

CARACTERÍSTICAS DEL AISLAMIENTO Y LA PUESTA A TIERRA EN  
ESTRUCTURAS DE POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO PARA  
REDES DE DISTRIBUCIÓN.

ANGIE STEFANI MOYA MOLINA  
JUAN DAVID LOPEZ DELGADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2019

CARACTERÍSTICAS DEL AISLAMIENTO Y LA PUESTA A TIERRA EN  
ESTRUCTURAS DE POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO PARA  
REDES DE DISTRIBUCIÓN.

ANGIE STEFANI MOYA MOLINA  
JUAN DAVID LOPEZ DELGADO

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingenieros Eléctricos

DIRECTOR:  
OSCAR ARNULFO QUIROGA QUIROGA  
Doctorado en Tecnología

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por guiarme cada día a lo largo de este camino, siendo el apoyo y la fortaleza en los momentos de dificultad.

De igual forma agradezco a los profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, por compartir sus conocimientos y prepararme en todo este proceso. En especial quiero agradecerle a Dr. Oscar Quiroga Quiroga quien fue nuestro principal guía y colaborador en este proceso, que con su enseñanza, colaboración y conocimientos permitió el desarrollo de este proyecto de grado.

Este trabajo de grado está dedicado a:

Mis padres Manuel Antonio Moya Molina y Norelis molina Liñán por el poyo, amor y sacrificio que ha realizado en estos años, gracias a ustedes he logrado conseguir todo lo que soy, son los mejores padres.

Mis hermanas por estar siempre apoyándome, acompañándome a lo largo de este camino de mi vida.

Amigos que me han acompañado en este proceso durante estos años, brindándome apoyo moral y ayudándome en cada paso que daba todos estos años.

Angie Moya

Agradezco a Dios por iluminarme en el camino y las muchas bendiciones que me preparó, por el incondicional amor de mi familia y por permitirme encontrar a personas que me enseñaron y apoyaron a culminar con mi proyecto de ser Ingeniero Electricista, Gracias a mis docentes por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo, en especial a nuestro director Dr. Oscar Quiroga por sus excelentes asesorías. Gracias a todos mis compañeros y amigos que hicieron fácil y amenos mis días, de manera puntual agradezco a mi compañera de tesis Angie Moya por creer en mis capacidades y trabajar a mi lado.

Este trabajo de grado está dedicado a:

A mi madre Nohora y a mi padre Ivan por sus incansables esfuerzos para educarme y apoyarme en mis decisiones.

A mi hermana Ana por estar siempre conmigo para cuidarme y darme consejos de bien.

Juan López

## CONTENIDO

|                                                                                                                    | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCCION .....                                                                                                 | 15   |
| 1. GENERALIDADES DEL POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO (PRFV) .....                                           | 17   |
| 1.1 CARACTERÍSTICAS DEL POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO .....                                               | 17   |
| 1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE POSTES Y CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO .....                    | 18   |
| 1.2.1 Proceso de laminado. ....                                                                                    | 19   |
| 1.2.2 Proceso de pulverización. ....                                                                               | 19   |
| 1.2.3 Proceso de pultrusión. ....                                                                                  | 20   |
| 2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LAS ESTRUCTURAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO .....                | 21   |
| 2.1 POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO .....                                                         | 21   |
| 2.1.1 Principales características de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio. ....                    | 22   |
| 2.1.2 Ventajas de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante los postes tradicionales. ....         | 22   |
| 2.1.3 Desventajas de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante las estructuras tradicionales. .... | 25   |
| 2.2 COMPARACIÓN DE LOS POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO ANTE LOS POSTES TRADICIONALES .....        | 26   |
| 2.3 CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO .....                                                       | 27   |
| 2.3.1 Características generales de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio. ....                    | 27   |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2 Ventajas de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante las crucetas tradicionales. ....        | 28 |
| 2.3.3 Desventajas de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante las crucetas tradicionales. ....     | 29 |
| 2.4 COMPARACIÓN DE LAS CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO ANTE LAS CRUCETAS TRADICIONALES .....       | 29 |
| <br>3. POSTES Y CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO INSTALADOS EN COLOMBIA .....                       | 31 |
| 3.1 COSTOS DE LOS POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO .....                                              | 34 |
| <br>4. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO.....                          | 37 |
| 4.1 CONFIGURACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA EN POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO.....                      | 39 |
| <br>5. COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN POLIÉSTER REFORZADAS EN FIBRA DE VIDRIO ANTE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ..... | 42 |
| 5.1 COMPORTAMIENTO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....                                 | 42 |
| 5.1.1 Descargas atmosféricas directas. ....                                                                           | 42 |
| 5.1.2 Descargas atmosféricas indirectas. ....                                                                         | 43 |
| 5.2 REQUERIMIENTO DE AISLAMIENTO PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN ...                                                       | 45 |
| 5.3 EFECTO DE LA PUESTA A TIERRA Y EL NIVEL DE AISLAMIENTO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN .....                         | 46 |
| 5.4 IMPORTANCIA DEL NIVEL DE AISLAMIENTO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN .....                                           | 46 |
| 5.5 ADICIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DEBIDO AL POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO Y OTROS MATERIALES.....         | 47 |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.5.1 Determinación de la tensión crítica de flameo CFO en estructuras con aislamiento en serie. .... | 47 |
| 5.6 DAÑOS CAUSADOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN POR LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....                  | 54 |
| 5.7 CONFIABILIDAD DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ANTE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....                       | 55 |
| 6. CONCLUSIONES .....                                                                                 | 57 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                                                     | 59 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                          | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Elaboración del PRFV.....                                                                                                                      | 18   |
| Figura 2. Proceso para realizar el laminado.....                                                                                                         | 19   |
| Figura 3. Proceso para realizar la pulverización .....                                                                                                   | 19   |
| Figura 4. Proceso para realizar la pultrusión.....                                                                                                       | 20   |
| Figura 5. Proceso para realizar el centrifugado .....                                                                                                    | 20   |
| Figura 6. Poste de PRFV instalado en la vereda urbe. ....                                                                                                | 32   |
| Figura 7. Transporte de postes de PRFV en zonas de difícil. ....                                                                                         | 32   |
| Figura 8. Postes de PRFV que se instalan en municipios de Antioquia.....                                                                                 | 33   |
| Figura 9. Facilidad al momento de transportar por bajo peso. ....                                                                                        | 33   |
| Figura 10. Estructura resistente a fuerzas de impacto. ....                                                                                              | 34   |
| Figura 11. Puesta a tierra en postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio. ....                                                                     | 38   |
| Figura 12. Poste con sus respectivas partes en una instalación de un sistema de<br>puesta a tierra. ....                                                 | 40   |
| Figura 13. a) Descargas producidas sobre la estructura, b) descarga producida<br>sobre el cable de fase, c) descarga cerca a la red de distribución..... | 44   |
| Figura 14. Inducción magnética cuando ocurre una descarga atmosférica. ....                                                                              | 45   |



## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                      | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Comparación de los postes en PRFV ante los postes tradicionales. ....                       | 26   |
| Tabla 2. Comparación de crucetas en PRFV ante crucetas tradicionales. ....                           | 29   |
| Tabla 3. Comparación de los costos según la creg 015 del 2018 ante los postes tradicionales.....     | 34   |
| Tabla 4. Especificaciones de los postes en PRFV.....                                                 | 35   |
| Tabla 5. Costos de postes según datos facilitados por DIMEL INGENIERIA y MATRIX S.A.S. ....          | 36   |
| Tabla 6. Descripción de los elementos de la figura 12.....                                           | 41   |
| Tabla 7. Tensión crítica de flameo para aisladores teniendo en cuenta el aislamiento primario.....   | 50   |
| Tabla 8. Tensión crítica de flameo adicionando segundos elementos (CFOadic.2elem).....               | 50   |
| Tabla 9. Tensión crítica de flameo adicionando terceros elementos (CFOadic.3°elem). ....             | 50   |
| Tabla 10. Diferentes combinaciones para el aislamiento para construirse una red de distribución..... | 52   |
| Tabla 11. Comparación del nivel de aislamiento dependiendo la estructura que se adiciona. ....       | 53   |
| Tabla 12. Comparación del CFO de las estructuras en PRFV ante las estructuras tradicionales.....     | 54   |

## RESUMEN

**TITULO:** CARACTERÍSTICAS DEL AISLAMIENTO Y LA PUESTA A TIERRA EN ESTRUCTURAS DE POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN.\*

**AUTOR:** ANGIE STEFANI MOYA MOLINA, JUAN DAVID LOPEZ DELGADO\*\*

**PALABRAS CLAVE:** poliéster reforzado en fibra de vidrio, redes de distribución, descargas atmosféricas, flameo, tensión crítica de flameo.

### DESCRIPCION

Este documento responde al informe final de trabajo de grado para optar al título de ingeniero electricista y tiene como propósito documentar las características de aislamiento y puesta a tierra de las estructuras en poliéster reforzado en fibra de vidrio en las redes de distribución. Las estructuras como postes y crucetas son esenciales para soportar los conductores y elementos que hacen parte de un sistema de distribución de media y baja tensión. En Colombia los postes y crucetas tradicionales han sido de materiales como madera, hormigón y acero, pero cada vez existe más demanda y se han creado nuevas alternativas como los postes y crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio que gracias a sus características constructivas brindan grandes beneficios a las redes de distribución.

Actualmente en varios países se ha estado implementando con frecuencia la utilización de dichas estructuras, reemplazando los postes y crucetas tradicionales por las estructuras en poliéster reforzado en fibra de vidrio sumando nuevas tecnologías a las redes de distribución. Al ser estas estructuras de material con características dieléctricas requiere que la puesta a tierra y el aislamiento se realicen de manera especial. Gracias a que estos postes y crucetas son dieléctricos pueden lograr disminuir el impacto que produce una descarga atmosférica a las redes de distribución, donde dependiendo el tipo de descarga ya sea una descarga directa causa flameo inverso y una descarga indirecta produce salidas de operación del sistema. Para lograr disminuir las fallas producidas por descargas atmosféricas se plantea utilizar los postes y crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio que aumentan el aislamiento total de la estructura mejorando la confiabilidad de las redes de distribución.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Doctorado en Tecnología.

## ABSTRACT

**TITLE:** CHARACTERISTICS OF ISOLATION AND GROUNDING IN FIBERGLASS REINFORCED POLYESTER STRUCTURES FOR DISTRIBUTION NETWORKS\*.

**AUTHORS:** ANGIE STEFANI MOYA MOLINA, JUAN DAVID LOPEZ DELGADO\*\*.

**KEYWORDS:** fiberglass reinforced polyester, distribution networks, lightning, flamed, critical flare voltage.

### DESCRIPTION

This document is the final report of a graduate project thesis by graduate students at the Universidad Industrial de Santander (UIS), who are in the very final stages of completing their bachelor degrees in Electrical Engineering. The purpose of this study is to inform about the characteristics of isolation and grounding in fiberglass reinforced polyester structures for distribution networks. Structures such as power line posts and cross-pieces are essential to support the conductors and elements that are part of a medium and low voltage distribution system. In Colombia, traditional power line posts and cross-pieces have been made of wood, concrete, and steel, but nowadays other alternatives as the use of fiberglass reinforced polyester have become common; thanks to its constructive characteristics, they provide great benefits to the distribution networks.

At present, some countries have started to use fiberglass reinforced polyester, replacing traditional ones, and adding new technologies to distribution networks. As the material of these structures has dielectric characteristics, the isolation and grounding must be carried out especially. Because these power line posts and cross-pieces are dielectric, they can reduce the impact produced by lightning to the distribution networks, taking into account that direct discharges cause reverse flame and indirect discharges produce failures in system operation. To reduce the failures produced by lightning, it is proposed to use power line posts and cross-pieces in fiberglass reinforced polyester, which increases the total isolation of the structure, improving the reliability of the distribution networks.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Doctorado en Tecnología.

## INTRODUCCION

En las redes de distribución eléctrica las estructuras como postes y crucetas son fundamentales para el soporte de los conductores. En Colombia, los postes de madera, los postes de concreto, las crucetas de madera y las crucetas de acero, han sido los elementos estructurales tradicionales empleados por los operadores de red. Actualmente, como existe una industria con demanda creciente, se encuentran alternativas como los postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y las crucetas de PRFV. Aunque la función principal de los postes y crucetas es mecánica o estructural, las características dieléctricas de materiales como el PRFV pueden brindar muchas ventajas ante las estructuras tradicionales y desempeñar un papel relevante en el diseño del aislamiento de la red y en particular, su comportamiento frente a sobretensiones originadas por descargas atmosféricas.

Las estructuras en poliéster reforzado en fibra de vidrio han sido implementadas en muchos países de esta manera suman nueva tecnología en su red de baja y media tensión. Actualmente estas estructuras están siendo colocadas en reemplazo de los postes de madera y hormigón ya que brindan mejores beneficios a las redes de distribución.

Con el desarrollo de este trabajo de grado se documentará la información debido a que estas estructuras se están implementando con más frecuencia y no se encuentra toda la información reunida sobre los requerimientos de aislamiento y puesta a tierra de estas estructuras, además las propiedades de este tipo de estructuras y sus ventajas frente a estructuras de materiales convencionales, especialmente en lo que se refiere al comportamiento frente a descargas atmosféricas. Sino que se encuentra toda la información dispersa, por esto se organiza la información para que sean de utilidad en posteriores estudios que se realicen.

El presente trabajo en el primer capítulo contiene las generalidades sobre el poliéster reforzado en fibra de vidrio y cómo se fabrican los postes y crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio. El segundo capítulo explica las principales características constructivas, las ventajas y desventajas que estas estructuras tienen ante las estructuras tradicionales. El tercer capítulo comprende en qué lugares de Colombia se han instalado los postes y crucetas en PRFV, además sus costos según la CREG 015 del 2018 y las diferentes empresas que los fabrican en Colombia. El cuarto capítulo contiene el sistema de puesta a tierra que requieren los postes en PRFV. El quinto capítulo muestra el comportamiento de las redes de distribución ante las descargas atmosféricas, los requerimientos de aislamiento, la importancia del nivel de aislamiento en las redes de distribución y la confiabilidad de las redes de distribución ante las descargas atmosféricas.

## **1. GENERALIDADES DEL POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO (PRFV)**

El poliéster es un tipo de resina plástica, se obtiene del petróleo por medio de diversos procesos químicos. Existen dos tipos de poliéster termoplásticos el tereftalato de polibutileno (PBT) y el tereftalato de polietileno (PET). El más utilizado es el PET que está conformado con etilenglicol más tereftalato de dimetilo, produciendo el polímero, del proceso de polimerización se obtiene la fibra que se utiliza para diversas aplicaciones<sup>1</sup>.

El poliéster reforzado en fibra de vidrio está compuesto por una resina plástica combinada con fibra de vidrio, donde se obtiene como resultado un material con mejores propiedades mecánicas. Las resinas de poliéster muestran una buena resistencia a la compresión y a temperaturas elevadas, pero presenta poca resistencia a la tracción y flexión, para mejorar sus propiedades se refuerzan con fibra de vidrio que al ser un material con gran resistencia a la tracción y una alta flexibilidad.

### **1.1 CARACTERÍSTICAS DEL POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO**

- Ligero: Al trabajar con él hace que sea muy cómodo y fácil de transportar.
- Resistente: es resistente a los golpes y la torsión. Es una buena opción para utilizarse en lugares donde son frecuentes que ocurran golpes accidentales.
- Resistente al desgaste: es un material que se puede utilizar en lugares donde se encuentren productos químicos.

---

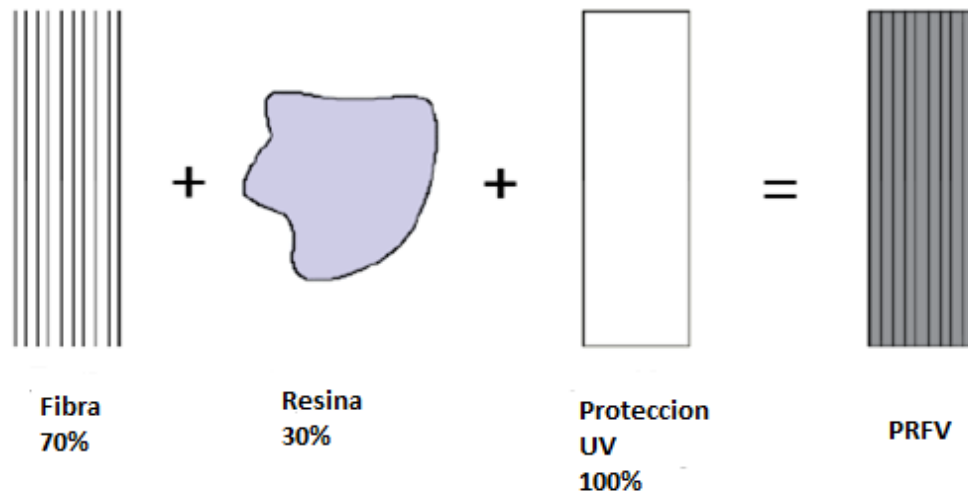
<sup>1</sup> MARIANO. Tereftalato de polietileno (PET) [en línea]. Tecnología de los plásticos blog, 2011. (Recuperado el 26 de agosto del 2019). Disponible en <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>

- Aislante: es un material que puede servir para aislar la temperatura, el ruido, la electricidad. Por esto, es utilizado en industrias donde necesiten aislante eléctrico, térmico o acústico.

## 1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE POSTES Y CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO

Los postes de poliéster son fabricados con resina y fibra obteniendo características resistentes y con mejor desempeño. En la figura 1 se observa cómo está compuesto el PRFV contiene un 30% de resina, 70% de fibra de vidrio, conforme a las normas dando como resultado un poliéster con buena resistencia temperaturas altas, dependiendo del tipo de resina que se utiliza para su fabricación.

Figura 1. Elaboración del PRFV



El proceso de fabricación de este material consta de: laminado, pulverización, pultrusión y centrifugado<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> GODOY, María. Postes y crucetas de PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio [en línea]. Petroplast, 2017. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://docplayer.es/28266040-Postes-y-crucetas-de-prfv.html>

**1.2.1 Proceso de laminado.** El laminado de filamento es una hebra de hilos continuos de filamentos de fibra de vidrio. En la figura 2 se observa que para realizar el laminado se enrolla en mechas de fibra de vidrio que se impregnan con la resina en un tanque giratorio donde se realiza la uniformidad de este proceso.

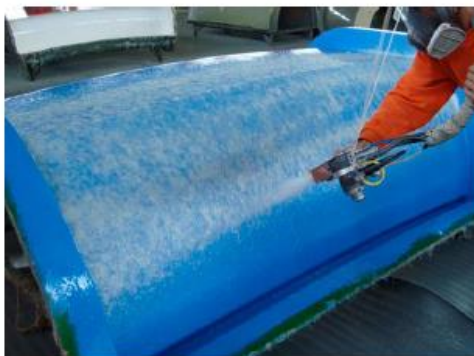
Figura 2. Proceso para realizar el laminado



Fuente: GODOY, María. Postes y crucetas de PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio [en línea]. Petroplast, 2017. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://docplayer.es/28266040-Postes-y-crucetas-de-prfv.html>

**1.2.2 Proceso de pulverización.** El proceso de pulverización como se describe en la figura 3 se realiza aplicando uniformemente la resina con la fibra de vidrio encima del material ya laminado, por medio de máquinas que compactan esta mezcla.

Figura 3. Proceso para realizar la pulverización



Fuente: GODOY, María. Postes y crucetas de PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio [en línea]. Petroplast, 2017. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://docplayer.es/28266040-Postes-y-crucetas-de-prfv.html>



**1.2.3 Proceso de pultrusión.** La pultrusión es un proceso automatizado en donde se produce perfiles con refuerzo de fibra, también llamados perfiles pultrusionados. En la figura 4 se observa el proceso de pultrusión donde se impregna la resina a los filamentos de fibra de vidrio para así obtener un buen acabado de la superficie.

Figura 4. Proceso para realizar la pultrusión



Fuente: GODOY, María. Postes y crucetas de PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio [en línea]. Petroplast, 2017. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://docplayer.es/28266040-Postes-y-crucetas-de-prfv.html>

**1.2.4 Proceso de centrifugado.** En la figura 5 se muestra el proceso de centrifugado donde se compacta la resina con la fibra de vidrio por medio de un molde que gira para así darle uniformidad al material, para ofrecer que la superficie del poste sea lisa.

Figura 5. Proceso para realizar el centrifugado



Fuente: GODOY, María. Postes y crucetas de PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio [en línea]. Petroplast, 2017. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://docplayer.es/28266040-Postes-y-crucetas-de-prfv.html>

## **2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LAS ESTRUCTURAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO**

Los postes y crucetas en PRFV son utilizados en las redes de distribución debido a que brindan una serie de beneficios que no poseen las estructuras convencionales. Las estructuras de PRFV solucionan problemas que se tienen con las estructuras convencionales tales como el transporte y ubicación de estas en zonas de difícil acceso, además cuentan con características que ofrecen grandes ventajas ante los postes y crucetas convencionales como madera, acero y hormigón.

### **2.1 POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO**

Los postes en PRFV son diseñados para brindar un mejor soporte mecánico en los tendidos de redes de distribución eléctrica en alta y baja tensión, también cuenta con una textura que facilita el acceso a las personas que realizan la instalación de dichas estructuras y su mantenimiento.

Los postes en PRFV son importantes en el área de distribución debido a que pueden cubrir una serie de necesidades como: la topología compleja que se encuentra en nuestro país, la corrosión en las selvas amazónicas, los ambientes húmedos y salinos que se encuentran en las playas.

Estos postes al poder distribuir de manera uniforme los esfuerzos en toda la estructura logran tener una mayor consistencia, seguridad y resistencia comparada con los postes convencionales (madera, hormigón, acero). Al ser contruidos con poliéster reforzado en fibra de vidrio resuelven los problemas que presentan los postes tradicionales tales como: el alto peso, la conductividad, la descomposición, las fracturas, la corrosión y los problemas medioambientales.

### **2.1.1 Principales características de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio.**

- Bajo peso.
- Alta capacidad de producción.
- Mantenimiento prácticamente nulo.
- Vida útil con más de 50 años.
- Reutilización de residuos.
- Resistente a la corrosión.
- Resistente a la intemperie.
- Resistente a la abrasión.
- Resistencia mecánica constante.
- Flexibilidad constante.
- Resistencia al ataque de agentes químicos.
- Diversidad de formas, tamaños y colores.
- Resistente a la humedad.
- Resistente a la tracción.
- No conductivo.
- No corrosivo.
- Buen aislante eléctrico.
- Buena permeabilidad eléctrica.
- Débil conductividad térmica.
- Incombustibilidad.
- Imputrescibilidad.
- Resistente al impacto.
- Soporta las más adversas condiciones climáticas.

**2.1.2 Ventajas de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante los postes tradicionales.** Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio los últimos años se han implementado más que los postes tradicionales debido a las

grandes ventajas que presentan, logrando así cubrir una serie de necesidades que no pueden obtenerse con los postes tradicionales tales como:

- Las instalaciones de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio requieren menos tiempo de instalación que los tradicionales, ya que al ser más livianos pueden ser mejor maniobrables en lugares donde se presenten inconvenientes como: cables de otras empresas, árboles, carteles, balcones.
- Al tener un bajo peso estos postes pueden ser más fácil de transportar que los postes tradicionales, reduciendo costos de transporte y montaje debido a que no se utilizan grúas, necesitando así menos personal y un menor tiempo de transporte e instalación, ya que son más fácil de maniobrar y seguros.
- Por ser fabricados en un material que no conduce corriente eléctrica, no existe riesgo de electrificación del poste.
- Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio a diferencia de los postes de madera no se deterioran en la base cuando se encuentran en lugares húmedos ya que la madera esta propensa a hongos, bacterias e insectos que producen más rápido el deterioro del poste.
- Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio están contruidos de un material no corrosivo, mientras que los postes de hormigón están contruidos con una malla de hierro que con el tiempo se oxidan, después se corroe y ocasiona que se aumente el volumen y termina quebrando el cemento, generalmente en lugares húmedos convirtiéndose en un problema ya que se deterioran y necesita que se reemplacen.
- Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio se pueden utilizar en lugares donde los postes de madera no cubren las necesidades que se requieren tales

como: zonas infestadas por pájaros, zonas con riesgo de incendio, zonas costeras con bastantes vientos y ambientes corrosivos, zonas de difícil acceso.

- Con los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio se minimizan los riesgos de accidentes de personas en la vía pública y de trabajadores del sector eléctrico por choques eléctricos electrocución.
- Favorece el medio ambiente, evitando la tala de árboles.
- Con los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio se evita la reposición del poste, a diferencia de los postes de madera y hormigón que se reemplazan por estas podridos o quebrados.
- Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio reducen los efectos que producen los accidentes de tráfico ya que absorbe el impacto, los estudios y las pruebas han demostrado que los postes en PRFV reduce los daños en los vehículos, conservando el vehículo donde se encuentra el conductor y los pasajeros. Al contrario, los postes de madera y hormigón al ser impactados terminan rompiéndose en la base cayendo al suelo y así generando inconvenientes en la vida pública y colocando en riesgo la vida de las personas.
- Al ser impactados los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio ya sea a una velocidad alta o baja pueden recuperarse sin tener que trasladarlos y sin interrumpir el suministro eléctrico, a diferencia de los postes tradicionales.
- Desde el punto de vista ecológico por ser totalmente limpios conservan el medio ambiente, pero no del todo debido que al momento de su fabricación se emiten gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> pero en comparación a la fabricación de estas estructuras en hormigón nada más es un 30% de lo que emiten estas las estructuras en hormigón.

- El tiempo de fabricación, obtención y suministro de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio es más rápido que en los postes tradicionales. Esto puede hacer que los esfuerzos al momento de recuperación después de una tormenta o algún impacto sean mucho más rápido y fáciles.
- Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio requieren menos energía para fabricar, enviar e instalar, que los postes de hormigón o acero, también no liberan productos químicos en el ambiente como los postes en hormigón o madera. Esto hace que los postes en poliéster reforzados en fibra de vidrio sean una buena opción en cualquier entorno incluyendo los sensibles al medio ambiente.
- Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio no requieren una consideración especial para su eliminación, ya que pueden colocarse en vertederos o preferiblemente reutilizarse o reciclarse. Los últimos desarrollos tecnológicos están haciendo que estos postes serán biodegradables, reciclables y reutilizables en procesos industriales.

**2.1.3 Desventajas de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante las estructuras tradicionales.** Los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio poseen numerosos beneficios, pero también presentan algunas desventajas tales como:

- El costo del poste en poliéster reforzado en fibra de vidrio es un poco más alto que los postes de madera, es competitivo con el costo de los postes en acero y un poco menor que el costo de los postes en hormigón. Sin embargo, al analizar el costo de ciclo de vida en general que compara los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio con los postes tradicionales muestra que a largo plazo con los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio se puede tener ahorros significativos para los usuarios.

- Los postes en poliéster reforzados en fibra de vidrio, aunque lleven años en el mercado se han implementado muy poco, por esto algunos clientes potenciales dudan un poco en implementarlos, pero muchas empresas de servicio público han utilizado estos postes por más de 10 años obteniendo buena experiencia y resultados. La principal preocupación de las empresas de servicio público es la protección contra rayos ultravioleta, ya que necesitan que los postes tengan un sistema de protección contra rayos ultravioleta integrado.

## 2.2 COMPARACIÓN DE LOS POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO ANTE LOS POSTES TRADICIONALES

Teniendo en cuenta las características más importantes de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio se hace una comparación con los postes en madera, hormigón, y acero como se muestra en la tabla 1.

Los postes en PRFV ante los postes convencionales presentan mejores características haciendo que este poste brinde grandes beneficios para su uso en las redes de distribución principalmente en las áreas de difícil acceso, en donde son bastante necesarios postes con las características que este posee.

Tabla 1. Comparación de los postes en PRFV ante los postes tradicionales.

| <b>característica</b>        | <b>PRFV</b>  | <b>Madera</b>        | <b>Acero</b>      | <b>Hormigón</b> |
|------------------------------|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| Duración (años)              | 50 a 80      | 10 a 20              | 20 a 30           | 15 a 25         |
| Peso                         | Más liviano  | Intermedio           | Liviano           | Pesado          |
| Corrosión                    | Ninguno      | Ninguno              | Si                | Poco            |
| Costo de transporte          | Muy bajo     | Bajo                 | Medio             | Alto            |
| Costo de instalación         | Muy bajo     | Bajo                 | Medio             | Alto            |
| Resistencia hongos, insectos | -----        | Bajo                 | -----             | -----           |
| Costo de mantenimiento       | Ninguno      | Alto                 | Medio             | Alto            |
| Conductividad eléctrica      | No conductor | Semiconductor        | Conductor         | Semiconductor   |
| Inflamabilidad               | Ninguno      | Si                   | Ninguno           | Ninguno         |
| Reparables                   | Si           | Ninguno              | Si                | Ninguno         |
| Impacto ambiental            | Bajo         | Tratado con químicos | Proceso galvánico | -----           |

## **2.3 CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO**

Las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio al tener una alta resistencia mecánica, un bajo peso, buenas características dieléctricas, y una larga vida útil por los materiales que está compuesta, han ofrecido una solución que aporta seguridad al medio ambiente, a la comunidad y a los equipos de operación de las redes de energía, ya que contribuyen a la preservación de las personas y la fauna, brindando así una mejor confiabilidad de las redes de distribución de media y baja tensión.

### **2.3.1 Características generales de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio.**

- Son resistentes a los ambientes muy agresivos tales como: corrosión al contacto con soluciones alcalinas, ácidos y solventes.
- posee grandes propiedades mecánicas.
- El transporte es fácil debido a que son livianas.
- La instalación es rápida gracias a su fácil manejo.
- No necesitan mantenimiento, y en caso de requerirlo es muy económico.
- Vida útil de más de 75 años.
- Resistencia a los rayos ultravioleta
- Buena resistencia mecánica.
- No conductora.
- Incombustibilidad.
- Imputrescibilidad.
- Diversidad de formas, tamaños y colores.
- Resistente al impacto.
- Soporta cargas estructurales.



### **2.3.2 Ventajas de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante las crucetas tradicionales.**

- Las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio resisten al fuego, a ácidos y descargas atmosféricas, a diferencia de las crucetas en madera.
- Las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio no se deterioran con el tiempo, no absorben humedad, no se pudren como ocurre con las crucetas de madera a estar expuestas en ambientes húmedos se pudre y las crucetas de acero se corroe muy fácilmente.
- El medio ambiente se protege evitando la tala de bosques.
- No posee químicos que son grandes contaminantes para el medio ambiente.
- Los costos de instalación de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio son más bajos que los costos de las crucetas convencionales como la madera o acero.
- Las crucetas de madera se deben reemplazar cada 25 a 40 años dependiendo de las condiciones ambientales y calidad de la madera, mientras que las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio ofrecen la posibilidad de saltar hasta dos ciclos de reemplazo que requieren las crucetas de madera, debido a que las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio poseen una vida útil de más de 75 años.
- Las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio brindan un menor impacto ambiental, a diferencia de las crucetas de madera o acero estas pueden ser recicladas o colocar en un relleno sanitario general.

- Cuando algunas aves aterrizan en las crucetas de acero energizados, su larga envergadura puede superar la distancia entre las fases del conductor y las crucetas de metal, causando lesiones y potencialmente la pérdida de vida silvestre, mientras que con las crucetas de poliéster reforzado en fibra de vidrio con su característica no conductora se pueden evitar los accidentes con aves.

**2.3.3 Desventajas de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante las crucetas tradicionales.** Las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio tienen muy pocas desventajas la más relevante es su costo de fabricación es más elevado que el costo de fabricación de las crucetas de madera y acero. A largo plazo el costo de fabricación junto con el costo de instalación y transporte, llega a ser mejor en las crucetas de poliéster reforzado en fibra de vidrio que en las crucetas tradicionales.

## **2.4 COMPARACIÓN DE LAS CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO ANTE LAS CRUCETAS TRADICIONALES**

Teniendo en cuenta algunas características de las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio se hace una comparación con las crucetas en madera y acero como se muestra en la tabla 2.

Las crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio ante las crucetas de madera y acero, poseen características que brindan mejores beneficios a las redes de distribución como ser más liviana, haciendo su fácil transporte y que sea menos costoso.

Tabla 2. Comparación de crucetas en PRFV ante crucetas tradicionales.

| <b>característica</b>             | <b>PRFV</b> | <b>Madera</b> | <b>Acero</b> |
|-----------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| Peso                              | Más liviano | Intermedio    | Liviano      |
| Corrosión                         | No          | No            | Si           |
| Costo de transporte e instalación | Muy bajo    | Bajo          | Medio        |
| Resistencia hongos, insectos      | -----       | Bajo          | -----        |

|                         |              |                      |                   |
|-------------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| Costo de mantenimiento  | Ninguno      | Alto                 | Medio             |
| Conductividad eléctrica | No conductor | Semiconductor        | Conductor         |
| Reparables en campo     | Si           | Posible              | Si                |
| Impacto ambiental       | Ninguno      | Tratado con químicos | Proceso galvánico |

### **3. POSTES Y CRUCETAS EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO INSTALADOS EN COLOMBIA**

En Colombia los postes y crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio se han instalado poco, pero varias empresas los fabrican debido a que se han convertido en una excelente alternativa para llevar energía a zonas rurales de difícil acceso, ya que ofrecen unas ventajas como la facilidad de la instalación y durabilidad entre otras.

Empresa como Enertolima, Furel S.A y FUTECH, realizan proyectos en Antioquia y Tolima, utilizando la innovación en los métodos de fabricación, cambiando los postes de madera, cemento o metal, a postes de PRFV creando un pilar fundamental para la seguridad, movilidad, y salubridad en el trabajo. Esto se ve reflejado en proyectos como Antioquia iluminada, que lleva energía eléctrica a zonas de difícil acceso como urbe y otras veredas, esto fue posible gracias a la durabilidad y facilidad de transporte de los postes en PRFV, donde se pasa a transportar 20 postes de cemento o madera a transportar 100 postes de PRFV, generando un impacto positivo a nivel medioambiental debido a que se optimiza el consumo de gasolina por unidad.

Estas empresas utilizan los postes de PRFV para modernizar el paisaje urbano y rural, al mismo tiempo cuidan y protegen el medio ambiente, logrando llevar electricidad a los municipios y veredas de Antioquia como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Poste de PRFV instalado en la vereda urbe.



Fuente: REDACCIÓN COMERCIAL. Colombia se beneficia con la instalación de postes de fibra de vidrio [en línea]. Caracol radio, 2017. (Recuperado el 26 de agosto de 2019) Disponible en: [https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361\\_502770.html](https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361_502770.html)

Figura 7. Transporte de postes de PRFV en zonas de difícil.



Fuente: REDACCIÓN COMERCIAL. Colombia se beneficia con la instalación de postes de fibra de vidrio [en línea]. Caracol radio, 2017. (Recuperado el 26 de agosto de 2019) Disponible en: [https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361\\_502770.html](https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361_502770.html)

Figura 8. Postes de PRFV que se instalan en municipios de Antioquia.



Fuente: REDACCIÓN COMERCIAL. Colombia se beneficia con la instalación de postes de fibra de vidrio [en línea]. Caracol radio, 2017. (Recuperado el 26 de agosto de 2019) Disponible en: [https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361\\_502770.html](https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361_502770.html)

Figura 9. Facilidad al momento de transportar por bajo peso.



Fuente: EQUISPLAST. ¿Qué es P.R.F.V? Plástico reforzado con fibra de vidrio [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019). Disponible en: <http://www.equisplast.com/articulos/que-es-prfv/3/>

Figura 10. Estructura resistente a fuerzas de impacto.



Fuente: CHÁVEZ, Betzabeth. Postes de fibra de vidrio para electrificación [en línea]. YouTube, 2013. (Recuperado el 26 de agosto del 2019). Disponible en [https://www.youtube.com/watch?v=ZnIMgwQ9\\_w8](https://www.youtube.com/watch?v=ZnIMgwQ9_w8)

### 3.1 COSTOS DE LOS POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO

El costo de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio es un poco más alto que los postes tradicionales, en la tabla 3 se muestra una comparación del valor instalado de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio según la CREG 015 del 2018 ante los postes de madera, concreto y metálico para nivel de tensión 1.

Tabla 3. Comparación de los costos según la creg 015 del 2018 ante los postes tradicionales.

| UC    | DESCRIPCIÓN                                                | VALOR<br>INSTALADO<br>[\$ dic 2017] |
|-------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| N1P1  | Poste de concreto - 8 m - urbano - suspensión - red común  | 654.000                             |
| N1P2  | Poste de concreto - 10 m - urbano - suspensión - red común | 820.000                             |
| N1P3  | Poste de concreto - 12 m - urbano- suspensión - red común  | 1.019.000                           |
| N1P4  | Poste de madera - 8 m - urbano - suspensión - red común    | 671.000                             |
| N1P5  | Poste de madera - 10 m - urbano- suspensión - red común    | 813.000                             |
| N1P6  | Poste de madera - 12 m - urbano- suspensión - red común    | 911.000                             |
| N1P7  | Poste de metálico - 8 m -urbano- suspensión - red común    | 846.000                             |
| N1P8  | Poste de metálico - 10 m - urbano- suspensión - red común  | 1.054.000                           |
| N1P9  | Poste de metálico - 12 m - urbano- suspensión - red común  | 1.263.000                           |
| N1P10 | Poste de PRFV - 8 m - urbano- suspensión - red común       | 1.234.000                           |
| N1P11 | Poste de PRFV - 10 m - urbano- suspensión - red común      | 1.883.000                           |
| N1P12 | Poste de PRFV - 12 m - urbano- suspensión - red común      | 2.109.000                           |

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución N° 015 (29 de enero del 2018). Diario Oficial No. 50.496

El valor del poste instalado varía dependiendo si va ser instalado en zona urbana o rural, también si es red común o red trenzada y del tamaño del poste, en la CREG 015 del 2018 se especifican cada uno de estos valores dependiendo del poste que se necesita, los postes de poliéster reforzado en fibra de vidrio brindan muchas ventajas antes los postes tradicionales pero su precio sigue siendo más elevado. Aunque el valor instalado de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio es mayor que los tradicionales a largo plazo son más rentable debido a que las características que ofrece el poste no requieren mantenimiento y tienen una vida útil mayor que los postes tradicionales.

En la tabla 4 muestra la especificación de los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio teniendo en cuenta los diferentes tamaños que existen como 8, 9, 10, 11, 12 y 14 metros, además diferentes características como el peso, la carga operación, la carga de rotura, el diámetro, la deflexión bajo carga, el factor de seguridad y la altura de empotramiento de cada uno.

Tabla 4. Especificaciones de los postes en PRFV.

| Altura Total Poste (Incluye zona Empotramiento) (mts.)                                                                                                        |          |                            | 8mts.  | 9mts.  | 10mts. | 11mts. | 12mts.  | 14mts.  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Altura Empotramiento mts.                                                                                                                                     |          |                            | 1,40   | 1,50   | 1,60   | 1,70   | 1,80    | 2,00    |
| Carga de Operación: 204 Kgf.<br><b>Carga de Rotura Mínima: 510 Kgf.</b><br>Deformación Permanente: < 0,05mts.<br>Factor de Seguridad: 2.5<br>Conicidad: 1,8%  | 510 Kgf  | Diametro en Cima (mts.)    | 0,14   | 0,15   | 0,15   | 0,15   | 0,15    | 0,15    |
|                                                                                                                                                               |          | Diametro en Base (mts.)    | 0,28   | 0,30   | 0,32   | 0,34   | 0,35    | 0,37    |
|                                                                                                                                                               |          | Peso (kg.)                 | 56     | 65     | 87     | 105    | 115     | 148     |
|                                                                                                                                                               |          | Deflexion Bajo Carga (mts) | < 0,66 | < 0,74 | < 0,84 | < 0,93 | < 0,102 | < 0,112 |
| Carga de Operación: 300 Kgf.<br><b>Carga de Rotura Mínima: 750 Kgf.</b><br>Deformación Permanente: < 0,05mts.<br>Factor de Seguridad: 2.5<br>Conicidad: 1,8%  | 750 Kgf  | Diametro en Cima (mts.)    | 0,14   | 0,15   | 0,15   | 0,15   | 0,15    | 0,15    |
|                                                                                                                                                               |          | Diametro en Base (mts.)    | 0,28   | 0,3    | 0,32   | 0,34   | 0,35    | 0,36    |
|                                                                                                                                                               |          | Peso (kg.)                 | 75     | 78     | 106    | 125    | 147     | 206     |
|                                                                                                                                                               |          | Deflexion Bajo Carga (mts) | < 0,66 | < 0,84 | < 0,84 | < 0,93 | < 0,102 | < 0,112 |
| Carga de Operación: 420 Kgf.<br><b>Carga de Rotura Mínima: 1050 Kgf.</b><br>Deformación Permanente: < 0,05mts.<br>Factor de Seguridad: 2.5<br>Conicidad: 1,8% | 1050 Kgf | Diametro en Cima (mts.)    | 0,15   | 0,16   | 0,16   | 0,15   | 0,14    | 0,12    |
|                                                                                                                                                               |          | Diametro en Base (mts.)    | 0,28   | 0,3    | 0,32   | 0,34   | 0,35    | 0,36    |
|                                                                                                                                                               |          | Peso (kg.)                 | 91     | 95     | 132    | 158    | 172     | 245     |
|                                                                                                                                                               |          | Deflexion Bajo Carga (mts) | < 0,66 | < 0,84 | < 0,84 | < 0,93 | < 0,102 | < 0,112 |
| Carga de Operación: 540 Kgf.<br><b>Carga de Rotura Mínima: 1350 Kgf.</b><br>Deformación Permanente: < 0,05mts.<br>Factor de Seguridad: 2.5<br>Conicidad: 1,8% | 1350 Kgf | Diametro en Cima (mts.)    | N.D.   | N.D    | 0,17   | 0,16   | 0,14    | 0,12    |
|                                                                                                                                                               |          | Diametro en Base (mts.)    | N.D.   | N.D    | 0,34   | 0,35   | 0,35    | 0,36    |
|                                                                                                                                                               |          | Peso (kg.)                 | N.D.   | N.D    | 149    | 189    | 210     | 295     |
|                                                                                                                                                               |          | Deflexion Bajo Carga (mts) | N.D.   | N.D    | < 0,84 | < 0,93 | < 0,102 | < 0,112 |

Fuente: MATRIX ENERGY SYSTEMS SAS. Protección eléctrica, energía renovable [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://matrixenergysystems.com/es/>



En la tabla 5 se muestran los precios en promedio que manejan las diferentes empresas que fabrican estas estructuras, en su valor neto con IVA incluido dependiendo de altura y carga de ruptura, todos estos valores son para postes monolíticos.

Todos los postes cuentan con:

- Tapas en los extremos
- Placa de Identificación
- Dispositivo Anti giro (integrado al laminado)
- Acabado Liso
- Marcas de Longitud de Enterramiento y Centro de Gravedad
- Color Gris Basalto (Protector rayos UV)
- Aditivo auto extingible

Tabla 5. Costos de postes según datos facilitados por DIMEL INGENIERIA y MATRIX S.A.S.

| ESPECIFICACIONES            |         | ALTURA  |         |         |         |         |         |           |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| CARGA MINIMA DE ROPTURA     | 350 Kgf | 6 m     | 8 m     | 9 m     | 10 m    | 11 m    | 12 m    | 14 m      |
| PRECIO EN PESOS COLOMBIANOS |         | 500.000 | 620.000 | 720.000 | 800.000 | 870.000 | 940.000 | 1'020.000 |

| ESPECIFICACIONES            |         | ALTURA  |         |         |           |           |           |           |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CARGA MINIMA DE ROPTURA     | 510 Kgf | 6 m     | 8 m     | 9 m     | 10 m      | 11 m      | 12 m      | 14 m      |
| PRECIO EN PESOS COLOMBIANOS |         | 820.000 | 900.000 | 960.000 | 1'010.000 | 1'080.000 | 1'150.000 | 1'300.000 |

| ESPECIFICACIONES            |         | ALTURA    |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CARGA MINIMA DE ROPTURA     | 750 Kgf | 6 m       | 8 m       | 9 m       | 10 m      | 11 m      | 12 m      | 14 m      |
| PRECIO EN PESOS COLOMBIANOS |         | 1'010.000 | 1'100.000 | 1'200.000 | 1'300.000 | 1'370.000 | 1'450.000 | 1'700.000 |

| ESPECIFICACIONES            |          | ALTURA    |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CARGA MINIMA DE ROPTURA     | 1050 Kgf | 6 m       | 8 m       | 9 m       | 10 m      | 11 m      | 12 m      | 14 m      |
| PRECIO EN PESOS COLOMBIANOS |          | 1'650.000 | 1'720.000 | 1'770.000 | 1'850.000 | 1'920.000 | 2'200.000 | 2'500.000 |

| ESPECIFICACIONES            |          | ALTURA     |            |            |           |           |           |           |
|-----------------------------|----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CARGA MINIMA DE ROPTURA     | 1350 Kgf | 6 m        | 8 m        | 9 m        | 10 m      | 11 m      | 12 m      | 14 m      |
| PRECIO EN PESOS COLOMBIANOS |          | NO DISPONE | NO DISPONE | NO DISPONE | 2'600.000 | 2'760.000 | 2'900.000 | 3'100.000 |

#### **4. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO**

Hacer el correcto aterrizamiento de los postes y crucetas fabricadas en PRFV utilizadas en el sistema de distribución estableciendo una configuración básica de electrodos que permitan hacer un sistema de puesta a tierra seguro desde el punto de vista de tensiones de contacto y de paso según la exigencia del RETIE<sup>3</sup>.

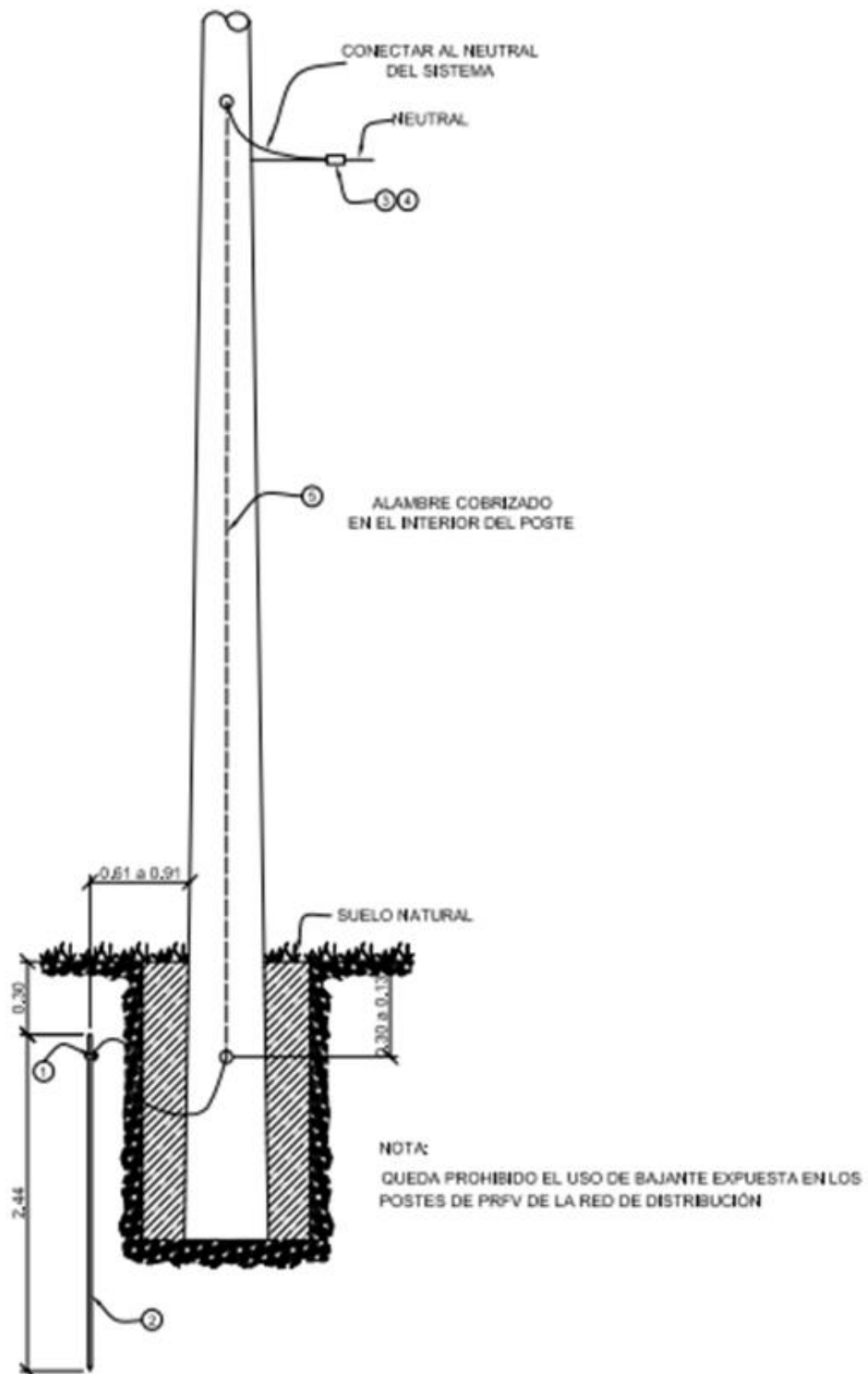
La puesta a tierra es realizar una conexión intencional a tierra por medio de un conjunto de materiales conductores con una impedancia bastante baja, en donde se pueda evitar que se presente voltajes que puedan llegar a poner en riesgo a las personas o equipos conectados. Es importante que se realice una correcta instalación del sistema de puesta a tierra ya que es una de las principales defensas que se tienen ante choques eléctricos y sobretensiones en un sistema eléctrico.

Para los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser #6 AWG recubierto con cobre sólido como se muestra en la figura 11.

---

<sup>3</sup> GRUPO EPM. Normas técnicas: puesta a tierra de redes de distribución eléctrica [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019). Disponible: [https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro\\_de\\_documentos/proveedores\\_y\\_contratistas/normas\\_y\\_especificaciones/normas\\_aereas/grupo\\_6\\_Normas\\_de\\_montajes\\_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf](https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf)

Figura 11. Puesta a tierra en postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio.



Fuente: ENSA GRUPO EMP. Capítulo 6. Puesta a tierra (aterrizaje) [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019) Disponible en: [https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/n06\\_capitulo\\_6\\_puesta\\_a\\_tierra\\_aterrizaje\\_ver\\_3.2.pdf](https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/n06_capitulo_6_puesta_a_tierra_aterrizaje_ver_3.2.pdf)

Cuando se realicen instalaciones de postes en PRFV, el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe tener ningún acceso que se pueda llegar a tocar, por esto se instala en la parte interna del poste que al ser hueca facilita la instalación del conductor como se muestra en la figura 11.

La instalación de la varilla de puesta a tierra debe enterrarse a una profundidad de 30 cm por debajo del suelo. Si no se logra la profundidad requerida por encontrarse alguna roca, la varilla se instalará a 45° de tal forma que pueda quedar totalmente enterrada. Si se llega a necesitar instalar más de una varilla de puesta a tierra para lograr disminuir la resistencia de puesta a tierra, se debe colocar por lo menos a 1.80 metros de donde se instaló la primera varilla.

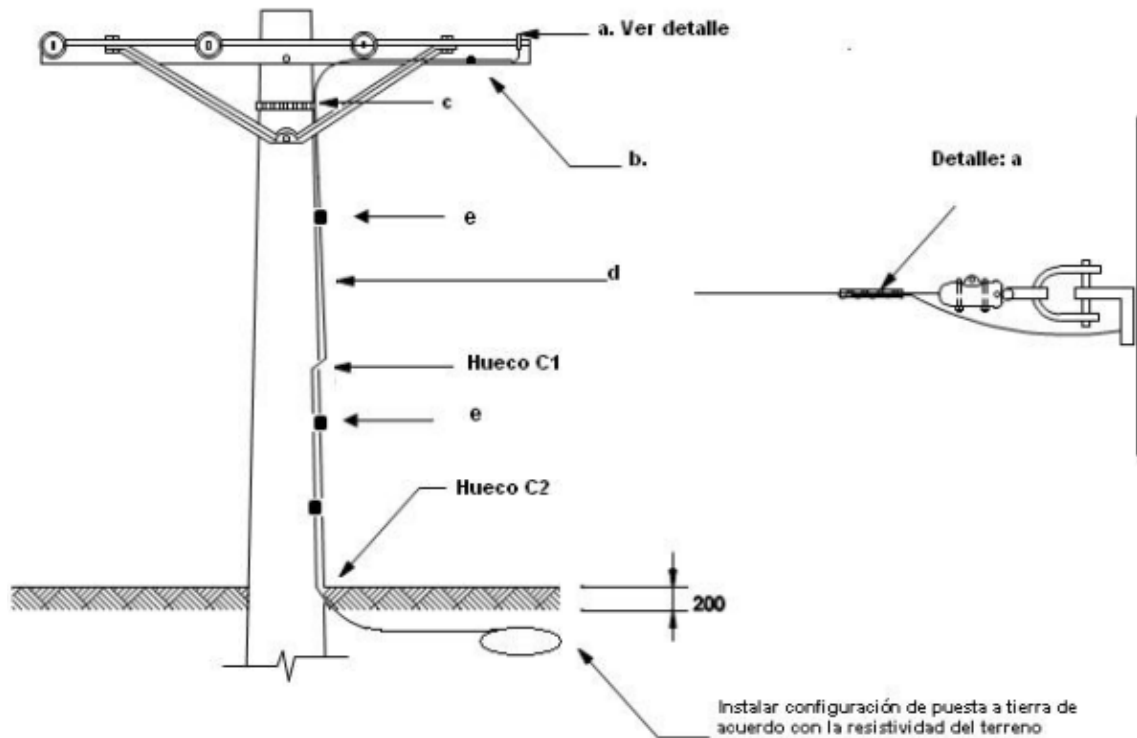
Para el calcular los valores de la resistencia de puesta a tierra se debe medir con los equipos adecuados y tener en cuenta las instrucciones que da el fabricante, si se encuentra equipos electrónicos de control como reguladores de tensión o banco de condensadores, es necesario revisar el instructivo del equipo y si no se encuentra la especificación se debe tomar una resistencia de puesta a tierra menor de 10  $\Omega$  para la puesta a tierra de cada equipo. Donde se encuentren instalados equipos eléctricos en la red de distribución de 13.2 y 34.5 kV como interruptores. Pararrayos, cuchillas, etc., la resistencia de puesta a tierra debe ser menor a 25  $\Omega$  sino se instalará un segundo electrodo de puesta a tierra.

#### **4.1 CONFIGURACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA EN POSTES EN POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO**

Gracias a sus características eléctricas estos postes no necesitan equipontecializar su estructura. Pero si es necesario que tengan un espacio para poner la puesta a tierra el sistema de distribución que transportan estas estructuras, para esto como se muestra en la figura 12 el cable bajante deberá ingresar por el agujero C1 y salir por el agujero C2 donde se conecta a la

configuración de puesta a tierra. Para realizar la conexión varilla con el cable de puesta a tierra deberá ser enterrado desnudo para que cumpla como disipador de corriente.

Figura 12. Poste con sus respectivas partes en una instalación de un sistema de puesta a tierra.



Fuente: GRUPO EPM. Normas técnicas: puesta a tierra de redes de distribución eléctrica [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019). Disponible: [https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro\\_de\\_documentos/proveedores\\_y\\_contratistas/normas\\_y\\_especificaciones/normas\\_aereas/grupo\\_6\\_Normas\\_de\\_montajes\\_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf](https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf)

Tabla 6. Descripción de los elementos de la figura 12.

| ITEM | DESCRIPCIÓN                                                    | CANT   |
|------|----------------------------------------------------------------|--------|
| a    | Conector universal de tipo derivación (calibre según proyecto) | 1      |
| b    | Conector para equipotencializar cruceta metálica               | 1      |
| c    | Correa plástica                                                | 1      |
| d    | Alambre de acero recubierto de cobre No. 4 AWG (cubierto)      | 12.0 m |
| e    | Grapa metálica galvanizada en caliente con dos orificios       | 6      |

Fuente: GRUPO EPM. Normas técnicas: puesta a tierra de redes de distribución eléctrica [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019). Disponible: [https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro\\_de\\_documentos/proveedores\\_y\\_contratistas/normas\\_y\\_especificaciones/normas\\_aereas/grupo\\_6\\_Normas\\_de\\_montajes\\_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf](https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf)

En la tabla 6 las dimensiones de las cantidades se encuentran en milímetros, la bajante de la puesta a tierra se debe unir con estructura metálica del poste y los diferentes elementos metálicos como: crucetas, pernos, tornillos y anillos espaciadores, también los vientos y retenidas.

## **5. COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN POLIÉSTER REFORZADAS EN FIBRA DE VIDRIO ANTE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Las descargas atmosféricas producen fallas en las redes de distribución eléctricas, por esto se debe hacer forma adecuada la selección de los componentes que van a formar la red de distribución eléctrica para así poder lograr disminuir la cantidad de fallas por descargas atmosféricas.

Por medio de varios estudios que se han realizado a lo largo del tiempo se evidencia que al utilizar crucetas y postes en poliéster reforzados en fibra de vidrio, debido a que poseen características dieléctricas se logra disminuir la cantidad de descargas atmosféricas ya sean directas e indirectas donde estas causan flameo sobre las redes de distribución, ya que con estas se obtiene un aumento en el aislamiento total de la estructura teniendo en cuenta el CFO, mejorando la confiabilidad de la red eléctrica, ya que se reduce el número de fallas por descargas atmosféricas.

### **5.1 COMPORTAMIENTO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

En las redes de distribución las descargas atmosféricas tienen mayor impacto debido a que su nivel de aislamiento es menor a diferencia de como ocurre en las líneas de transmisión. En las redes de distribución las descargas atmosféricas producen fallas que pueden ser descargas directas que ocurren en los conductores de fase, produciendo apantallamiento, también afectar la estructuras y producir flameo inverso.

**5.1.1 Descargas atmosféricas directas.** Las descargas directas son aquellas que pueden afectar el cable de guarda, la estructura y el conductor de fase, para que el

impacto de la descarga no llegue al conductor de fase sino al cable de guarda debe haber un buen apantallamiento.

- **Descargas sobre el conductor de fase.** Las descargas directas cuando ocurren sobre el conductor de fase producen flameo directo en el aislador ocasionando una falla monofásica en la mayoría de veces. Cuando ocurre una descarga atmosférica directa el flameo siempre se producirá debido a que la impedancia de una red de distribución es de 400 ohmios y tomando la corriente de la descarga es de 10 kA, según el estándar IEEE la tensión crítica de flameo de una red de distribución es mayor a 300 kV, por lo tanto, es bastante probable que se produzca flameo ante una descarga directa sobre el conductor de fase.

- **Descargas sobre la estructura o sobre el cable de guarda.** Cuando una descarga impacta en la estructura o cable de guarda, hace que la corriente se divida entre la puesta a tierra y el cable de guarda. La puesta a tierra en redes de distribución tiene en promedio 20 ohmios, cuando se tienen una corriente de la descarga es muy baja, se aumenta la tensión tanto en el cable de guarda, en el conductor de puesta a tierra, produciendo el flameo inverso.

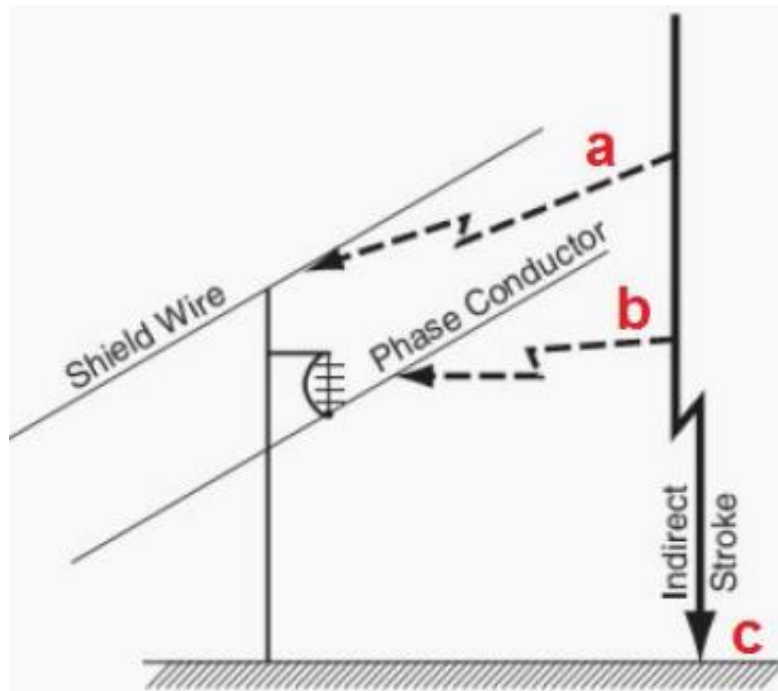
La resistencia de puesta a tierra es de mucha importancia ya que al presentar valores muy altos se produce flameo al haber acople inductivo con el conductor de fase, pero si los valores son muy bajos, existe menor posibilidad de que ocurra flameo, esto depende de la magnitud de la corriente de rayo.

**5.1.2 Descargas atmosféricas indirectas.** Cuando ocurren descargas indirectas, estas no impactan directamente la red de distribución sino un área cercana a la misma. Investigaciones indican que la mayoría de los daños en las redes de distribución son ocasionados por descargas indirectas que producen salidas de operación. El estándar IEEE 1410, indica que la gran parte de las descargas no tienen una tensión inducida mayor a los 300 kV, por esto se plantea que la tensión



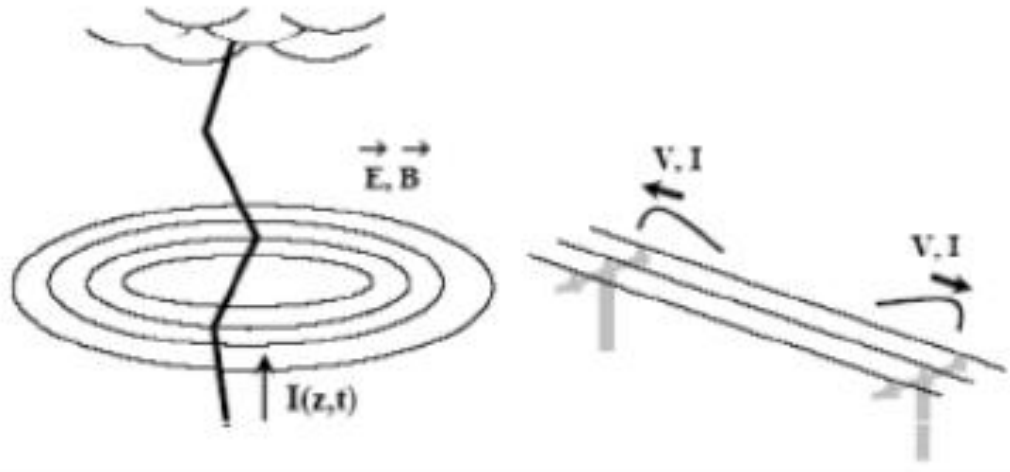
inducida total de los componentes en una estructura sea mayor que el valor citado anteriormente, para así disminuir los efectos que causan las descargas atmosféricas.

Figura 13. a) Descargas producidas sobre la estructura, b) descarga producida sobre el cable de fase, c) descarga cerca a la red de distribución.



Fuente: CAÑIZARES, Piter. Estudio de los sobrevoltajes en redes de distribución [Tesis de grado]. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2000.

Figura 14. Inducción magnética cuando ocurre una descarga atmosférica.



Fuente: CAÑIZARES, Piter. Estudio de los sobrevoltajes en redes de distribución [Tesis de grado]. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2000.

## 5.2 REQUERIMIENTO DE AISLAMIENTO PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN

Para detener las descargas atmosféricas y no lleguen a caer directamente sobre las fases es necesario utilizar cables de guarda que son conductores conectados a tierra y se colocan en los conductores de fase. Por medio de una línea de tierra que se encuentra en el poste es desviada la corriente de la descarga atmosférica, para lograr la efectividad el cable de guarda necesita que cada poste tenga su puesta a tierra.

En las redes de distribución para que el cable de guarda sea efectivo depende la mayor parte del aislamiento que se encuentre entre la línea de tierra y los conductores de fase. Para lograr tener un adecuado aislamiento la línea de tierra no debe tocar el poste en toda su altura. Cuando se utiliza postes de madera se debe separar la línea de tierra del poste en la cercanía de la cruceta y aisladores. Esto se puede hacer al utilizar varillas de fibra de vidrio, donde estas pueden sostener el cable de guarda alejándolo 30 – 60 cm del poste.

Una tensión crítica de flameo mayor del rango de 250 – 300 kV hace que el cable de guarda tenga mayor efectividad. Para lograr el nivel de aislamiento en redes de distribución también se pueden utilizar separadores para la línea de tierra.

### **5.3 EFECTO DE LA PUESTA A TIERRA Y EL NIVEL DE AISLAMIENTO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN**

La puesta a tierra es totalmente necesaria para que el cable de guarda sea efectivo en la red de distribución. Para diseñar un cable de guarda se debe tener una resistencia a tierra menor a 10  $\Omega$  mientras la tensión crítica de flameo sea menor de 200 kV. Cuando la tensión crítica de flameo logre estar en el rango de 300 – 350 kV, la resistencia de puesta a tierra debe ser de 40  $\Omega$ .

Cuando las redes de distribución se construyen debajo de líneas de transmisión, pueden estar expuestas a que se produzca flameos inversos. Pero al tener estructuras con grandes alturas pueden atraer descargas atmosféricas directas. Por lo tanto, es importante tener altos niveles de aislamiento para así poder evitar constantes flameos.

### **5.4 IMPORTANCIA DEL NIVEL DE AISLAMIENTO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN**

Las redes de distribución al poseer un nivel de aislamiento bajo, las descargas atmosféricas en su gran mayoría producen fallas sino cuentan con un cable de guarda.

En el caso de los flameos por tensiones inducidas se pueden reducir en gran parte con el incremento del aislamiento para esto se pueden utilizar componentes para las estructuras con materiales de madera y la fibra de vidrio.

Para proteger las redes de distribución ante descargas atmosféricas se utilizan en su construcción varios materiales aislantes como porcelanas, fibra de vidrio y madera, donde estos poseen su propio nivel de aislamiento. Al utilizar estos elementos en serie el nivel de aislamiento total, no será la suma de cada nivel de aislamiento, sino que un poco menos de dicho valor.

Algunos factores pueden dificultar la estimación del nivel de aislamiento total y pueden llegar a producir flameo antes descargas atmosféricas, estos son: la contaminación, humedad, la forma del herraje, entre otros.

## **5.5 ADICIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DEBIDO AL POLIÉSTER REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO Y OTROS MATERIALES**

En el diseño de las líneas de transmisión se utilizaba el método de adición del nivel de aislamiento, pero en los últimos años se ha venido usando en componentes utilizados para la construcción de las redes de distribución. Dicho método consiste en utilizar la tensión crítica de flameo del componente primario, agregándole la tensión crítica de flameo que ofrecen los componentes adicionales.

Desde hace muchas décadas se ha construido redes de distribución con estructuras de madera colocándose en serie con aisladores primarios, para poder incrementar la resistencia al ocurrir una descarga atmosférica teniendo en cuenta el aislamiento de la red de distribución, pero en los últimos años se ha implementado los postes y crucetas de poliéster reforzado en fibra de vidrio que también logran incrementar la resistencia cuando ocurre una descarga atmosférica teniendo en cuenta el aislamiento de las líneas de distribución y al mismo tiempo ofrecen grandes ventajas para su uso ante los postes y crucetas de materiales tradicionales.

### **5.5.1 Determinación de la tensión crítica de flameo CFO en estructuras con aislamiento en serie.** Cuando se tiene materiales como poliéster reforzado en fibra

de vidrio y madera, cada metro de estos materiales aumenta aproximadamente 330 – 500 kV la resistencia al impulso del aislamiento. Para distancias más grandes el nivel de aislamiento ante descargas atmosféricas de la cruceta de PRFV o madera, junto con la combinación del aislador se determinan solo por la cruceta de PRFV o de madera.

Cuando ocurre una descarga atmosférica y en esta trayectoria no se encuentra una cruceta de PRFV o madera, pero si tiene dos o más diferentes aisladores en serie, la tensión crítica de flameo de dicha combinación no se determina solo sumando las tensiones críticas de flameo de cada elemento. Las tensiones críticas combinadas de estos aislamientos son controladas por diferentes factores, donde se necesita para cada uno un análisis especial.

En una red de distribución se puede utilizar el método de tensión crítica de flameo aditivo para estimar la tensión crítica de flameo en una estructura.

- Se determina cuanto contribuye el aislamiento individual de cada componente a la tensión crítica de flameo resultante teniendo en cuenta la combinación.
- Se estima la tensión crítica de flameo resultante con la combinación, teniendo en cuenta cada tensión crítica de flameo de los elementos aislantes.

Para este método se utilizan curvas y tablas tomadas con valores experimentales que utiliza cada operador de red para lograr enlazar como influye el material adicional junto con el material base.

En la configuración donde se encuentran dos elementos, la tensión crítica de flameo al hacer la combinación que se obtiene es más bajo, que sumar las tensiones críticas de flameo de cada elemento. El aislador es considerado principalmente como el aislamiento primario.

La tensión crítica de flameo que se obtiene por configuraciones de elementos es calculada como: la tensión crítica de flameo del componente primario más la tensión crítica de flameo que se adiciona por el segundo elemento.

- Tensión crítica de flameo resultante calculada para dos elementos es:

$$CFOt = CFOaislador + CFOadic.2^{\circ} \text{ componente}$$

Ecuación 1. Cálculo del CFO.

Donde:

CFOaislador: CFO del componente primario

CFOadic.2°elem: tensión crítica de flameo adicionada por el segundo elemento.

- Tensión crítica de flameo calculada para tres o más elementos:

$$CFOt = CFOaislador + CFOadic.2^{\circ} \text{ elem} + CFOadic.3^{\circ} \text{ elem} + CFOadic.n^{\circ} \text{ elem}$$

Ecuación 2. Cálculo del CFO.

Donde:

CFOadic.3°elem: tensión crítica de flameo adicionada por el tercer elemento.

CFOadic.n°elem: tensión crítica de flameo adicionada por el enésimo elemento.

En la tabla 7 se muestran los valores de la tensión crítica de flameo individual y el que se adiciona de los elementos que más se utilizan en redes de distribución.

Tabla 7. Tensión crítica de flameo para aisladores teniendo en cuenta el aislamiento primario.

| <b>Aisladores</b>                               |                 |           | <b>kV</b>   |
|-------------------------------------------------|-----------------|-----------|-------------|
| tipo espiga                                     |                 | ANSI 55-4 | 105         |
|                                                 |                 | ANSI 55-5 | 120         |
|                                                 |                 | ANSI 55-6 | 140         |
| porcelana tipo suspensión                       | 1. 10.2 cm (4") |           | 75          |
|                                                 | 2. 10.2 cm (4") |           | 165         |
|                                                 | 3. 10.2 cm (4") |           | 250         |
| <b>Aislamiento</b>                              |                 |           | <b>kV/m</b> |
| Aire                                            |                 |           | 600         |
| Poste de madera                                 |                 |           | 330         |
| Cruceta de madera                               |                 |           | 360         |
| Poste de poliéster reforzado en fibra de vidrio |                 |           | 500         |

Fuente: IEEE. Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, 1997, pp.1-48, doi: 10.1109/IEEESTD.1997.85324

Tabla 8. Tensión crítica de flameo adicionando segundos elementos (CFOadic.2elem).

| <b>Segundo elemento</b> | <b>Con primer elemento</b>        | <b>kV/m</b> |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Cruceta de madera       | Aislador tipo pin vertical        | 250         |
| Cruceta de madera       | Aislador de suspensión vertical   | 160         |
| Cruceta de madera       | Aislador de suspensión horizontal | 295         |
| Poste de madera         | Aislador tipo pin vertical        | 235         |
| Poste de madera         | Aislador tipo suspensión          | 90          |
| Cruceta de PRFV         | Aislador                          | 250         |
| Poste de PRFV           | Aislador                          | 315         |

Fuente: IEEE. Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, 1997, pp.1-48, doi: 10.1109/IEEESTD.1997.85324

Tabla 9. Tensión crítica de flameo adicionando terceros elementos (CFOadic.3°elem).

| <b>Tercer elemento</b> | <b>kV/m</b> |
|------------------------|-------------|
| Poste de madera        | 65          |
| Poste de PRFV          | 200         |

Fuente: IEEE. Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, 1997, pp.1-48, doi: 10.1109/IEEESTD.1997.85324

Para los elementos que no se encuentran en la tabla 8 y tabla 9, la tensión crítica de flameo resultante se estima por medio de una reducción en el segundo y tercer elemento.

$CFO_{adic.2^\circ elem} = 0.45$  tensión crítica de flameo del aislador.

$CFO_{adic.3 elem} = 0.20$  tensión crítica de flameo del aislador.

Al utilizar el método de tensión crítica de flameo aditivo dan solución dentro de un rango de un 20 % de error. Para tener una estimación más confiable se utilizan otros métodos tales como:

- En laboratorios se realizan pruebas de impulso de la estructura que se está estudiando, teniendo en cuenta una condición humedad, para así obtener resultados más confiables.
- Realizar pruebas de impulso teniendo en cuenta una condición seca y el resultado multiplicarlo por 0.8 para determinar la tensión crítica de flameo para una condición húmeda.

El estándar IEEE 1410 recomienda que en las condiciones ambientales identificadas ya sean secas o húmedas, para construir redes de distribución en zonas donde hay una alta probabilidad de que ocurran descargas atmosféricas, tienen que diseñarse y construirse considerando un aislamiento primario y secundario, para poder garantizar que la tensión crítica de flameo que debe soportar cuando ocurra una descarga atmosférica.

En la tabla 10 se muestra las diferentes combinaciones para el nivel de aislamiento que se debe tener en cuenta para construir las redes de distribución.



Tabla 10. Diferentes combinaciones para el aislamiento para construirse una red de distribución.

| Aislamiento            | Combinaciones                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aislamiento secundario | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aisladores + Cruceta en PRFV</li> <li>• Aisladores + Cruceta de madera</li> <li>• Aisladores + Poste en PRFV</li> </ul>                                                                          |
| Aislamiento terciario  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aisladores + Cruceta en PRFV + Poste en PRFV</li> <li>• Aisladores + Cruceta en PRFV + Poste de madera</li> <li>• Entre otras combinaciones que apliquen según el material utilizado.</li> </ul> |

Fuente: IEEE. Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, 1997, pp.1-48, doi: 10.1109/IEEESTD.1997.85324

Se recomienda utilizar estructuras en PRFV debido a que estas poseen un nivel de aislamiento superior a los 300 kV/m. Cuando se utilizan las crucetas y postes en PRFV el aislamiento que estas adicionan al aislamiento básico que aportan los aisladores tradicionales hacen que la capacidad de aislamiento de la red de distribución aumente, logrando que estas sean más confiables al momento de que ocurra una descarga atmosférica.

Al usar estructuras metálicas en redes de distribución minimiza la tensión crítica de flameo, tradicionalmente las crucetas y accesorios metálicos se utilizan en postes de madera ya que el aislamiento adicionado puede compensar las pérdidas de aislamiento que presenta la madera. Pero estas estructuras metálicas pueden tener consecuencias negativas cuando se produce una descarga atmosférica. Es importante que el diseñador de la red de distribución conozca los efectos negativos que pueden producir los materiales metálicos en el comportamiento ante una descarga atmosférica y tratar de minimizar dichos efectos, por esto se recomienda utilizar crucetas y postes en PRFV o madera ya que estos adicionan al aislamiento

resultante aumentando la probabilidad de que al ocurrir una descarga atmosférica la red eléctrica responda de manera más efectiva.

En la tabla 11 se muestra la comparación de agregar postes o crucetas de madera, PRFV como aislamiento secundario a aisladores de porcelana tipo pin como aislamiento primario, al agregar postes y crucetas en PRFV se obtiene un aislamiento mayor haciendo que esto mejore el CFO y las estructuras tengan un mejor comportamiento cuando ocurre unas descargas atmosféricas. Se puede utilizar diferentes aisladores para el aislamiento primario tales como cadena vertical de aisladores de porcelana, cadena horizontal de aisladores de porcelana y el CFO cambia tanto para el aislamiento primario como para el aislamiento secundario que se va a adicionar. Sin importar el aislador que se utilice al adicionar estructuras de poliéster reforzado en fibra de vidrio el CFO aumenta.

Tabla 11. Comparación del nivel de aislamiento dependiendo la estructura que se adiciona.

| CFO del aislamiento primario                 |          | CFO del aislamiento secundario adicional |            |
|----------------------------------------------|----------|------------------------------------------|------------|
| Descripción                                  | CFO (kV) | Descripción                              | CFO (kV/m) |
| Aislador de porcelana tipo pin               | 140      | Poste de madera                          | 235        |
|                                              |          | Cruceta de madera                        | 250        |
|                                              |          | Poste PFRV                               | 400        |
|                                              |          | Cruceta PFRV                             | 250        |
| Cadena vertical de aisladores de porcelana   | 250      | Poste de madera                          | 90         |
|                                              |          | Cruceta de madera                        | 160        |
|                                              |          | Cruceta PFRV                             | 250        |
| Cadena horizontal de aisladores de porcelana | 250      | Poste de madera                          | 90         |
|                                              |          | Cruceta de madera                        | 195        |
|                                              |          | Cruceta PFRV                             | 250        |

Fuente: IEEE. Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, 1997, pp.1-48, doi: 10.1109/IEEESTD.1997.85324

El CFO para cada estructura es diferente en la tabla 12 se resume el CFO que posee los postes y crucetas de madera y poliéster reforzado en fibra de vidrio, mostrando que las estructuras con poliéster reforzado en fibra de vidrio siempre tendrán un CFO más alto que las estructuras tradicionales.

Tabla 12. Comparación del CFO de las estructuras en PRFV ante las estructuras tradicionales.

| Descripción | Tipo    | CFO (kV/m) |
|-------------|---------|------------|
| Madera      | Poste   | 330        |
|             | Cruceta | 360        |
| PRFV        | Poste   | 470        |

## 5.6 DAÑOS CAUSADOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN POR LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Cuando las estructuras como postes y crucetas están instaladas en zonas donde hay una alta densidad de rayos, los estudios indican que los daños en los postes y crucetas puede ser muy rara. Los daños en las estructuras dependen de muchos factores, mayormente por la humedad, la corrosión y que tan viejo y deteriorada este la estructura, debido a que la madera es uno de los materiales tradicionales que presenta buenas condiciones para instalarse en zonas donde se encuentre una alta densidad de rayos, pero debido a que no presenta buenas características ante la humedad, la corrosión y el deterioro puede presentar daños y rotura fácilmente ante una descarga atmosférica, por esto es recomendable utilizar en estas zonas postes y crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio que además de tener una buena capacidad de aislamiento, también presenta mejores características que no van a producir daño ni rotura de la estructura cuando ocurra una descarga atmosférica.

Los materiales convencionales utilizados para la construcción de redes de distribución a lo largo del tiempo han presentado problemas en cómo se comportan ante una descarga atmosférica, la madera ha sido el que se comporta mejor en

cuanto a la capacidad de aislamiento ya que logra adicionar mayor capacidad de aislamiento al aislamiento básico que tiene la red de distribución ofreciendo que sea más confiable al momento de que ocurra una descarga atmosférica y presente menos daños en el sistema. Pero este material no es del todo bueno ya que esta se puede incendiar en la punta del poste produciendo un arco eléctrico, también al ser impactado por la descarga eléctrica puede haber rotura, por la humedad o corrosión que se presente en la zona donde se encuentra la estructura.

Para solucionar los problemas que han venido presentando las estructuras convencionales cuando ocurre una descarga atmosférica, cuando se diseña una red de distribución se recomienda utilizar crucetas y postes en PRFV ya que para tener un correcto aislamiento la tensión crítica de flameo de la línea de distribución debe estar en un rango de 250 – 300 kV, con las estructuras en poliéster reforzado en fibra de vidrio esto se puede lograr debido a que se puede tener un aislamiento en serie donde se realizan diferentes combinaciones entre los aisladores básicos y las crucetas o postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio consiguiendo aumentar el aislamiento para lograr tener una tensión crítica de flameo entre los rangos necesarios para que la estructura se comporte de la mejor forma ante una descarga atmosférica produciendo los menos daños posible a la red de distribución.

## **5.7 CONFIABILIDAD DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ANTE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Las descargas atmosféricas son una de las principales causantes de las fallas que ocurren en las redes de distribución, por esto ha crecido la preocupación por mejorar la calidad de la energía eléctrica y se ha enfocado en las descargas atmosféricas, debido a que se quiere reducir la cantidad de interrupciones que se presentan en el sistema. Las descargas atmosféricas típicamente causan fallas temporales en la red de distribución, para esto se tienen interruptores que si este la censa se cierra el circuito, pero en tiempos pasados esto era aceptado mientras que ahora al haber

tantas cargas sensitivas, se ha convertido en una gran preocupación que ocurran las interrupciones momentáneas causadas por las descargas atmosféricas.

La confiabilidad de las redes de distribución depende de que tan expuestas estén a las descargas atmosféricas, para esto se necesita saber la cantidad anual de descargas atmosféricas en la zona donde se va a construir la red de distribución, esto se determina con el nivel cerámico de la zona, con los registros de horas de tormentas, con los datos de contadores de descarga.

Las descargas atmosféricas logran afectar significativamente en la confiabilidad de la red de distribución, si los postes llegan a ser más altos que el medio que los rodea, debido a que los rayos caen en las estructuras más altas que encuentren en el medio. Por esto la exposición que tiene la red de distribución a las descargas atmosféricas de que tanto lleguen a sobresalir las estructuras de la red de distribución por encima de árboles u otras estructuras cercanas.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se concluye que los postes y crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio poseen una serie de características físicas, eléctricas y mecánicas que permanecen estables a través del tiempo, ofreciendo ventajas como no requerir mantenimiento, son fáciles de instalar y transportar por su bajo peso. Al ser fabricados en un material que no conduce corriente eléctrica no existe riesgo de electrificación, y gracias a sus características como ser resistente a la corrosión, humedad, a la intemperie, estas estructuras son aptas para zonas de altas descargas atmosféricas, ambientes contaminados o salinos y zonas de difícil acceso. Su mayor desventaja es el costo al ser más elevado que las estructuras convencionales, sin embargo, al analizar el costo de ciclo de vida en general que compara los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio con los postes tradicionales muestra que a largo plazo los postes en poliéster reforzado en fibra de vidrio se puede tener ahorros significativos para las empresas operadoras.

Las estructuras en poliéster reforzado en fibra de vidrio poseen características eléctricas de aislamiento favorables muy óptimas para el sistema de distribución de baja tensión ya que son no conductoras, gracias a esto dicho sistema será más seguro tanto para las personas que transitan cerca de estas estructuras como también para los equipos y el sistema de distribución como tal al momento de ocurrir fallas o pérdidas de aislamiento en los elementos usados para dicha actividad. A nivel de puesta a tierra estas estructuras no necesitan un sistema para equipotencializar su estructura debido a sus características eléctricas que son no conductoras, pero si tienen los medios para poner la puesta a tierra del sistema como tal que transportan.

Se puede concluir que las descargas atmosféricas son la mayor causa de fallas en las redes de distribución por esto al utilizar postes y crucetas de poliéster reforzado

en fibra de vidrio se quiere mejorar la confiabilidad de las redes de distribución, debido a que con estas estructuras se tiene un incremento en el aislamiento en términos de la tensión crítica de flameo CFO, puesto que al utilizarlas el aislamiento que estas aportan junto con el aislamiento básico que poseen los aisladores tradicionales logran que las redes de distribución sean más confiables al momento de que ocurra una descarga atmosférica, convirtiéndose en una alternativa para mejorar las fallas producidas ya sean por descargas atmosféricas directas y lograr reducir los flameos relacionados con las descargas atmosféricas indirectas.

## BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-149 Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power. ASTM Stand., vol. 9, no 1, Reapproved, 2013, pp. 1–13.

AMPERIS. Tipos de descargas parciales [en línea]. 2007. (Recuperado el 26 de agosto del 2019). Disponible en: <https://www.amperis.com/content/tipos-de-descargas-parciales/>.

CAÑIZARES, Piter. Estudio de los sobrevoltajes en redes de distribución [Tesis de grado]. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2000.

CHAKRAVORTI, DEY AND CHATTERJEE. *Recent Trends in the Condition Monitoring of Transformers*. Springer Ed., 2013.

CHÁVEZ, Betzabeth. Postes de fibra de vidrio para electrificación [en línea]. YouTube, 2013. (Recuperado el 26 de agosto del 2019). Disponible en [https://www.youtube.com/watch?v=ZnIMgwQ9\\_w8](https://www.youtube.com/watch?v=ZnIMgwQ9_w8)

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución N° 015 (29 de enero del 2018). Diario Oficial No. 50.496

ELECTRIC POWER RESEARCH INST. Handbook for Improving Overhead Transmission Line Lightning Performance, 2004.



ENSA GRUPO EMP. Capítulo 6. Puesta a tierra (aterrizaje) [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019) Disponible en: [https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/n06\\_capitulo\\_6\\_puesta\\_a\\_tierra\\_aterrizaje\\_ver\\_3.2.pdf](https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/n06_capitulo_6_puesta_a_tierra_aterrizaje_ver_3.2.pdf)

EQUISPLAST. ¿Qué es P.R.F.V? Plástico reforzado con fibra de vidrio [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019). Disponible en: <http://www.equisplast.com/articulos/que-es-prfv/3/>

ESCOM, Aplicaciones técnicas. Fibra de vidrio: propiedades y aplicaciones [en línea]. 2016. (Recuperado el 26 de agosto de 2019). Disponible en: <https://www.atescom.es/fibra-vidrio-propiedades-aplicaciones/>

GODOY, María. Postes y crucetas de PRFV: Poliéster reforzado con fibra de vidrio [en línea]. Petroplast, 2017. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://docplayer.es/28266040-Postes-y-crucetas-de-prfv.html>

GONZÁLEZ, Francisco. Evaluación Estadística del Comportamiento de Líneas Aéreas de Distribución Frente a Sobretensiones de Origen Externo [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya, 2001.

GRUPO EPM. Normas técnicas: puesta a tierra de redes de distribución eléctrica [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto de 2019). Disponible: [https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro\\_de\\_documentos/proveedores\\_y\\_contratistas/normas\\_y\\_especificaciones/normas\\_aereas/grupo\\_6\\_Normas\\_de\\_montajes\\_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf](https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/NORMARA6-010junio.pdf)

IEEE. Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, 1997, pp.1-48, doi: 10.1109/IEEESTD.1997.85324

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60060 - 2 High

voltage test techniques Part 2 Measuring systems. Indian Stand. 2010, vol. 2.

\_\_\_\_\_. IEC 60071.1 Insulation Coordination: Part 1 Definitions, Principles and Rules. 2006, p. 47.

\_\_\_\_\_. IEC 60071.2 Insulation Coordination: Part 2 Application Guide. *Indian Stand.* 1996.

\_\_\_\_\_. IEC 60270: High-Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements. Indian Stand. 2011, p. 46.

MARIANO. Tereftalato de polietileno (PET) [en línea]. Tecnología de los plásticos blog, 2011. (Recuperado el 26 de agosto del 2019). Disponible en <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>

MATRIX ENERGY SYSTEMS SAS. Protección eléctrica, energía renovable [en línea]. (Recuperado el 26 de agosto del 2019) Disponible en: <https://matrixenergysystems.com/es/>

QUIMINET. Postes de fibra de vidrio y resinas [en línea]. 2009. (Recuperado el 26 de agosto del 2019). Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/postes-de-fibra-de-vidrio-y-resinas-34371.htm>

REDACCIÓN COMERCIAL. Colombia se beneficia con la instalación de postes de fibra de vidrio [en línea]. Caracol radio, 2017. (Recuperado el 26 de agosto de 2019) Disponible en: [https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361\\_502770.html](https://caracol.com.co/radio/2017/08/15/ecologia/1502806361_502770.html)

VILLALBA. Comparación entre normas IEEE e IEC sobre coordinación de aislamiento (en sistemas de distribución hasta 69kV). Quito: Escuela Politécnica

Nacional, 2016.

YOKOYAMA, M. Advanced observations of lightning induced voltage on Power Distribution lines. IEEE, 1986.