



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**MITIGACIÓN DEL EFECTO CORONA EN REDES DE
TRANSMISIÓN, APLICANDO EL PRINCIPIO DE FARADAY.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

CARLOS ANDRÉS RUIZ PARRALES

DIRECTOR: Lic. IVES TORRIENTE GARCÍA, *MSc*

Santo Domingo, Mayo 2019

© Universidad UTE. 2019

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723917009
APELLIDO Y NOMBRES:	Ruiz Parrales Carlos Andrés
DIRECCIÓN:	Urb. Bermúdez
EMAIL:	carlos_ae_hotmail.es
TELÉFONO FIJO:	2761-286
TELÉFONO MÓVIL:	0986848432

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Mitigación del efecto corona en redes de transmisión, aplicando el principio de Faraday.
AUTOR O AUTORES:	Ruiz Parrales Carlos Andrés
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	27/05/2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Lic. Ives Torriente García, MsC
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	
RESUMEN: Mínimo 180 y máximo 250 palabras	El presente trabajo de titulación está constituido como primer capítulo la introducción que se enfoca en recopilar información de antecedentes y hechos relacionados a la disminución o mitigación del efecto corona en redes de transmisión aplicando el principio de Faraday, a partir de este problema se ha propuesto como objetivo investigar la influencia de la jaula de Faraday en la atenuación de dicho fenómeno, teniendo presente que las líneas son afectadas y poseen pérdidas de energía provocadas por el efecto mencionado, esto provoca una mala calidad energética, altos costos de distribución y contaminación eléctrica debido a que en su ocurrencia se produce dióxido de nitrógeno (NO ₂). En el segundo capítulo se desarrolla la

metodología de este proyecto que se ha realizado aplicando el método analítico-deductivo de investigación mediante un circuito eléctrico con diferentes cargas, para este proceso se realizó con y sin una malla de aluminio en un tramo del conductor, simulando una jaula de Faraday, esto permitió observar y analizar experimentalmente el comportamiento del fenómeno corona, además de los parámetros eléctricos para registrar criterios generales sobre el proceso efectuado, y finalmente en el tercer capítulo se plasman los resultados obtenidos que a partir de las mediciones efectuadas en el experimento se logró verificar el comportamiento de la caída de tensión sin implementar el aluminio y seguidamente los resultados aplicando la cobertura de aluminio respetando así el diseño experimental propuesto para este estudio, y teniendo siempre presente que para el análisis de este fenómeno existen diversos factores a tener en cuenta los cuales son: configuración del conductor, factores superficiales y climáticos.

PALABRAS CLAVES:

Efecto Corona, Líneas de transmisión, Jaula de Faraday, Mitigación, Conductores.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



RUIZ PARRALES CARLOS ANDRÉS
C.C. 1723917009

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **RUIZ PARRALES CARLOS ANDRÉS**, CI 1723917009 autor del proyecto titulado: **Mitigación del efecto corona en redes de transmisión, aplicando el principio de Faraday** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 27 de Mayo de 2019



RUIZ PARRALES CARLOS ANDRÉS
C.C. 1723917009

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título **“Mitigación del efecto corona en redes de transmisión, aplicando el principio de Faraday.”**, para aspirar al título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO** fue desarrollado por **RUIZ PARRALES CARLOS ANDRÉS**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a las evaluación respectiva de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ives Torriente García', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'I' and 'T'.

Lic. Ives Torriente García, *MSc*

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.C. 1726990086

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Yonel y Aracely quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades que presenta la vida y siempre seguir adelante.

A mi hermana y a mi novia por estar siempre presentes, acompañándome en todo momento y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa tan importante.

Finalmente a todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de la existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias infinitas a mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a todos mis docentes de la carrera Ingeniería Electromecánica de la Universidad UTE-SD, por haber compartido sus valiosos conocimientos que me ayudaron a crecer día a día como profesional, de manera especial, al Lic. Ives Torriente García, MsC tutor de mi trabajo y principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. MARCO TEÓRICO	6
1.1.1. LINEAS DE TRANSMISIÓN	6
1.1.2. EFECTO CORONA	8
1.1.2.1. Origen físico del efecto corona	11
1.1.2.2. Efecto corona en líneas de transmisión.	12
1.1.2.3. Variables que intervienen en el efecto corona	13
1.1.3. TIPOS DE CORONA.	15
1.1.4. JAULA DE FARADAY.	17
1.1.5. COMPORTAMIENTO DEL ALUMINIO CON LA ELECTRICIDAD	20
1.1.6. OBJETIVO GENERAL.	22
1.1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	22
2. METODOLOGÍA	24
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
2.1.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	24
2.1.2. MÉTODO ANALÍTICO	24
2.1.3. MÉTODO DEDUCTIVO	25
2.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO	25
2.3. PASOS DE ANÁLISIS	27
2.3.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS	27
2.3.2. REVISIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	27
2.3.3. VARIABLES OBTENIDAS EN LA MEDICIÓN.	27
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS	29
3.2. MEDICIONES OBTENIDAS	29
3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	33
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	35
4.1. CONCLUSIONES	35
4.2. RECOMENDACIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Valores superficiales de "m"	14
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los materiales conductores	19
Tabla 3. Circuito experimental con resistencia variable de 300Ω	29
Tabla 4. Circuito experimental con un motor de 1,1 kW	29
Tabla 5. Circuito experimental con una Resistencia variable	30
Tabla 6. Circuito experimental con un motor de 1,1 kW	31
Tabla 7. Cálculo del % de Reducción	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Líneas eléctricas de transmisión	6
Figura 2. Elementos de Línea de Transmisión de Potencia Aérea.	7
Figura 3. Línea de transmisión con fenómeno luz violeta	10
Figura 4. Caja metálica para Jaula de Faraday	17
Figura 5. Jaula de Faraday	18
Figura 6. Comparación de conductores a igualdad de resistencia	18
Figura 7. Apantallamiento eléctrico	20
Figura 8. Efecto de láminas de aluminio	21
Figura 9. Circuito sin malla de aluminio	26
Figura 10. Circuito con malla de aluminio	26
Figura 11. Comparacion 1	30
Figura 12. Comparacion 2	31

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1 CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO (#8 AWG).	44
ANEXO 2 CALIBRE DE LOS CONDUCTORES DE COBRE.	44
ANEXO 3 RESISTENCIA VARIABLE	45
ANEXO 4 MOTOR DE 1.1 KW	45
ANEXO 5 MULTÍMETRO.	45
ANEXO 6 TABLERO DE PRUEBAS PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS.	46
ANEXO 7 ALUMINIO DE LATAS DE CERVEZA.	46
ANEXO 8 MEDICIÓN CON UNA RESISTENCIA VARIABLE SIN MALLA	47
ANEXO 9 MEDICIÓN DE RESISTENCIA VARIABLE CON MALLA.	47
ANEXO 10 ESTADO DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION	47
ANEXO 11 MONTAJE DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	48

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está constituido como primer capítulo la introducción, que se enfoca en recopilar información de antecedentes y hechos relacionados a la disminución o mitigación del efecto corona en redes de transmisión aplicando el principio de Faraday, a partir de este problema se ha propuesto como objetivo investigar la influencia de la jaula de Faraday en la atenuación de dicho fenómeno, teniendo presente que las líneas son afectadas y poseen pérdidas de energía provocadas por el efecto mencionado, esto provoca una mala calidad energética, altos costos de distribución y contaminación eléctrica debido a que en su ocurrencia se produce dióxido de nitrógeno (NO_2). En el segundo capítulo se desarrolla la metodología de este proyecto, que se ha realizado aplicando el método analítico-deductivo de investigación mediante un circuito eléctrico con diferentes cargas, para este proceso se realizó tanto con el uso de una malla de aluminio como sin la misma, en un tramo del conductor, simulando una jaula de Faraday, esto permitió observar y analizar experimentalmente el comportamiento del fenómeno corona, además de los parámetros eléctricos para registrar criterios generales sobre el proceso efectuado, y finalmente en el tercer capítulo se plasman los resultados que a partir de las mediciones efectuadas en el experimento se logró verificar el comportamiento de la caída de tensión sin implementar el aluminio y seguidamente los resultados aplicando la cobertura de aluminio respetando así el diseño experimental propuesto para este estudio, y teniendo siempre presente que para el análisis de este fenómeno existen diversos factores a tener en cuenta, los cuales son: configuración del conductor, factores superficiales y climáticos.

Palabras Clave:

Efecto Corona, Líneas de transmisión, Jaula de Faraday, Mitigación, Conductores.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los efectos de la transmisión de la corriente eléctrica en las redes de alta tensión es importante para brindar un adecuado servicio eléctrico, uno de los efectos que requieren de investigaciones para reducir su magnitud en los procesos de transmisión es el efecto corona. Según (Michaud , 2013) el fuego de San Telmo es registrada como la primera manera de efecto corona debido al caso donde en el mar se evidenciaba clima tormentoso surgían flamas rojizas o azuladas a manera de luces en la superficie de los mástiles de las barcas. Los tripulantes vinculaban lo ocurrido como manera de protección dándole la definición de su patrono, Erasmo de Formia (Sant Elmo). A principios del siglo XVII por primera vez mediante investigaciones de la electrostática se observó en el laboratorio el similar fenómeno. Regularmente, se le define como corona. Actualmente ya de manera común se usa el nombre de efecto corona para definir este fenómeno de descarga de gas eléctrico externo.

En los últimos años la matriz energética se modificó en el Ecuador todo esto se dio con la construcción de nuevas centrales energéticas, en este proceso implica el estudio de los efectos que se generan en la transportación de energía. (Ortiz, 2015) Asevera que por primera vez las líneas de transmisión en el Ecuador están construidas a un rango de voltaje de 500 kV, mismas que sueltan la energía producida en la más importante y grande central hidroeléctrica del país Coca Codo Sinclair. A este nivel de voltaje la merma producida por el efecto corona son significativas en el diseño y operación de una línea de transmisión, tal es el caso, de los resultados manifestados por el efecto de Jaula de Faraday.

El aumento en el consumo de energía eléctrica ha sido cubierto por centrales de mayor potencia entre ellas la mencionada anteriormente y redes de transporte de energía de tensiones cada vez más altas. Este aspecto, que las líneas de transmisión ocupan un lugar importante dentro de este tipo de contaminación, así como la toma de conciencia respecto de preservar el medio ambiente, ha hecho incrementar la preocupación por la contaminación eléctrica, ya tanto por los territorios afectados y las magnitudes de estas. (Ortiz L. , Manifestaciones del efecto corona en línea de transmision de corriente alterna, 2014) .

Uno de los fenómenos de mayor formación en las líneas de alta tensión, se conoce como el efecto corona, el cual es formado a causa de la ionización del aire que confina a los conductores de alta tensión con sección circular, se presenta como una aureola luminosa que toma forma de una corona, y cada vez que la tensión sea mayor esta aumentará su luminosidad y su

temperatura. En este caso se efectuara una transformación a un tono rojizo si es leve, y a uno azulado en caso de ser fuerte, en el período donde las partículas del aire se ionizan, y se convierten en guías de la electricidad, donde los electrones que circulan por el cable pasan por el aire convirtiendo la temperatura en el gas (Huamaní, 2015).

Por otra parte el autor (Nava Bustillo, 2012) hace referencia que el gas ionizado se activa químicamente a través de un proceso en el que crean gases como el Ozono (O_3) y monóxido de nitrógeno (NO), los cuáles se convierten en dióxido de nitrógeno (NO_2) y ácido nítrico en ambientes mojados. Las redes eléctricas son afectadas y corroídas cuando este fenómeno se produce de forma incontrolada. Por otra parte (Osorio, 2015) indica que el crecimiento e intensidad de las descargas en el efecto corona es desarrollado por otras variables tales como: Gradiente superficial, estado de la superficie del conductor, densidad relativa del aire y el efecto del agua en el conductor.

Por otra parte el autor (Matés Crespo, 2015) complementa, que, en el Ecuador por su ubicación geográfica y a la pluralidad de alturas determinada por la cordillera de los Andes, presenta cambios notables en el clima a breves distancias con diferentes tipos de humedad y temperatura. Condiciones que son inesperadas y que favorecen al deterioro y corrosión de las líneas de red eléctrica al presentarse el efecto corona.

Las descargas corona originan a una serie de movimientos en una escala de frecuencias que incluye las bandas de radio frecuencia y ruido audible. Esto surge por la naturaleza latente del campo electromagnético formado en los alrededores de los conductores al generarse las descargas, estos fenómenos son desarrollados tanto en el conductor como en el entorno, llegando a alcanzar niveles que podrían afectar la aceptación de otras señales cercanas a las líneas de transmisión; esto causa molestia a las personas debido a los altos niveles de ruido audible (Velilla, Moreno, & Escobar, 2005).

El problema técnico del presente proyecto se manifiesta considerando el hecho de que las líneas de transmisión sufren pérdidas de energía, mismas que conllevan a un déficit en la calidad energética, acorta la vida útil del conductor, así como también altos costos de transmisión. Una de las causas de la pérdida de energía en las redes de distribución es el efecto corona, fenómeno que es necesario contrarrestar para mejorar el servicio de transmisión de la energía.

En esta alternativa de estudio se desarrolló un método para contribuir a la atenuación del efecto corona en las redes de transmisión aplicando el principio de Faraday y de forma experimental la invención de su Jaula, con respecto a esto el autor, (Sobrevila M. A., 1987) enuncia que en el uso de este efecto

corona en la rama de la ingeniería electromagnética es nula en cuanto a la acción de un campo eléctrico, en caso de que se genere en el interior de un objeto aislante. Dicho proceso lo describe el autor (Martínez Flores, 2015) como la deducción causada por el proceso de polarización, donde aparecen dos perímetros recíprocamente cargados. De este modo, cuando el conductor elegido se encuentra emparentado a un campo electromagnético exterior, se origina una carga positiva en un extremo y una negativa en el otro. Dándose como resultado la anulación en el punto que entran en contacto.

En el presente trabajo de titulación se desarrolló un método de investigación analítico-deductivo considerando el análisis experimental del comportamiento respecto al fenómeno corona, para registrar criterios generales sobre el proceso de su mitigación en redes de transmisión eléctrica, de forma que se atenúen los efectos adversos en el ámbito social, económico y ambiental.

La presente investigación se fundamentó y estructuró de forma experimental dentro de los laboratorios de máquinas y circuitos eléctricos de la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo de los Tsáchilas UTE-SD, establecida como sede del caso de estudio, de esta forma se busca hacer enfoque de manera técnica en los valores aproximados obtenidos con respecto a los mili voltios, y no enfatizar en la parte económica o estimación de costos.

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. LINEAS DE TRANSMISIÓN

De acuerdo con (Bautista, 2001) una línea de transmisión es un conjunto de conductores eléctricos que transfieren unidades de energía desde un punto de producción hasta un punto de dispendio. Los conductores suelen ubicarse en alturas elevadas, es decir, torres o postes, las cuales van separadas a una distancia necesaria de la tierra, edificaciones y cualquier otro tipo de estructura. La altura de estas, garantiza que el flujo de electricidad por medio de los preceptores sea consecutivo y asevera que no se genere ningún tipo de interferencia con algún otro elemento que se encuentre en su entorno.

Se puede indicar a través de (Stevenson, 2003) que las características que especifican a las líneas de transmisión eléctrica son diversas y las condiciones de estas varían de una a otra. Asimismo, el papel que cumple cada una dentro del sistema eléctrico de potencia también se verá diferenciado, de acuerdo a la complejidad de esta. Las líneas de trasmisión deben cumplir con el reglamento fijado por las entidades de energía eléctrica.



Figura 1. Líneas eléctricas de transmisión

Fuente: Carlos Ruiz (2019)

El diseño de las redes de transmisión según el autor (Jimenez, 2006) se conforman por un mallado que suministra mayor seguridad de abastecimiento a pesar de la complejidad de su manipulación. No obstante, las redes siguen un parámetro más circular, es decir, desde la red de transmisión hasta las líneas que llegan a los puntos de distribución.

Para (Vernieri, 2003) el proceso de diseño de una línea de transmisión

debe de ser minucioso, debido que se debe tener en consideración el tipo, volumen y cantidad de conductores por ciclo, tanto en su aspecto térmico como en el cumplimiento y control del nivel de tensión en las superficies conductoras, de esta manera el efecto corona de disminuye. Adicional a ello los conductores son seleccionados para tener una mayor capacidad térmica con el fin de soportar una posible sobrecarga.

El sistema de potencia que se encarga de transportar la energía eléctrica desde donde se genera hasta el sitio donde se consume o distribuye se denomina líneas de transmisión, estas complejas estructuras son las que trasladan grandes bloques de energía eléctrica dentro de los diferentes puntos de la red del sistema eléctrico de potencia. La clasificación de estos sistemas de transmisión puede ser realizada desde variadas formas, de acuerdo a su nivel de tensión: Alta tensión (69kV-138kV-230kV), Media tensión (600V-40kV), Baja tensión (120V-600V) y según su medio: en aéreos y subterráneos. (Gonzales, 2007).

Según (Pereda, 2012) la energía electromagnética se puede localizar en las líneas de transmisión de corriente en una zona que se establece de acuerdo con su medio físico, a su vez esta línea se encuentra conformada por conductores eléctricos que agrupan características de ondas electrostáticas presentes en las líneas de transmisión.

Como se puede mostrar en la (Figura 2) La línea de transmisión está constituida básicamente por tres elementos: Conductores, Aisladores, Soportes y Cables de guarda.

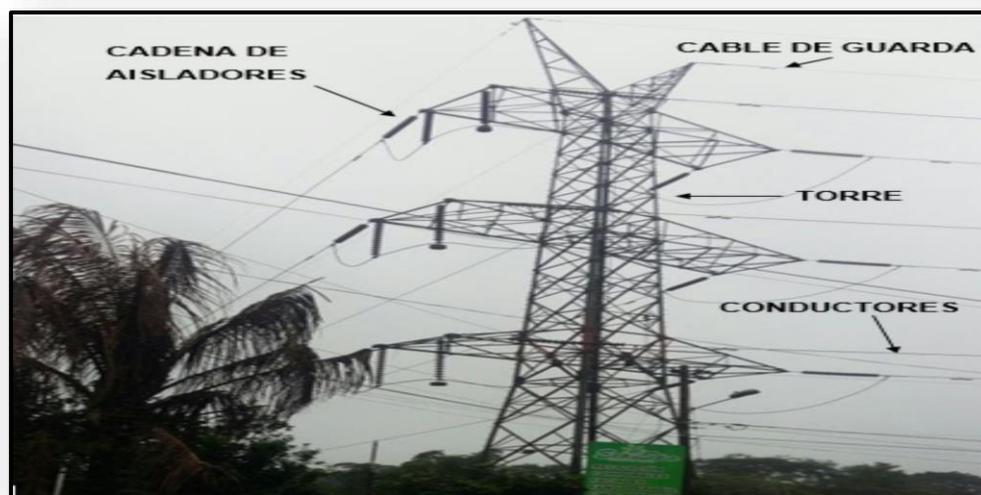


Figura 2. Elementos de Línea de Transmisión de Potencia Aérea.

Fuente: Carlos Ruiz (2019).

a) Conductores.

Dentro de la construcción de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, son utilizados casi únicamente conductores trenzados, los cuales son cables hechos de alambres, en capas invertidas, que van envueltas en sentidos contrarios.

b) Aisladores.

Representan soporte y apoyo a los conductores, y a su vez los conserva aislados de tierra. Uno de los materiales más usados para los aisladores es la porcelana, no obstante, también se emplea el vidrio templado y otros materiales sintéticos.

c) Estructuras Soportes.

Dichas estructuras deben conservar los conductores a una altura lo suficientemente distante de la tierra y que estén separados entre sí mismos. En la parte más alta de la torre, están colocados los conductores desnudos, llamados de guarda, estos son utilizados para apantallar la línea e obstaculizar los rayos. Los conductores activos situados debajo no transportan nada de corriente, por lo que regularmente están hechos de acero y se enlazan mancomunadamente a tierra en cada torre. Las torres se conectan solidariamente a tierra, tomándose gran cautela para asegurar que la firmeza de la tierra sea baja.

d) Cables de guarda

Los cables aislados también conocidos como cables de guarda, substancialmente, en uno o más conductores aislados por medio de material enrollado sobre los conductores; también, dependen del tipo de cable y de la tensión para la cual está elaborada, a su vez son utilizados otros elementos los cuales principalmente tienen el objetivo de lograr el óptimo aprovechamiento de los caracteres de los aislamientos y la conservación de dichas cualidades.

1.1.2. EFECTO CORONA

Se puede decir inicialmente que el efecto corona es uno de los fenómenos eléctricos más conocidos. De acuerdo con (Fayos Alvarez, 2009) se provoca por la ionización en el aire que rodea a los preceptores de alta resistencia, donde su visualización es redonda; a esto, se suma que se presenta como una corona luminosa con una forma de aureola y cuando la tensión eléctrica sea más elevada se aumenta su luminosidad y su temperatura, por lo que se

transformará de una tonalidad rojiza (cuando es leve), a un tono azulado (cuando es más rígido).

Enuncia (Ordóñez, 2013) que el efecto corona se da cuando la dureza dieléctrica del aire aumenta por el desnivel eléctrico del conductor, generándose de este modo el despliegue de pequeñas chispas o descargas a una corta distancia. En el instante donde se ioniza las moléculas del aire, pasan a convertirse inmediatamente en conductores de corriente eléctrica mediante un grupo de electrones que transitan por el cable.

En el momento en el que se ioniza el gas, acota los autores (Betancur E, Suárez C, & Pabón, 2013) que es el resultado del efecto químicamente activo y en el trascurso de su desarrollo hace que se produzcan gases como: Ozono (O₃) y monóxido de nitrógeno (NO), los cuáles se convierten en dióxido de nitrógeno (NO₂) y en Ácido nítrico cuando se encuentran en un entorno húmedo. Si el fenómeno es producido de manera espontánea y sin ningún tipo de control estos gases se convierten en elementos peligrosos debido a que son altamente corrosivos, por ende, estos son particularmente dañinos para las líneas de transmisión de energía eléctrica.

Para valores elevados de tensión (gradiente de potencial), con base en que el aire no es considerado el dieléctrico más adecuado ya que la eminente agrupación de campo eléctrico se encuentra encerrando los cables, cuando dicha capacidad acentúa cierto valor determinado es que se genera el proceso de ionización del aire con una frágil iluminación que envuelve el cable.

No obstante, debido a la ionización del gas que rodea a un preceptor una descarga luminosa se presenta, tal y como se evidencia en la (Figura 3). Es aproximadamente a 30 kV/cm del aire que emana tensiones altas. Puede hacerse muestra de los herrajes, amortiguadores, aisladores, conductores en cualquier espacio donde se encuentre el gradiente. (Crespo, 2017).

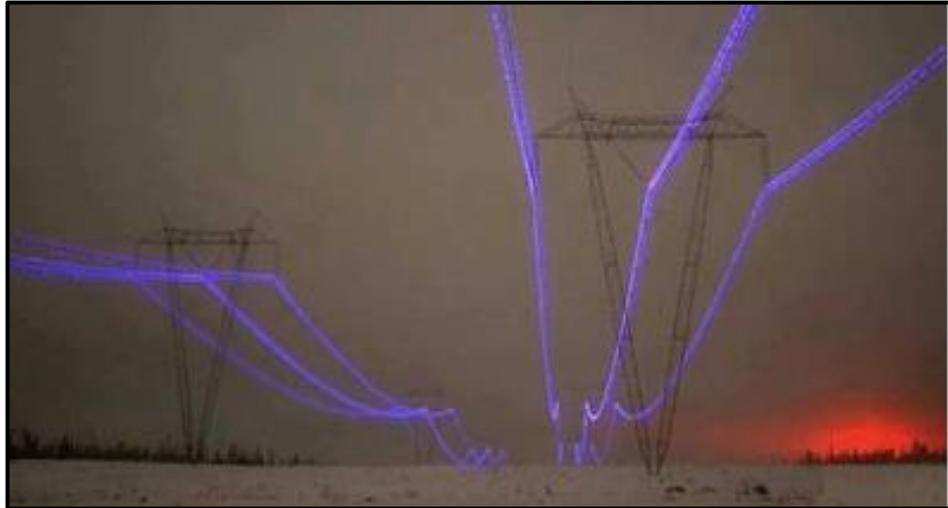


Figura 3. Línea de transmisión con fenómeno luz violeta
Fuente: (Crespo, 2017).

El efecto Corona se caracteriza por su transformación de envoltura del área del conductor como consecuencia del efecto, partiendo de eso se desarrolla una medida más extensa del mismo. Por consiguiente, se genera en la tensión electrostática una leve disminución, de esta forma se presenta una reducción de la sobretensión originada como resultado de las descargas atmosféricas.

Cuanto más alto es el voltaje aplicado mayor será el fenómeno corona, por eso cuando una sobretensión ocurre se genera la corona y atrae la energía mediante la creación de luminosidad violeta, acompañada de ruido y chispas.

El autor (Arrieta Cardichis, 2012) describe el diseño de las líneas de transmisión eléctrica, haciendo enfoque en disminuir el efecto corona, debido a que representa una pérdida de la capacidad de transmitir energía; los siguientes aspectos se consideran en su intensidad y desarrollo:

- Tensión de la línea eléctrica: Mientras que la manipulación de la línea eléctrica contenga mayor tensión, se desarrolla de forma creciente como el gradiente del campo eléctrico en la zona exterior del conductor y como resultado se da un mayor efecto. De manera general se evidencia en líneas de tensión superior a 80kV.
- Humedad relativa en el aire: Cuando se muestra un nivel de humedad alto sobre todo en el caso de que llueva o haya niebla, se aumenta de manera amplia la visualización del efecto corona.

- Estado de la superficie del conductor: Diversas irregularidades, desperfectos, e impurezas, son causantes de incrementar el efecto corona.
- Número de sub-conductores: Se puede disminuir el efecto corona entre menos sub-conductores tenga cada fase de la línea.

1.1.2.1. Origen físico del efecto corona

Por medio de (Hawking, 2010) se entiende que, cuando se encuentra la presencia de un campo eléctrico externo rígido y fuerte, se ioniza las moléculas que conforman el aire, por ello se pierde o se gana un electrón libre transformándose en cargas no neutras. Por consiguiente, el campo eléctrico de acuerdo a la polaridad que posean atrae las partículas ionizadas y los electrones libres.

Según la opinión de (Cruz, 2013) las moléculas que conforman el aire tienden a ionizarse en presencia de un elevado campo eléctrico externo, es decir, ganan o pierden un electrón libre, convirtiéndose en cargas eléctricas no neutras.

El impulso de las cargas provoca diferentes composiciones al momento de colisionar entre sí, cuando un cierto valor se finaliza por la magnitud del campo eléctrico en donde se derrocha cierta cantidad de energía, se descarga al espacio nuevas moléculas, el efecto visible que se conoce como Efecto Corona y es emanado por la recombinación e ionización de algunas de estas moléculas que concibe la liberación de fotones.

El autor (Rivera, 2013) expresa que el efecto corona se puede presentar en diversas formas, es decir desde su inicio con pequeñas descargas acompañadas por luces o puntos, mismos que emiten un sonido similar al de un silbido, pudiéndose visualizar un color violeta pálido alrededor del conductor, el brillo de la descarga se inicia envolviendo la superficie del conductor y pasados varios minutos después de la ionización se aprecian varios puntos rojizos en el cable, mientras que en el exterior se muestra un tono azulado, esto puede ser visualizado con el apoyo de un estroboscopio.

1.1.2.2. Efecto corona en líneas de transmisión.

En el momento que se diseña una red eléctrica se debe minimizar el efecto corona, según el autor (Cite energía, 2017) debido a que además se supone una pérdida en cuanto a la capacidad de transferencia de energía eléctrica; en su aparición intervienen aspectos como la rigidez de la línea de transmisión, ya que el nivel de la tensión de trabajo de la línea determinará el gradiente eléctrico en la parte externa de los cables y esto provocará que el efecto corona sea mayor.

Otro aspecto que condiciona al efecto corona radica en relación al aire. (Betancur E, Suárez C, & Pabón, 2013) indica que, si se presenta una elevada humedad, específicamente cuando se trata de lluvia o de niebla, se aumenta de manera gradiente el efecto. Así mismo, son propias las condiciones de desarrollo en áreas donde se presenten irregularidades, defectos, impurezas adheridas, entre otras y la cantidad de sub-conductores.

- Ventajas técnicas:

- a) La superficie que rodea al conductor se vuelve conductora, debido al efecto corona. Un diámetro superior se origina de forma virtual del conductor. Al tiempo que el eje se expande, la tensión electrostática en los conductores se reduce.
- b) El Efecto Corona reduce la sobretensión creada por maniobra o descargas atmosféricas. Cuanto mayor es el voltaje aplicado mayor es la corona creada, por eso cuando una sobretensión ocurre se forma la corona y esta va a absorber la energía adicional mediante la creación de resplandor violeta, ruido y chispas.

- Desventajas técnicas:

- a) Disminución de eficacia de transmisión.
- b) El ozono originado por este proceso causa desgaste en los conductores.
- c) Se ocasiona un efecto corona no sinusoidal por la pérdida de tensión por medio de la línea de distribución eléctrica. Esto puede significar interferencia inductiva para las líneas de comunicación que se encuentren alrededor.

1.1.2.3. Variables que intervienen en el efecto corona

Las descargas corona son influenciadas por los siguientes factores:

- a) Gradiente superficial.
- b) Estado de superficie del conductor.
- c) Densidad relativa del aire.
- d) Efecto del agua en el conductor.

a) Gradiente superficial

La variable de la intensidad del campo en la parte superior del conductor juega un importante papel en este fenómeno. Se conoce que en un centro eléctrico igual se requiere un gradiente superficial de 29.8 kV punta/cm, que se encuentre bajo contexto normal de temperatura y de presión (25 °C y 760 mm de Hg), para de este modo originar la ionización del aire. No obstante, un gradiente de esta extensión en la medida del conductor no será apto para lograr generar el efecto corona, ya que los iones no tendrían procedencia de acopiarse en cantidad capaz de suscitar la descarga corona, a menos que el gradiente crítico sea descomedido hasta una distancia excesiva desde el conductor y puedan de esta forma producir el desprendimiento.

Se denomina gradiente crítico visual o de iniciación al gradiente superficial puntual para conseguir el inicio corona en el gas que limita un mentor cilíndrico liso. Lograr obtener el nivel E_v en la parte superior del conductor, esquematiza que en una distancia determinada de dicha superficie se ha rebasado el nivel de rompimiento requerido para desencadenar el inicio de las manifestaciones luminosas y el proceso de descargas. A través de (F.W Peek, 1920) se pudo obtener una fórmula para evidenciar y hacer cálculo del campo superficial crítico de una guía cilíndrica, E_v en kVpunta/cm.

$$E_v = g_0 \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{R}} \right) \quad [1]$$

g_0 : gradiente crítica disruptiva del aire ≈ 29.8 kVpunta / cm.

R: radio del conductor, en cm.

b) Estado de superficie del conductor

De acuerdo con (Sobrevila & Farina, 2017) el gradiente superficial de los conductores de líneas de transmisión se genera de manera perdurable teniendo conductores cilíndricos con una superficie llana y pulcra perfectamente, de igual medida y del mismo diámetro externo que el conductor real. Por las ralladuras, melladuras y otro tipo de averías que posee la superficie de los preceptores cableados, el gradiente efectivo o real es algo mayor que el calculado asimismo tendrá un gradiente crítico visual cada conductor real menor por el llamado efecto de concentración de cargas y de manera contigua de mayores gradientes, que se introducen en aristas o puntos de los conductores cargados positivos; de allí que en las líneas el efecto corona se inicie continuamente en estas anomalías y es debido a esto que se trata de que los conductores no soporten daños en medio de la reconstrucción, por ende, para tener en consideración la reducción del gradiente superficial se utiliza un factor de superficie "m", que es el producto de dos importantes coeficientes, el uno toma en consideración el estado de la superficie del conductor "m_c" y el otro toma en cuenta el estado del medio ambiente en que se encuentra el conductor "m_t".

Tabla 1. Valores superficiales de "m"

Factor superficial "m_c"	Tipo de conductor
m: 1.00	Conductor liso ideal
m: 0.95	Conductor cableado nuevo y limpio
m: 0.70 – 0.80	Conductor cableado envejecido
m: 0.50 – 0.70	Conductor tratado deficientemente.
Factor ambiental "m_t"	Tipo de ambiente
m: 1.00	Seco
m: 0.80	Húmedo
m: 0.16 – 0.25	Lluvia

Fuente: (Buenaventura & Velásquez, 2011)

c) Densidad relativa del aire

Según (Sobrevila & Farina, 2017) si la densidad del aire por resultado de la temperatura o de la presión genera transformación dieléctrica del aire y, continuamente, el gradiente crítico. Dentro de la clase de presiones localizadas, la densidad del aire se acrecienta con la coacción y se comprime con la temperatura.

Por medio de la (CEI) establecida como Comisión Electrotécnica Internacional se consigue la siguiente expresión para la densidad referente al aire:

$$\delta = \frac{0.393 P}{273 + T} \quad [2]$$

donde:

P: presión del aire, en mm Hg.

T: temperatura del aire, en ° C.

El factor de corrección por densidad del aire se ocupa de manera general como δ^k ; el valor del exponente “k” varía entre 0.5 y 1.

Últimamente, el gradiente crítico “ E_c ”, en kV punta/cm, se enuncia como:

$$E_c = g_0 \delta m \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta R}} \right) \quad [3]$$

e) Efecto del agua en el conductor

La lluvia o llovizna por su condición genera humedad, misma que provoca en el conductor una película que lo recubre. No obstante, la gravedad, en la división menor del conductor se reduce en gotas de agua, las cuales forman limitaciones en la superficie del conductor, que ocasiona nuevas ampliaciones del efecto corona.

El agua exprime las etapas del gradiente crítico, provocando de esta forma pérdidas de corona y niveles de inconvenientes mayores. Por medio del coeficiente de superficie “m” se espera mitigar estos inconvenientes (Sobrevila & Farina, 2017).

1.1.3. TIPOS DE CORONA.

Según, (Flores, Osio, Sánchez, & Serrada, 2011) existe una clasificación de coronas de acuerdo a su inicio e intensidad, dentro de este desglose se puede hacer mención de los siguientes tipos de coronas:

- a) Resplandor corona. Es una descarga que puede presentarse para ambas polaridades (positiva y negativa) y se caracteriza por ser estable, con una luminosidad constante.
- b) Trichel corona. Se observa, una vez que la tensión aplicada alcanza o excede ligeramente a la tensión de inicio del efecto. Es en realidad, el primer modo o tipo de corona que suele observarse durante las pruebas. Se visualiza un abanico purpura que se mueve constantemente, con una amplitud de corriente de aproximadamente 10mA, una frecuencia de 10 a 100kHz (tasa de repetición) y muy corta duración (aproximadamente 10 ns). Las pérdidas que causa este tipo de descarga suelen ser muy bajas, casi insignificantes. En contraste con la anterior, es un tipo de descarga muy frecuente.
- c) Burst corona. Se le considera como la descarga de inicio de ambas polaridades y se observa sólo en la polaridad positiva. Al igual que el trichel, para polaridad negativa, esta descarga se manifiesta con la tensión de inicio. Se le observa fuertemente adherida a la superficie del conductor como un terciopelo azulado. Los impulsos de corriente que la caracterizan en el osciloscopio son de poca amplitud y larga duración (fracciones de milisegundos). Las pérdidas son de poca importancia práctica.
- d) Corona streamer. Es una descarga repetitiva caracterizada por un filamento luminoso que se extiende hasta la región de baja intensidad del campo. Se observa tanto para polaridad positiva como negativa y para valores de la tensión por encima del valor de inyección. A medida que aumenta el gradiente eléctrico aumenta su exposición, caracterizado por su forma de cepillo color azul luminoso, para degenerar luego en la descarga.
- e) Corona plume. Se define así a los streamers positivos antes descritos, en caso de que aparezcan en forma múltiple. Se observan al desintegrarse gotas de agua que están sobre la superficie del conductor.
- f) Hermsteinglow. Es una descarga poco frecuente, difícil de observar en la práctica, que se manifiesta solo ante polaridad positiva, causando elevadas pérdidas, pero poca radio interferencia.

1.1.4. JAULA DE FARADAY.

La jaula de Faraday es definida por (Roman Campos & Castillo Trujillo, 2012) como un depósito compuesto por un material conductor de energía, esto puede ser una malla de alambre o pedazos de metal, lo cual resguarda lo que se encuentra envuelto de campos eléctricos exteriores. Hoy en día, el experimento de la jaula de Faraday puede ser utilizado para evitar la interrupción electromagnética externamente (IEM, o ruido).

Como se puede observar en la (Figura 4) la caja metálica protege los campos eléctricos estáticos de descargas de energía, por ser nulo el campo eléctrico en su interior, su funcionamiento se basa en las propiedades de equilibrio electrostático que posee, ubicada en presencia de un campo eléctrico externo las cargas positivas quedan en posición de la red, sin embargo, los electrones son libres y se mueven por el metal.



Figura 4. Caja metálica para Jaula de Faraday
Fuente: Cayala (2012)

Cuando el conductor se ha polarizado, este genera un campo eléctrico idéntico en magnitud, pero opuesto en sentido al campo electromagnético, luego la suma de ambos campos dentro del conductor será igual a cero. Una forma de comprobarlo en diferentes situaciones de la vida diaria, por ejemplo, el pésimo funcionamiento de los celulares dentro de ascensores o edificios con estructuras de rejilla de acero (Sampedro Villasán & Jiménez Valladares, 2007).

Conforme a lo enunciado por (Rodríguez Mercado & Llanos Ivanovic, 2017) el correcto trabajo de la jaula de Faraday se encuentra basado en las propiedades de un objeto conductor que se encuentre equilibrado electrostáticamente, un ejemplo del mismo se puede observar en la (Figura 5)

como se detalla su estructura. Así mismo su composición tanto en igualdad y resistencia se observa en la (Figura 6).



Figura 5. Jaula de Faraday
Fuente: (Sampedro Villasán & Jiménez Valladares, 2007).

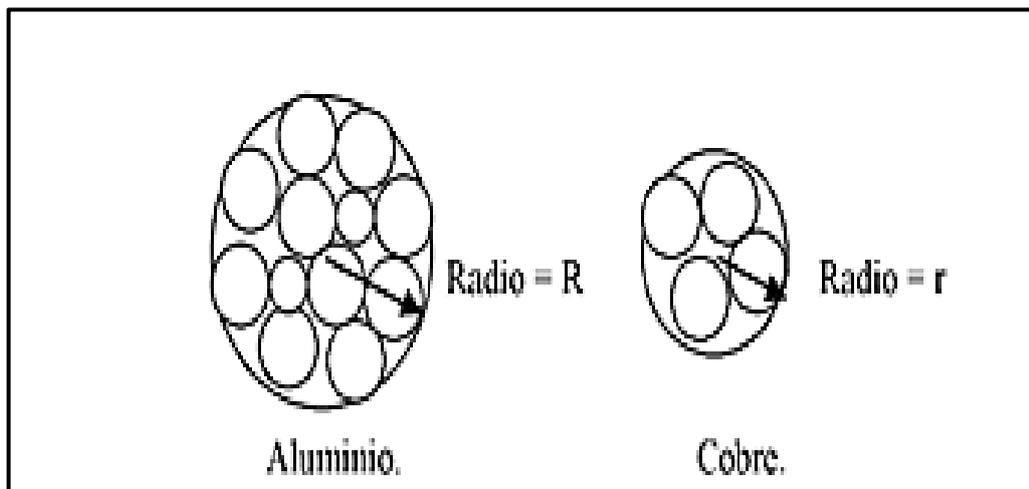


Figura 6. Comparación de conductores a igualdad de resistencia
Fuente: (Mujal R. M., 2002)

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los materiales conductores

COBRE		ALUMINIO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Metal que tiene la conductividad eléctrica más alta después de la plata. La plata no se usa por su alto costo.	Por su costo es bueno para la rapiña.	Es muy ligero. Tiene la mitad de peso que el cobre para la misma capacidad de corriente.	Se forma en su superficie una película de óxido que es altamente resistente al paso de la corriente y causa problemas en las juntas de contacto.
Tiene gran facilidad para estar aleado con otro metal y es de fácil soldadura.		Altamente resistente a la corrosión atmosférica.	No se debe colocar con cobre debido a la corrosión galvánica que se daría.
Es muy dúctil por lo que puede ser transformado en cable u otra forma de manera más fácil.		Reduce el efecto corona, debido que para la misma capacidad de corriente, se usan diámetros mayores.	Menor conductividad eléctrica que el cobre.
Tiene buena resistencia mecánica.		Es soldado con equipo especial.	
No se oxida fácilmente por lo que soporta un poco más la corrosión.			
Tiene buena conductividad técnica.			

Fuente: Wilmer Percca (2013)

En este caso, en el momento cuando el cajón metálico se pone ante la apariencia de un campo eléctrico exterior, las cargas positivas persisten en el lugar de la red; no obstante, los electrones, que en un metal se mueven de forma arbitraria, y entran en movimiento ya que encima de ellos actúa una fuerza transmitida por la siguiente representación:

$$\vec{F} = e \vec{E}_{ext}$$

[4]

En el que “e” representa la carga del electrón. Es decir, como el electrón contiene una carga negativa, los electrones se movilizan en sentido opuesto al campo eléctrico, sin importar que la carga que posee el conductor es nula, uno de los extremos del cajón, en donde unen los electrones, se mantiene con alta carga negativa, por otro lado, el opuesto queda con un desperfecto de electrones, es decir con carga positiva.

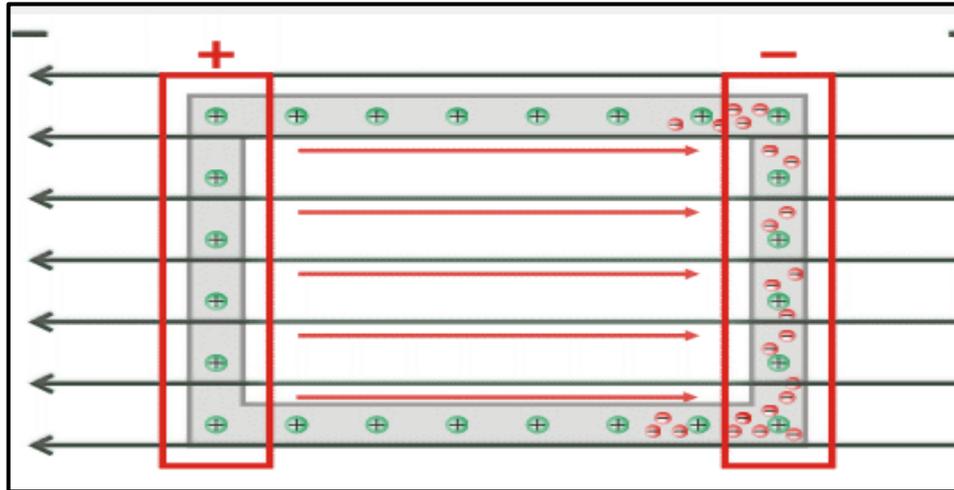


Figura 7. Apantallamiento eléctrico

Fuente: (Arévalo Díaz & Moreno Perez, 2016)

Como en la parte interna de la jaula no hay campo, ninguna carga puede cruzar; es por esto que se utiliza para resguardar unidades de cargas eléctricas. El fenómeno tal y como se representa en la figura anterior es denominado apantallamiento eléctrico. Muchos equipos que utilizamos a diario están provistos a una jaula de Faraday, como por ejemplo el horno de microondas, cables, entre otros. Así como diversos dispositivos, sin estar dotados de una jaula de Faraday actúan como tal dentro de ellos se puede mencionar a los ascensores, los coches, los aviones, etc.

1.1.5. COMPORTAMIENTO DEL ALUMINIO CON LA ELECTRICIDAD

De acuerdo con (Maffia, 2013) el aluminio es el elemento metálico que más abunda en el planeta tierra, el cual va representado con el símbolo de (Al). Es el tercer mejor conductor para ser utilizado y aplicado tanto en experimentos como en la elaboración de estructuras, es imperativo acotar por medio de (Lenntech BV, 2004) que la aplicación del aluminio tiene un amplio mercado, sobre todo en el área de la construcción. En el caso de las edificaciones y casas, se puede evidenciar el aluminio en las puertas, en los cerrojos, en los marcos de las ventanas, alcantarillas del drenaje, entre otros.

A su vez, este material también es uno de los productos con más reconocimiento y uso a nivel industrial, tanto en la ingeniería automotriz como para la elaboración de aviones comerciales y militares los cuales están elaborados casi en su totalidad de aluminio. En los carros se puede evidenciar el aluminio en la parte interior y exterior, así como adornos, parrillera, rines, etc.

En el caso de la elaboración de una Jaula de Faraday, es importante tener en consideración los efectos que pueda producir al ambiente el material conductor que se vaya a utilizar; por ende, es recomendable la utilización de láminas de aluminio. Puesto que el campo eléctrico que se obtiene en la parte interna del conductor será reducido. Como en la parte interna de la jaula no hay campo, ninguna carga puede cruzar; es por esto que se utiliza para resguardar unidades de carga eléctrica. El aluminio trasciende la señal de ruido, lo que interfiere o incluso ahoga los diferentes receptores, originando de este modo que, en el peor de los casos, lo único que escuchemos sea una estación de interior de un conductor en equilibrio, dejando sin efecto los campos externos. Adicional a ello según se ejemplifica en la (Figura 8) el aluminio dentro de las pruebas con cobre cuenta con mayor resistencia por lo que se convierte en el producto más viable para la implementación de la presente investigación.

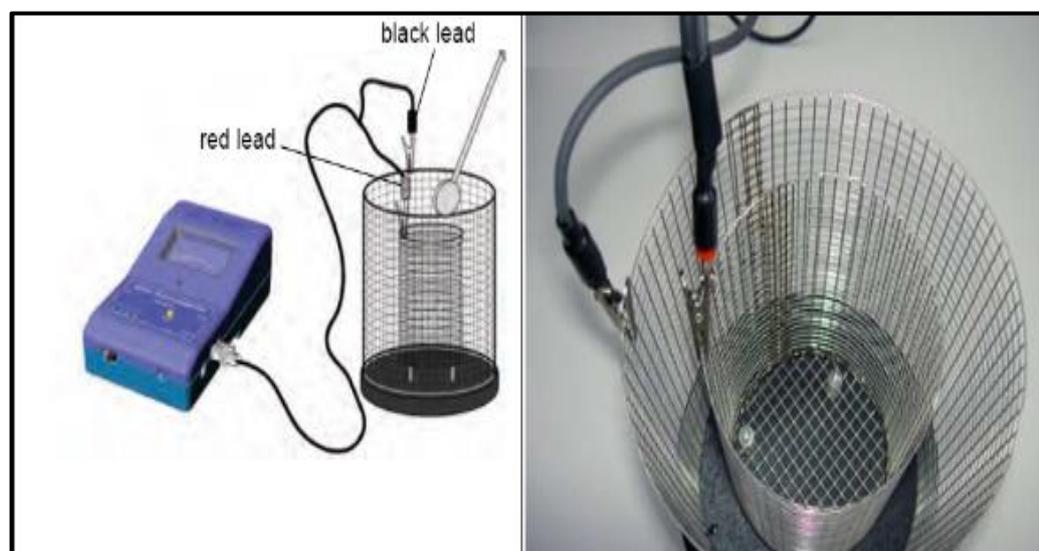


Figura 8. Efecto de láminas de aluminio
Fuente: (M. Cheney, 2009)

(León Jimenez, 2012) enfatiza que el conductor está sujeto a un campo electromagnético externo, reorganiza sus cargas y se polariza. De esta forma, el conductor genera un campo eléctrico igual en magnitud, pero opuesto en

sentido al campo electromagnético, luego la suma de ambos campos en el interior del conductor será 0. Al ser las ondas de radio ondas electromagnéticas no se pueden percibir en el interior de la “jaula”.

1.1.6. OBJETIVO GENERAL.

Determinar la influencia de la aplicación de la jaula de Faraday en la disminución del efecto corona en las líneas de transmisión mediante el estudio experimental que se realizará en el laboratorio de máquinas y circuitos eléctricos de la UTE-SD para su posible utilización en la protección en las líneas de transmisión.

1.1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar el estado de desarrollo actual de las investigaciones sobre el efecto corona en líneas de transmisión.
- Aplicar el principio de la jaula de Faraday en líneas de transmisión que se realizará experimentalmente en el laboratorio de máquinas y circuitos eléctricos de la Universidad Tecnológica Equinoccial Campus Santo Domingo.
- Estimar la reducción del efecto corona en la línea de transmisión usada experimentalmente.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se puede observar metodología descriptiva con un enfoque experimental de investigación, por cuanto se trata de una temática nueva en su totalidad, siendo así que se basa en el análisis de la información bibliográfica existente con la finalidad de dar una visión exacta de la mitigación del efecto corona en redes de transmisión, aplicando el principio de Faraday. Así mismo se establece la arquitectura del diseño de la jaula de Faraday como de sus posibles consecuencias de aplicación.

2.1.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Se considera al estudio como experimental, debido a que se puede observar una temática inédita como lo es la mitigación del efecto corona mediante la utilización de una jaula de Faraday, así mismo se considera un tema poco explorado y reconocido en la actualidad, siendo así que se formula describir la situación sin explicar o predecir los resultados, como se constituye una visión aproximada del objeto de investigación. Según lo descrito por (Arias, 2012), la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido que ha sido poco estudiado en la anterioridad, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos. Así mismo el autor (Santa Paella y Feliberto Martins , 2010) , define: que el diseño experimental es aquel que el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno.

2.1.2. MÉTODO ANALÍTICO

Para el desarrollo del presente estudio, se recabó información bibliográfica de tipo científica asociada a trabajos realizados con anterioridad referentes a la temática a desarrollarse, para investigar sobre las alternativas y formas de aplicar el principio de Faraday en los efectos que genera la corriente eléctrica en los conductores. Según los autores (Lopera Hechavarría, Ramírez Gómez, Zuluaga Aristizábal, & Ortiz Vanegas, 2010) el método analítico de estudio comprende la segmentación del tema principal, dividiéndose en partes para conocer de manera detallada las causas, su naturaleza y consecuencias. Por otra parte (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

hace referencia que el análisis de un estudio consiste en la observación y elaboración previa de un bosquejo de un hecho determinado donde se simplifica la razón y resultados de lo estudiado.

En el estudio de dicha información se percibió la novedad de la propuesta experimental realizada dado que no se ha considerado el uso del principio de Faraday para mitigar el efecto corona con anterioridad.

2.1.3. MÉTODO DEDUCTIVO

De acuerdo con (Vásquez Hidalgo, 2016) las investigaciones de índole deductivo se fundamentan en el raciocinio de efectos y aporte de conclusiones de manera general para explicar de manera específica. Acosta (Semar, 2012) que la rama de la investigación tiene dos fundamentos base que son: dar respuesta a interrogantes que te llevaron a desarrollar el estudio, y plantear predicciones para al final indicar conclusiones del tema. Según (Behar Rivero, 2008) la investigación deductiva inicia con el análisis del tema generalizado, búsqueda de leyes y principios a nivel mundial y que ya estén comprobados por otros estudiados, con el propósito de ser aplicados a soluciones o situaciones particulares.

En el presente objeto de estudio se aplica el siguiente método para determinar a partir de hechos generales a criterios particulares, es decir mediante la ley de Faraday se desarrolló un diseño experimental con los conductores de cobre en alta tensión, forrados con una malla de aluminio formando un prototipo de la jaula de Faraday para analizar la factibilidad y reducir las pérdidas por el fenómeno corona.

2.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para el desarrollo del experimento se partió de los objetivos que rigen la aplicación de la experimentación para la medición de las variables y su relación. El modelo a desarrollar se especifica en la (Figura 9), un circuito en serie con los siguientes elementos: un conductor de cobre desnudo de 1m de longitud (N°8 AWG) debido a que este tipo de conductor se lo maneja de forma didáctica ya que es el más semejante a un conductor de alta tensión a diferencia de un cable (N°4 AWG) que es muy grueso; un elemento resistivo que para el experimento se consideró utilizar una resistencia variable, un motor de 1,1 kW e instrumentos de medición de parámetros eléctricos.

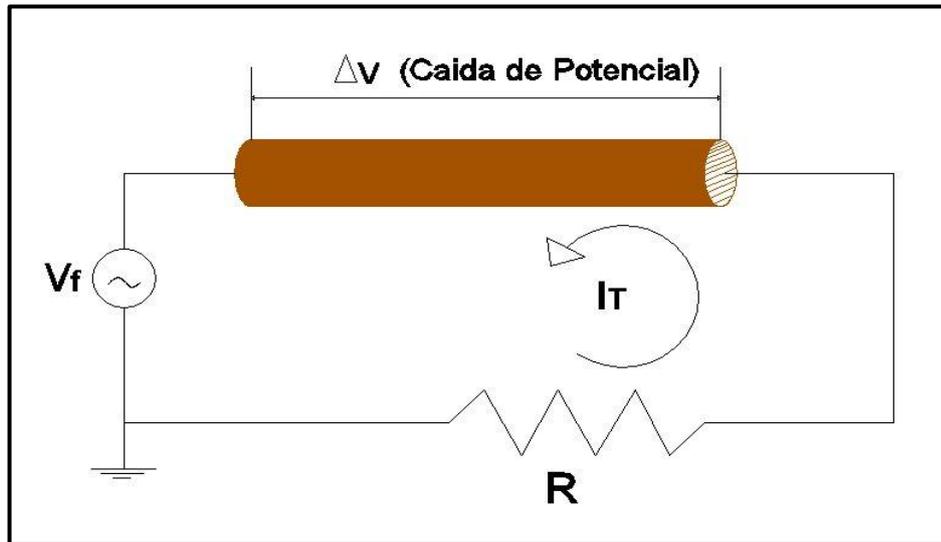


Figura 9. Circuito sin malla de aluminio
Fuente: Carlos Ruiz (2019).

En la (Figura 9) se muestra la aplicación de la ley de Faraday, un circuito en serie con los mismos elementos de la (Figura 10) añadiendo una malla de aluminio en el conductor de cobre formando una jaula de Faraday.

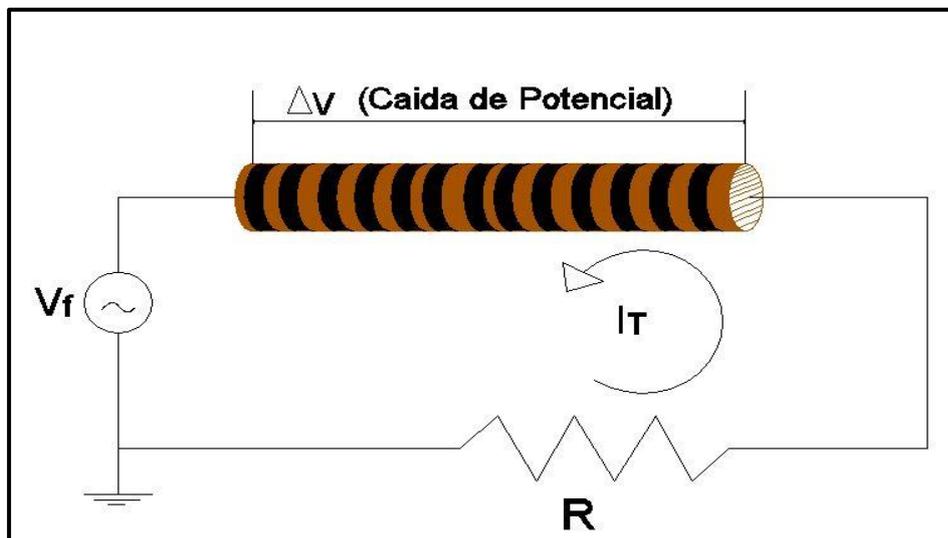


Figura 10. Circuito con malla de aluminio
Fuente: Carlos Ruiz (2019).

2.3. PASOS DE ANÁLISIS

A continuación, se procede a plantear los pasos a seguir para la realización de la experimentación:

2.3.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS

Se seleccionó los siguientes elementos para el montaje del circuito del modelo de experimentación:

- 1m de conductor de cobre desnudo N° 8 AWG según la norma ASTM B1, B2, B3, B8 (Anexo 1 y 2)
- Resistencia variable
- Motor de 1,1 kW
- Instrumentos de medición de parámetros eléctricos.

2.3.2. REVISIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Mediante la utilización de un multímetro digital marca Fluke modelo 111, 600V ac, se comprobó el estado de la resistencia variable marca DE LORENZO de 1A, 300Ω, 300w y el motor de marca DE LORENZO 200/380V de 1.1 kW, con la finalidad de determinar su estado actual y de esta forma prever su utilización de forma adecuada y evitar posibles accidentes, así mismo se determinó el nivel de voltaje en el tablero de didáctico de circuitos eléctricos.

2.3.3. VARIABLES OBTENIDAS EN LA MEDICIÓN.

Para efectuar con éxito el trabajo experimental luego de haber ejecutado la correspondiente revisión del estado de los elementos de medición y los que serían medidos se procedió a medir el voltaje (V) y la corriente (I) de la resistencia variable y del motor, ya que con estas mediciones se podría obtener la diferencia de potencial para así poder calcular la reducción de tensión del conductor sin y con la malla de aluminio verificando de esta forma la aplicación del principio de la Jaula de Faraday.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS

A través del desarrollo del experimento aplicando el principio de Faraday en líneas de distribución de electricidad, se pudieron recopilar los siguientes datos tabulados:

Tabla 3. Circuito experimental con resistencia variable de 300Ω

Elemento	V_f (V)	I_T (A)	ΔV (V)
Con Malla Al	441,2	1,24	0,084
Sin Malla Al	441,2	1,24	0,1

Fuente: Carlos Ruiz (2019).

Con base en los resultados obtenidos, y que se contemplan en la representación anterior se puede enfatizar que se obtuvo como resultado la diferencia sustancial entre la caída de tensión, a través del objeto con malla y sin malla.

Tabla 4. Circuito experimental con un motor de 1,1 kW

Elemento	V_f (V)	I_T (A)	ΔV (V)
Con Malla Al	384,4	2,8	0,098
Sin Malla Al	384,4	2,8	0,115

Fuente: Carlos Ruiz (2019)

3.2. MEDICIONES OBTENIDAS

El circuito experimental se llevó a cabo utilizando una resistencia variable de 0Ω a 300Ω , aplicando el principio de Faraday, permitiendo realizar con la utilización de una malla de aluminio, representar una jaula de Faraday reduciendo la caída de tensión en el conductor de la muestra, es decir esta práctica experimental facilitó apreciar la reducción de las pérdidas por el efecto corona.

Tabla 5. Circuito experimental con una Resistencia variable

N° Medición	Resistencia Variable	
	Sin malla	Con Malla
	ΔV	ΔV
1	0,104	0,08005
2	0,1041	0,0801
3	0,1042	0,08011
4	0,1043	0,08012
5	0,1044	0,08013
6	0,1045	0,080156
7	0,1046	0,080158
8	0,1047	0,08016
9	0,1048	0,080162
10	0,1049	0,080167

Fuente: Carlos Ruiz (2019)

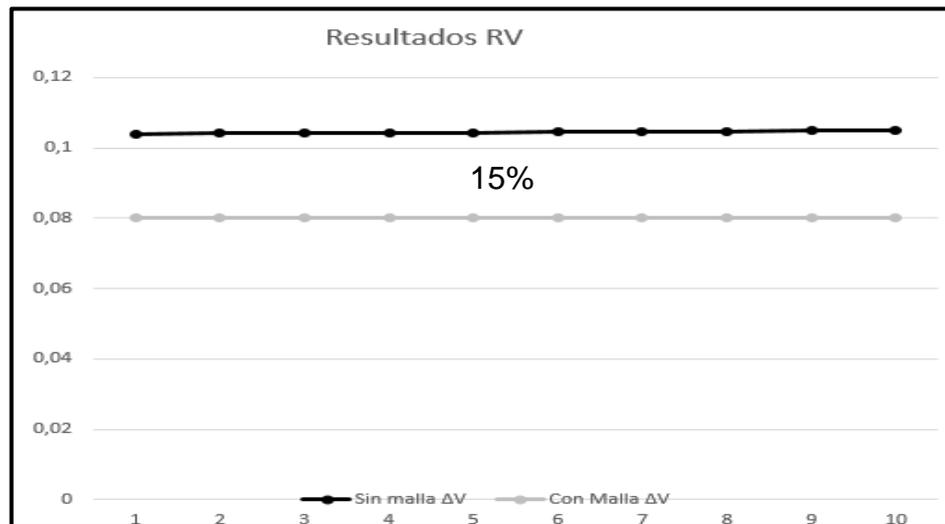


Figura 11. Comparacion 1
Fuente: Carlos Ruiz (2019).

Por medio de la tabla estadística que se muestra se puede enfatizar que por medio del experimento, se logró como consecuencia la diferencia esencial entre la caída de tensión, a través del objeto con malla y sin malla.

El circuito experimental se llevó a cabo utilizando un motor de 1,1kW, aplicando el principio de Faraday, permitiendo realizar con la utilización de una malla de aluminio, representar una jaula de Faraday reduciendo la caída

de tensión en el conductor de la muestra, es decir esta práctica experimental facilito apreciar la reducción de las pérdidas por el efecto corona.

Tabla 6. Circuito experimental con un motor de 1,1 kW

N° Medición	Motor 1,1 kW	
	Sin malla	Con Malla
	ΔV	ΔV
1	0,115	0,098
2	0,1149	0,0983
3	0,1157	0,0986
4	0,1143	0,0989
5	0,114	0,099
6	0,11405	0,0985
7	0,1146	0,09905
8	0,1149	0,09901
9	0,11502	0,099
10	0,1155	0,0995

Fuente: Carlos Ruiz (2019)

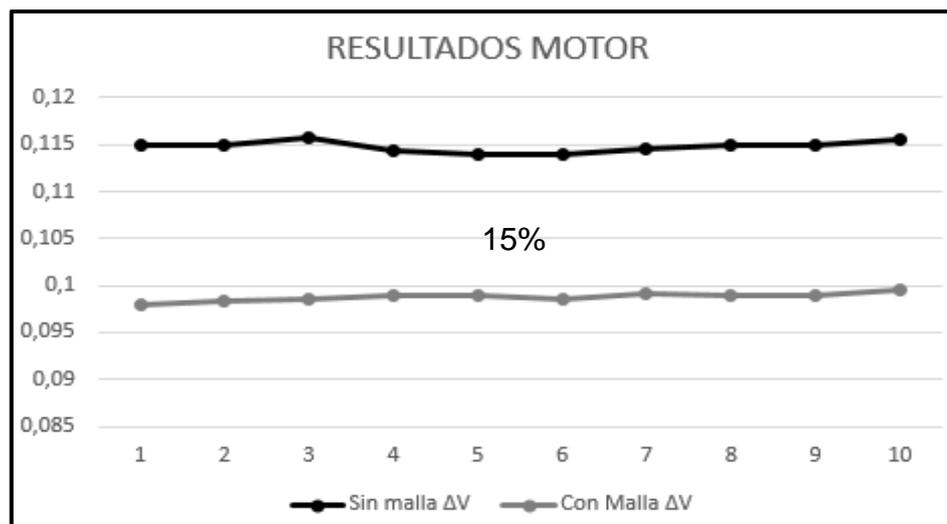


Figura 12. Comparacion 2
Fuente: Carlos Ruiz (2019).

Por medio de la representación tabulada que se muestra anteriormente se puede destacar que por medio del experimento, se obtuvo como resultado la diferencia sustancial entre la caída de tensión, a través del objeto con malla y sin la utilización de dicho elemento.

Considerando los datos de las tablas: (Tabla 6) se logró determinar la caída de tensión que se produce en dos escenarios, un circuito con el conductor de cobre desnudo (1m) y el otro con el conductor de cobre forrado con aluminio, se obtuvo el siguiente análisis:

Por consiguiente, se tiene la siguiente comparación:

Tabla 7. Cálculo del % de Reducción

CARACTERÍSTICA	ΔV	Por
Sin Malla	0,115	100%
Con Malla	0,098	
Diferencia o Reducción	0,017	X%

$$X\% = \frac{0,017 \times 100\%}{0,115} = 14,98\%$$

$$X\% \cong 15\%$$

Como se puede observar en esta regla de tres, el porcentaje aproximado que se reduce la caída de tensión en un tramo de conductor desnudo es del 15%, esto sucede al recubrir con una malla de aluminio simulando una jaula de Faraday

De acuerdo con (Romero, 2005) el proceso de circulación de electricidad por medio de los conductores, provoca un desgaste de potencia que se transporta a través del cable, y la caída de tensión o contradicción entre las tensiones en el origen y otro extremo de la canalización. Dicho proceso de caída de tensión debe ser mucho menor al rango determinado en cada parte de la disposición, a fin de certificar el desarrollo de los receptores nutridos por el cable. Este razonamiento establece si las líneas son de larga distancia, donde se puede ejemplificar a las derivaciones particulares que surten a los últimos pisos en un edificio de mediana altura.

El cálculo sistematizado de la sección de un cable radica en computar la sección mínima normalizada que compensa de manera simultánea los tres contextos siguientes: criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento, criterio de la caída de tensión y el criterio de la intensidad de cortocircuito.

3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para la realización del diseño experimental se adquirió los elementos como: 1m de conductor de cobre desnudo (N°8 AWG), Resistencia variable, Motor de 1,1 kW, instrumentos de medición de parámetros eléctricos y el laboratorio para la práctica experimental, de esta manera se procedió al montaje del circuito propuesto y observar el comportamiento de los distintos parámetros eléctricos.

Tomando en consideración la respectiva aplicación del principio de Faraday. Se logró desarrollar una malla de aluminio de envases de refrescos simulando una jaula de Faraday para reducir pérdida eléctrica por el efecto corona y se contribuye a la mejora del impacto ambiental, es decir dar un mejor uso a los envases y fomentar a la reutilización de material reciclable.

Según los cuadros estadísticos podemos apreciar el comportamiento de la caída de tensión en el experimento realizado, considerando que para este trabajo se utilizaron dos elementos (Resistencia Variable y Motor trifásico), además se implemento una malla de aluminio que permitió simular la jaula de Faraday, esto redujo la caída de tensión aproximadamente en un 15% en el conductor de la muestra que se utilizó para el experimento.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Cuando se habla de un modelo experimental construido especialmente para este trabajo, se puede decir que fue diseñado según las necesidades y recursos del laboratorio de alta tensión. Dentro de las limitantes que representaron barreras para la investigación se puede mencionar la relacionada con la construcción de las coberturas de aluminio aisladas del modelo.

En efecto se puede decir que este tema ha sido muy poco estudiado, por lo tanto, la información bibliográfica y documental no fue tan amplia, fue una labor prolongada y con cierto grado de dificultad para lograr conseguir la información bibliográfica adecuada, para ejecutar la construcción del prototipo de jaula de Faraday y analizar los resultados obtenidos. No obstante, en el proceso de la investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

4.1. CONCLUSIONES

A través del desarrollo del proyecto de investigación se recopiló la información de varios autores para la realización del diseño experimental, haciendo énfasis en el efecto corona en líneas de transmisión, y se determinó los niveles de afectaciones que generan en las redes eléctricas.

Se desarrolló un circuito experimental en el laboratorio de máquinas y circuitos eléctricos mediante el cual se puso en práctica la aplicación del principio de Faraday como alternativa para la atenuación del fenómeno corona, evidenciándose que es satisfactorio la implementación de este principio para la mitigación de dicho efecto en líneas de transmisión a nivel experimental.

Según el experimento realizado se comprobó una disminución efectiva aproximada del 15% de la tensión, lo que se observó mediante el cálculo del factor de potencia y se percibió la factibilidad del aluminio como material para aplicar el principio de Faraday.

De manera general la investigación mostró la importancia de la realización de experimentos a escala para el estudio de fenómenos eléctricos.

4.2. RECOMENDACIONES

Una vez analizados los resultados obtenidos y aportados las conclusiones correspondientes para enfatizar el cumplimiento de dicho experimento, se recomienda realizar el experimento a escala real en líneas activas de largo alcance para constatar datos.

Se sugiere a partir de los resultados recubrir con aluminio los conductores en las líneas de transmisión en un tramo de 5 a 10m al inicio y final de los mismos para atenuar las pérdidas por el efecto corona.

Es recomendable valorar el uso de diversos materiales que sean amigables con el medio ambiente en los diseños experimentales con materiales eléctricos, considerando la factibilidad del uso del aluminio reciclado de las latas de refresco incorporado a la investigación.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo Díaz, E. Y., & Moreno Perez, E. H. (2016). Sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas en campos abiertos. Obtenido de Sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas en campos abiertos:
http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21078/42102008_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arias, F. (2012). Proyecto de Investigacion. Caracas, Venezuela.
- Arrieta Cardichis, P. (2012). Propuesta de guía para la evaluación de Impacto ambiental del ruido y campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas eléctricas de alta tensión de corriente continua en el marco Del seia. Obtenido de https://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis_paz_arrieta_cardichis_0.pdf
- Bautista, I. J. (2001). Líneas de Transmisión de Potencia: Vol 1. Aspectos Mecánicos y Conductores. Lima.
- Behar Rivero, D. S. (2008). Metodología de la investigación. Argentina: Editorial Shalom 2008.
- Betancur E, E., Suárez C, M., & Pabón, L. (2013). Equipotenciales y campos eléctricos para estudio del efecto corona en subestaciones. Obtenido de Equipotenciales y campos eléctricos para estudio del efecto corona en subestaciones: http://www.asocodis.org.co/docs/x-jornada/Sesion%20I/6.EQUIPOTENCIALES_Y_CAMPOS_ELECTRICOS_PARA_ESTUDIO_DEL_EFECTO_CORONA_EN_SE.pdf
- Buenaventura, J., & Velásquez, M. (2011). Pérdidas por efecto corona en la línea de transmisión de 500 kv Quito-Guayaquil. Guayaquil: ESPOL.
- Cite energía. (2017). Efecto corona sobre líneas de trasmisión. Obtenido de Efecto corona sobre líneas de trasmisión: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-efecto-corona.pdf>
- Consejo de Educación Superior. (2013). Reglamento de Régimen Académico. Quito: Gaceta Oficial del Consejo de Educación Superior.
- Crespo, A. (2017). Líneas de transmisión eléctrica. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi Facultad CIYA – Ing. En Electromecánica.

- Cruz, J. L. (6 de Enero de 2013). Sector Electricidad. Obtenido de <http://www.sectorelectricidad.com/3272/efecto-corona-en-lineas-de-transmision-y-transformadores/>
- F.W Peek, J. (1920). Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering. NEW YORK: McGraw-Hill.
- Fayos Alvarez, A. (2009). Líneas eléctricas y transporte de energía eléctrica. Obtenido de Líneas eléctricas y transporte de energía eléctrica: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/edb391c6-0b01-4629-8ce7-e56e4fb60ca6/TOC_4062_04_01.pdf?guest=true
- Flores, J., Osio, J., Sánchez, P., & Serrada, R. (Septiembre de 2011). Proyecto de teoría electromagnética efecto corona en líneas de transmisión. Obtenido de Proyecto de teoría electromagnética efecto corona en líneas de transmisión: <https://es.scribd.com/doc/66219948/Proyecto-Definitivo-Efecto-Corona>
- Gonzales, F. (2007). Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas. Venezuela: Research.
- González, F. (16 de Febrero de 2016). Elementos de Líneas de Transmisión. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/296282681_Capitulo_1_Elementos_de_Lineas_de_Transmision_Aerreas
- Hawking. (2010). A Hombros de Gigantes: Las Grandes Obras de la Física . Barcelona.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). Metodología de la investigación. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Huamaní, M. (2015). Efecto corona sobre líneas de transmisión. Lima, Perú: Cite energía.
- Jimenez, O. (2006). Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica,. San Nicolás de los Garza Nuevo León.
- Lenntech BV. (Marzo de 2004). Manual del aluminio. Obtenido de Manual del aluminio: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CiUqyDrm1OYC&oi=fnd&pg=PA555&dq=aluminio&ots=1d1iqldwMG&sig=TPkDI2zeoL7GfR8ck3bRkqoG4m8#v=onepage&q=aluminio&f=false>

León Jimenez, L. (20 de Noviembre de 2012). Jaula de Faraday. Obtenido de Jaula de Faraday: https://www.academia.edu/19526948/Jaula_de_faraday

Lopera Hechavarría, J. D., Ramírez Gómez, C. A., Zuluaga Aristizábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (25 de Enero de 2010). El método analítico como método natural. Obtenido de El método analítico como método natural: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=2ahUKEwiokOf478ThAhVOtlkKHQ3xAkkQFJAJegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Frevistas.ucm.es%2Findex.php%2FNOMA%2Farticle%2Fdownload%2FNOMA1010140327A%2F25986&usg=AOvVaw1W7ehzW8v5W2YUq2yQ5Spg>

M. Cheney, N. T. (2009). El genio al que le robaron la luz. Madrid: Turner.

Maffia, E. (2013). Aluminio y sus aleaciones . Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=15&ved=2ahUKEwi4g_3m9MDhAhXlxVkkHWWFDH0QFjAOegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ing.unlp.edu.ar%2Fcatredras%2FM0624%2Fdescargar.php%3Fsecc%3D0%26id%3DM0624%26id_inc%3D2717&usg=AOvVaw1dyoE_wh5dCHQ-455

Martínez Flores, M. (5 de Noviembre de 2015). Jaula de faraday. Obtenido de Jaula de faraday: <https://edoc.pub/practica-de-la-jaula-de-faraday-pdf-free.html>

Matés Crespo, J. (2015). Clima desértico. Obtenido de Clima desértico: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/29009041/helvia/sitio/upload/clima_desertico_Jairo.pdf

Michaud , A. (Julio de 2013). El efecto Corona . Obtenido de El efecto Corona :https://www.researchgate.net/publication/320548358_El_efecto_Corona

Monica, R. (2015). Métodos de investigación. Caracas, Venezuela.

Mujal, R. (2015). Tecnología Eléctica. ETSEIT, 83.

Mujal, R. M. (2002). Cálculo de líneas y redes eléctricas. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bRCAY8BufxUC&oi=fnd&pg=PA11&dq=efecto+corona+lineas+de+transmision&ots=S_XtItDIZE&sig=P-F4Xz0B3QN-9EbCwOtC5KuHcHo#v=onepage&q=efecto%20corona%20lineas%20de%20transmision&f=false

- Nava Bustillo, G. (2012). Cálculo eléctrico de las líneas de transmisión según el efecto corona. Obtenido de Cálculo eléctrico de las líneas de transmisión según el efecto corona: https://www.academia.edu/32411083/C%C3%81LCULO_EL%C3%89CTRICO_DE_LAS_LINEAS_DE_TRANSMISI%C3%93N_7.1._EFECTO_CORONA
- Ordóñez, V. N. (2013). Historia de la ciencia. Madrid.
- Ortiz. (2015). Análisis técnico-económico de pérdidas por efecto corona en líneas de transmisión de 500 kv del sistema nacional de transmisión ecuatoriano en el tramo coca-codo el inga. Quito.
- Ortiz, L. (2014). Manifestaciones del efecto corona en línea de transmisión de corriente alterna.
- Ortiz, L. (2014). Manifestaciones del efecto corona en líneas de transmisión de corriente alterna. Santiago de Chile: Area de Electricidad VIII.
- Osorio, N. M. (2015). Fenómeno Corona en Líneas Aéreas. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Pereda, J. (2012). Conceptos Básicos de la Teoría de Líneas de Transmisión. Obtenido de Conceptos Básicos de la Teoría de Líneas de Transmisión: https://personales.unican.es/peredaj/pdf_Apuntes_MTG/Presentacion-Conceptos-Basicos-Lineas.pdf
- Pérez, C. (2007). Líneas de Transmisión . Santander: Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones .
- Rivera, A. (2013). Análisis del uso de arreglos multiconductor para minimizar la intensidad de campo eléctrico en líneas de transmisión. Mexico D.F.
- Rodríguez Mercado, M., & Llanos Ivanovic, R. (Marzo de 2017). Jaula de Faraday. Obtenido de https://www.academia.edu/32318383/UNIVERSIDAD_CATALICA_BOLIVIANA_SAN_PABLO_UNIDAD_ACADEMICA_REGIONAL_COCHABAMBA_Departamento_de_Ingenier%C3%ADa_y_ciencias_exactas_Ingenier%C3%ADa_Industrial_Jaula_de_Faraday
- Roman Campos, F., & Castillo Trujillo, G. (2012). Metodología para la evaluación de pérdidas de corona en líneas de transmisión. Obtenido de Metodología para la evaluación de pérdidas de corona en líneas de transmisión: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiev_XMnsHhAhUFwFkKHUx5BBkQFjABegQIAhAC

&url=https%3A%2F%2F Dialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4902937.pdf&usg=AOvVaw0JRJfmsZXY0qL9EC7uw0m1

Sampedro Villasán, C., & Jiménez Valladares, J. (2007). Jaula de Faraday. Obtenido de Jaula de Faraday: http://www.parqueciencias.com/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/parqueciencias/Publicaciones/guiasDidacticas/guia_didactica_Faraday.pdf

Santa Paella y Feliberto Martins . (2010). Metodología de la investigación cualitativa. Caracas; Venezuela:.

Semar. (2012). Metodología de la investigación. Obtenido de Metodología de la investigación: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION.pdf

Sobrevila, M. A. (1987). Instalaciones de Potencia.

Sobrevila, M., & Farina, A. (4 de Mayo de 2017). Voltimum. Obtenido de <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/efecto-corona-lineas>

Stevenson, W. D. (2003). Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia. McGraw Hill .

Vásquez Hidalgo, I. (2016). Tipos de estudio y métodos de investigación. Obtenido de <https://nodo.ugto.mx/wp-content/uploads/2016/05/Tipos-de-estudio-y-m%C3%A9todos-de-investigaci%C3%B3n.pdf>

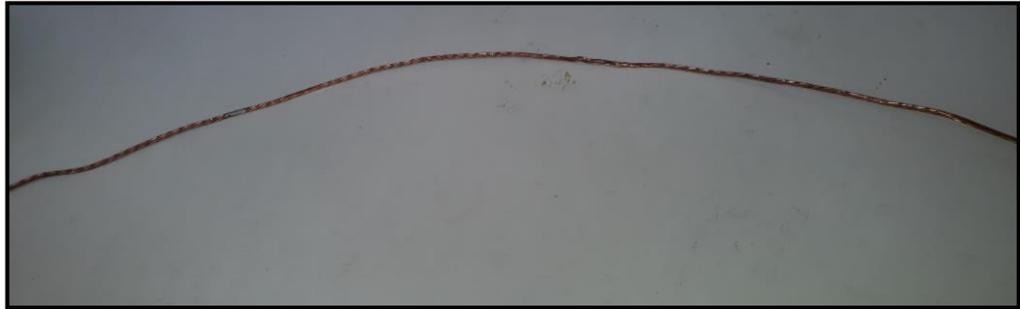
Velilla, E., Moreno, G., & Escobar, C. (2005). Evaluación teórica de radio interferencia y ruido audible en líneas de transmisión. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 21-28.

Vernieri, J. (2003). Aspectos Ambientales de Campos Eléctricos y Magnéticos en Líneas de Alta Tensión. Buenos Aires, Argentina.

ANEXOS

ANEXO 1

CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO (#8 AWG).



ANEXO 2

CALIBRE DE LOS CONDUCTORES DE COBRE.

Código Producto	Calibre AWG o Kcmil	Formación # de alambres	Diámetro Final mm	Peso Kg / Km	Amperaje A	Embalaje Carrete o Rollo	Tramos m
02-0020	8	7 x 1.23	3.69	75.42	99	BB 0.46	2000
02-0021	6	7 x 1.56	4.68	121.32	132	BB 0.46	1000
02-0022	4	7 x 1.96	5.88	191.52	177	BB 0.65	2500
02-0023	2	7 x 2.47	7.41	304.15	237	BB 0.65	1500
02-0005	1/0	19 x 1.89	9.45	483.36	318	BB 0.65	500
02-0006	2/0	19 x 2.13	10.65	613.91	367	BB 0.65	500
02-0007	3/0	19 x 2.39	11.95	772.93	425	BB 0.65	500
02-0008	4/0	19 x 2.68	13.40	971.89	491	BB 0.80	500
02-0009	250	37 x 2.09	14.63	1151.03	546	BB 0.80	500
02-0010	300	37 x 2.29	16.03	1381.86	611	BB 1.00	500
02-0011	350	37 x 2.47	17.29	1607.64	674	BB 1.20	500
02-0012	400	37 x 2.64	18.48	1836.55	732	BB 1.20	500
02-0013	500	37 x 2.95	20.65	2293.18	840	BB 1.25	500

ANEXO 3

RESISTENCIA VARIABLE



ANEXO 4

MOTOR DE 1.1 KW



ANEXO 5

MULTÍMETRO.



ANEXO 6

TABLERO DE PRUEBAS PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS.



ANEXO 7

ALUMINIO DE LATAS DE CERVEZA.



ANEXO 8

MEDICIÓN CON UNA RESISTENCIA VARIABLE SIN MALLA



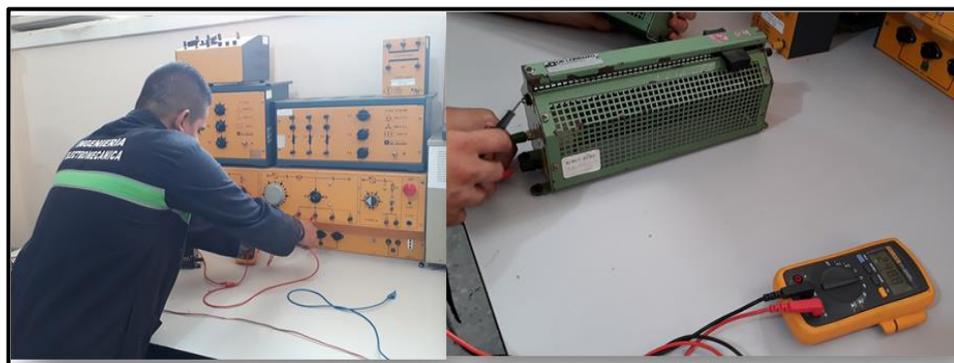
ANEXO 9

MEDICIÓN DE RESISTENCIA VARIABLE CON MALLA.



ANEXO 10

ESTADO DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN



ANEXO 11

MONTAJE DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

