

# ESTUDIO DE LA RUPTURA DIELECTRICA EN LOS AISLADORES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 69 KV EN ELEPCO SA MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA

## *STUDY OF THE DIELECTRIC DISRUPTION IN THE INSULATORS OF THE 69KV TRANSMISSION LINE IN ELEPCO S.A. THROUGH DYNAMIC SIMULATION*

Estalin G. Herrera <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Cotopaxi. Departamento Postgrados. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9804-6474>. Correo: [estalin.herrera7401@utc.edu.ec](mailto:estalin.herrera7401@utc.edu.ec)

Alvaro S. Mullo <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Eléctrica y Electrónica. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9268-403X>. Correo: [alsamulloq@gmail.com](mailto:alsamulloq@gmail.com)

\* Autor para correspondencia: [estalin.herrera7401@utc.edu.ec](mailto:estalin.herrera7401@utc.edu.ec)

### Resumen

La investigación consistió en analizar la ruptura dieléctrica de los aisladores con roturas superficiales de una red de transmisión de 69 kV mediante una simulación dinámica, el estudio inicia con la modelación en 2 dimensiones del aislador de suspensión ANSI tipo B C29.2-52-3 FOG mediante un software CAD para definir sus propiedades y dimensiones geométricas, este modelado es exportarlo hacia un software de simulación dinámica "FEMM", en donde es necesario definir la conductancia eléctrica de cada material de construcción del aislador y colocar la tensión eléctrica de 40 kV en la parte inferior del aislador, mientras que la tensión de referencia 0 V se coloca en la parte superior, se evaluaron 5 casos de estudio, cada uno con diferentes tipos de roturas superficiales, en donde se indicó que el caso 3 es el único caso que presenta un funcionamiento correcto de la parte dieléctrica del aislador, a pesar de tener dos roturas superficiales en la parte inferior, la corriente eléctrica de fuga en esa rotura no supera la corriente límite de 0,5128 amperios, por otra parte, para los casos 2, 4 y 5 presentan una ruptura dieléctrica que puede ocasionar descargas eléctricas, esto se debe a que cada una de las corrientes de fuga es superior a la corriente límite.

**Palabras clave:** ruptura dieléctrica; aislador; simulación dinámica; rotura superficial; corriente de fuga

## Abstract

*The research consisted of analyzing the dielectric breakdown of insulators with superficial ruptures in a 69 kV transmission network through dynamic simulation. The study began with a 2D modeling of the suspension insulator ANSI type B C29.2-52-3 FOG using CAD software to define its properties and geometric dimensions. This model was exported to a dynamic simulation software called "FEMM", where it was necessary to define the electrical conductivity of each construction material of the insulator and apply an electrical voltage of 40 kV at the bottom of the insulator, while the reference voltage of 0 V was placed at the top. Five case studies were evaluated, each with different types of superficial ruptures. It was indicated that case 3 is the only one that presents correct functioning of the dielectric part of the insulator, despite having two superficial ruptures at the bottom. The electrical leakage current in that rupture does not exceed the limit current of 0.5128 amperes. On the other hand, cases 2, 4, and 5 present a dielectric breakdown that can cause electrical discharges. This is due to each of the leakage currents being higher than the limit current.*

**Keywords:** *dielectric breakdown; insulator; dynamic simulation; superficial rupture; leakage current*

**Fecha de recibido:** 03/02/2023

**Fecha de aceptado:** 28/05/2023

**Fecha de publicado:** 08/06/2023

## Introducción

La transmisión de energía eléctrica requiere una larga distancia de una infraestructura apropiada que permita el transporte seguro y confiable de la energía. Uno de los elementos de importancia que evitan que la corriente eléctrica fluya hacia la estructura de soporte y la tierra son los aisladores utilizados. Estos elementos tienden a sufrir roturas debido a diferentes factores externos, tales como la exposición a la intemperie, la contaminación del ambiente, la acumulación de suciedad, la caída de objetos, la vibración de la línea, entre otros. Estos factores pueden provocar la aparición de grietas o roturas superficiales en los aisladores, que pueden afectar la calidad del aislamiento, provocando la interrupción del suministro eléctrico para los usuarios.

Ante esta problemática, surge la necesidad de analizar la ruptura dieléctrica de los aisladores con roturas superficiales de una red de transmisión de 69 kV mediante la modelación matemática y simulación dinámica. Para lograr el objetivo planteado, se mencionan las siguientes interrogantes: ¿Qué efectos tiene la rotura superficial de los aisladores en la línea de transmisión de 69 kV en ELEPCO? ¿Cómo se puede simular dinámicamente la ruptura dieléctrica de un aislador que presenta una rotura superficial en la línea de transmisión?

Dentro de los estudios técnico-científico se han realizado diversos análisis que tienen relación con la ruptura dieléctrica de los aisladores en líneas de transmisión de energía eléctrica. Diversos autores han propuesto modelos matemáticos y simulaciones numéricas para desarrollar el análisis de los efectos de la contaminación

en los aisladores, mientras que otros han evaluado la influencia de los factores ambientales en la ruptura dieléctrica de los mismos. A continuación, se presentan diversos proyectos que tienen influencia con el objeto de estudio.

### **Antecedentes investigativos**

Según el proyecto de titulación de (García Meythaler, 2019) menciona que “se desarrolló un análisis de los aisladores cerámicos de la línea de alta tensión de 500 kV, los cuales por su ubicación geográfica son afectados por la caída de ceniza del volcán Cotopaxi. Como investigación se menciona que es de tipo experimental, al mostrar los niveles de contaminación que afectan al rendimiento de un aislador, para lo cual, se realizó un modelamiento matemático computacional y simulaciones, en donde como resultados se obtuvieron que es necesario tener una capa de 12 mm de ceniza volcánica en la parte superior e inferior del aislador, para que se produzca el efecto “flashover voltage” por lo que su corriente de fuga de 0,53 A es mayor que la corriente de fuga de 0,5128 A que es como máximo que puede circular a través de un aislador sin provocar daños en el sistema eléctrico.”

Dentro del proyecto de (Benguesmia, 2021) indica que “se analizó el impacto de la conductividad y la distribución de la contaminación en el comportamiento de un aislador de cerámica (pin 1512L) de las torres de transmisión, contaminado de manera artificial. Se realizó un modelo experimental en forma de disco que reproduce el modelo real del aislador 1512L. En el ensayo ejecutado en un laboratorio se determinó que el voltaje de arco y la corriente de fuga fueron afectadas por la conductividad y el ancho de la capa contaminante. El voltaje de arco disminuyó con el aumento de la conductividad superficial de la contaminación, y la corriente de fuga aumentó con el voltaje aplicado, la conductividad de la contaminación y el ancho de la capa contaminante.

En el artículo científico de (Farzaneth, Zhang, & Volat, 2018) menciona el efecto que tiene el diámetro de un aislador de tipo campana cubierto de hielo y su incidencia dentro de un voltaje disruptivo de descarga. Dentro del proyecto se utilizó una cadena corta de 5 unidades estándar IEEE, se realizó una variación del diámetro del aislador controlando el ancho de una capa de hielo acumulada artificialmente. Los resultados experimentales mostraron que el voltaje soportado al 50% disminuyó a medida que aumentó el ancho de la capa de hielo. Finalmente se propuso y se validó un modelo matemático que predice el voltaje crítico de descarga disruptiva de aisladores cubiertos de hielo. El modelo se aplicó a aisladores industriales con diferentes diámetros, en donde se demostró que los resultados del modelo y los experimentales tienen relación.

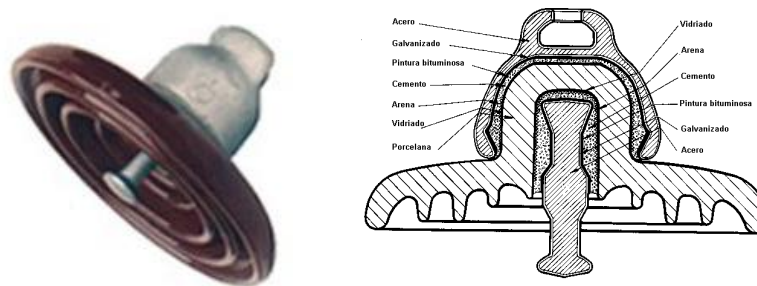
### **Aisladores en torres de transmisión**

Los aisladores cerámicos de tipo campana son mayormente utilizados en las torres de transmisión eléctrica y tienen la capacidad de soportar altos voltajes con la finalidad de mantener la integridad y seguridad de la línea eléctrica. (Morán Páez, 2018)

Estos aisladores están diseñados para soportar diversas condiciones ambientales, tales como:

- Temperaturas extremas
- Humedad
- Contaminación (polvo, suciedad, sal, entre otros)
- Ráfagas y cargas mecánicas

- Descargas atmosféricas (rayos)
- Movimientos sísmicos y vibraciones



**Figura 1.** Aislador tipo campana para torres de transmisión.

### Rotura de un aislador

La rotura superficial es uno de los principales mecanismos de falla de cualquier tipo de aislador eléctrico y principalmente de aquellos que se utilizan en las torres de transmisión. La tensión eléctrica y mecánica que se aplica al aislador puede provocar grietas y roturas en su superficie, razón por la cual la capacidad dieléctrica del aislador tiende a verse afectada e incluso provoca su destrucción. Otros factores que ocasionan la rotura superficial son la exposición a condiciones ambientales extremas, el envejecimiento del material, la fatiga mecánica y la vibración, por lo tanto, es fundamental monitorear regularmente el estado de los aisladores para detectar cualquier signo de rotura superficial y tomar medidas preventivas para evitar la interrupción del suministro eléctrico. (Celis Peláez, 2018)



**Figura 2.** Rotura de un aislador.

### Simulación dinámica

Para determinar la prevención de fallas en los aisladores, se utilizan simulaciones dinámicas mediante softwares computacionales, como FEMM (*Finite Element Method Magnetics*), este software tiene la capacidad de determinar la distribución de voltaje y las corrientes de fuga en los aisladores. Estas simulaciones contribuyen a la identificación de las áreas más críticas de los aisladores y predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones ambientales. Por lo tanto, es posible determinar el fallo total de un aislador y lógicamente de una línea eléctrica para la toma de preventivas y de esta manera evitar interrupciones en el suministro de energía eléctrica. (Ramírez, Cabezas, Jiménez, Canelos, & Escobar, 2020)



**Figura 3.** Simulación dinámica de un aislador.

## **Materiales y métodos**

Dentro de la parte metodológica se realiza un modelado del aislador en un software CAD para definir las propiedades geométricas del aislador eléctrico, para posteriormente desarrollar la simulación dinámica mediante el uso del software FEMM, en donde se configuran los valores de conductancia en los materiales del aislador, permitiendo evaluar su comportamiento ante diferentes condiciones de operación. Se plantearán cuatro casos de estudio, cada uno con diferentes tipos de roturas en los aisladores, para determinar las corrientes de fuga que se presentan en cada uno de ellos. Finalmente, se ejecutará la simulación en FEMM para obtener los resultados y analizar las corrientes de fuga ante los diferentes tipos de rotura.

### **Aislador a evaluarse**

Los aisladores ANSI 52.3 de tipo suspensión son ampliamente utilizados en los sistemas de transmisión y distribución eléctrica debido a su capacidad para soportar altos voltajes y mantener la integridad de la línea eléctrica. Sin embargo, es importante destacar que no todos los tipos de aisladores tienen las mismas características, ya que estas varían dependiendo del voltaje con el que trabajan. Entre las características que varían se destaca el material del aislador, que puede ser cerámico o vidrio, sus dimensiones, como el diámetro y la altura que tienen relación con la distancia de fuga. Para lo cual se ha seleccionado el aislador ANSI tipo B C29.2-52-3 FOG indicado en la figura 1.

### **Modelado en CAD**

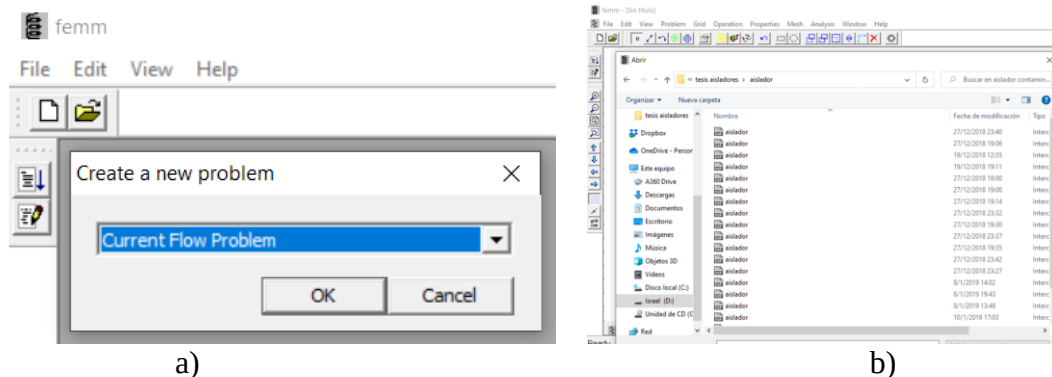
En la figura 4 se observa el desarrollo del modelado CAD en 3 dimensiones y 2 dimensiones del aislador eléctrico de suspensión, en relación a sus mediciones, se tomaron los valores que menciona la normativa ANSI. Una vez obtenido el modelo en 2D, se trasladará al software FEMM para su evaluación, lo que permitirá analizar su comportamiento ante diferentes condiciones de operación.



**Figura 4.** Modelado CAD de un aislador.

### Importación del modelado CAD al software FEMM

Una vez se ha completado el modelado CAD en dos dimensiones del aislador eléctrico, se procede a utilizar el software de simulación dinámica FEMM. Para ello, es necesario seleccionar la opción de "problema de flujo de corriente", como se muestra en la figura 5 a), y posteriormente importar el archivo del modelado del aislador (figura 5 b). De tal manera que se podrá realizar una evaluación precisa acerca del comportamiento del aislador ante las roturas superficiales que se presenten. Es importante señalar que el uso de FEMM dentro de la Ingeniería Eléctrica permite el estudio y evaluación de los sistemas eléctricos de potencia de tal manera que se realizan análisis en diferentes comportamientos bajo ciertas condiciones.

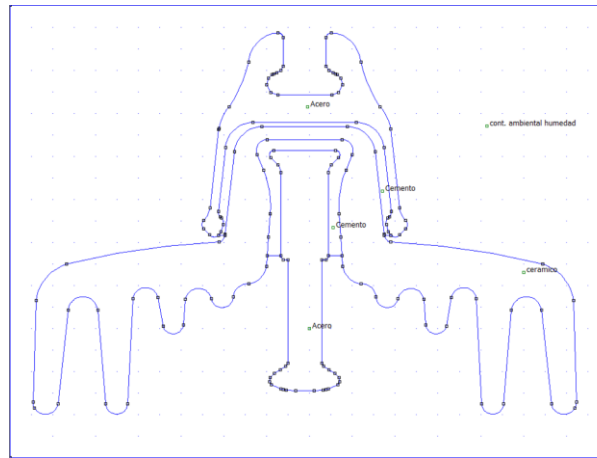


**Figura 5.** a) Selección del problema; b) Importación del modelado CAD de un aislador.

### Selección de los materiales

En la figura 6 se pueden observar los diferentes materiales utilizados en la construcción del aislador. En el software FEMM, estos materiales se asignan a las diferentes zonas de construcción del aislador. Para realizar el análisis de corriente de fugas, es fundamental asignar la conductancia eléctrica correspondiente a cada uno de los materiales. Los valores de conductancia eléctrica de cada material se encuentran detallados en la tabla 1.





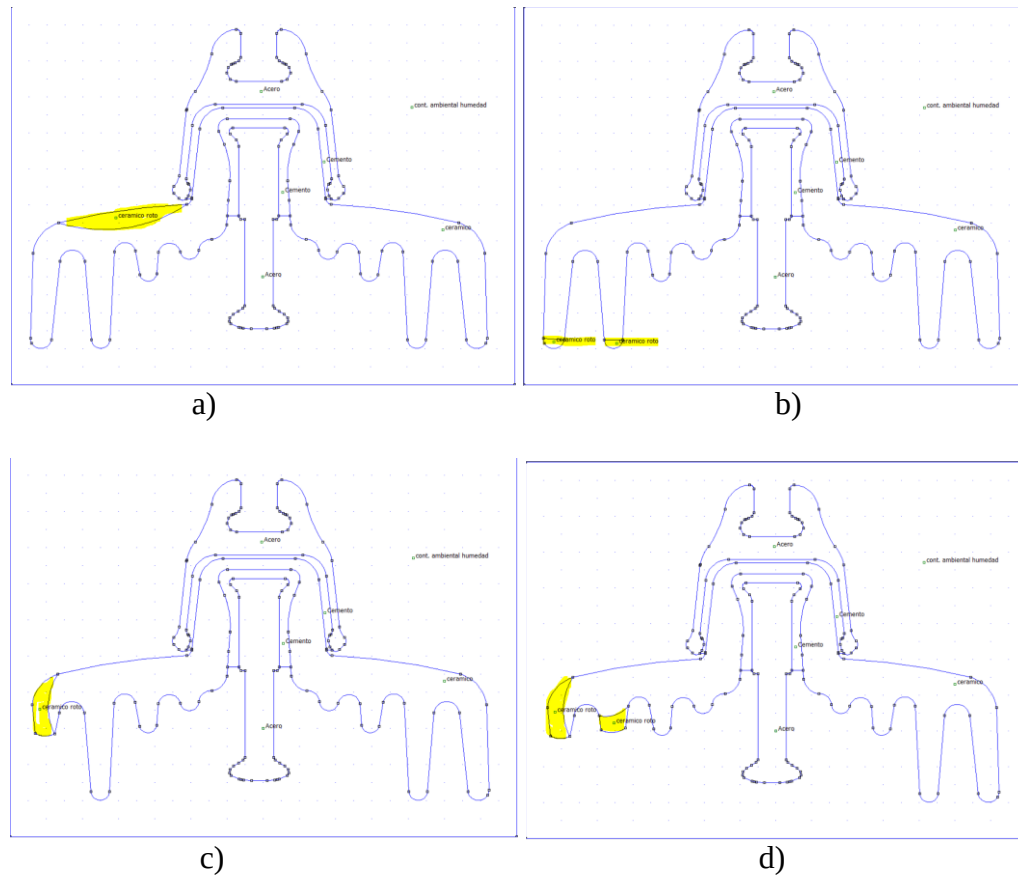
**Figura 6.** Colocación de los materiales de construcción del aislador.

**Tabla 1.** Conductancia eléctrica de los materiales.

| Material              | Valor de conductancia eléctrica (S/m) |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Aire                  | $1 \times 10^{-14}$                   |
| Acero                 | $6 \times 10^8$                       |
| Cemento               | 0,0053                                |
| Cerámica              | $1 \times 10^{-8}$                    |
| Humedad               | 0,00015                               |
| Rotura de porcelanato | $1 \times 10^{-7}$                    |

### Casos de estudio

La simulación dinámica del aislador eléctrico con el software FEMM contempla cinco tipos de estudio. El primer caso corresponde a un aislador en condiciones normales (figura 6), mientras que el segundo caso se refiere a un aislador con rotura superficial en la parte superior (figura 7a). El tercer caso corresponde a un aislador con rotura superficial en las puntas de la parte inferior (figura 7b), mientras que el cuarto caso se refiere a un aislador con rotura superficial en la primera capa exterior (figura 7c). Por último, el quinto caso se refiere a un aislador con rotura superficial en la capa interior (figura 7d). La simulación de estos casos permitirá el análisis del comportamiento del aislador ante diferentes tipos de roturas, de esta manera se puede visualizar e interpretar las gráficas de la corriente de fuga y determinar en qué caso de estudio el aislador tiende a sufrir una destrucción total de su aislamiento.



**Figura 7.** Casos de estudio de los aisladores.

### Mallado del aislador

Antes de realizar el mallado de los aisladores en los diferentes casos de estudio, se debe asignar un valor de tensión eléctrica y el valor de la referencia en cada una de las partes del aislador. El valor de la tensión a evaluarse se da considerando un estudio de una línea de transmisión de 69 kV, para lo cual la tensión de fase quedaría bajo la siguiente ecuación:

$$V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

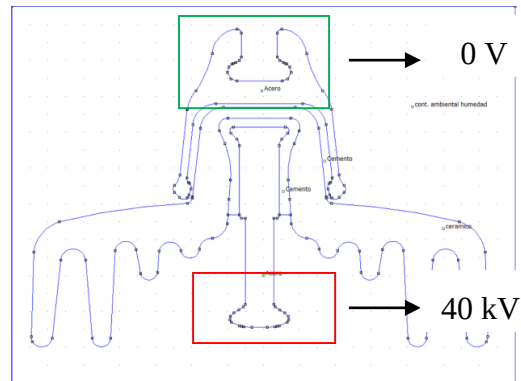
En donde:

$$V_f = \frac{69 \text{ kV}}{\sqrt{3}}$$

$$V_f = 39,83 \text{ kV} \approx 40 \text{ kV}$$

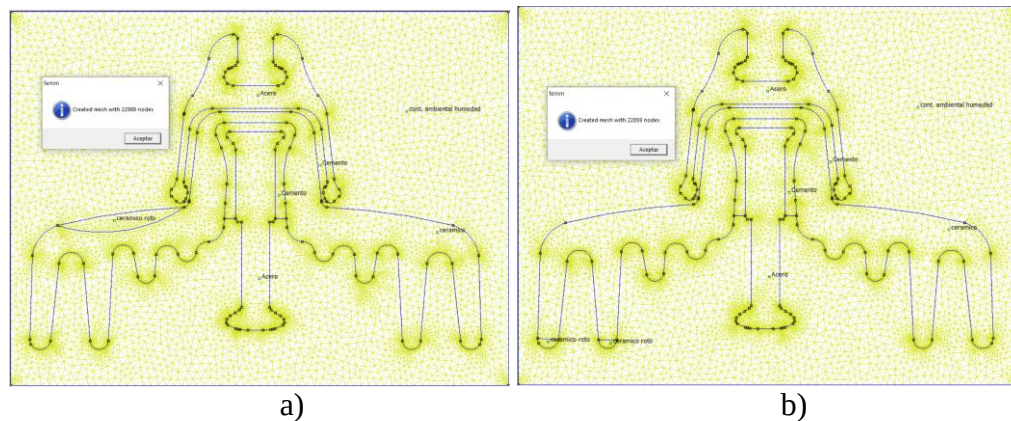


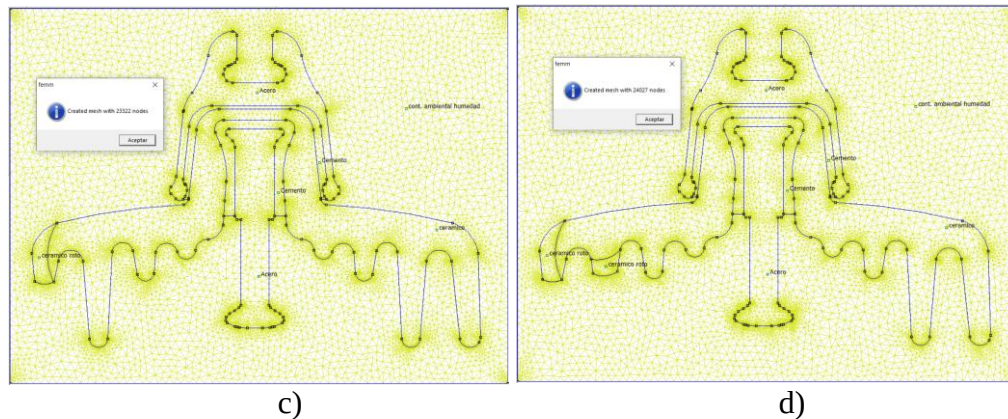
Por lo tanto, la tensión a colocarse es de 40 kV y la referencia de tierra sería 0 V, en la figura 8 se puede observar la distribución de estas tensiones dentro del aislador.



**Figura 8.** Tensiones eléctricas de trabajo.

Una vez seleccionada la tensión eléctrica de trabajo, se procede a ejecutar el mallado de los diferentes casos de estudio planteados, este proceso es fundamental en la simulación numérica de sistemas físicos complejos, ya que permite discretizar el dominio de análisis en pequeñas regiones que pueden ser resueltas numéricamente. El software FEMM utiliza el método de elementos finitos para resolver las ecuaciones de Maxwell que describen el comportamiento de campos eléctricos y magnéticos, dentro de esta investigación el comportamiento del aislador eléctrico ante roturas superficiales.





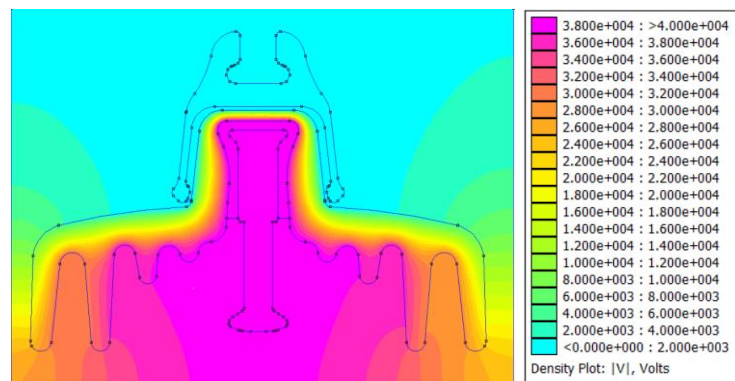
**Figura 9.** Mallado de los casos de estudio.

Una vez realizado el mallado en los diferentes casos de estudio, finalmente se procede a ejecutar la simulación numérica de elementos finitos para la obtención de los resultados y en base a ellos realizar un análisis acerca de las corrientes de fuga en los aisladores.

## Resultados y discusión

### Caso 1 Aislador en condiciones normales

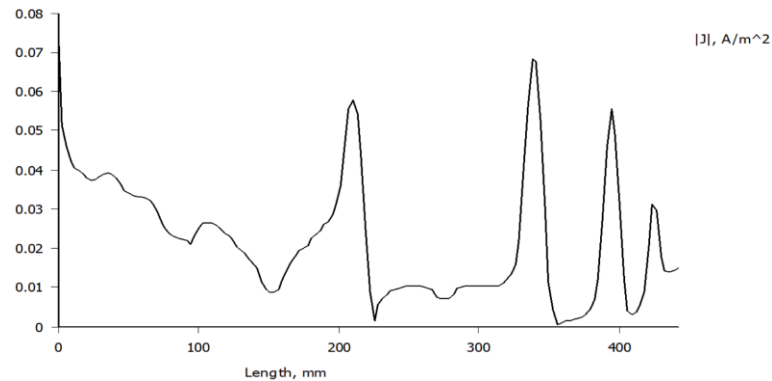
El primer caso de estudio mediante la simulación dinámica del aislador eléctrico utilizando el software FEMM corresponde a un aislador en condiciones normales. Para evaluar el comportamiento del aislador en estas condiciones, el software muestra una distribución de la tensión eléctrica en todo el aislador, esto se puede observar en la figura 10 y para una mejor comprensión de los resultados de todos los casos, se presenta una tabla con los valores de tensión eléctrica y los respectivos colores que indican los diferentes niveles de tensión.



**Figura 10.** Distribución de la tensión eléctrica para el caso 1.

Dentro de este caso y con efectividad se muestra que el aislador bajo las condiciones normales cumple la función dieléctrica, la mayor distribución de la tensión se tiene precisamente por debajo del aislador, en esta parte es en donde la línea de 40 kV tiene su recorrido. (García Meythaler, 2019) menciona los siguiente “que

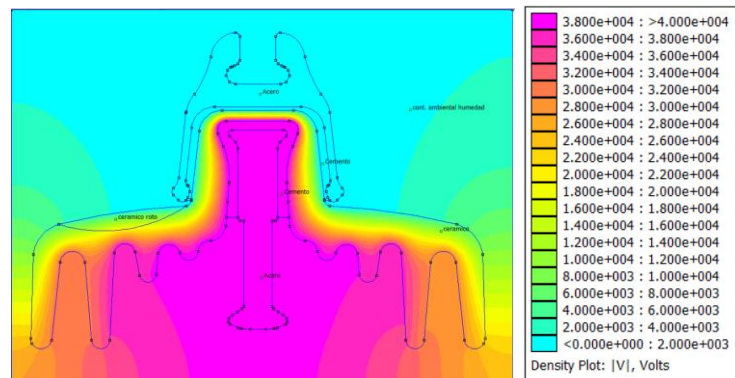
para que exista un voltaje de ruptura dieléctrica la corriente de fuga no debe sobrepasar los 0,5128 amperios”, por lo tanto, en la gráfica de la figura 11 se presenta la distribución de las corrientes eléctricas de la parte izquierda del aislador, en donde se indica que la mayor cantidad de corriente eléctrica es de 0,0725 amperios que es un valor supremamente menor al valor base de ruptura dieléctrica.



**Figura 11.** Corriente eléctrica caso 1.

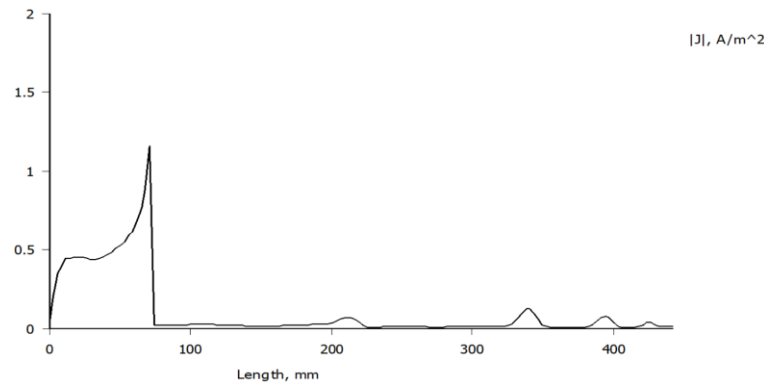
### Caso 2 Aislador con rotura superficial en la parte superior

En el segundo caso de estudio se presenta a un aislador con una rotura superficial en la parte superior, en donde en la figura 12 se indica la distribución del voltaje en todo el aislador, en donde precisamente en la zona de ruptura la tensión varía entre los 22 kV a 8 kV.



**Figura 12.** Distribución de la tensión eléctrica para el caso 2.

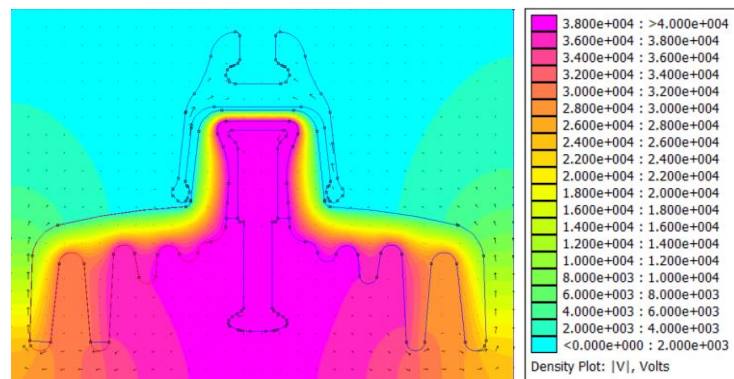
En la figura 13 se tiene una gráfica de la corriente eléctrica en la zona izquierda (zona de la rotura superficial) del aislador, en donde indica que existe un pico alto de corriente de fuga que alcanza un máximo de 1,1567 amperios superando el límite de los 0,5128 amperios, lo que significa que el aislador bajo esas condiciones presenta una ruptura dieléctrica por medio de la tensión y la corriente de fuga, generando de esta manera una falla en el aislador.



**Figura 13.** Corriente eléctrica caso 2.

### Caso 3 Aislador con rotura superficial en las puntas de la parte inferior

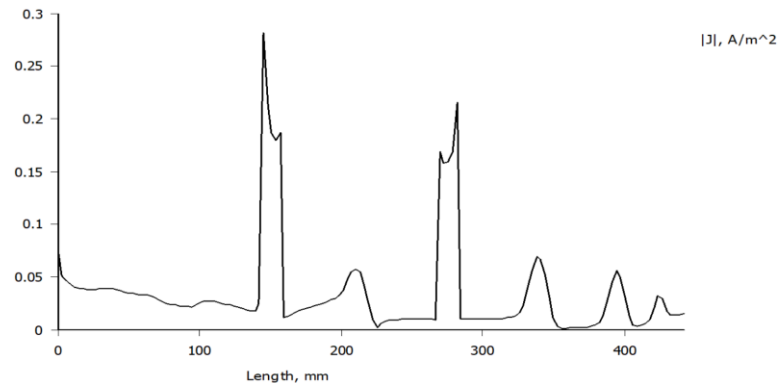
En la figura 14 se muestra el tercer caso de estudio, donde se presenta la distribución del voltaje en todo el aislador. En esta simulación, se observa que la zona de ruptura del aislador presenta valores de tensión eléctrica que oscilan entre los 36 kV y los 30 kV.



**Figura 14.** Distribución de la tensión eléctrica para el caso 3.

En la gráfica de la figura 15 se presentan los dos picos mas altos de corriente de fuga, el primer valor de 0,2809 amperios y el segundo valor de 0,2154 amperios, estos valores corresponden específicamente a las roturas de los aisladores y lo importante es que no sobrepasa el límite de ruptura dieléctrica, por lo tanto, no existe falla en el aislador bajo estas condiciones.

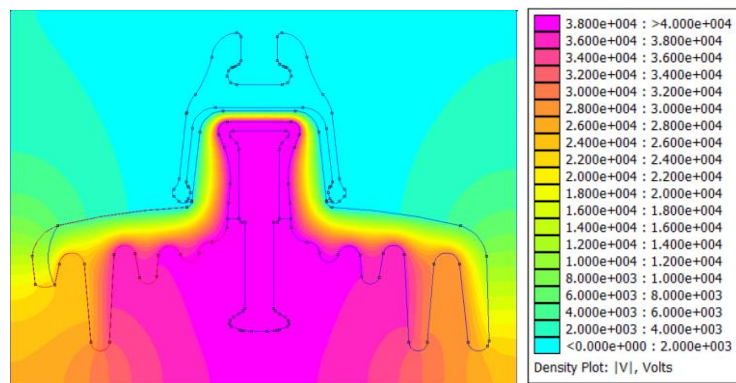




**Figura 15.** Corriente eléctrica caso 3.

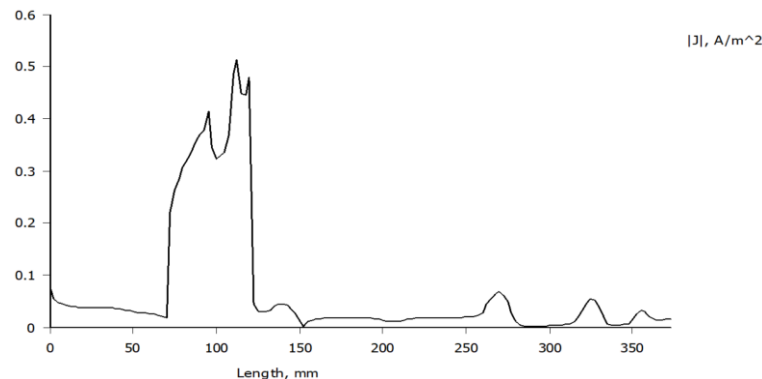
#### Caso 4 Aislador con rotura superficial en la primera capa exterior

La figura 16 muestra la distribución de la tensión eléctrica en el caso 4 de estudio, donde se puede apreciar que se presentan valores altos de tensión eléctrica, alrededor de los 30 kV, en comparación con los valores esperados en condiciones normales, que están alrededor de los 10 kV. Este resultado puede sugerir una falla dieléctrica en la primera capa exterior del aislador. Con certeza se realiza la evaluación de las corrientes e fuga alrededor de la rotura superficial.



**Figura 16.** Distribución de la tensión eléctrica para el caso 4.

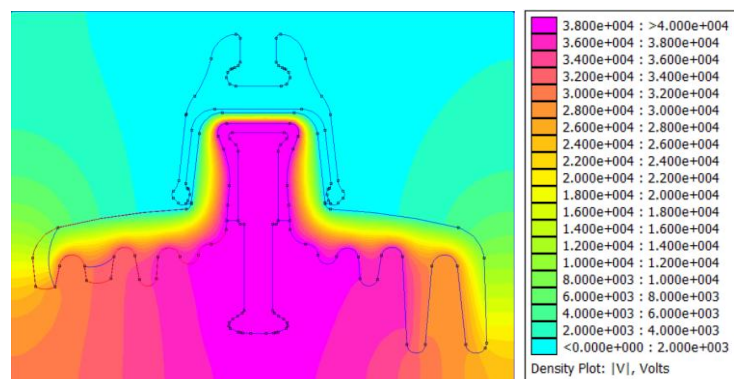
La figura 17 presenta la gráfica de las corrientes de fuga alrededor de la rotura superficial del aislador, en donde menciona que el pico más alto de corriente eléctrica es de 0,513 amperios, superando ligeramente los 0,5128 amperios para provocar una ruptura dieléctrica. Por lo tanto, el aislador bajo estas condiciones tiende a provocar fallas eléctricas dentro del sistema por falla en aislamiento.



**Figura 17.** Corriente eléctrica caso 4.

### Caso 5 Aislador con rotura superficial en la primera capa exterior y capa interior

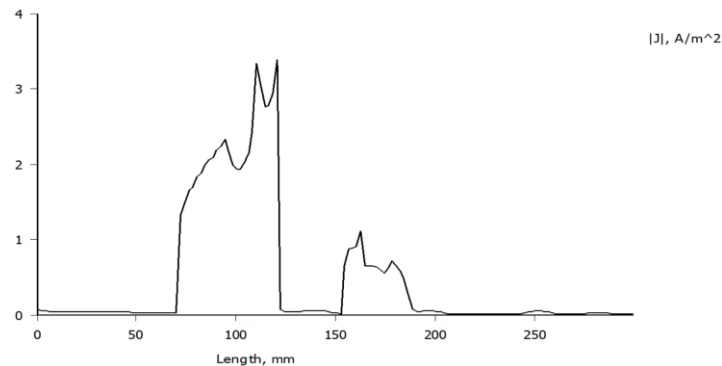
Dentro del caso 5 se tiene la pérdida de dos partes del aislador eléctrico, para lo cual, dentro del caso 4 se obtuvo como resultado que el aislador sufre una ruptura dieléctrica, en este caso se tiene lógicamente que comprobar que existe esa ruptura, por lo tanto, en la figura 18 se muestra la distribución de la tensión eléctrica que están alrededor de los 34 kV hasta los 30 kV, indicando que existe una situación anormal por falla del aislamiento.



**Figura 18.** Distribución de la tensión eléctrica para el caso 4

En la figura 19 se presenta la gráfica de las corrientes de fuga alrededor de la rotura superficial del aislador, en este caso de estudio, se observa que el pico más alto de corriente eléctrica supera significativamente los 0,5128 amperios, alcanzando valores de corriente de hasta 3,346 amperios. Estos valores son indicativos de una falla dieléctrica en el aislador, lo que puede provocar fallas eléctricas en el sistema debido a una falta de aislamiento adecuado. Estos resultados permiten tomar decisiones informadas para el diseño y operación segura de sistemas eléctricos, garantizando un suministro de energía eléctrica confiable y seguro para los usuarios finales.

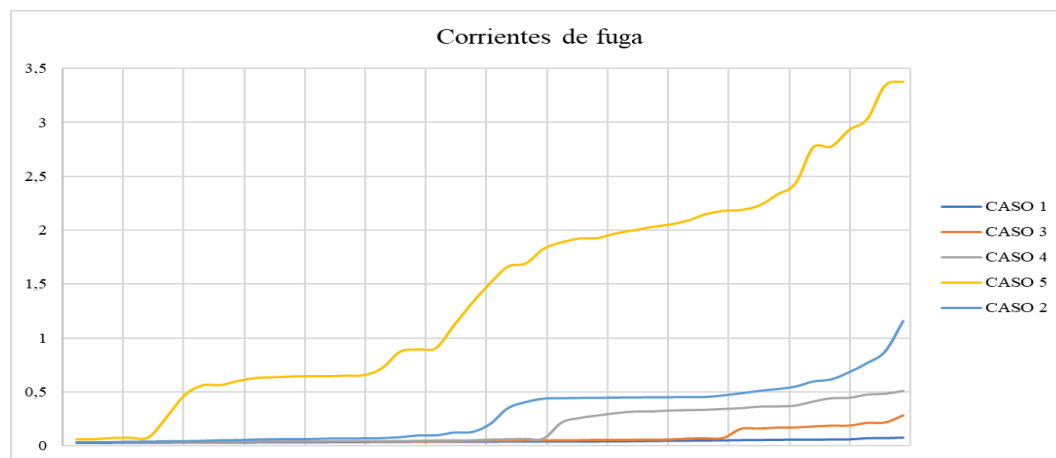




**Figura 19.** Corriente eléctrica caso 5.

### Análisis de discusión

El análisis de los resultados obtenidos a partir de la simulación de diferentes casos de estudio de aisladores eléctricos mediante el software FEMM es muy importante para comprender el comportamiento de estos dispositivos en diferentes situaciones y condiciones. En la figura 20 se presenta la gráfica de la corriente eléctrica de manera ordenada en donde se observa una comparación de los 5 casos de estudio, en donde indica que solamente los valores de corriente del caso 1 y el caso 3 están por debajo del rango máximo establecido de corriente de ruptura dieléctrica que es de 0,5128 A, lo que indica que no existe ningún tipo de ruptura.



**Figura 20.** Corriente eléctrica para los casos de estudio.

En general, estos resultados muestran la importancia de evaluar el comportamiento de los aisladores eléctricos en diferentes situaciones y condiciones para garantizar un funcionamiento seguro y confiable de los sistemas eléctricos. A continuación, se presenta una tabla en donde se indica la comparación de los casos de estudio indicando que los casos 2, 4 y 5 presentan fallos en el sistema eléctrico por la ruptura dieléctrica.

**Tabla 2.** Comparación de los casos de estudio.

| Caso de estudio | Descripción del caso                                           | Corriente máx. de fuga | Corriente límite | Observación                          |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------------|
| 1               | Condiciones normales                                           | 0,0724 A               | 0,5128 A         | Funcionamiento del sistema eléctrico |
| 2               | Rotura superficial en la parte superior                        | 1,1567 A               |                  | Falla en el sistema eléctrico        |
| 3               | Rotura superficial en las puntas de la parte inferior          | 0,2809 A               |                  | Funcionamiento del sistema eléctrico |
| 4               | Rotura superficial en la primera capa exterior                 | 0,5129 A               |                  | Falla en el sistema eléctrico        |
| 5               | Rotura superficial en la primera capa exterior y capa interior | 3,3765 A               |                  | Falla en el sistema eléctrico        |

La rotura superficial de los aisladores en una línea de transmisión de 69 kV puede tener varios efectos negativos en la operación del sistema eléctrico, puede provocar una disminución en la capacidad de aislamiento del sistema, generando corrientes de fuga como se indicaron en los resultados y sobretensiones en la línea de transmisión, afectando de manera directa o indirectamente el rendimiento y la vida útil de los equipos conectados a la línea de transmisión, como transformadores, interruptores, entre otros.

## Conclusiones

Se realizó un análisis la ruptura dieléctrica mediante el uso software de simulación FEMM, evaluando diferentes casos de estudio relacionados con la rotura superficial de los aisladores eléctricos de suspensión ANSI tipo B C29.2-52-3 FOG utilizados en las torres de transmisión de 69 kV, en donde se indica que la corriente de fuga en las roturas no debe superar los 0,5128 amperios que es la que produce un el fallo en el sistema.

Utilizando un software CAD se modelaron los diferentes casos de estudio definiéndose de esta manera las propiedades geométricas del aislador eléctrico, este modelado se exportó al software FEMM en donde se configuraron los valores de conductancia eléctrica de los materiales de construcción del aislador como: cerámica, acero, cemento, humedad, rotura de cerámica y aire.

El caso 3 es el único caso que presenta un funcionamiento correcto de la parte dieléctrica del aislador, a pesar de tener dos roturas superficiales en la parte inferior, la corriente eléctrica de fuga en esa rotura no supera la corriente límite de 0,5128 amperios, por otra parte, para los casos 2, 4 y 5 presentan notablemente una ruptura dieléctrica que puede ocasionar descargas eléctricas y provocar daños en el sistema, esto se debe a que cada una de las corrientes de fuga es superior a la corriente límite y tienen un crecimiento constante en función de la gravedad de la rotura.

## Referencias

- Beleño, S., & Martínez, C. (07 de 04 de 2020). Inspección de aisladores en líneas de transmisión eléctrica usando inteligencia artificial. Obtenido de <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojs/viceinves/index.php/rcta/article/view/25/16>
- Benguesmia, H. (06 de 07 de 2021). Estudio experimental del efecto de la contaminación sobre el comportamiento de aisladores de alta tensión bajo corriente alternativa. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-017-0479-1#citeas>
- Celis Peláez, S. (14 de 09 de 2018). Estandarización y mejoramiento de variables críticas de proceso en la producción de aisladores poliméricos. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/13427>
- Farzaneth, Zhang, & Volat, C. (10 de 04 de 2018). Efecto del diámetro del aislador en el voltaje de descarga disruptiva de CA de una cadena de aisladores cubiertos de hielo. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1624271>
- García Meythaler, N. A. (10 de enero de 2019). Modelamiento y simulación del efecto “flashover voltage” en los aisladores de suspensión de las líneas de transmisión de 500kv, ante el impacto de la caída de ceniza del volcán cotopaxi en la zona de mayor influencia. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/23109/1/T-ESPEL-EMI-0386.pdf>
- Mizuno, Y., Kusada, H., & Naito, K. (04 de 06 de 1997). Efecto de las condiciones climáticas sobre la contaminación del voltaje de descarga disruptiva de los aisladores. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/598284>
- Morán Páez, J. L. (21 de 02 de 2018). Determinación del Voltaje en Cadenas de Aisladores de Torres de Transmisión mediante el Método de Elementos Finitos. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19222>
- Ramírez, J., Cabezas, K., Jiménez, P., Canelos, R., & Escobar, B. (26 de 05 de 2020). Cálculo de la distribución de voltajes en las cadenas. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v11n3/1390-6542-enfoqueute-11-03-00001.pdf>
- Segovia, C., & Zambrano, C. (12 de 08 de 2021). Desarrollo de un modelo matemático en Matlab para el análisis de la ruptura dieléctrica en aisladores de porcelana, polímero y vidrio a nivel de 13,8 kv. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7797>

Yaji, K., Homma, H., & Aso, T. (01 de 12 de 2018). Evaluation on flashover voltage property of snow accreted insulators for overhead transmission lines, part II - flashover characteristics under salt contaminated snowstorm. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/703150>