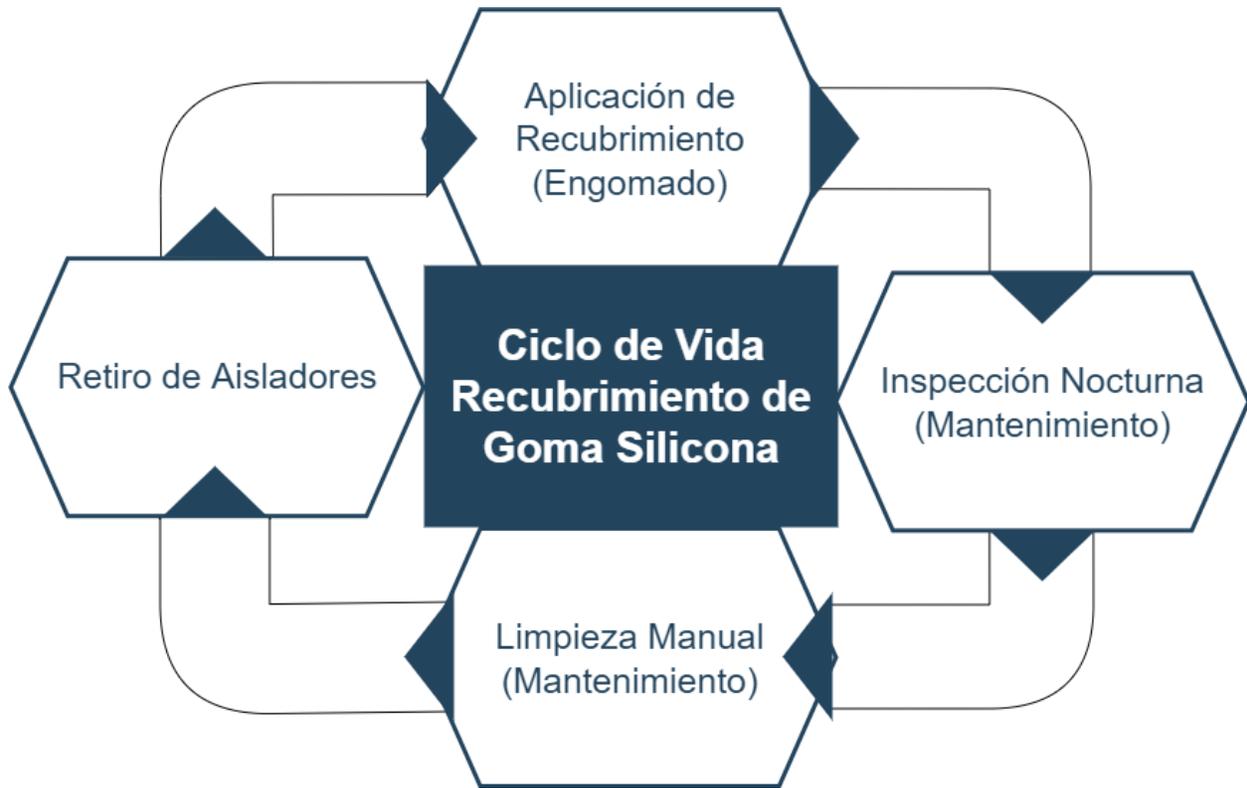


**Anexo 6 “Ciclo de Vida de Recubrimiento de Grasa Silicona”**



**Fuente.** Elaboración Propia

**Anexo 7 “Ciclo de Vida de Recubrimiento de Goma Silicona”**



**Fuente.** Elaboración Propia

# Anexo 8 “Formato de Inspección MR-F-05”



( ANVERSO )

Código : MR-F-05  
Revisión : 02

## FORMATO DE INSPECCIÓN NOCTURNA (Nivel de Contaminación Aisladores)



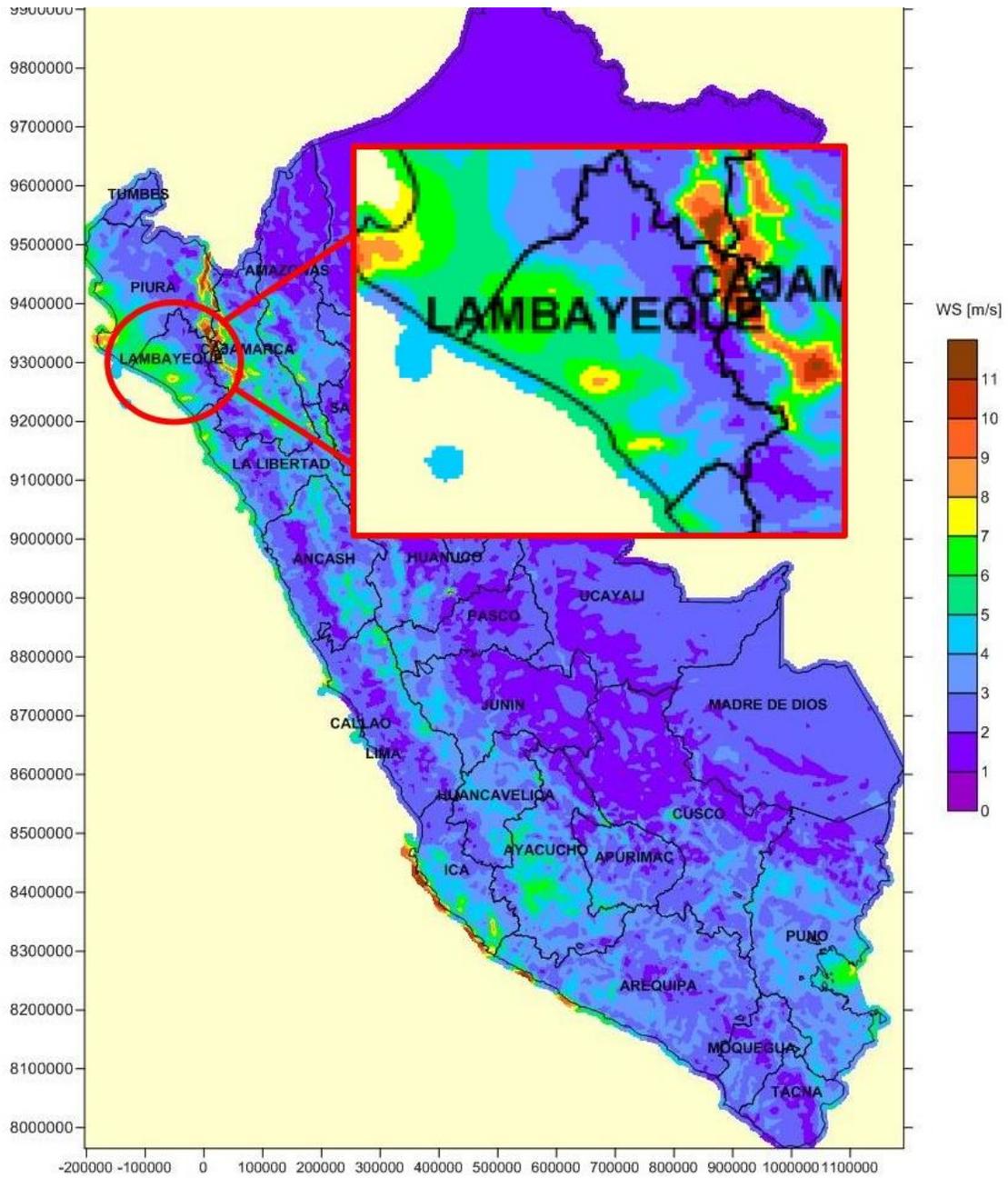
Fecha: .....

Torre	Fase	Línea .....	Línea .....	Observaciones
No	S M I			

Bulbo Seco: \_\_\_\_\_ Humedad Relativa \_\_\_\_\_ Temp. Ambiente: \_\_\_\_\_  
Bulbo Húmedo: \_\_\_\_\_

Nombre responsable: \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

## Anexo 9 “Velocidad Media Anual del Viento a 25 m”



**Fuente.** Debido a la altura de las estructuras se seleccionó el mapa de velocidad del viento a 25 m. Adaptado de Atlas Eólico del Perú, por Ministerio de Energía y Minas, 2016, <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>

**Anexo 10 "Base de datos de Nivel de Descarga por Efluvio y actividades de mantenimiento 2010 – 2020"**

<b>Recolección de Datos</b>							
<b>N.E:</b>	<b>Nivel de descargas por efluvio</b>			<b>1-2-3-4-5-6</b>			
<b>Grasa Silicona</b>							
<b>Goma Silicona</b>		<b>2010</b>	<b>2017</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>		
<b>Estructura</b>	<b>N° de Cadena</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Eng/Silic</b>	<b>N.E</b>	<b>N.E</b>	<b>Silic/Limp</b>
P-110	1	1	2	s			s
	2	1	2	s			s
	3	1	2	s			s
P-111	4	1	2	s			s
	5	1	2	s			s
	6	1	2	s			s
P-112	7	1	2	s			s
	8	1	2	s			s
	9	1	2	s			s
P-113	10	1	2	s			s
	11	1	2	s			s
	12	1	2	s			s
P-114	13	1	2	s			s
	14	1	2	s			s
	15	1	2	s			s
P-115	16	1	2	s			s
	17	1	2	s			s
	18	1	2	s			s
P-116	19	1	2	s			s
	20	1	2	s			s
	21	1	2	s			s
P-117	22	1	2				Limp
	23	1	2				Limp
	24	1	2				Limp
P-118	25	1	2	s			s
	26	1	2	s			s
	27	1	2	s			s

Estructura	N° de Cadena	2010		2017	2019		2020
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-119	28	1	2	s	4		s
	29	1	2	s	4		s
	30	1	2	s	4		s
P-120	31	1	2	s	4		s
	32	1	2	s	4		s
	33	1	2	s	4		s
P-121	34	1	3	s			s
	35	1	3	s			s
	36	1	3	s			s
P-122	37	1	3	s			s
	38	1	3	s			s
	39	1	3	s			s
P-123	40	1	3	s			s
	41	1	3	s			s
	42	1	3	s			s
P-124	43	1	3	s			s
	44	1	3	s			s
	45	1	3	s			s
P-125	46	1	3	s			s
	47	1	3	s			s
	48	1	3	s			s
P-126	49	1	3	s	4		s
	50	1	3	s	4		s
	51	1	3	s	4		s
P-127	52	1	3	s	4		s
	53	1	3	s	4		s
	54	1	3	s	4		s
P-128	55	1	3	s	4		s
	56	1	3	s	4		s
	57	1	3	s	4		s
P-129	58	1	3	s		2	s
	59	1	3	s		2	s
	60	1	3	s		2	s

Estructura	N° de Cadena	2010		2017	2019		2020
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-130	61	1	3	s			s
	62	1	3	s			s
	63	1	3	s			s
P-131	64	1	3	s			s
	65	1	3	s			s
	66	1	3	s			s
P-132	67	1	3	s			s
	68	1	3	s			s
	69	1	3	s			s
P-133	70	1	3	s			s
	71	1	3	s			s
	72	1	3	s			s
P-134	73	1	3	s			s
	74	1	3	s			s
	75	1	3	s			s
P-135	76	1	2				Limp
	77	1	2				Limp
	78	1	2				Limp
P-136	79	1	2				Limp
	80	1	2				Limp
	81	1	2				Limp
P-137	82	1	3	s	2		s
	83	1	3	Limp	2		s
	84	1	3	s	2		s
	85	1	3	s	3		s
	86	1	3	Limp	3		s
	87	1	3	s	3		s
	88	1	3	s	2		s
	89	1	3	s	2		s
	90	1	3	s	2		s
P-138	91	1	3	Limp	4		
	92	1	3	s	4		s
	93	1	3	Limp	4		

Estructura	N° de Cadena	2010		2017	2019		2020
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-139	94	1	3	s	4		s
	95	1	3	s	4		s
	96	1	3	s	4		s
P-140	97	1	3	s			s
	98	1	3	s			s
	99	1	3	s			s
P-141	100	1	4	s			s
	101	1	4	s			s
	102	1	4	s			s
P-142	103	1	4	s			s
	104	1	4	s			s
	105	1	4	s			s
P-143	106	1	4	s			s
	107	1	4	s			s
	108	1	4	s			s
P-144	109	1	4	s			s
	110	1	4	s			s
	111	1	4	s			s
P-145	112	1	4	s			s
	113	1	4	s			s
	114	1	4	s			s
P-146	115	1	4	s			s
	116	1	4	s			s
	117	1	4	s			s
P-147	118	1	4	s		2	s
	119	1	4	s		2	s
	120	1	4	s		2	s
	121	1	4	s		2	s
	122	1	4	s		2	s
	123	1	4	s		2	s
P-148	124	1	4	s	4		s
	125	1	4	s	4		s
	126	1	4	s	4		s

Estructura	N° de Cadena	2010		2017	2019		2020
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-149	127	1	4	s	4		s
	128	1	4	s	4		s
	129	1	4	s	4		s
P-150	130	1	4	s	4		s
	131	1	4	s	4		s
	132	1	4	s	4		s
P-151	133	1	4	s			s
	134	1	4	s			s
	135	1	4	s			s
P-152	136	1	4	s			s
	137	1	4	s			s
	138	1	4	s			s
P-153	139	1	4	s			s
	140	1	4	s			s
	141	1	4	s			s
P-154	142	1	4	s			s
	143	1	4	s			s
	144	1	4	s			s
P-155	145	1	4	s			s
	146	1	4	s			s
	147	1	4	s			s
P-156	148	1	4	s			s
	149	1	4	s			s
	150	1	4	s			s
P-157	151	1	4	s			s
	152	1	4	s			s
	153	1	4	s			s
P-158	154	1	4	s		3	s
	155	1	4	s		3	s
	156	1	4	s		3	s
P-159	157	1	4	s			s
	158	1	4	s			s
	159	1	4	s			s

Estructura	N° de Cadena	2010		2017		2019		2020	
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp		
P-160	160	1	4	s					s
	161	1	4	s					s
	162	1	4	s					s
P-161	163	1	4	s					s
	164	1	4	s					s
	165	1	4	s					s
P-162	166	1	4	s	4				s
	167	1	4	s	3				s
	168	1	4	s	4				s
P-163	169	1	4	s	4				s
	170	1	4	s	4				s
	171	1	4	s	4				s
P-164	172	1	4	s	4				s
	173	1	4	s	4				s
	174	1	4	s	3				s
P-165	175	2	4	s					s
	176	2	4	s					s
	177	2	4	s					s
P-166	178	1	4	s					s
	179	1	4	s					s
	180	1	4	s					s
P-167	181	1	4	s					s
	182	1	4	s					s
	183	1	4	s					s
P-168	184	1	4	s		2			s
	185	1	4	s		3			s
	186	1	4	s		3			s
P-169	187	1	4	s					s
	188	1	4	s					s
	189	1	4	s					s
P-170	190	1	2						
	191	1	2						
	192	1	2						

Estructura	N° de Cadena	2010		2017	2019		2020
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-171	193	1	4	s			s
	194	1	4	s			s
	195	1	4	s			s
P-172	196	1	4	s	2		s
	197	1	4	s	2		s
	198	1	4	s	2		s
	199	1	4	s	3		s
	200	1	4	s	3		s
	201	1	4	s	3		s
	202	1	4	s	2		s
	203	1	4	s	2		s
P-173	204	1	4	s	2		s
	205	1	4	s	3		s
	206	1	4	s	3		s
P-174	207	1	4	s	3		s
	208	1	4	s	4		s
	209	1	4	s	3		s
P-175	210	1	4	s	3		s
	211	2	4	s			s
	212	2	4	s			s
P-176	213	2	4	s			s
	214	2	3			4	Limp
	215	2	3			4	Limp
P-177	216	2	3			4	Limp
	217	1	4	E		2	
	218	1	4	E		2	
P-178	219	1	4	E		2	
	220	2	3			4	Limp
	221	2	3			4	Limp
P-179	222	2	3			4	Limp
	223	1	4		4		
	224	1	4	E	3		
	225	1	4	E	3		

Estructura	N° de Cadena	2010		2017	2019		2020
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-180	226	1	2			4	Limp
	227	1	2			4	Limp
	228	1	2			4	Limp
P-181	229	2	3			4	Limp
	230	2	3			4	Limp
	231	2	3			4	Limp
P-182	232	2	4	E			
	233	2	4	E			
	234	2	4	E			
P-183	235	2	3			3	Limp
	236	2	3			4	Limp
	237	2	3			3	Limp
P-184	238	2	4	E			
	239	2	4	E			
	240	2	4	E			
P-185	241	1	2				Limp
	242	1	2				Limp
	243	1	2				Limp
P-186	244	1	4	E			
	245	1	4	E			
	246	1	4	E			
P-187	247	1	2				Limp
	248	1	2				Limp
	249	1	2				Limp
P-188	250	1	4	s			s
	251	1	4	s			s
	252	1	4	s			s
P-194	268	1		s	4		s
	269	1		s	3		s
	270	1		s	3		s
P-195	271	1		s	4		s
	272	1		s	3		s
	273	1		s	3		s

Estructura	N° de Cadena	2010		2017	2019		2020
		N.E	N.E	Eng/Silic	N.E	N.E	Silic/Limp
P-196	274	1		s			s
	275	1		s			s
	276	1		s			s
P-197	277	1		s			s
	278	1		s			s
	279	1		s			s
P-198	280	1		s			s
	281	1		s			s
	282	1		s			s
P-199	283	1		s			s
	284	1		s			s
	285	1		s			s
P-200	286	1	3	s			s
	287	1	3	s			s
	288	1	3	s			s
P-201	289	1	3	s			s
	290	1	3	s			s
	291	1	3	s			s
P-202	292	1	3	s			s
	293	1	3	s			s
	294	1	3	s			s
P-203	295	1	3	s	3		s
	296	1	3	s	3		s
	297	1	3	s	3		s
P-204	298	1	3	s	3		s
	299	1	3	s	3		s
	300	1	3	s	3		s
P-205	301	1	3	s	3		s
	302	1	3	s	3		s
	303	1	3	s	3		s

**Fuente.** Las celdas que presentan colores, según la leyenda al inicio de la tabla, representan si la estructura tiene cadenas de aisladores con recubrimiento por goma silicona (color plomo) o por grasa silicona (color crema).

Las abreviaturas son las siguientes: Silic: Siliconado, Limp: Limpieza manual, N.E: Nivel de descargas por Efluvio, Eng: Engomado.

Elaboración Propia.

## Anexo 11 "Cotizaciones Detalladas de Actividades en el Ciclo de Vida de los Recubrimientos de Aisladores Cerámicos"

Siliconado de Aisladores Cerámicos						
Unidad de Estudio			Cadena de Aisladores (16 -17 Aisladores / 220KV)			
N° de torres			1			
N° de cadenas de aisladores			6			
<b>Personal</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo		Costo Total	
1	Supervisor	1	S/	225.00	S/	225.00
2	Linieros	2	S/	220.00	S/	440.00
3	Choferes	1	S/	155.00	S/	155.00
<b>Total</b>					S/	820.00
<b>Herramientas</b>						
Item	Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total
1	Herramienta 01 (Equipos de escritorio para informe)	Jgo	1	S/	18.00	S/ 18.00
2	Herramienta 02 (Equipo de aterramiento)	Jgo	1	S/	46.00	S/ 46.00
3	Escaleras de Cancho	Und	2	S/	14.00	S/ 28.00
4	Poleas de Servicio	Und	2	S/	6.00	S/ 12.00
5	Sogas de Servicio	Und	2	S/	6.00	S/ 12.00
6	Trapo Artillero	Kg	4	S/	16.00	S/ 64.00
7	Segregado de desechos	Und	1	S/	6.00	S/ 6.00
8	Equipo de protección específica	Und	3	S/	18.00	S/ 54.00
9	Pasta Siliconica	Kg	2	S/	118.00	S/ 236.00
10	Solvente dieléctrico	Gl	0.5	S/	36.00	S/ 18.00
<b>Total</b>					S/	494.00
<b>Otros Servicios</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total	
1	Camioneta 4x4	1	S/	360.00	S/	360.00
<b>Costo Total por Siliconado de Aisladores</b>					S/	1,674.00
<b>Costo Total /Cadena de aisladores</b>					S/	279.00

Inspección Nocturna						
Unidad de Estudio			Cadena de Aisladores (16 -17 Aisladores / 220KV)			
N° de torres			10			
N° de cadenas de aisladores			60			
<b>Personal</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo		Costo total	
1	Supervisor	1	S/	225.00	S/	225.00
2	Chofer	1	S/	155.00	S/	155.00
<b>Total</b>					S/	380.00
<b>Equipos y Herramientas</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total	
1	Higrometro Fluke 971	1	S/	12.00	S/	12.00
2	Binocular	1	S/	12.00	S/	12.00
3	Linternas	1	S/	6.00	S/	6.00
4	Herramientas 01 (Equipos de escritorio para informes)	1	S/	18.00	S/	18.00
<b>Total</b>					S/	48.00
<b>Otros Servicios</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total	
1	Camioneta 4x4	1	S/	360.00	S/	360.00
<b>Costo Total por Inspección Nocturna</b>					S/	788.00
<b>Costo Total /Cadena de aisladores</b>					S/	13.13

<b>Limpieza Manual de Aisladores Cerámicos</b>						
Unidad de Estudio			Cadena de Aisladores (16 -17 Aisladores / 220KV)			
N° de torres			1			
N° de cadenas de aisladores			6			
<b>Personal</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo	Costo Total		
1	Supervisor	1	S/ 225.00	S/	225.00	
2	Linieros	2	S/ 220.00	S/	440.00	
3	Choferes	1	S/ 155.00	S/	155.00	
<b>Total</b>				S/	<b>820.00</b>	
<b>Herramientas</b>						
Item	Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo/Unidad	Costo Total	
1	Herramienta 01 (Equipos de escritorio para informe)	Jgo	1	S/ 18.00	S/	18.00
2	Herramienta 02 (Equipo de aterramiento)	Jgo	1	S/ 46.00	S/	46.00
3	Escaleras de Gancho	Und	2	S/ 14.00	S/	28.00
4	Poleas de Servicio	Und	2	S/ 6.00	S/	12.00
5	Sogas de Servicio	Und	2	S/ 6.00	S/	12.00
6	Trapo Artillero	Kg	4	S/ 16.00	S/	64.00
7	Segregado de desechos	Und	1	S/ 6.00	S/	6.00
8	Equipo de protección específica	Und	3	S/ 18.00	S/	54.00
<b>Total</b>				S/	<b>240.00</b>	
<b>Otros Servicios</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad	Costo Total		
1	Camioneta 4x4	1	S/ 360.00	S/	360.00	
<b>Costo Total por Limpieza Manual de Aisladores</b>				S/	<b>1,420.00</b>	
<b>Costo Total /Cadena de aisladores</b>				S/	<b>236.67</b>	

<b>Retiro de Siliconado de Aisladores Cerámicos</b>						
Unidad de Estudio			Cadena de Aisladores (16 -17 Aisladores / 220KV)			
N° de torres			1			
N° de cadenas de aisladores			6			
<b>Personal</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo	Costo Total		
1	Supervisor	1	S/ 225.00	S/	225.00	
2	Linieros	2	S/ 220.00	S/	440.00	
3	Choferes	1	S/ 155.00	S/	155.00	
<b>Total</b>				S/	<b>820.00</b>	
<b>Herramientas</b>						
Item	Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo/Unidad	Costo Total	
1	Herramienta 01 (Equipos de escritorio para informe)	Jgo	1	S/ 18.00	S/	18.00
2	Herramienta 02 (Equipo de aterramiento)	Jgo	1	S/ 46.00	S/	46.00
3	Escaleras de Gancho	Und	2	S/ 14.00	S/	28.00
4	Poleas de Servicio	Und	2	S/ 6.00	S/	12.00
5	Sogas de Servicio	Und	2	S/ 6.00	S/	12.00
6	Trapo Artillero	Kg	4	S/ 16.00	S/	64.00
7	Segregado de desechos	Und	1	S/ 6.00	S/	6.00
8	Equipo de protección específica	Und	3	S/ 18.00	S/	54.00
10	Solvente dieléctrico	Gl	1	S/ 36.00	S/	36.00
<b>Total</b>				S/	<b>276.00</b>	
<b>Otros Servicios</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad	Costo Total		
1	Camioneta 4x4	1	S/ 360.00	S/	360.00	
<b>Costo Total por Siliconado de Aisladores</b>				S/	<b>1,456.00</b>	
<b>Costo Total /Cadena de aisladores</b>				S/	<b>242.67</b>	

Engomado de Aisladores Cerámicos						
Unidad de Estudio			Cadena de Aisladores (16 -17 Aisladores / 220KV)			
N° de torres			1			
N° de cadenas de aisladores			6			
<b>Personal</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo		Costo Total	
1	Supervisor	1	S/	225.00	S/	225.00
2	Linieros	4	S/	220.00	S/	880.00
3	Ayudantes	3	S/	155.00	S/	465.00
4	Choferes	2	S/	155.00	S/	310.00
<b>Total</b>					S/	1,880.00
<b>Equipos -Suministros</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total	
1	Aisladores vidro engomado	102	S/	378.00	S/	38,556.00
2	Grilletes	6	S/	45.00	S/	270.00
3	Ojal Bola	6	S/	45.00	S/	270.00
4	Descargador electrico. Tipo Cuerno	6	S/	150.00	S/	900.00
5	Descargadores electrico . Tipo Raqueta	6	S/	150.00	S/	900.00
<b>Total</b>					S/	40,896.00
<b>Herramientas</b>						
Item	Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total
1	Tierra Temporal	Jgo	2	S/	22.00	S/ 44.00
2	Revelador	Und	1	S/	12.00	S/ 12.00
3	Pértigas	Und	3	S/	18.00	S/ 54.00
4	Escaleras Gancho	Und	1	S/	14.00	S/ 14.00
5	Herramientas 01 (Equipo de escritorio para informes)	Und	1	S/	18.00	S/ 18.00
6	Tecl de Cadena	Und	2	S/	24.00	S/ 48.00
7	Estrobo de Acero	Und	6	S/	8.00	S/ 48.00
8	Llaves Mixtas #19	Und	4	S/	2.00	S/ 8.00
9	Raches	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
10	Dados #19	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
11	Poleas de Maniobra	Und	2	S/	8.00	S/ 16.00
12	Poleas de Servicio	Und	3	S/	6.00	S/ 18.00
13	Sogas de servicio	Und	4	S/	6.00	S/ 24.00
14	Sogas de Maniobra	Und	1	S/	8.00	S/ 8.00
15	Grilletes de Maniobra	Und	4	S/	2.00	S/ 8.00
16	Cinceles	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
17	Combas	Und	2	S/	4.00	S/ 8.00
18	Arco sierra	Und	2	S/	4.00	S/ 8.00
19	Hojas de sierra	Und	2	S/	1.00	S/ 2.00
20	Desarmadores planos	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
21	Alicate	Und	1	S/	2.00	S/ 2.00
22	Afloja todo	Und	1	S/	16.00	S/ 16.00
<b>Total</b>					S/	372.00
<b>Otros Servicios</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total	
1	Camioneta 4x4	2	360 S/		720.00	
<b>Costo Total por Engomado de Aisladores</b>					S/	43,868.00
<b>Costo Total /Cadena de aisladores</b>					S/	7,311.33

Retiro de Aisladores Cerámicos Engomados						
Unidad de Estudio			Cadena de Aisladores (16-17 Aisladores / 220KV)			
N° de torres			1			
N° de cadenas de aisladores			6			
<b>Personal</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo		Costo Total	
1	Supervisor	1	S/	225.00	S/	225.00
2	Linieros	4	S/	220.00	S/	880.00
3	Ayudantes	3	S/	155.00	S/	465.00
4	Choferes	2	S/	155.00	S/	310.00
<b>Total</b>			S/		S/	1,880.00
<b>Herramientas</b>						
Item	Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total
1	Tierra Temporal	Jgo	2	S/	22.00	S/ 44.00
2	Revelador	Und	1	S/	12.00	S/ 12.00
3	Pértigas	Und	3	S/	18.00	S/ 54.00
4	Escaleras Gancho	Und	1	S/	14.00	S/ 14.00
5	Herramientas 01 (Equipo de escritorio para informes)	Und	1	S/	18.00	S/ 18.00
6	Teclé de Cadena	Und	2	S/	24.00	S/ 48.00
7	Estrobo de Acero	Und	6	S/	8.00	S/ 48.00
8	Llaves Mixtas #19	Und	4	S/	2.00	S/ 8.00
9	Raches	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
10	Dados #19	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
11	Poleas de Maniobra	Und	2	S/	8.00	S/ 16.00
12	Poleas de Servicio	Und	3	S/	6.00	S/ 18.00
13	Sogas de servicio	Und	4	S/	6.00	S/ 24.00
14	Sogas de Maniobra	Und	1	S/	8.00	S/ 8.00
15	Grilletes de Maniobra	Und	4	S/	2.00	S/ 8.00
16	Cinceles	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
17	Combas	Und	2	S/	4.00	S/ 8.00
18	Arco sierra	Und	2	S/	4.00	S/ 8.00
19	Hojas de sierra	Und	2	S/	1.00	S/ 2.00
20	Desarmadores planos	Und	2	S/	2.00	S/ 4.00
21	Alicate	Und	1	S/	2.00	S/ 2.00
22	Afloja todo	Und	1	S/	16.00	S/ 16.00
<b>Total</b>					S/	372.00
<b>Otros Servicios</b>						
Item	Descripción	Cantidad	Costo/Unidad		Costo Total	
1	Camioneta 4x4	2	360	S/	720.00	
<b>Costo Total por Engomado de Aisladores</b>					S/	2,972.00
<b>Costo Total / Cadena de aisladores</b>					S/	495.33

## Anexo 12 "Tabla de Datos Técnicos de Aisladores"

Protección de Líneas de Transmisión Costeras en 220 KV

Especificaciones Técnicas - Suministro

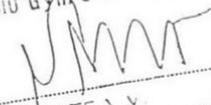
### TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS

AISLADORES TIPO FOG

302

ITEM	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
1	Fabricante			DALIAN PORCELAIN INSULATOR WORKS
2	Procedencia			CHINA
3	Material		Porcelana/vidrio	PORCELANA
4	Tipo			XHP120L
5	Tipo de aislador		Fog ball - socket	SUPER FOGG BALL-SOCKET
6	Diámetro del disco	mm	320	320
7	Paso	mm	146	146
8	Carga Electromecánica de rotura	KN	120	120
9	Línea de fuga	mm	555	555
10	Ensamblaje		IEC 16 A	IEC 16A
11	Peso unitario	Kg		10.6 KG
12	Manguito de zinc			SI
13	Características eléctricas			
14	Tensión sostenida a frecuencia industrial			
15	. En seco	Kv	80	80
16	. Bajo lluvia	Kv	45	45
17	Tensión de impulso al rayo			
18	. Positivo	Kv	125	125
19	. Negativo	Kv	130	130
20	Tensión de perforación	Kv	110	110
21	Galvanización de partes metálicas	gr/m <sup>2</sup>	800	800
22	Normas de galvanización		ASTM	ASTM
23	DOCUMENTACION TECNICA ADJUNTA			
24	Plano y características del aislador		si	SI
25	Pruebas de tipo anteriores		si	SI
26	Referencias de venta anteriores		si	SI
27	Catálogo técnico		si	SI

  
 Gerencia de Proyectos

CONSORCIO D. y M. S.A. - ABENGOA S.A.  
  
 J. V. NATEA V. J.T.A.  
 REPRESENTANTE LEGAL COMUN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL N°038-2022-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 10:00 a.m. del día viernes 10 de junio de 2022. Se reunieron vía plataforma virtual <http://meet.google.com/zxm-yzpy-pih>, los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°115-2022-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 01 de junio de 2022, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

Dr. Ing. ANIBAL JESÚS SALAZAR MENDOZA	PRESIDENTE
M.Sc. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ	SECRETARIO
ING. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ	MIEMBRO
M.Sc. Ing. NORMAN OSVALDO AGUIRRE ZAQUINAULA	ASESOR

Se recibió la tesis titulada:

"ANALISIS COMPARATIVO ENTRE RENDIMIENTO DE LA APLICACIÓN DE GRASA SILICONA Y ENGOMADO EN AISLADORES PARA MITIGAR EFECTOS DE POLUCIÓN EN LA LÍNEA 2238 CHICLAYO - PIURA, ZONA DE MORROPE."

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **CASTRILLON NÚÑEZ LUIS DAVID.**

Finalizada la sustentación virtual de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención **BUENO**.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:10 a.m. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo.

Dr. Ing. ANIBAL JESÚS SALAZAR MENDOZA  
PRESIDENTE

ING. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ  
MIEMBRO

M.Sc. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ  
SECRETARIO

M.Sc. Ing. NORMAN OSVALDO AGUIRRE ZAQUINAULA  
ASESOR



Lambayeque, 27 de mayo del 2022

Señor:  
Dr. Aníbal Salazar Mendoza  
Director de la Unidad de Investigación FIME.  
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo  
Lambayeque.

**Asunto: Informa sobre conformidad de Informe Final de Tesis  
de Luis David Castrillón Núñez.**

Es grato dirigirme a usted para saludarlo y al mismo tiempo comunicarle que en mi calidad de Asesor de Tesis, luego de haber revisado el informe final de la tesis titulada: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE RENDIMIENTO DE LA APLICACIÓN DE GRASA SILICONA Y ENGOMADO EN AISLADORES PARA MITIGAR EFECTOS DE POLUCIÓN EN LA LÍNEA 2238 CHICLAYO - PIURA, ZONA DE MORROPE.”** subsanadas las observaciones por parte del bachiller Castrillón Núñez, Luis David, **se encuentra apto para la sustentación respectiva** previo el trámite correspondiente.

Asimismo, se ha realizado la revisión de similitud en el software TURNITIN alcanzando un porcentaje de similitud del 1%, que según nuestra reglamentación de investigación es aceptable.

Sin otro particular me despido.

Atentamente



Mg. Norman Osvaldo Aguirre Zaquinaula  
DOCENTE FIME-UNPRG  
**ASESOR DE TESIS**

# "ANALISIS COMPARATIVO ENTRE RENDIMIENTO DE LA APLICACIÓN DE GRASA SILICONA Y ENGOMADO EN AISLADORES PARA MITIGAR EFECTOS DE POLUCIÓN EN LA LÍNEA 2238 CHICLAYO - PIURA, ZONA DE MORROPE."

## ORIGINALITY REPORT

<b>1</b> % 	<b>1</b> %	<b>0</b> %	<b>1</b> %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>kupdf.net</b> Internet Source	<1 %
<b>2</b>	<b>Submitted to University of Edinburgh</b> Student Paper	<1 %
<b>3</b>	<b>ugspace.ug.edu.gh</b> Internet Source	<1 %
<b>4</b>	<b>Submitted to University College London</b> Student Paper	<1 %
<b>5</b>	<b>es.wikipedia.org</b> Internet Source	<1 %
<b>6</b>	<b>Shariatinasab, Reza, Jalil Ghayur Safar, and Mohsen Akafi Mobarakeh. "Development of an adaptive neural-fuzzy inference system based meta-model for estimating lightning related failures in polluted environments", IET Science Measurement &amp; Technology, 2013.</b> Publication	<1 %



---

Exclude quotes      On  
Exclude bibliography      Off

Exclude assignment      Off  
template  
Exclude matches      Off



## Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Luis David Castrillón Núñez  
Assignment title: Informe Final Tesis  
Submission title: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL RECUBRIMIENTO DE CADE...  
File name: IFC\_LUIS\_DAVID\_CASTRILLON\_NU\_EZ.pdf  
File size: 4.78M  
Page count: 127  
Word count: 23,070  
Character count: 121,071  
Submission date: 24-Nov-2021 02:41AM (UTC-0500)  
Submission ID: 1711860968

