



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TÍTULO.**

**AUTOR:**

**William Cristopher Moriano Acosta**

**DIRECTOR:**

**Ing. Samuel Fernando Montes Alzate**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA  
2021**

**PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA MITIGACIÓN  
DE FALLAS EN EL CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN  
CP-46 DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DEL  
PUTUMAYO S.A. E.S.P.**

**AUTOR:**

**William Cristopher Moriano Acosta**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELÉCTRICO**

**DIRECTOR:**

**Ing. Samuel Fernando Montes Alzate**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA  
2021**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA SISTEMAS  
Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR  
TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TÍTULO**

**FECHA DE INICIO DEL TRABAJO:**

**FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO:**

**NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR**

**AUTOR:**        William Cristopher Moriano Acosta

**DIRECTOR:**                        Samuel Montes Alzate

**DIRECTOR DE PROGRAMA:** Yesid Santafer

**JURADO CALIFICADOR:**

**PRESIDENTE:** ING. \_\_\_\_\_

**OPONENTE:** ING \_\_\_\_\_

**SECRETARIO:** ING. \_\_\_\_\_

**PAMPLONA, COLOMBIA**

**2021**

## DEDICATORIA

A Dios por permitir lograr todas mis metas.

A mi madre Lidia Acosta, con mucho esfuerzo y perseverancia por forjar como una gran persona.

A mis hermanos que siempre he contado con el apoyo incondicional.

*El éxito no se mide por lo que haces comparado con lo que hacen los demás; se mide por lo que haces con las habilidades que Dios te dio."*

**Zig Ziglar**

*"El verdadero buscador crece y aprende, y descubre que siempre es el principal responsable de lo que sucede"*

**Jorge Buca**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por permitirme esta y muchas oportunidades que he culminado y muy pronto ser ingeniero.*

*A mi madre Lidia Acosta, con mucho esfuerzo y perseverancia a forjarme con carácter y valores.*

*A mis hermanos que siempre he contado con el apoyo incondicional.*

*A mis profesores de la Universidad de Pamplona que con gran esfuerzo forjan profesionales.*

*A la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. por brindarme la oportunidad de adquirir conocimiento para la vida profesional.*

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	16
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	16
<b>3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	17
<b>3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	17
<b>3.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	17
<b>4. ESTADO DEL ARTE MARCO DE REFERENCIA</b> .....	18
<b>4.1. FALLAS</b> .....	18
Falla de línea a tierra .....	19
Falla de línea a línea .....	20
Descargas atmosféricas .....	21
<b>4.2. PROTECCIONES PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN</b> .....	23
Seccionador de porta fusible .....	24
Punta franklin .....	27
Cable de Guarda .....	27
DPS .....	28
Reconectores .....	29
Puesta a tierra .....	31
<b>4.3. MANTENIMIENTO</b> .....	33
Mantenimiento preventivo .....	33
Mantenimiento correctivo .....	34
Mantenimiento predictivo .....	35
<b>5. ANÁLISIS DE FALLAS PARA LAS APERTURAS FORZADAS EN EL CP-46</b> ...36	
<b>5.1. TIPO DE MANIOBRA</b> .....	36
No programado “NP” .....	36
Programados “PR” .....	37
Evento Exclusivo “EE” .....	37
Instantáneas .....	38
<b>5.2. EMPRESA DE ENERGÍA DEL PUTUMAYO S.A. E.S.P. ANTE LOS INDICADORES.</b> .....	38
<b>5.3. ANÁLISIS DE APERTURAS EN EL CIRCUITO CP-46 DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DEL PUTUMAYO S.A. E.S.P.</b> .....	40
Análisis de aperturas históricas del primer semestre del 2019 del circuito CP-46 .....	40
Análisis de aperturas históricas del segundo semestre del 2019 del circuito CP-46 .....	42

Análisis de aperturas históricas del primer semestre del 2020 del circuito CP-46.....	44
Análisis de aperturas históricas del segundo semestre del 2020 del circuito CP-46.....	46
Análisis de aperturas históricas del primer trimestre del 2021 del circuito CP-46.....	48
<b>6. SECTORES CRÍTICOS CAUSADOS POR LAS APERTURAS NO PROGRAMADAS EN EL CIRCUITO CP-46 .....</b>	<b>51</b>
<b>6.1. SECCIONADOR PRINCIPAL.....</b>	<b>52</b>
<b>6.2. SECCIONADOR SORI0024 .....</b>	<b>53</b>
<b>6.3. SECCIONADOR SORI0033 .....</b>	<b>54</b>
<b>6.4. SECCIONADOR SORI0041 .....</b>	<b>55</b>
<b>6.5. SECCIONADOR SORI0046 .....</b>	<b>56</b>
<b>6.6. SECCIONADOR SORI0027 .....</b>	<b>57</b>
<b>6.7. SECCIONADOR SORI0045 .....</b>	<b>58</b>
<b>6.8. SECCIONADOR SORI0029 .....</b>	<b>59</b>
<b>7. EVALUACIÓN DE LAS PROTECCIONES DEL CIRCUITO CP-46 .....</b>	<b>61</b>
<b>7.1. SELECCIÓN DE DPS .....</b>	<b>62</b>
<b>7.2. APANTALLAMIENTO .....</b>	<b>62</b>
<b>7.3. RECONECTADORES .....</b>	<b>64</b>
<b>7.4. COORDINACIÓN DE FUSIBLES.....</b>	<b>64</b>
Fusibles para transformadores .....	64
Fusibles para protección de seccionador .....	65
Código de identificación de los fusibles .....	65
<b>7.5. SERVIDUMBRE .....</b>	<b>66</b>
<b>8. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA MITIGACIÓN DE FALLAS .....</b>	<b>67</b>
<b>8.1. COORDINACIÓN DE FUSIBLES.....</b>	<b>67</b>
<b>8.2. SERVIDUMBRE PARA EL CIRCUITO CP-46.....</b>	<b>68</b>
<b>8.3. RECONECTADORES .....</b>	<b>69</b>
<b>8.4. APANTALLAMIENTO.....</b>	<b>71</b>
<b>8.5. DPS.....</b>	<b>76</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Ilustración 1 Configuración de simulación de un sistema trifásico en MATLAB.</i>	18
<i>Ilustración 2 Comportamiento de una señal sinoidal trifásica ideal MATLAB.</i>	19
<i>Ilustración 3 Simulación de falla de línea a tierra en MATLAB.</i>	19
<i>Ilustración 4 Comportamiento de una señal sinoidal de falla de línea a tierra en MATLAB.</i>	20
<i>Ilustración 5 Simulación de falla de línea a línea en MATLAB</i>	20
<i>Ilustración 6 Comportamiento de una señal sinoidal de falla en línea a línea en MATLAB.</i>	21
<i>Ilustración 7 Simulación de falla por descarga atmosférica en MATLAB</i>	22
<i>Ilustración 8 Comportamiento de las señales de falla por descarga atmosférica MATLAB.</i>	22
<i>Ilustración 9 Niveles de cerámicos en Colombia.</i>	23
<i>Ilustración 10 Seccionador con porta fusible.</i>	24
<i>Ilustración 11 Curva característica del fusible tipo K.</i>	25
<i>Ilustración 12 Curva característica del fusible tipo T.</i>	26
<i>Ilustración 13 Método de esferas para puntas de franklin.</i>	27
<i>Ilustración 14 Apantallamiento con cables de guarda.</i>	28
<i>Ilustración 15 Curva característica de V-I del DPS.</i>	28
<i>Ilustración 16 Estructura de un DPS.</i>	29
<i>Ilustración 17 Reconector de M.T.</i>	30
<i>Ilustración 18 Estructura de un Reconector.</i>	31
<i>Ilustración 19 Método Wenner.</i>	32
<i>Ilustración 20 Método de Schlumberger.</i>	33
<i>Ilustración 21 Diagrama de mantenimiento preventivo.</i>	34
<i>Ilustración 22 Diagrama de mantenimiento correctivo.</i>	35
<i>Ilustración 23 Indicadores de calidad de DES según SUI.</i>	39
<i>Ilustración 24 Indicadores de calidad de FES según SUI.</i>	39
<i>Ilustración 25 Tipo de maniobra para el primer semestre del 2019 del circuito CP-46.</i>	41
<i>Ilustración 26 Aperturas por seccionadores del primer semestre del 2019 del circuito CP-46.</i>	41
<i>Ilustración 27 Causas más propensas en el primer semestre del 2019 del circuito CP-46.</i>	42
<i>Ilustración 28 Tipo de maniobra para el segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.</i>	43
<i>Ilustración 29 Apertura por seccionador del segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.</i>	43
<i>Ilustración 30 Causas más propensa en el segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.</i>	44
<i>Ilustración 31 Tipo de maniobra para el primer semestre del 2020 del circuito CP-46.</i>	45
<i>Ilustración 32 Aperturas por seccionadores del primer semestre del 2020 del circuito CP-46.</i>	45
<i>Ilustración 33 Causas más propensas en el primer semestre del 2020 del circuito CP-46.</i>	46
<i>Ilustración 34 Tipo de maniobra para el segundo semestre del 2020 del circuito CP-46.</i>	47
<i>Ilustración 35 Aperturas por seccionadores del segundo semestre del 2020 del circuito CP-46.</i>	47
<i>Ilustración 36 Causas más propensas en el segundo semestre del 2020 del circuito CP-46.</i>	48
<i>Ilustración 37 Tipo de maniobra para el primer trimestre del 2021 del circuito CP-46.</i>	49
<i>Ilustración 38 Aperturas por seccionadores del primer trimestres del 2021 del circuito CP-46.</i>	49
<i>Ilustración 39 Causas más propensas en el primer trimestre del 2021 del circuito CP-46.</i>	50

<i>Ilustración 40 Sectores críticos en el circuito CP-46.</i>	51
<i>Ilustración 41 Distribución porcentual de las causas de aperturas para la red de distribución.</i>	51
<i>Ilustración 42 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones principales.</i>	52
<i>Ilustración 43 Unifilar de suministro del seccionador SORI0024.</i>	53
<i>Ilustración 44 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0024.</i>	53
<i>Ilustración 45 Unifilar de suministro del seccionador SORI0033.</i>	54
<i>Ilustración 46 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0033.</i>	54
<i>Ilustración 47 Unifilar de suministro del seccionador SORI0041.</i>	55
<i>Ilustración 48 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0041.</i>	56
<i>Ilustración 49 Unifilar de suministro del seccionador SORI0046.</i>	56
<i>Ilustración 50 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0046.</i>	57
<i>Ilustración 51 Unifilar de suministro del seccionador SORI0027.</i>	57
<i>Ilustración 52 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0027.</i>	58
<i>Ilustración 53 Unifilar de suministro del seccionador SORI0046.</i>	58
<i>Ilustración 54 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0045.</i>	59
<i>Ilustración 55 Unifilar de suministro del seccionador SORI0027.</i>	59
<i>Ilustración 56 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0029.</i>	60
<i>Ilustración 57 Distribución porcentual de aperturas en seccionadores causada por condiciones atmosféricas.</i>	62
<i>Ilustración 58 Tramo perteneciente al SORI0033.</i>	63
<i>Ilustración 59 Tramo perteneciente al SORI0041</i>	63
<i>Ilustración 60 Tipo de modelo de fusible.</i>	66

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1 Resistividad del tipo de suelo.</i> _____	32
<i>Tabla 2 Tipo de causa para NP.</i> _____	37
<i>Tabla 3 Tipo de causa para PR.</i> _____	37
<i>Tabla 4 Tipo de causa para EE.</i> _____	38
<i>Tabla 5 Análisis del primer semestre del 2019.</i> _____	40
<i>Tabla 6 Análisis del segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.</i> _____	42
<i>Tabla 7 Análisis de apertura del primer semestre del 2020.</i> _____	44
<i>Tabla 8 Análisis de aperturas del segundo semestre del 2020.</i> _____	46
<i>Tabla 9 Análisis de apertura del primer trimestre del 2021.</i> _____	48
<i>Tabla 10 Protecciones existentes en la red de distribución del CP-46.</i> _____	61
<i>Tabla 11 Sectores con requerimiento de apantallamiento.</i> _____	64
<i>Tabla 12 Fusible para transformador monofásico.</i> _____	65
<i>Tabla 13 Fusible para transformador trifásico.</i> _____	65
<i>Tabla 14 Secuencia de actividad para la coordinación de los fusibles.</i> _____	68
<i>Tabla 15 Secuencia de actividad para los despejes de árboles.</i> _____	69
<i>Tabla 16 Secuencia de actividad para Reconnectores.</i> _____	71
<i>Tabla 17 Secuencia de actividad para apantallamiento.</i> _____	76
<i>Tabla 18 Secuencia de actividad para DPS.</i> _____	78

## **RESUMEN**

Este plan de mejoramiento para la red de distribución ubicado en la ciudad de Orito Putumayo perteneciente a la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P., se analizó las causas que generar aperturas de tipo no programadas detectando tres factores importantes como lo son, cantidad de aperturas por semestre, seccionadores más afectados y tipos de aperturas, en base a estos tres factores se considera los seccionadores más críticos para la red de distribución por el cual podemos visualizar cuáles son las fallas más comunes para dimensionar las protecciones correspondientes a su entorno.

En base a los anteriores análisis se genera un plan de mejoramiento para la reducción de aperturas por fallas, estará estructurado en actividades que contemple el mejoramiento de la fiabilidad de las redes generando un impacto positivo ante los indicadores de calidad.

Este plan de mejoramiento queda a criterio de la operadora de red para su debida ejecución.

## **ABSTRACT**

This improvement plan for the distribution network located in the city of Orito Putumayo belonging to Empresa de Energía del Putumayo S.A. ESP, the causes that generate unscheduled openings were analyzed, detecting three important factors such as number of openings per semester, most affected disconnectors and types of openings, based on these three factors, it is considered the most critical disconnectors for the network of distribution by which we can visualize which are the most common failures to size the protections corresponding to their environment.

Based on the previous analyzes, an improvement plan is generated to reduce openings due to failures, it will be structured in activities that contemplate the improvement of the reliability of the networks generating a positive impact on the quality indicators.

This improvement plan is at the discretion of the network operator for its proper execution.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los estándares de calidad con lleva a la mejora de confiabilidad y sostenibilidad en el suministro y el transporte de energía, generalmente aquellos factores que pueden hacer disminuir los índices de calidad pueden variar a lo largo y ancho del terreno geográfico por lo que es impredecible una falla y la magnitud de ella.

La Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. con sede en Orito tiene como propósito de suministrar y controlar el mercado de energía para más de 8000 usuarios en la ciudad de Orito teniendo en cuenta por los tres aspectos principales que son, la expansión, corrección y mantenimiento. El objetivo de este plan de mejoramiento es enfocarse en el área de mantenimiento y corrección con el fin de mejorar su fiabilidad, siendo beneficiado directamente a la sostenibilidad del servicio mediante las estadísticas de las fallas por lo que se tiene aspectos muy importantes como lo son el análisis de protecciones adecuadas y el mantenimiento de regulado.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un plan de mejoramiento para la mitigación de fallas del circuito de distribución CP-46 en Orito Putumayo de la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar las fallas que causan la apertura forzada del circuito CP - 46.
2. Identificar los sectores críticos causada por fallas en el circuito CP – 46.
3. Evaluar las protecciones necesarias para la red de distribución del circuito CP – 46.
4. Realizar el plan de mejoramiento para la red de distribución de 13.2 kV del circuito CP – 46.

## **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El sistema de distribución presenta múltiples aperturas en su vida útil siendo afectado el uso final que es en este caso los usuarios, todo aquello fenómeno que altere la confiabilidad de la red se basan en las siguientes condiciones:

- Aperturas causadas por baja tensión: Considerando que las protecciones se encuentra en media tensión solo es afectado un grupo reducido de usuarios comprendido por el alcance que obtenga el transformador.
- Aperturas causadas por media tensión; se considera de mayor magnitud ya que presenta afectaciones a un mayor número de usuarios, esto se da por el alcance total de transformador que se suministra por la protección.

Por lo tanto, la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. presenta un déficit tanto en la fiabilidad como la disponibilidad de las redes eléctricas con un alto índice de aperturas en sus protecciones.

### **3.2 JUSTIFICACIÓN**

La Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. desea posicionarse como una empresa líder en la prestación de servicios públicos teniendo un impacto positivo en la fiabilidad de la red, esto conlleva ciertos estudios para la disminución de aperturas a la red de distribución con el fin de mejorar la confiabilidad de la red eléctrica buscando la generación de un plan de mejoramiento para la disminución de aperturas enfocándose en los mantenimiento preventivos y predictivos.

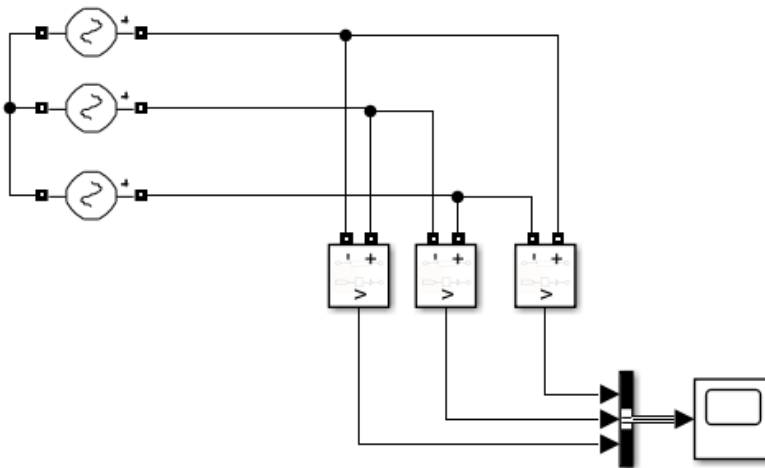
## 4. ESTADO DEL ARTE MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. FALLAS

Se considera como fallas aquellas aperturas del sistema de tipo no deseadas por lo que se puede encontrar diferentes fallas y para detectarlas se deben tener en cuenta los diferentes tipos de mediciones como lo es el voltaje y la corriente de inspección, esto se da ya que una falla se ve afectada por estas dos áreas como lo es la sobrecarga y la sobretensión.[1]

- Sobrecarga: La sobrecarga se da por una impedancia muy pequeña que permite el flujo de corriente de manera descomunal, como puede ser el contacto entre líneas y contacto con el suelo, también otro factor que puede generar estos tipos de fallas puede ser el no sobredimensionamiento de las cargas por lo que puede afectar a las líneas de distribución.[2]
- Sobretensión: La sobretensión se genera por fallas externas a la red y propiedades del material conductor y entre los más comunes son, por descargas electrostáticas que se basa en organización de los electrones a tal modo que queda cargado el material conductor y descargas atmosféricas por ionización del aire.[2]

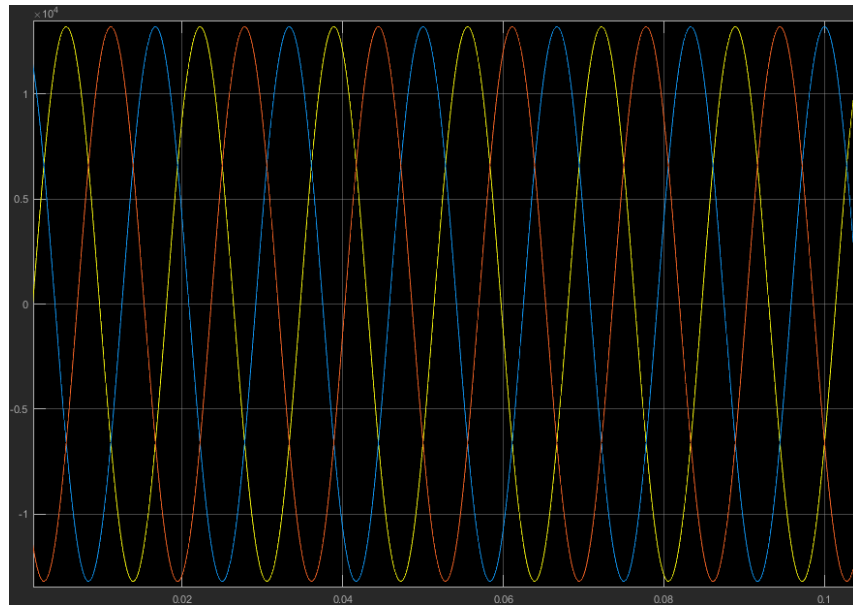
Un sistema de distribución local en estado ideal debe tener una forma de representar los sistemas de potencia por lo que simulamos en Matlab un sistema trifásico para observar el comportamiento de una falla.



*Ilustración 1 Configuración de simulación de un sistema trifásico en MATLAB.  
Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

En la figura anterior podemos inspeccionar un sistema de distribución de algo hipotético como una red de distribución trifásica en estrella ya que en Colombia la red de distribución a 13.2kV tiene como configuración en delta, aunque puede ser un apoyo para generar una explicación más centrada al conocimiento de las fallas y el comportamiento de ellas por lo que debe tener en cuenta son los parámetros y el funcionamiento de cada parte con el fin de observar el comportamiento de las señales senoidales de los voltajes como lo muestra la siguiente figura.



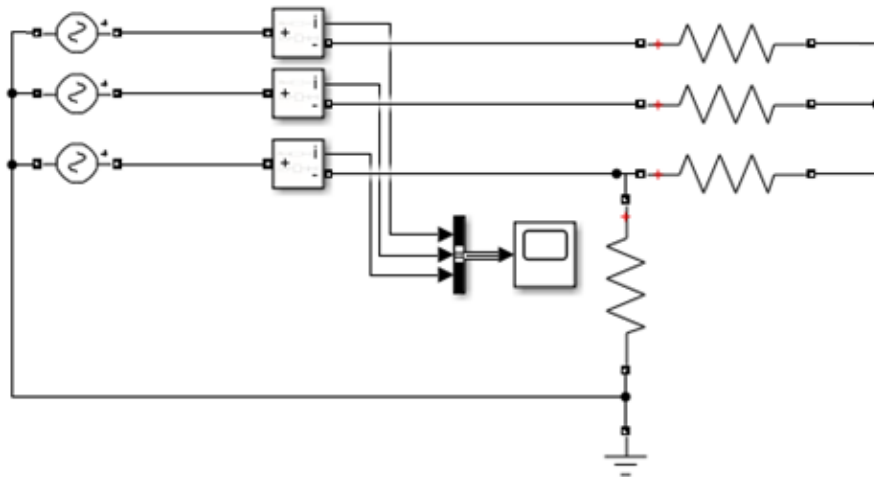


*Ilustración 2 Comportamiento de una señal sinoidal trifásica ideal MATLAB.  
Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

En la ilustración 2 podemos visualizar la simulación, hay que tener en cuenta las pérdidas presentadas como armónicos y desfases de corriente en la red son en estado que generalmente se considera un estado ideal, para generar una mejor idea simulamos en MATLAB.

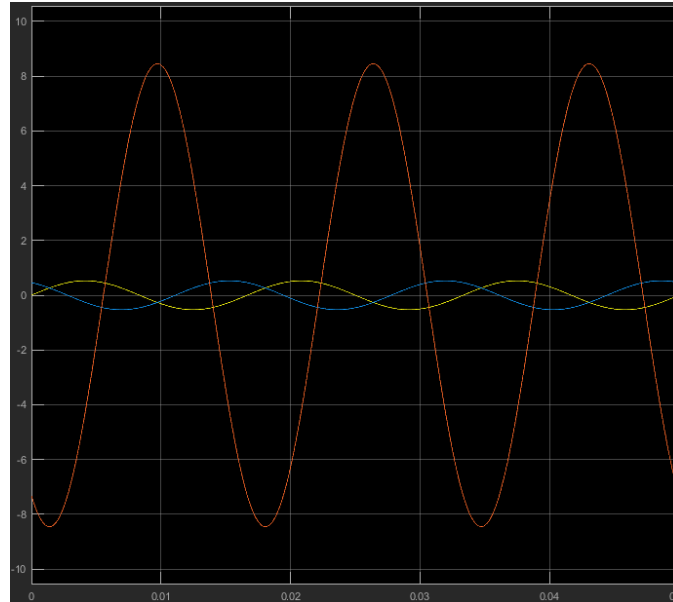
### Falla de línea a tierra

Se considera como el contacto producido por un material conductor entre la línea energizada y tierra, este contacto es de baja impedancia por lo general los dispositivos de sobre corriente de sujeción mecánica no los detecta ya que son demasiado grandes y generalmente las subestaciones son las que detectan estas fallas por primera instancia, su comportamiento está dado de la siguiente manera.[2]



*Ilustración 3 Simulación de falla de línea a tierra en MATLAB.  
Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

En la imagen anterior podemos visualizar una simulación de una falla de línea a tierra de la fase inferior, por lo que requerimos de la medición de corriente para inspeccionar su comportamiento.



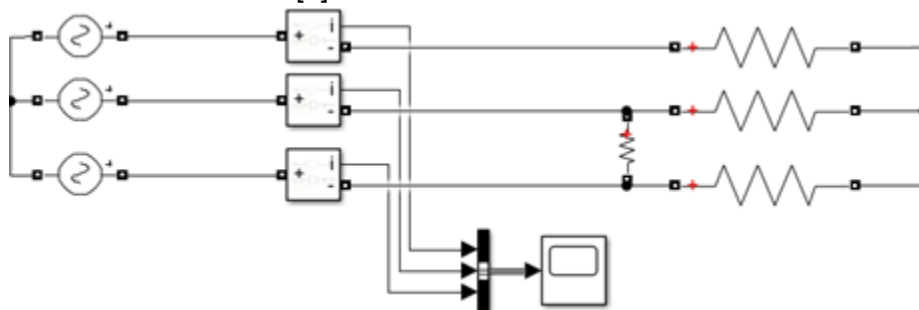
*Ilustración 4 Comportamiento de una señal sinusoidal de falla de línea a tierra en MATLAB.*

*Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

En la ilustración 4 podemos visualizar una falla de una fase conectada a tierra lo que se caracteriza por ser más grande incluso llegar a picos por muy encima de ellos, cuando se considera la falla de línea a tierra, también podemos encontrar el contacto de dos líneas a tierra e incluso tres líneas a tierra.

### Falla de línea a línea

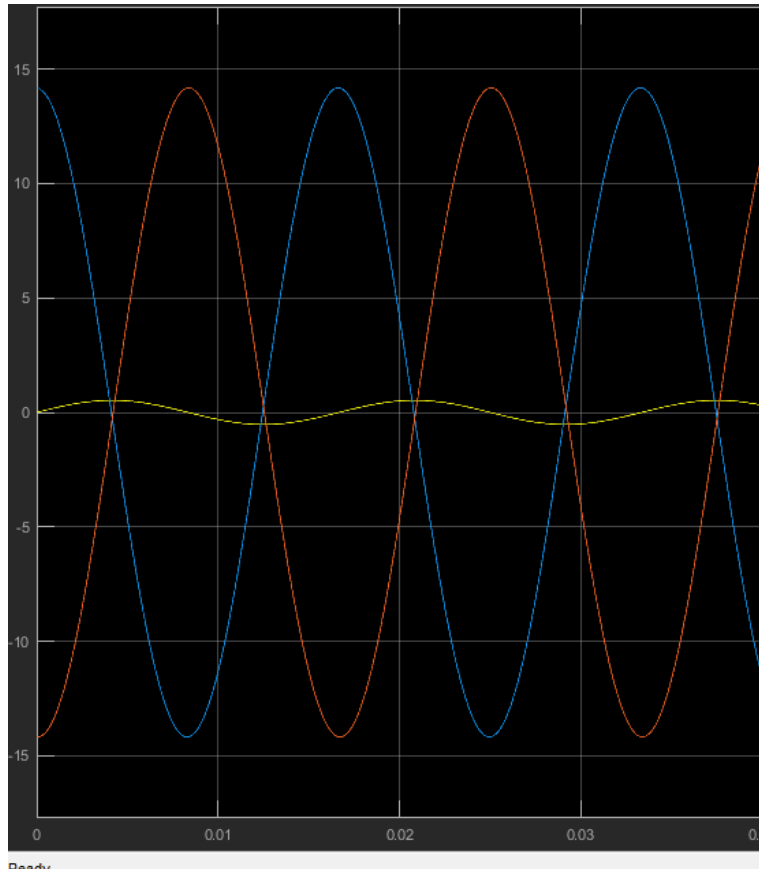
Se considera la falla de línea a línea aquellos contactos entre dos o más fases con una impedancia baja por lo que su corriente es demasiado alta, generalmente estas fallas suelen ser causadas por el contacto externo de un material conductor, en la siguiente figura podemos visualizar el contacto.[2]



*Ilustración 5 Simulación de falla de línea a línea en MATLAB*

*Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

En la figura anterior podemos visualizar un sistema de distribución simulado en MATLAB por lo que tenemos una resistencia entre la línea 2 y línea 3, esto también puede generar entre contactos de las tres líneas.



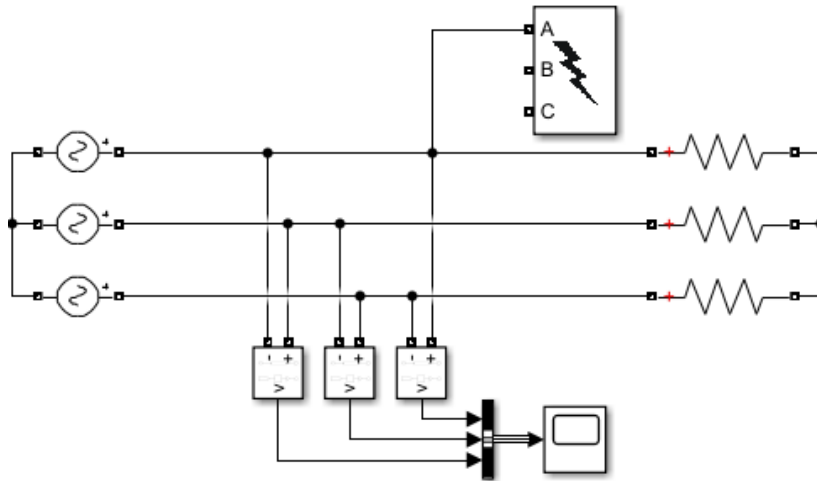
*Ilustración 6 Comportamiento de una señal sinusoidal de falla en línea a línea en MATLAB.*

*Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

Al tener el contacto entre dos líneas tenemos una magnitud de corriente superior elevada dependiendo de la impedancia de contacto, generalmente estas fallas están en el orden de los cientos de miles de amperios, es la falla con bastante agresividad por lo que un sistema de distribución debe tener protecciones adecuadas para aislar la falla lo más rápidamente posible.

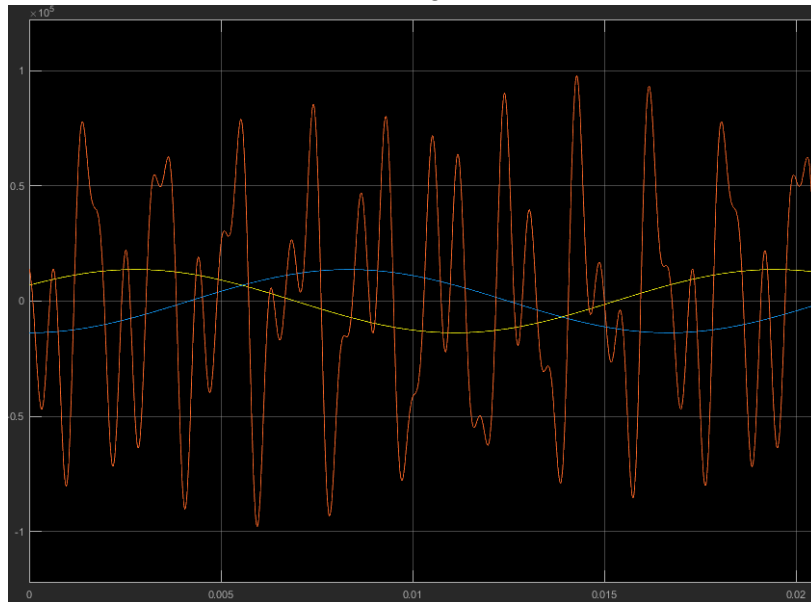
### **Descargas atmosféricas**

Se considera una falla por descargas atmosféricas la ionización de aire que rompe la rigidez dieléctrica por lo que genera un flujo eléctrico que supera el orden de los cientos de miles de voltios, para la red de distribución sin protección de las descargas atmosféricas es muy usual tener este tipo de fallas dependiendo del escenario o entorno en el que se encuentre.[2]



*Ilustración 7 Simulación de falla por descarga atmosférica en MATLAB  
Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

En la ilustración anterior podemos visualizar un circuito de falla por descarga atmosférica en una línea de la red de distribución por lo que solo presenta una anomalía en una senoidal generando una señal distorsionada como la siguiente manera.



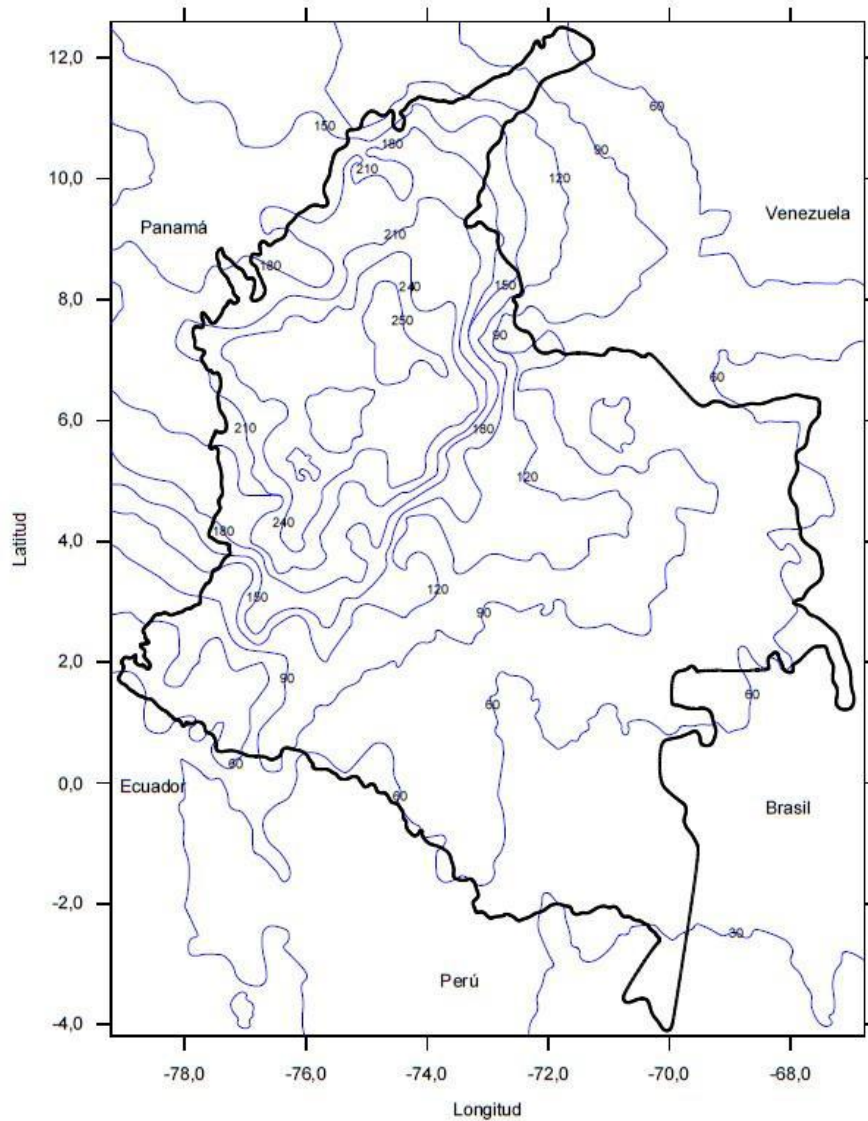
*Ilustración 8 Comportamiento de las señales de falla por descarga atmosférica  
MATLAB.*

*Fuente: Autor, MATLAB 2019.*

Al visualizar la falla por descarga atmosférica tiende a tener una subida de voltaje entre los intervalos de 0.01 mSeg y 0.1 mSeg por lo que su visualización puede ser un poco no precisa, adicionalmente la sobretensión y la sobrecarga producida requiere de sistemas sofisticados de medición.

### Niveles de ceráunicos

Para hablar de descargas atmosféricas se debe hablar del nivel de ceráunico, consiste en un nivel de descargas atmosféricas por kilómetros cuadrados por año, para ser más preciso son líneas donde se delimita la posibilidad de impactos de rayo llamados isoceráunico en el cual es diseñado por investigadores que recogen la información y datan un promedio de tormentas por año.[3]



*Ilustración 9 Niveles de ceráunicos en Colombia.*

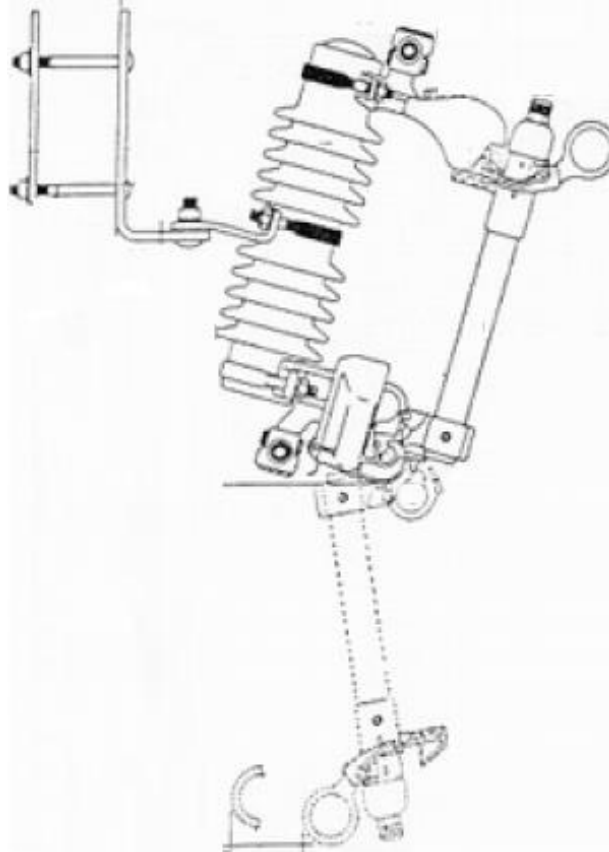
*Fuente: NTC – 4552-1, Nivel ceráunico. Figura A.9. [3]*

#### **4.2. PROTECCIONES PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN**

Para la protección deben estar regidos por los tipos de falla a lo que conlleva el cálculo de las fallas a comprender el tipo protecciones adecuadas a la red.

### Seccionador de porta fusible

También conocidos como cuchillas de fusible y son dispositivos que cumple la función de proteger y anular el cortocircuito, estos sistemas están hechos para proteger de las sobrecargas generadas por fallas o sobre consumo de los sistemas.

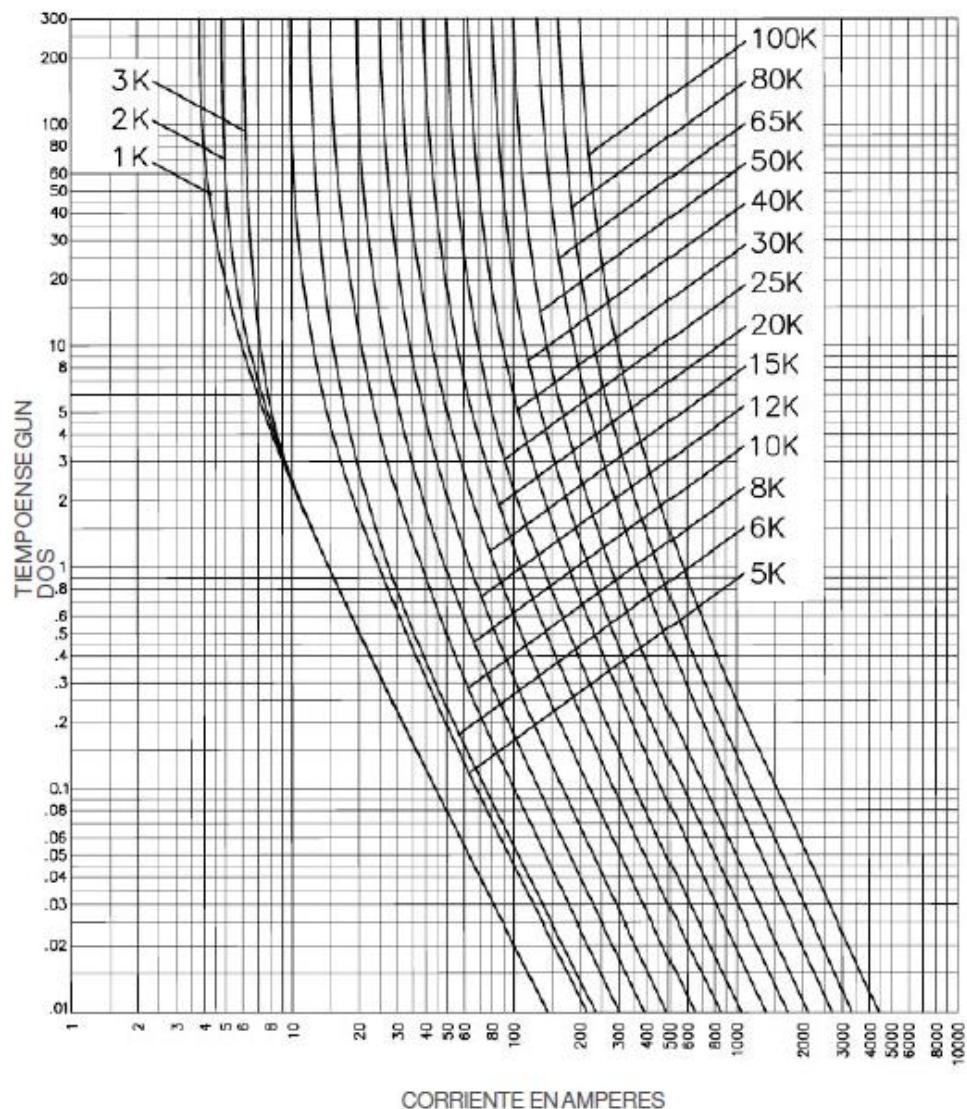


*Ilustración 10 Seccionador con porta fusible.*

*Fuente: Protecciones de sistemas eléctricos, Figura 10.3 Cortocircuito fusibles y componentes. [1]*

Los porta fusibles generalmente son hechos de aleaciones de aluminio, bronce y plata lo que lo hace eficiente y duradero por lo que su tiempo de servicio se extiende en periodos muy largos, la estructura, montajes y nivel de aislamiento son generalmente de porcelana y metales galvanizados para tener una duración ante la corrosión. También encontramos diferentes tipos de gamas en los fusibles los cuales encontramos:

- Fusible K: Son de expulsión rápida lo que lo convierte en una alternativa de protección inmediata, más sin embargo es un dispositivo demasiado sensible lo que cualquier efecto transitorio que aumente la demanda de corriente mayor a medio ciclo sea disparado inmediatamente.



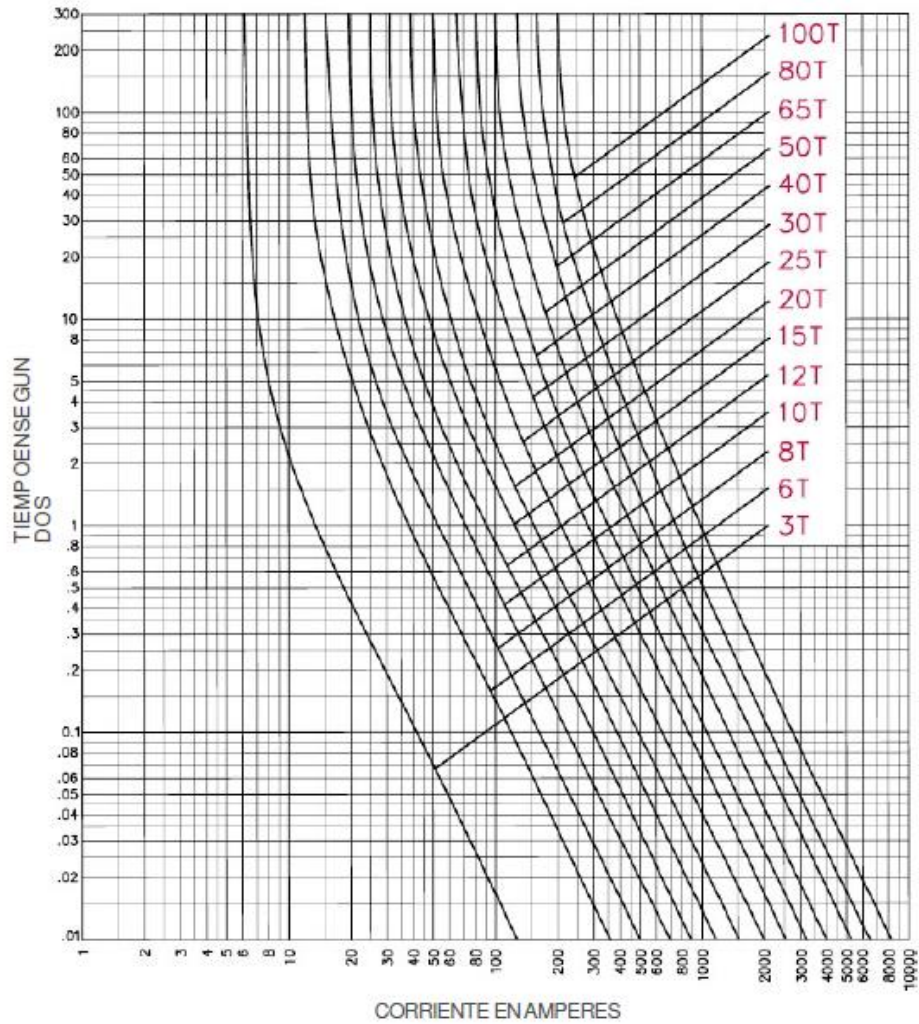
*Ilustración 11 Curva característica del fusible tipo K.*

*Fuente: Cooper Bussmann, tabla 1.[4]*

En la ilustración 11 podemos ver las características de comportamiento del fusible tipo K en la cual se encuentra la protección y el tiempo de respuesta de apertura, por lo que la curva describe la rapidez de la ruptura en cada número de protección en amperios, un ejemplo puede ser la curva 5K que hace referencia a la protección de 5A con tipo K “Fusibles rápidos” y una falla de 60A lo que lo conlleva soportar la duración de la falla en un tiempo de aproximadamente 0.140 segundos, superior a a esta duración el fusible genera apertura.

- Fusible T: Su expulsión tarda un cierto número de ciclos a diferencia del tipo K soporta corrientes transitorias tales como arranques de motores.





*Ilustración 12 Curva característica del fusible tipo T.*

*Fuente: Cooper Bussmann, tabla 1.[4]*

- Fusible H: Son de expulsión extra rápida la expulsión por lo que es poco utilizado para las secciones de bajantes para transformador.

En la distribución de estos fusibles se obtiene de forma comercial 1, 2, 3, 5, 6, 7.5, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 65, 75, 80, 100. Se obtiene esos valores a un voltaje de 15kV. Generalmente los seccionadores siempre están a la capacidad nominal, para el cálculo de la protección de forma sencilla debe ser de la siguiente forma:

$$I_n = \frac{|S|}{\sqrt{3} * V_l}$$

Teniendo en cuenta que la potencia aparente  $|S|$  es la demanda total del circuito ramal en cuanto a los transformadores en su capacidad máxima y el  $V_l$  es el voltaje de línea en ese caso es de 13.2 kV, acorde a la potencia que se obtenga siempre se utiliza el fusible de comercial de referencia menor o igual pero no superior.



## Punta franklin

Tiene como función la desviación de las descargas atmosféricas en las estructuras y líneas de media tensión, generalmente es utilizada en estructuras de construcción con ciertos niveles de altura, el método de aplicación es conocido como esferas rodantes lo que conlleva al uso de la geometría como lo muestra la siguiente figura.

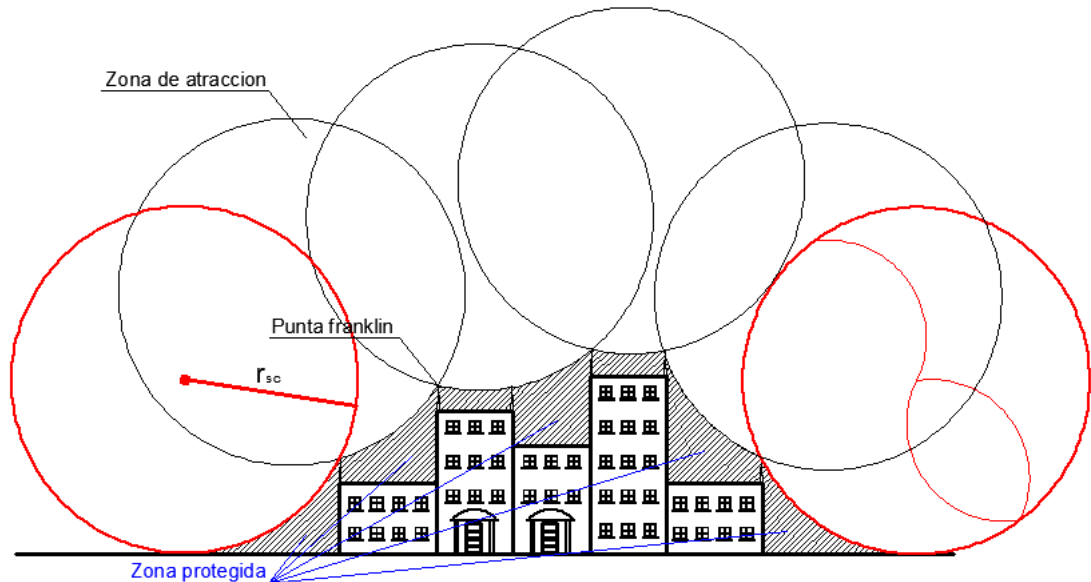


Ilustración 13 Método de esferas para puntas de franklin.

Fuente: <https://www.electricasas.com/aplicacion-del-metodo-de-la-esfera-ficticia/>  
Se genera unos círculos donde se simula una esfera, la distancia de estos círculos se conoce como zona de atracción y su radio es la distancia de la descarga, por lo que la parte sombreada es conocida como zona de protección, la altura de las puntas genera una mejor cobertura de protección por lo que la determinación de la altura de las puntas de franklin, este método es muy poco usado para la redes de distribución ya que las líneas de media tensión siempre son distancias extensas lo que la cobertura de las puntas de franklin son poco eficientes para los conductores.[3]

## Cable de Guarda

Consiste en el apantallamiento de la red de distribución generando un sistema de protección para la red eléctrica, consiste en un cable por encima de la red en el cual desvía todas las descargas atmosféricas generadas hacia la tierra mediante una conexión de puesta a tierra. Según la RETIE artículo 25.7 "Conductores, cables de guarda y cables de retención", los cables usado específicamente en uno de los usos mencionados anteriormente deben cumplir las características exigidas por la norma, los cálculos de la norma serán basado a la NTC 4552-3, los sistemas de puesta a tierra debe ser acogido por la norma NTC 2050 e internacional IEEE 80 donde clasifica el número de cable y el tipo de conexión a puesta a tierra para su debido aislamiento.[3]

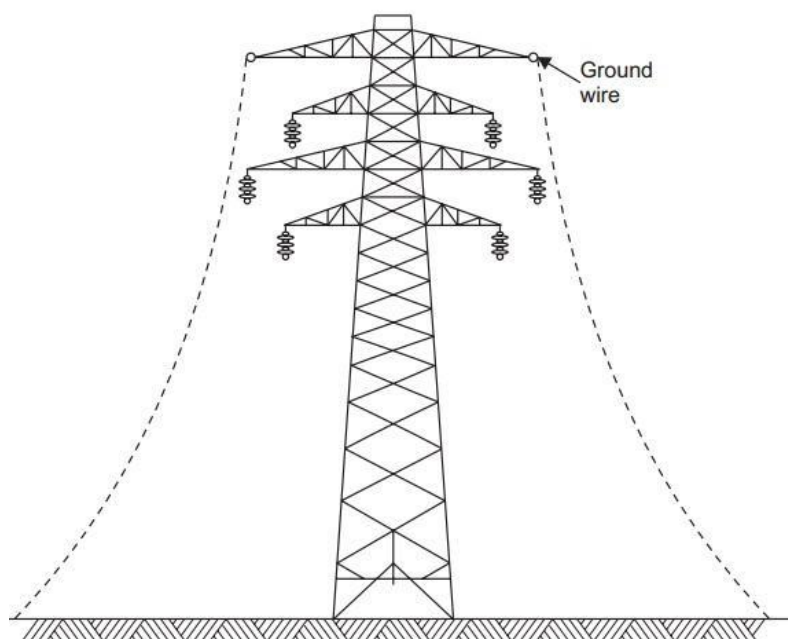


Ilustración 14 Apantallamiento con cables de guarda.

Fuente: <http://www.sectorelectricidad.com/12673/proteccion-ofrecida-por-dos-cables-de-tierra/>

## DPS

Son dispositivos de protección contra sobretensiones en el cual se comporta en estado nominal como aislante ya que su funcionamiento no supera los límites requeridos, también se conoce como pararrayos de auto válvula, generalmente se encuentra para los voltajes nominales de 44, 34.5, 33, 13.2 kV a una frecuencia estándar en 60Hz, considerado como sistema no lineal como lo muestra la siguiente figura.

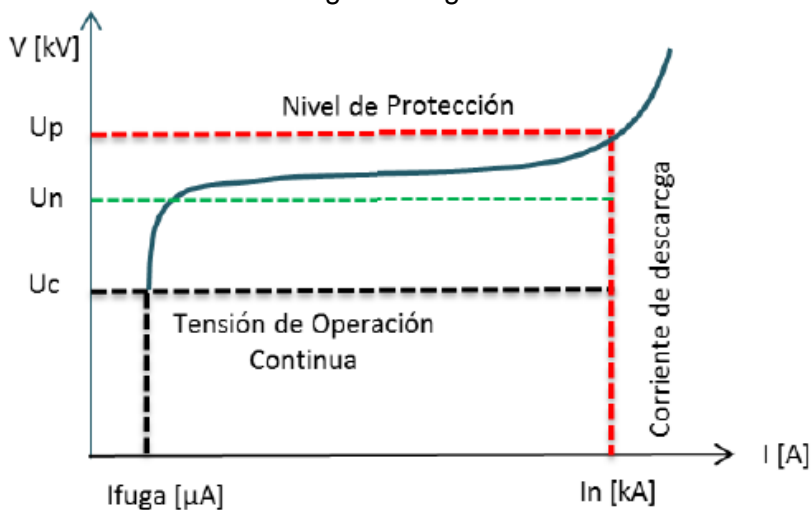
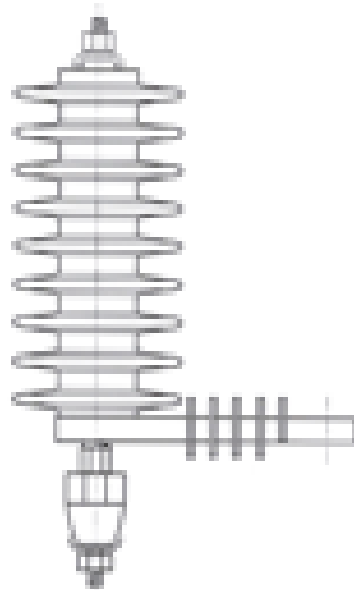


Ilustración 15 Curva característica de V-I del DPS.

Fuente: Grupo EPM. Especificaciones técnicas para DPS, figura 2. [5]

Según la ilustración tenemos la curva del comportamiento entre el voltaje y corriente donde se obtiene un voltaje nominal "Un" lo que su funcionamiento puede trabajar por debajo y por encima de la nominal sin superar los estándares de calidad, si llegado al caso supera el voltaje de corriente superior a la nominal con su margen de tolerancia se abre una válvula de material químico oxido metálico y genera una descarga a tierra, también existen varios tipos de DPS como:[5]

- Descargador de distribución: son diseñados para sistemas de distribución lo que lo hace como referente al más comercial, su parámetro de funcionamiento es de 5kA y 10kA.
- Descargador intermedio: son diseñados para mayor cantidad de corriente y son de uso exclusivo lo que lo lleva a ser más costos.
- Descargador de estación: Generalmente usado para subestaciones soportan descargas en los valores de 10kA, generalmente se utiliza para transformadores de potencia, equipos de subestación.



*Ilustración 16 Estructura de un DPS.  
Fuente: <http://www.fapa.com.ar/productos.php>*

### **Reconectores**

Es un dispositivo que cumple la función de medir la energía que pasa en un circuito al tener el censo el cambio brusco de corriente por lo que hace aperturas del circuito de forma temporal, rectificando si la falla que sucede es transitoria o estable el sistema automáticamente se energiza en determinadas ocasiones, si la falla persiste el sistema hace apertura de forma permanente hasta que se reinicie el sistema.[6]

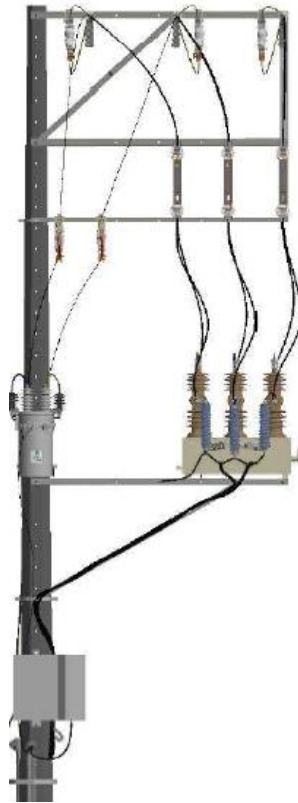


*Ilustración 17 Reconector de M.T.*

*Fuente: <http://www.sectorelectricidad.com/19183/reconectores/>*

En la imagen superior podemos visualizar un reconector, estos re conectadores pueden ser de aceite, gas o vacío donde su funcionamiento es aislar la corriente con una operación nominal entre 25 A hasta 560 A dependiendo de su configuración, estos son conectados a media tensión pero soporta un voltaje superior en el orden de 15 kV sin presentar ninguna alteración en el sistema, adicionalmente los Re conectadores trabajan a diferentes ciclos dependiendo de los controles y gamas, la estructura de un Re conectador son:[6]

- Caja de Control: es ubicado en la parte inferior de los Re conectadores generalmente a una distancia alcanzable de los técnicos de mantenimiento, su función es como dicho anteriormente es generar un control de paso de corriente generando señales para las interrupciones.
- Transformador: es un transformador de muy baja potencia, generalmente para simple uso de la energía para el funcionamiento del Re conectador y la caja de control.
- DPS: Para evitar daños de sobretensión superiores a las permisibles se utiliza los dispositivos de sobretensión, en conjunto con puesta a tierra.
- Seccionador de porta fusibles: se utiliza para la protección del transformador y apertura manual del transformador.
- Seccionadores: se utiliza para el Re conectador, generalmente para desmontaje o mantenimiento.



*Ilustración 18 Estructura de un Reconector.*

*Fuente: Capítulo 3-01 Reconectores, Figura 2. Esquema general de montajes en Reconectores.[6]*

### **Puesta a tierra**

La necesidad de proteger tanto la vida como preservar los equipos es la implementación de la protecciones con descargas y fallos a tierra, generalmente se puede basar a las normas colombianas como la NTC 4552 que establece el aterrizaje de estructuras y equipos donde se puede generar un impacto directo a los seres vivos, también podemos encontrar las normas internacionales como la IEC 60364 y la IEEE80, para tener en cuenta si la puesta a tierra cumple con la norma vigente debemos saber los parámetros como lo es:[3]

#### Resistividad del suelo:

Es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo, su unidad de medición generalmente es  $\Omega/m$ , podemos encontrar diferentes propiedades en el suelo por lo que la resistencia puede varias dependiendo de la capa del suelo:[7]

<b>MATERIAL</b>	<b>RESISTIVIDAD (<math>\Omega/m</math>)</b>
<b>SUELO ORGANICO</b>	5 – 10
<b>ARENA</b>	50 - 1000
<b>ARCILLA</b>	10 – 200

<b>ROCAS CALCÁREAS</b>	100 – 2000
<b>GRANITOS</b>	1000 – 50000
<b>ROCAS CRISTALINAS</b>	200 – 10000
<b>AGUA DE RÍO</b>	10 – 200
<b>AGUA SALADA</b>	0.01 – 1

Tabla 1 Resistividad del tipo de suelo.

Fuente: Plan de mejoramiento para las fallas aérea rural del circuito palragonvalia de CENS, Tabla 13. Valores aproximados. [8]

Según las normas internacionales la impedancia mínima de aceptación para las estructuras de redes de distribución no debe superar los 20Ω.

#### Método de medición

En los sistemas de puesta a tierra podemos detallar dos métodos que son comúnmente conocidos y aplicados por los diferentes equipos de medición:[7]

- Método de Werner: Consiste en cuatro electrodos son enterrados a una profundidad “b” de forma que quede alineados de forma recta entre los cuatro puntos a una distancia “a”, como lo muestra la siguiente ilustración:

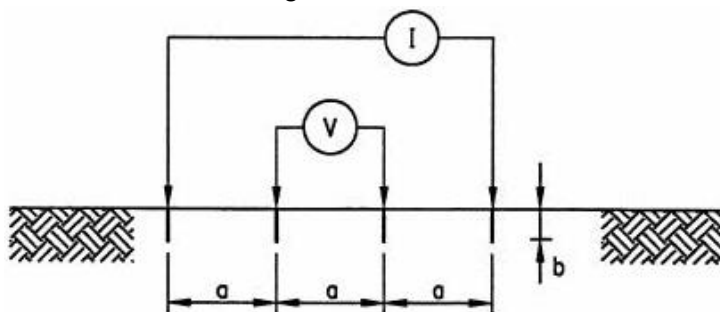


Ilustración 19 Método Wenner.

Fuente: Medida de resistividad eléctrica del suelo, Fig. 4 Método de medición.[7]

Una corriente “i” fluye por los electrodos de extremo y se genera una presencia de diferencial de potencial esto es percibido y se utiliza la ley de ohm para saber una resistencia, luego hallamos la resistividad del suelo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4\pi Ra}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

En donde:

$\rho$ : Es la resistividad del suelo en metros.

a: Distancia entre los electrodos.

b: Es la profundidad de los electrodos en el suelo.

R: Es la resistencia medida en por el diferencial de voltajes.

Este método se hace para diferentes texturas de suelo por lo que generalmente, se toma muestra a diferentes profundidades.

- Método de Schlumberger – Palmer: Se hace por la misma maniobra de que Wenner a diferencia que la posición de los electrodos no son simétricas en entre los electrodos del centro, como lo muestra la siguiente ilustración.

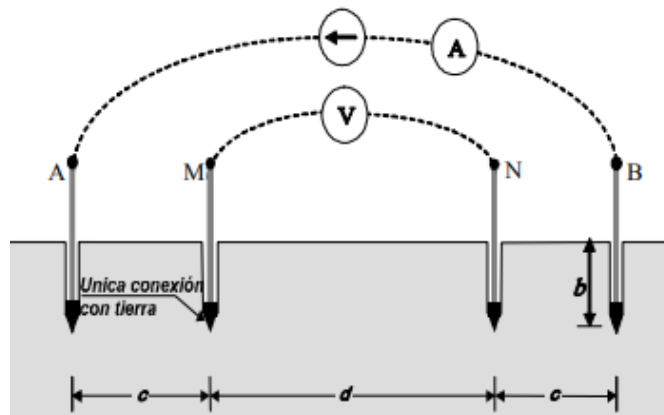


Ilustración 20 Método de Schlumberger.

Fuente: *Medida de resistividad eléctrica del suelo, Fig. 6 Método de medición, Método de Schlumberger-Palmer.* [7]

La ecuación por la cual se obtiene la resistividad del suelo son:

$$\rho = \frac{\pi c(c + d)R}{d}$$

Donde:

$\rho$ : Es la resistividad el suelo.

C: Es la separación de electrodos de corriente y tensión.

d: Es la separación entre los electrodos de tensión.

R: Resistencia medida.

### 4.3. MANTENIMIENTO

Se define como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el óptimo funcionamiento de las instalaciones, por lo que se puede deducir que es el conjunto de tareas necesarias para preservar o restaurar un sistema de procesos. Lo que se expone anteriormente es que se debe hacer un seguimiento ya sea por tiempo de funcionamiento o disminución de la eficiencia de los equipos, por lo cual favorece de forma económica por la eliminación o la disminución de las interrupciones de los procesos.

En la actualidad se encuentra diferentes tipos de mantenimientos que se enfocan en la variedad de aspectos dependiendo de las características de la industria, ya que los diseños de los controles que se deseen están ligados a la necesidad de estar en constante funcionamiento como son los sistemas robustos por lo que el margen de fallos debe ser mínimo, en cualquier sistema se encuentra tres grupos de mantenimiento.[9]

#### Mantenimiento preventivo

Se enfatiza en las inspecciones periódicas por los técnicos y se hace con el fin de minimizar fallos en el sistema, esto consiste en generar un cronograma dependiendo de la disponibilidad para la apertura del sistema por lo que este tipo de mantenimiento genera costos que generalmente puede variar dependiendo del estado en el que se encuentre los equipos, también se basa en la vida útil de los elementos por lo que se genera una

inspección del deterioro de los materiales implementados. En consecuencia, el mantenimiento preventivo tiene un alto costo por mantenimiento ya que requiere jornada de apertura del sistema y requiere de personal técnico por lo que la realización de ello genera una confianza entre los trabajadores por el trabajo repetitivo lo que conlleva a la no inspección o muy poca inspección del sistema, pero la realización del trabajo técnico de mantenimiento generalmente eleva el óptimo funcionamiento de la maquinaria, también se desarrolla un histórico de mantenimiento generando más confiabilidad en las redes, el mantenimiento preventivo se clasifica de la siguiente forma.[10]



*Ilustración 21 Diagrama de mantenimiento preventivo.*

*Fuente: Manual de mantenimiento.[10]*

Se divide en dos áreas, el de inspección teniendo en cuenta lo dicho anteriormente “la revisión de los equipos con respecto al tiempo y duración de la vida útil de los materiales”, por otro lado, tenemos el trabajo de mantenimiento, por lo que se basa a los resultados de la inspección de mantenimiento.[9]

### **Mantenimiento correctivo**

Los mantenimientos correctivos se basan al estado actual del sistema por lo que consisten principalmente en corregir los fallos inesperados que ocasionan la apertura del sistema, el mantenimiento tiene una serie de procedimientos o pasos para detectar la falla esto conlleva trabajos muy minucioso y principal para comprender la falla y obtener una respuesta. Estos mantenimientos se vuelven de prioridad ya que el sistema se puede considerar en estado crítico y puede desarrollar un impacto negativo generando sobrecostos, generalmente los fallos pueden ser detectados con facilidad si se cuenta con operarios con suficiente experiencia para comprender la magnitud de las fallas, esto facilita la ejecución de los trabajos por lo que es importante tener equipos suficientes para el mantenimiento, aunque la necesidad del funcionamiento del sistema genera trabajos inadecuados por la importancia de disminuir el tiempo de falla.[10]



El mantenimiento correctivo se describe de la siguiente forma.



*Ilustración 22 Diagrama de mantenimiento correctivo.*

*Fuente: Manual de mantenimiento.[10]*

EL mantenimiento correctivo tiene como una sola función que es generar las reparaciones debidas para el funcionamiento de los equipos, por lo que genera deficiencia en equipos con bastante recorrido de funcionamiento.

### **Mantenimiento predictivo**

Se basa en el conocimiento profundo del tema considerado como una filosofía de la experiencia en el área de trabajo por lo que no requiere un instrumento o equipo para generar un diagnóstico, usualmente se utiliza los 4 sentidos, el tacto, el oído, la visión e incluso el olfato generan un diagnóstico, también se considera un mantenimiento predictivo la recolección de información y en base a los datos generar una predicción de los tipos de fallas. La ventaja de tener este tipo de mantenimiento es evitar la interrupción o apertura del sistema, también genera un criterio de calidad del material dando un cierto nivel de vida dependiendo de los equipos a diferentes puntos de operación que los tenga, una desventaja es que debe contratar o capacitar al personal experimentado para estos mantenimientos.[10]

## 5. ANÁLISIS DE FALLAS PARA LAS APERTURAS FORZADAS EN EL CP-46.

### 5.1. TIPO DE MANIOBRA

La Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. considera como su área de trabajo tres tipos de trabajos:

- Expansión: Hace referencia a los sectores que quieren llegar con el suministro de energía con infraestructura nueva para tener un mayor alcance de usuarios beneficiados.
- Corrección: Trabajos por el cual se hacen para la minimización o mitigación de apertura en la red de distribución.
- Preventivo: El cambio de materiales fundamentales tal como, cable, aisladores y etc., que aun estén en funcionamiento, pero por vida útil se deben cambiar para evitar fallos.

#### No programado “NP”

hace referencia a las maniobras no programadas, generalmente esto se ve por fuera de la empresa y son impredecibles los códigos se clasifican de la siguiente manera.

Detalle de causa de tipo No Programada, “NP”	
<b>02</b> Aperturas por actuaciones de esquemas suplementarios que operan en el SDL	<b>30-</b> Apertura generada por la acción de condiciones atmosféricas tales como riadas, lluvias, vientos y descargas eléctricas.
<b>15-</b> Apertura generada por acciones de terceros, tales como vandalismo, robo de infraestructura, asonada, choques de vehículos, excavadoras, drone, parapentes, cable operadores o aeronaves, contra las redes del SDL o contra las estructuras que las soportan.	<b>31-</b> Apertura generada al realizar maniobras erróneas sobre la red o sus elementos asociados.
<b>16-</b> Apertura generada por acercamiento entre redes de un mismo circuito o entre redes de diferentes circuitos.	<b>33-</b> Apertura por falla en el transformador de potencia y sus equipos asociados, remunerados en el SDL.
<b>18-</b> Apertura en el SDL causada por falla en redes de otro operador de red.	<b>34-</b> Apertura generada por operación incorrecta de los elementos de protección
<b>19-</b> Apertura generada por el contacto de animales con las redes del sistema de distribución local.	<b>35-</b> Apertura generada por la falla de equipos instalados en la red tales como: reconectores, swiches, cuchillas, seccionador, condensador, regulador, seccionalizadores y equipos temporales de corte (llaves Faca).
<b>21-</b> Apertura por variación de tensión en el STN, STR o SDL, que genera actuación de esquemas de protección en el SDL .	<b>36-</b> Aperturas por fallas en los esquemas de coordinación de protecciones en el SDL

<b>22-</b> Apertura generada por la utilización de un equipo o material con defecto de fabricación en cualquier elemento del SDL	<b>37-</b> Apertura generada por falla en los postes, crucetas o estructuras que soportan las redes.
<b>23-</b> Apertura generada por pérdida de aislamiento asociada a condiciones de humedad, salinidad, corrosión entre otras en algún elemento del SDL.	<b>38-</b> Apertura de elementos de MT por fallas debidas a baja tensión.
<b>24-</b> Apertura en el SDL generada por necesidades propias urgentes por una condición insegura de la red.	<b>39-</b> Apertura generada por falla en redes del SDL, desnudas o aisladas, y en cualquiera de los elementos que las conforman tales como conectores, barras, aisladores, vientos, entre otros.
<b>25-</b> Aperturas causadas en las redes del SDL por Autogeneradores o generadores distribuidos.	<b>40-</b> Apertura generada por falla en transformador de distribución o cualquiera de sus elementos asociados
<b>27-</b> Apertura generada por el contacto de árboles o ramas con las redes del SDL.	<b>42-</b> Apertura generada por sobrepasar los límites de cargabilidad de los interruptores de los circuitos o reconectores en la red.
<b>29-</b> Apertura generada por una causa que no es posible identificar.	

*Tabla 2 Tipo de causa para NP.*

*Fuente: Código de apertura, EEP S.A. E.S.P.*

### **Programados “PR”**

Hace referencia a las maniobras programadas, las programaciones son realizadas con anterioridad y se hacen trabajos de expansión y preventivos.

Detalle de causa de tipo Programada, “PR”	
<b>01</b> - Apertura generada por desconexión programada de transformador para desconectar a un único usuario.	<b>13-</b> Apertura generada por trabajos de remodelación, reposición o ampliación de las redes de distribución.
<b>08-</b> Apertura por mantenimiento en el transformador de potencia del SDL y sus equipos o módulos de conexión asociados, remunerados en el SDL.	<b>14-</b> Apertura solicitada por el usuario propietario de su activo.
<b>09-</b> Apertura generada para realizar trabajos de mantenimiento preventivo sobre las redes o alrededor de ellas (poda de árboles).	

*Tabla 3 Tipo de causa para PR.*

*Fuente: Código de apertura, EEP S.A. E.S.P.*

### **Evento Exclusivo “EE”**

Son eventos exclusivamente por fuera de la operadora de red, se contempla el accidente de un carro en una estructura, apagones del STN o STR, cortes o suspensión de energía por incumplimiento de pagos y etc.

Detalle de causa de tipo Evento Exclusivo, "EE"	
<b>03-</b> Apertura programada en el activo que conforma una zona especial, por fuera de las horas correspondientes a los periodos de continuidad acordados.	<b>12-</b> Apertura generada por racionamiento en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).
<b>04-</b> Apertura generada por incumplimiento en contrato de servicios públicos por parte del usuario.	<b>17-</b> Apertura generada por la ocurrencia de un atentado terrorista atentado o dificultad de acceso a la zona por presencia de grupos al margen de la ley y en general cualquier acción que altere el orden público.
<b>05-</b> Evento programado en redes o transformadores a los que se conectan usuarios de alumbrado público, sucedido entre las 6 a.m. y las 6 p.m.	<b>20-</b> Apertura generada por eventos pertenecientes al STN y al STR
<b>06-</b> Evento no programado en redes o transformadores a los que se conectan usuarios de alumbrado público, sucedido entre las 6 a.m. y las 6 p.m.	<b>26-</b> Apertura no programada en el activo que conforma una zona especial, por fuera de las horas correspondientes a los periodos de continuidad acordados.
<b>07-</b> Apertura solicitada por el CND en cumplimiento de un programa de limitación de suministro aplicable a los clientes de un determinado comercializador que incumple con los requisitos establecidos en la regulación vigente.	<b>28-</b> Apertura debida a catástrofes naturales, tales como erosión (volcánica, fluvial o glacial), terremotos, maremotos, riadas, huracanes, ciclones y/o tornados y las obras derivadas de normalización y recuperación del SDL.
<b>10-</b> Apertura generada por plan de mantenimiento anual.	<b>32-</b> Apertura por falla en transformador privado
<b>11-</b> Apertura generada por traslado y adecuación de la infraestructura eléctrica por parte de entidades públicas o privadas.	<b>41-</b> Apertura solicitada por organismos de socorro o autoridades competentes para atender emergencias.

*Tabla 4 Tipo de causa para EE.  
Fuente: Código de apertura, EEP S.A. E.S.P.*

### **Instantáneas**

Hace referencia a fallas instantáneas inferiores a 3 Min, no importa la procedencia de la falla, pero si el sistema se restaura en el tiempo este se considera falla instantánea lo que no tiene un gran impacto en los índices de calidad.

## **5.2. EMPRESA DE ENERGÍA DEL PUTUMAYO S.A. E.S.P. ANTE LOS INDICADORES.**

Para los índices de calidad podemos visualizar por el Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios los indicadores trimestrales en los históricos, cabe resaltar que los indicadores van enfocados por cada circuito de distribución que se contemple en la operadora de red en este caso vamos investigar la apertura del CP-46 y los indicadores son desactualizados por lo que no se rige por la CREG 097 "contemplación de SAIDI y SAIFI".

INDICADOR DE LA DES DEL CIRCUITO CP-46

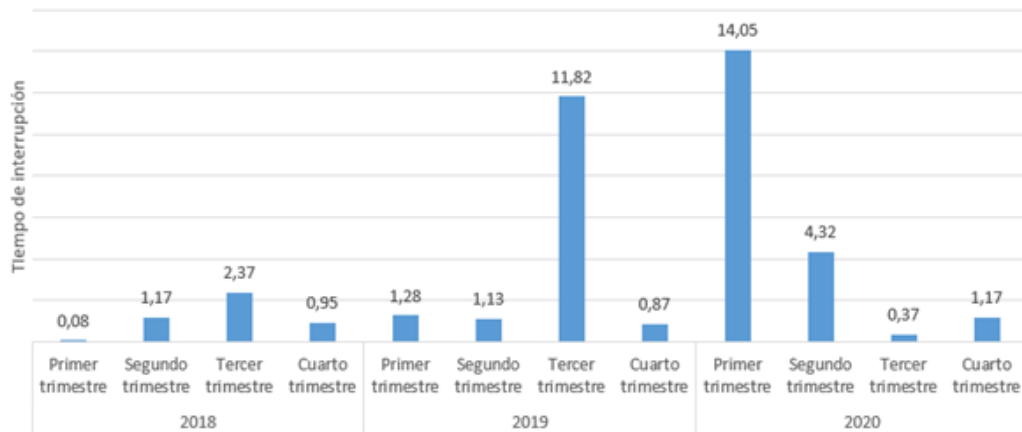


Ilustración 23 Indicadores de calidad de DES según SUI.

Fuente:

[http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele\\_tec\\_069](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele_tec_069)

Como resultado de la investigación podemos visualizar el tiempo de interrupción como lo muestra la figura anterior, para los picos donde supera 10 horas de apertura del circuito generalmente las aperturas suelen ser afectados pocos usuarios ya que este circuito es más enfocado a la zona rural. También tenemos la frecuencia con lo que sucede este tipo de fallo determinada por la siguiente ilustración.

INDICADOR DE LA FES DEL CIRCUITO CP-46

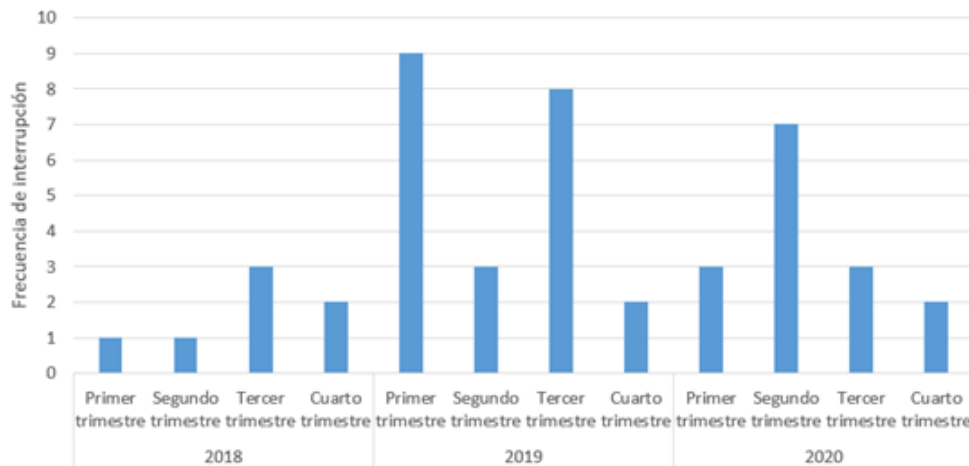


Ilustración 24 Indicadores de calidad de FES según SUI.

Fuente:

[http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele\\_tec\\_069](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele_tec_069)

La frecuencia con que sucede la apertura del circuito puede variar en el trimestre, generalmente las temporadas de lluvias incitan a las aperturas en diferentes sectores lo

que su trabajo se vuelve más difícil de solucionar conllevando horas de desenergización, en los indicadores anteriores podemos visualizar las aperturas lo que conlleva a no saber un criterio muy preciso de cuanto pertenece a las aperturas de tipo no programadas. Cabe resalta que según la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios “SUPERSERVICIOS” se hace aclaración mediante la resolución No. 20202400010005 del 2 de abril del 2020, se expide una multa por la desactualización de los indicadores de calidad que tuvo plazo de actualización hasta la fecha del 16 de abril del 2010 según la CREG 097 del 2008, adicionalmente se contempló la penalización por sobrepasar los límites máximos de la DES y la FES.[11]

### 5.3. ANÁLISIS DE APERTURAS EN EL CIRCUITO CP-46 DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DEL PUTUMAYO S.A. E.S.P.

Los análisis se obtendrán por periodos de seis meses a lo que solo contemplaremos el circuito CP-46, se desarrollará en las fechas del año 2019, 2020 y el primer trimestre del año 2021, se hizo un análisis de las maniobras que generan apertura del sistema y no se tiene en cuenta los números de usuarios afectados por lo que solo se observan los tipos de apertura.

#### Análisis de aperturas históricas del primer semestre del 2019 del circuito CP-46

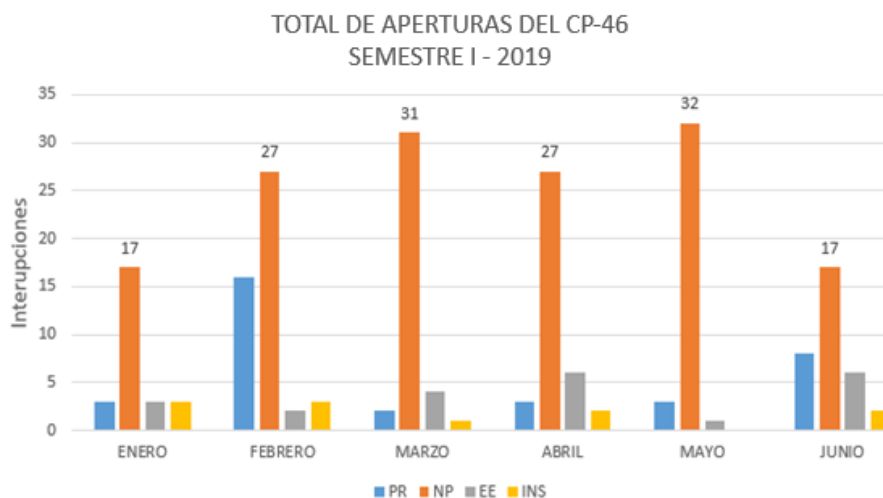
Para los periodos que comprende el primer semestre es de enero hasta junio, todos aquellos eventos realizados se obtendrán de la base de datos de los linieros técnicos encargados del mantenimiento, tanto preventivo, correctivo y predictivo.

	Primer semestre del 2019											
	Ene.		Feb.		Mar.		Abr.		May.		Jun.	
	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper
<b>PR</b>	39	3	666	16	296	2	36	3	250	3	492	8
<b>NP</b>	208	17	3423	27	1246	31	466	27	538	32	404	17
<b>EE</b>	61.8	3	41	2	1440	4	3559	6	40	1	1715	6
<b>INS</b>	3	3	5	3	1	1	2	2	NA	NA	1	2

*Tabla 5 Análisis del primer semestre del 2019.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

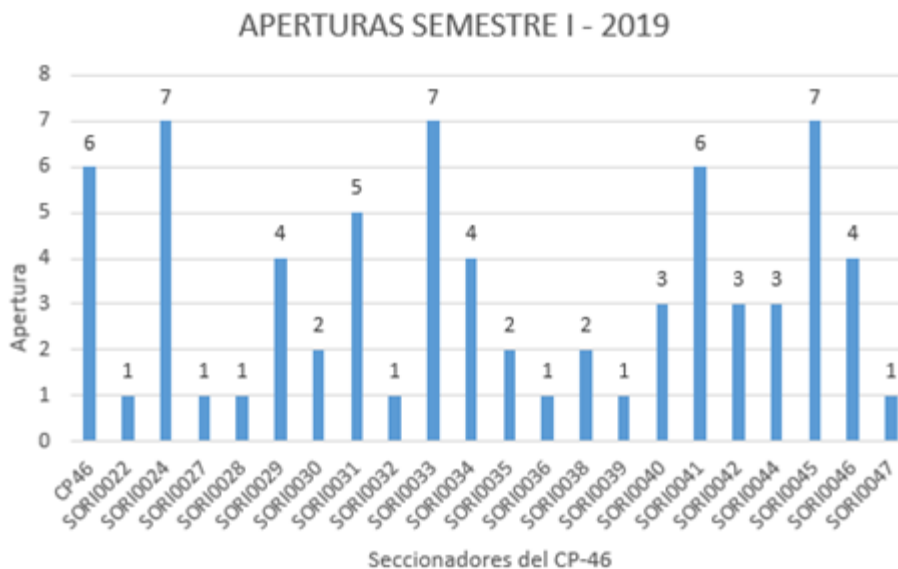
En la tabla 5 obtenemos los valores de cada una de las maniobras con el tiempo “Min” y las veces que se obtuvo la apertura del circuito o interrupciones “Aper”, esto conlleva un análisis más detallado sobre las diferentes causas que se tienen, la tabla 5 se basa solo al circuito CP-46.



*Ilustración 25 Tipo de maniobra para el primer semestre del 2019 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la imagen anterior se puede visualizar que las maniobras de tipo no programadas son las que se ejecutan teniendo un mayor tiempo de trabajo y de interrupción, las aperturas aumentan en las fechas de febrero, marzo y abril donde se contempla las temporadas de invierno.

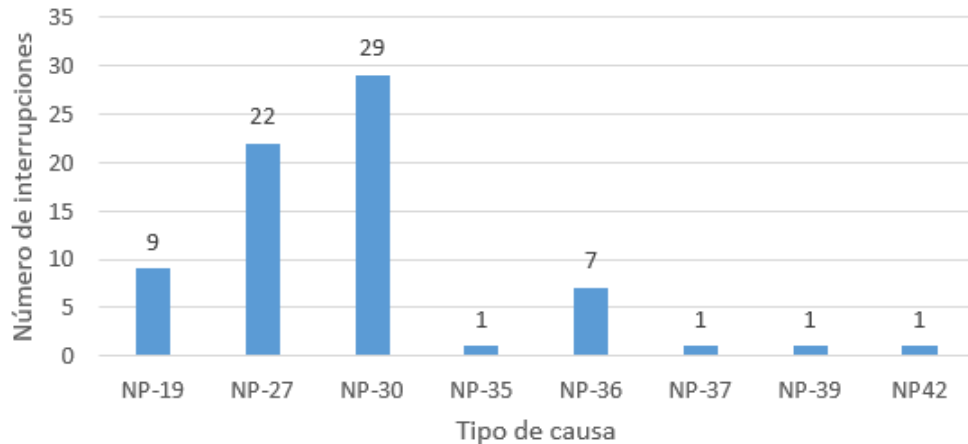


*Ilustración 26 Aperturas por seccionadores del primer semestre del 2019 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

La ilustración 26 podemos visualizar los seccionadores en el cual son más afectados, teniendo como sectores críticos en los seccionadores SORI0024, SORI0033 y SORI0045 con un total de 7 aperturas por cada seccionador en los primeros seis meses del 2019, también tenemos que el SORI0041 el cual sigue con 6 aperturas junto con el CP-46 que es la apertura de todo el circuito.

## CAUSA DE APERTURA EN EL CP-46 SEMESTRE I - 2019



*Ilustración 27 Causas más propensas en el primer semestre del 2019 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

Según la ilustración 27 las causa más común que se puede encontrar son la NP-30 que entre los códigos de apertura son generadas por “Condiciones atmosféricas tales como lluvias y descargas atmosféricas” con un total de 29 apertura, la siguiente causa más común son la NP-27 que es la apertura generada por contacto de árboles en las redes de media tensión con un total de 22 contactos generados, por ultimo tenemos las NP-19 y NP-36 como la tercera y cuarta causa más común con un total de 9 y 7 consecutivamente.

### **Análisis de aperturas históricas del segundo semestre del 2019 del circuito CP-46**

Los periodos que comprende el segundo semestre del año 2019 equivalen a los comienzos de julio hasta finales del mes de diciembre.

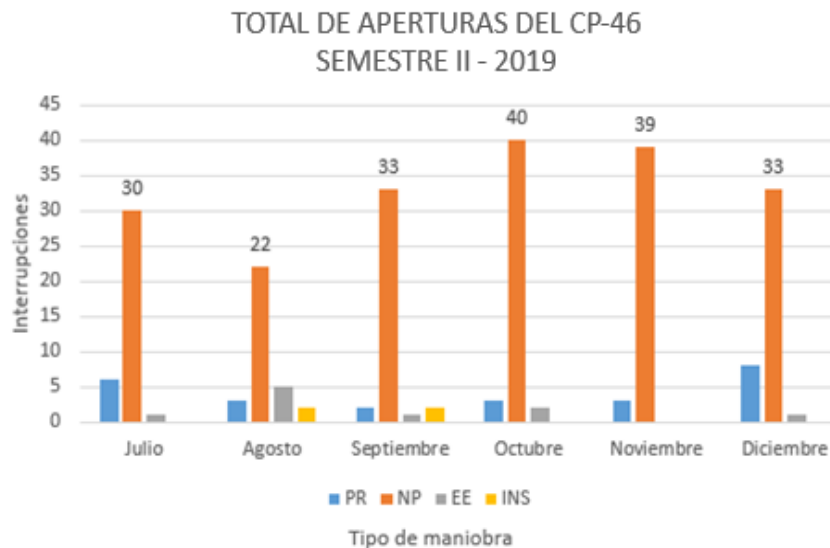
	<b>Segundo semestre del 2019</b>											
	<b>Jul.</b>		<b>Ago.</b>		<b>Sep.</b>		<b>Oct.</b>		<b>Nov.</b>		<b>Dic.</b>	
	<b>Min</b>	<b>Aper</b>	<b>Min</b>	<b>Aper</b>	<b>Min</b>	<b>Aper</b>	<b>Min</b>	<b>Aper</b>	<b>Min</b>	<b>Aper</b>	<b>Min</b>	<b>Aper</b>
<b>PR</b>	566	6	175	3	1377	2	298	3	124	3	695	8
<b>NP</b>	2822	30	1256	22	2931	33	3417	40	3990	39	1610	33
<b>EE</b>	1	1	439	5	10	1	19	2	NA	NA	1	1
<b>INS</b>	NA	NA	2	2	2	2	NA	NA	NA	NA	NA	NA

*Tabla 6 Análisis del segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la tabla 6 vemos un aumento de las aperturas a lo que directamente perjudicado el tiempo de apertura, se nota de grandes cambios como lo es la disminución de trabajo programada.

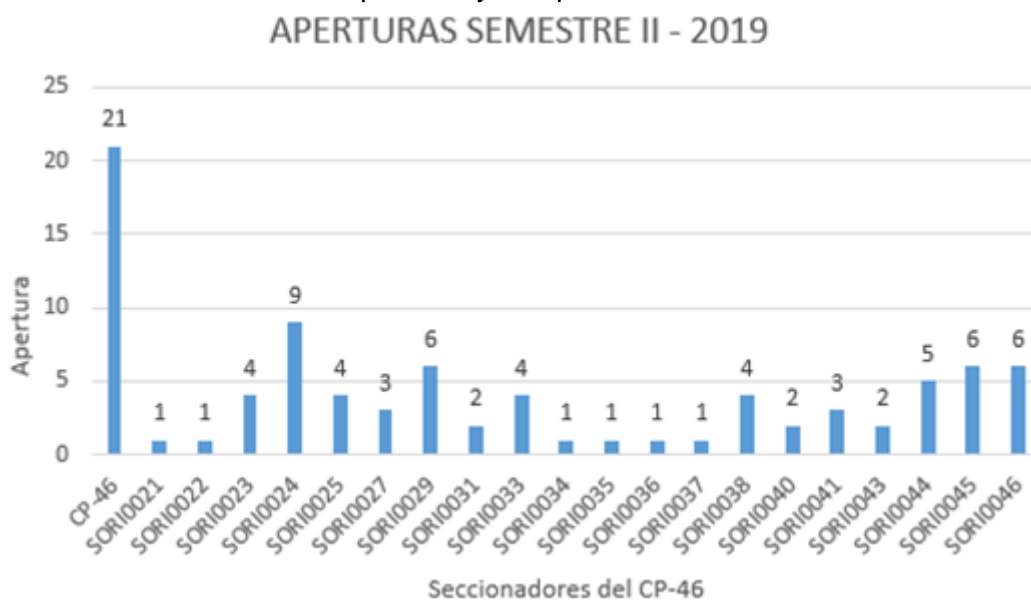




*Ilustración 28 Tipo de maniobra para el segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la ilustración número 28 visualizamos el número de aperturas por el tipo de maniobra en cada mes, los meses con aumento de aperturas son los meses de octubre y noviembre mayormente con un total de 40 aperturas y 39 aperturas consecutivamente.



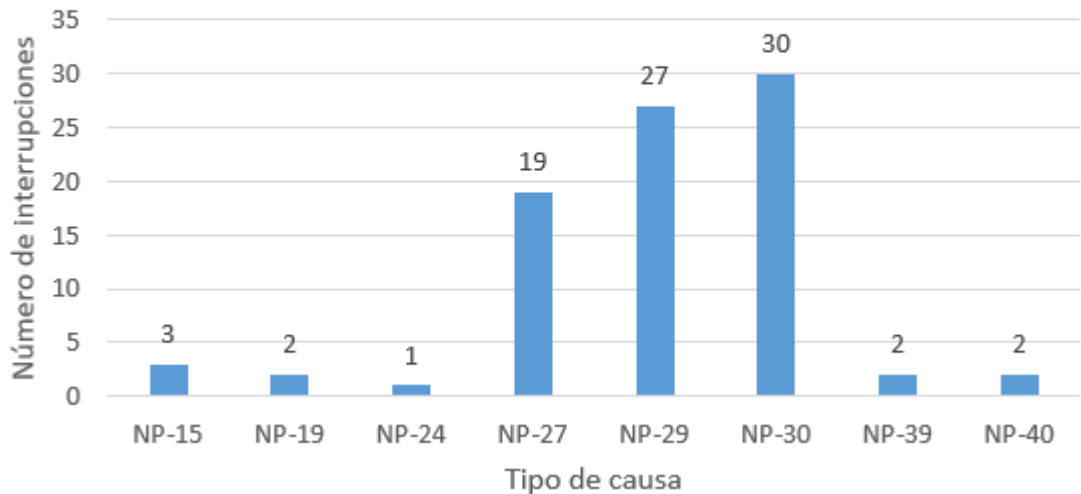
*Ilustración 29 Apertura por seccionador del segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la ilustración anterior podemos visualizar una gran diferencia por apertura en el CP-46 que es conocido como los seccionadores principales se ve diferenciado siendo superior a 20 aperturas en lo que se comprende el segundo semestre del 2019, teniendo una gran

diferencia con el seccionador SORI0024 con una apertura de aproximadamente 9 veces siendo el según más propenso.

### CAUSA DE APERTURA EN EL CP-46 SEMESTRE II - 2019



*Ilustración 30 Causas más propensa en el segundo semestre del 2019 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

Para la ilustración 30 del segundo semestre del 2019 la causa más común es NP-30 con un total de 30 aperturas considerada por condiciones atmosféricas, las dos siguientes causas más comunes son, la NP-27 que son los contactos con árboles y la NP-29 que son causas no identificadas teniendo un total del 19 y 27 aperturas consecutivamente.

### Análisis de aperturas históricas del primer semestre del 2020 del circuito CP-46

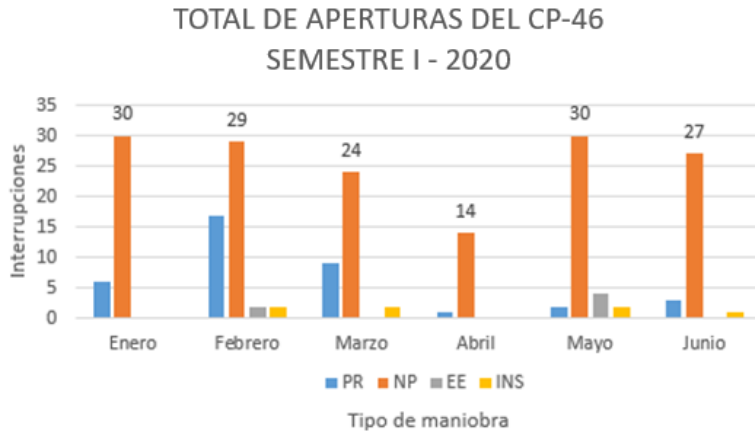
Para el primer semestre del 2020 se utilizan el mismo método de análisis como el año 2019, cabe resaltar que el año 2020 los trabajos fueron reducidos por la pandemia SARS-COV-2 también conocido como coronavirus.

	Primer semestre del 2020											
	Ene.		Feb.		Mar.		Abr.		May.		Jun.	
	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper
<b>PR</b>	732	6	2973	17	742	9	32	1	143	2	386	3
<b>NP</b>	1451	30	942	29	652	24	1138	14	1056	30	2309	27
<b>EE</b>	NA	NA	55	2	NA	NA	NA	NA	126	4	NA	NA
<b>INS</b>	NA	NA	4	2	2	2	NA	NA	2	2	1	1

*Tabla 7 Análisis de apertura del primer semestre del 2020.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la tabla 10 podemos visualizar una disminución de trabajos en programados entre los meses de abril, mayo y junio como también la disminución de los eventos excluibles, la maniobra de tipo no programada mantiene las aperturas constantes, para tener una mejor visión de los trabajos realizados lo podemos detallar en la siguiente ilustración.



*Ilustración 31 Tipo de maniobra para el primer semestre del 2020 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la ilustración anterior podemos ver gran diferencia entre los tipos de maniobra, lo que se ve afectado los trabajos programados, eventos excluibles e instantáneas con gran disminución, también se puede detallar en abril es el mes con menos aperturas en el primer semestre del 2020 con un total de 14 maniobras de tipo no programadas y 1 maniobra de tipo programada, el mes con mayores aperturas es el mes de enero con un total de 36 aperturas junto con el mes de mayo con un total de 38 aperturas.

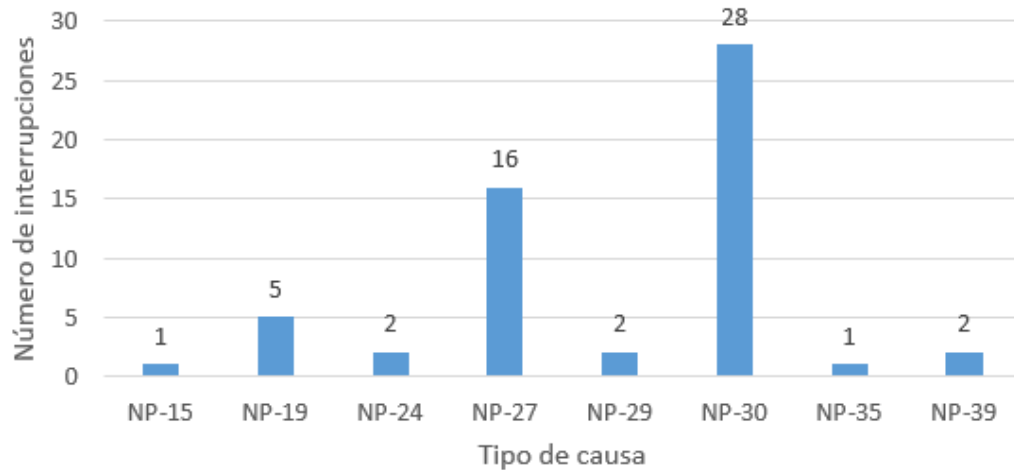


*Ilustración 32 Aperturas por seccionadores del primer semestre del 2020 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

Para el análisis de los seccionadores del primer semestre del año 2020 podemos ver una disminución con respecto al primer semestre del año 2019, teniendo como primer seccionador afectado el CP-46 con un total de 9 aperturas demostrando una disminución con respecto al semestre anterior, también tenemos el segundo seccionador SORI0046 con un total de 8 aperturas 8 demostrando un aumento ante los análisis posteriores.

### CAUSA DE APERTURA EN EL CP-46 SEMESTRE I - 2020



*Ilustración 33 Causas más propensas en el primer semestre del 2020 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En los análisis de causa está el NP-30 con un total de 28 interrupciones siendo la causa más común en el circuito CP-46, esto demuestra un impacto que tiene las condiciones atmosféricas, otra causa común es la NP-27 siendo la segunda más alta con un total de 16 interrupciones en el circuito.

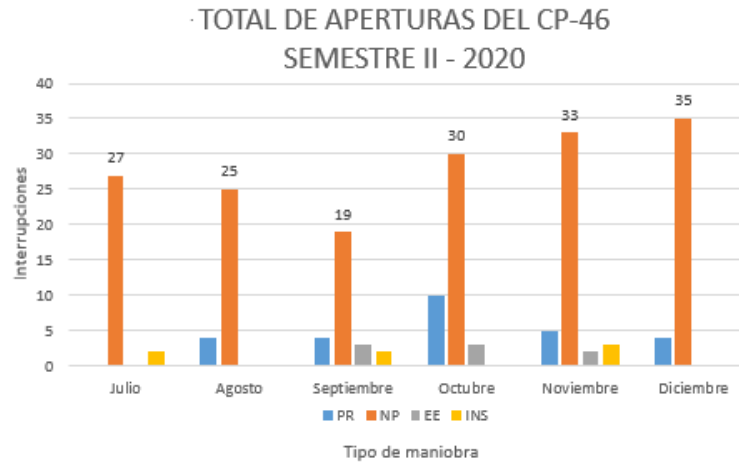
### Análisis de aperturas históricas del segundo semestre del 2020 del circuito CP-46

Para el análisis del segundo semestre del 2020 se desarrolla como el mismo método de los semestres posteriores.

	Segundo semestre del 2019											
	Jul.		Ago.		Sep.		Oct.		Nov.		Dic.	
	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper
<b>PR</b>	NA	NA	374	4	1008	4	2137	10	568	5	723	4
<b>NP</b>	2017	27	4264	25	1116	19	3970	30	1656	33	2634	35
<b>EE</b>	NA	NA	NA	NA	284	3	650	3	18	2	NA	NA
<b>INS</b>	2	2	NA	NA	2	2	NA	NA	3	3	NA	NA

*Tabla 8 Análisis de aperturas del segundo semestre del 2020.  
Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

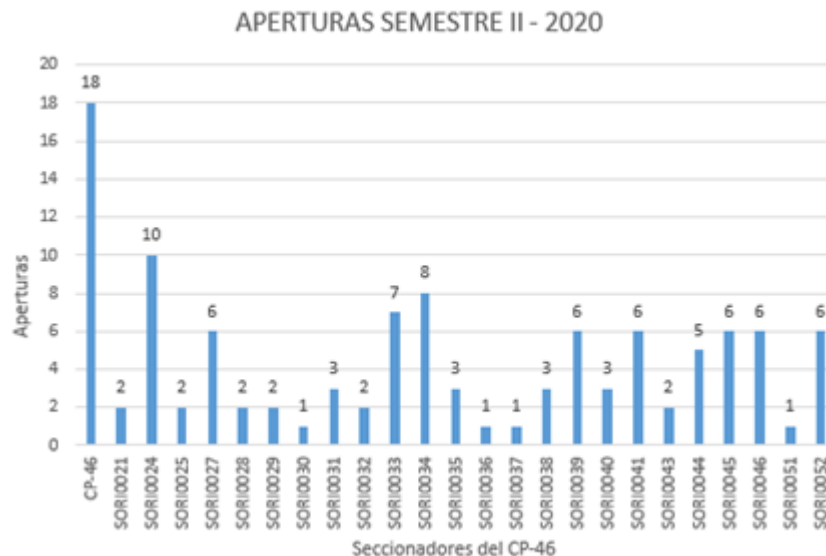
En la tabla 8 podemos visualizar lo consecuente al primer semestre del año 2020 a lo que los trabajos programados son reducidos, al igual que los eventos excluibles, la disminución de trabajo programado aumenta las aperturas lo que a su vez es un impacto negativo para la sostenibilidad siendo el mes de agosto con 4264 minutos de aperturas siendo el mes con más tiempo de duración, en la siguiente ilustración podemos detallar el impacto de aperturas en el circuito CP-46.



*Ilustración 34 Tipo de maniobra para el segundo semestre del 2020 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la ilustración 42 podemos ver un aumento de las interrupciones de tipo no programadas en el cual tenemos el mes de diciembre con mayor apertura con un total de 35, el mes con menor aperturas es septiembre con 19 aperturas de tipo no programadas teniendo un promedio de mayor a 28 aperturas de tipo no programada por cada mes.

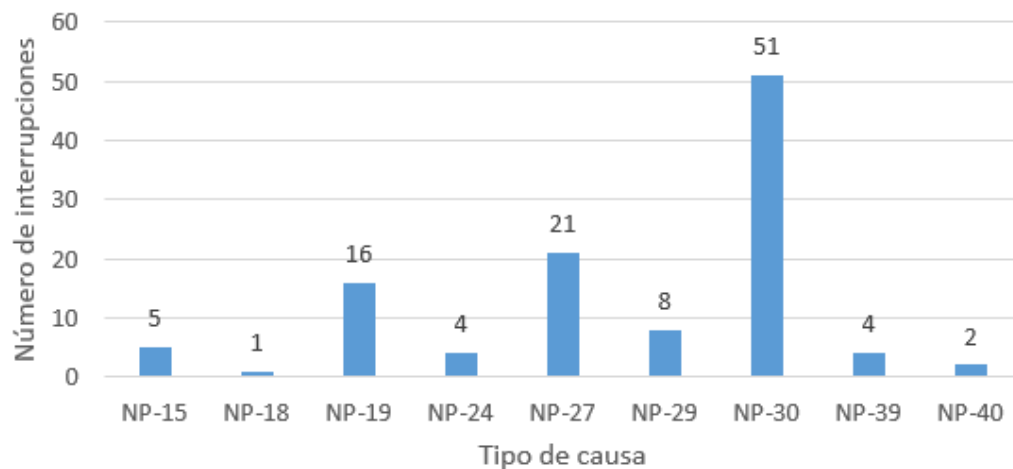


*Ilustración 35 Aperturas por seccionadores del segundo semestre del 2020 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la imagen anterior podemos visualizar que los seccionadores principales el CP-46 son los más propensos con un total de 18 aperturas en el circuito, esto detalla que generalmente son afectadas a toda la red de distribución, lo sigue el SORI0024 con un total de 10 aperturas, para estar en contexto las causas más comunes son las siguientes.

### CAUSA DE APERTURA EN EL CP-46 SEMESTRE II - 2020



*Ilustración 36 Causas más propensas en el segundo semestre del 2020 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la ilustración 36 tenemos que la apertura más común en los seccionadores es el NP-30 con un total de 51 aperturas en el semestre lo que lo conlleva a ser la más propensa, seguido con la NP-27 con 21 aperturas y NP-19 con 16 aperturas, siendo el segundo semestre del año 2020 el semestre con mayor causa de los semestres analizados.

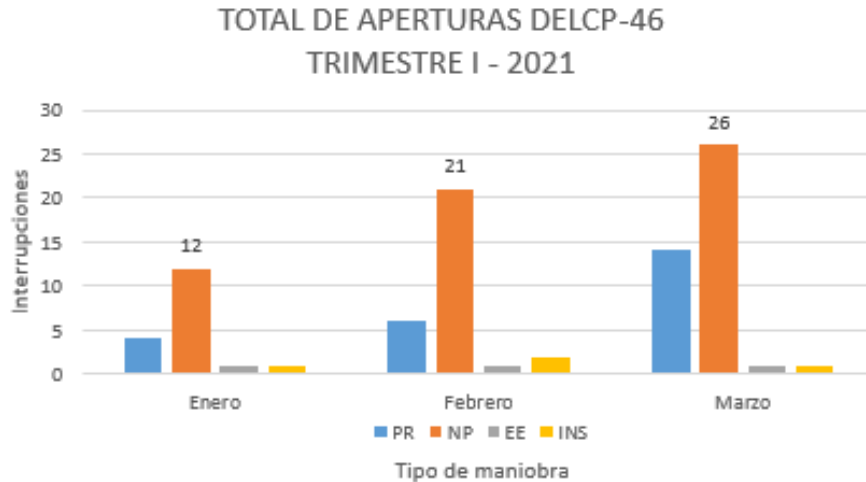
### Análisis de aperturas históricas del primer trimestre del 2021 del circuito CP-46

Se hace análisis del primer trimestre del año 2021 con la misma metodología, con el fin de visualizar el comportamiento de las apertura hasta lo más cercano de la actualidad, el trimestre comprende desde el primero de enero hasta el 31 de marzo.

Primer trimestre del 2021						
	Ene.		Feb.		Mar.	
	Min	Aper	Min	Aper	Min	Aper
<b>PR</b>	853	4	734	6	2223	14
<b>NP</b>	434	12	925	21	1304	26
<b>EE</b>	8	1	32	1	10	1
<b>INS</b>	1	1	2	2	1	1

*Tabla 9 Análisis de apertura del primer trimestre del 2021.  
Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

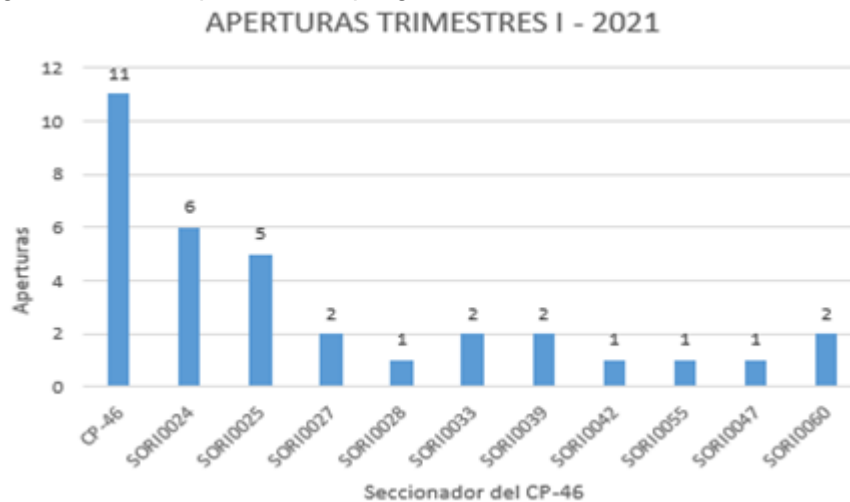
Para el primer trimestre del año 2021 se reactivan los trabajos programados, también se puede visualizar una disminución de aperturas en la parte de enero y febrero, para tener una mejor perspectiva podemos ver la siguiente gráfica.



*Ilustración 37 Tipo de maniobra para el primer trimestre del 2021 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la ilustración anterior podemos visualizar que a para ser tres meses de análisis aun las aperturas siguen siendo superior a las programados, eventos excluibles e instantáneas.

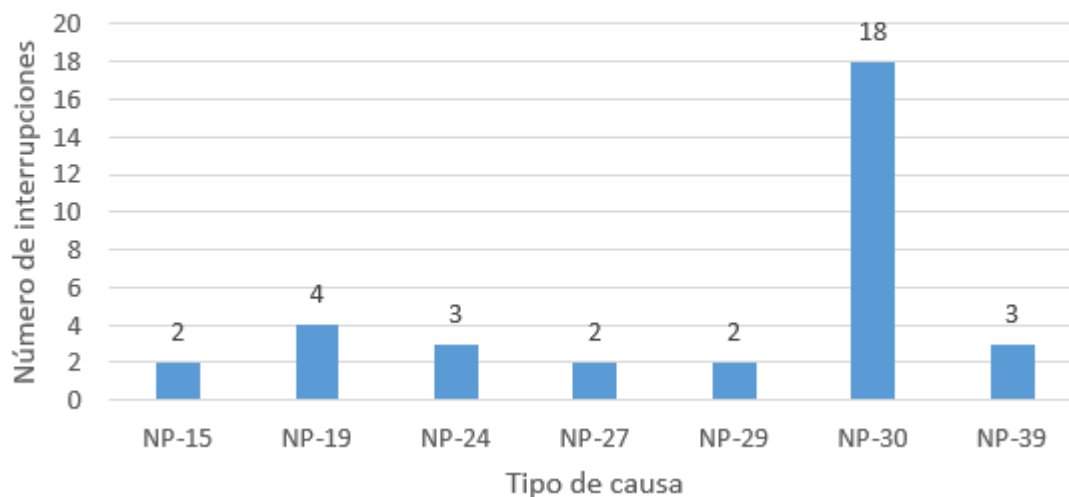


*Ilustración 38 Aperturas por seccionadores del primer trimestres del 2021 del circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la gráfica anterior podemos visualizar que el circuito principal ha estado fuera de servicio en 11 ocasiones, esto quiere decir que en el recorrido del trimestre ha estado en interrupción en una vez cada 9 días por lo que es muy alto para los indicadores de calidad.

### CAUSA DE APERTURA EN EL CP-46 TRIMESTRE I - 2021



*Ilustración 39 Causas más propensas en el primer trimestre del 2021 del circuito CP-46.*

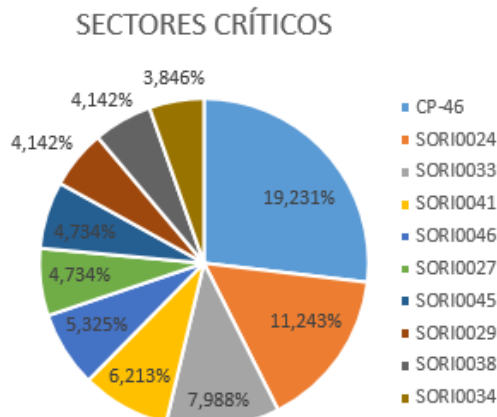
*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

Las causas más comunes es la NP-30 siendo por condiciones atmosféricas más propensa en el primer trimestre con 18 veces, la segunda es NP-19 con 4 aperturas en el trimestre.



## 6. SECTORES CRÍTICOS CAUSADOS POR LAS APERTURAS NO PROGRAMADAS EN EL CIRCUITO CP-46

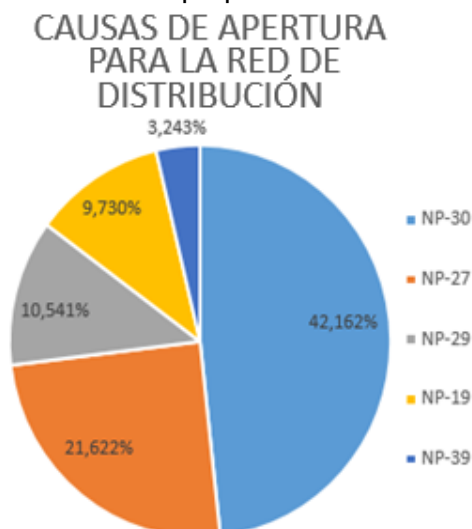
Los sectores críticos se basaron al historial de bitácoras, teniendo en cuenta el total de aperturas desde comienzos del año 2019 hasta finales de marzo del año 2021 con un total de registro de 2 años y 3 meses, se tabula la información y se escoge los sectores donde se han generado más aperturas, para analizar los sectores críticos se debe tener en cuenta el entorno en el cual están sujetos y sus causas más comunes se tiene presente la opinión de los técnicos linieros “encargados en mantenimiento de las redes”.



*Ilustración 40 Sectores críticos en el circuito CP-46.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

Según la ilustración anterior podemos visualizar los 10 seccionadores más propensos de obtener una apertura por causa, según las estadísticas estos seccionadores cubren el 71.598% de las probabilidades de aperturas siendo la apertura en el circuito principal como la más propensas con un 19.321% más propensa.



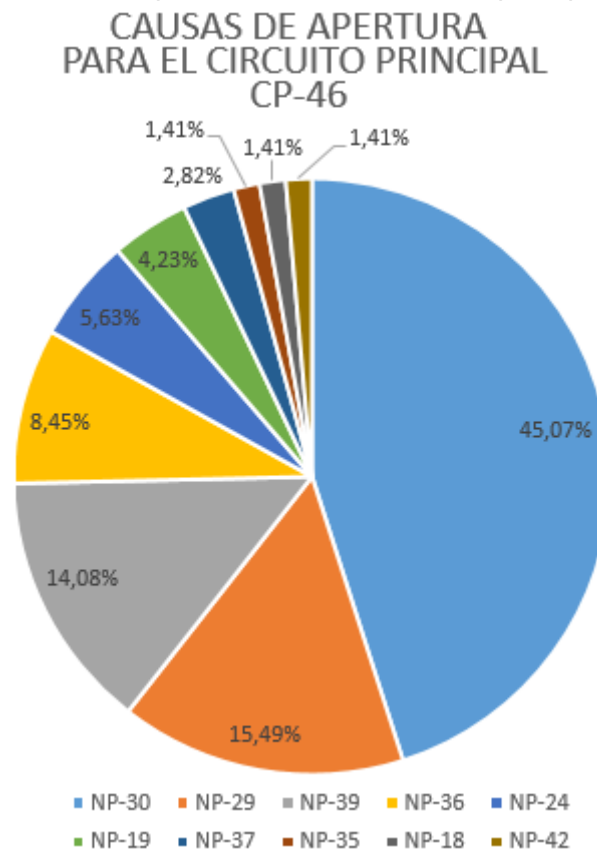
*Ilustración 41 Distribución porcentual de las causas de aperturas para la red de distribución.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

Para las causas más comunes podemos visualizar que las cinco mencionadas anteriormente son más propensas con una probabilidad del 87.298% de probabilidad siendo el código de apertura NP-30 “condiciones atmosféricas tales como, lluvias y descargas atmosféricas” la más probables con un 42.162% seguido por contacto con árboles con código de causa NP-27 y en tercer lugar la NP-29 en la cual son causas no identificadas, por ultimo tenemos la NP-19 y NP-39 con 9.73% y 3.243% de probabilidad.

### 6.1. SECCIONADOR PRINCIPAL

Es la primera protección que tiene el sistema de distribución por lo que toda aquella causas que no pueda ser detectada por las protecciones cercanas automáticamente las protecciones hacen apertura del sistema para aislar el fallo, esta protección se encuentra en la subestación Yarumo que anteriormente se menciona como la subestación con transformador de 115kV/34.5kV/13.2kV para el debido suministro de energía en la ciudad de Orito, podemos visualizar lo que abarca el seccionador principal en el anexo 1.



*Ilustración 42 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones principales.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P..*

Generalmente la causa más común es la NP-30 como condiciones atmosféricas con un total del 45.07%, seguido por la NP-29 aperturas por causas desconocidas con un total de

15.49%, aproximadamente del 60% de probabilidad las aperturas del CP-46 sean echas por las dos causas dichas anteriormente.

## 6.2. SECCIONADOR SORI0024

Es una protección perteneciente al sector rural ubicado en la vereda campo mula, este seccionador tiene como función principal de suministrar y proteger un total de 7 transformadores perteneciente a las veredas, mirador, pepino y puente Palencia, los valores de estos transformadores oscilan entre 10 y 15 kVA dando un total de 100kVA de potencia en dos fases de 13.2kV en voltaje de línea.

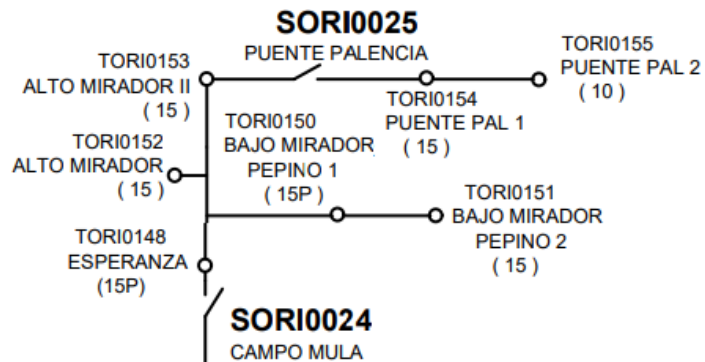


Ilustración 43 Unifilar de suministro del seccionador SORI0024.

Fuente: Subgerencia técnica operativa.

En la ilustración anterior podemos visualizar el seccionador SORI0024 como conexión de apertura para el suministro de energía, en el recorrido es en trifásica hasta el seccionador, del seccionador en adelante es de 2 fases.

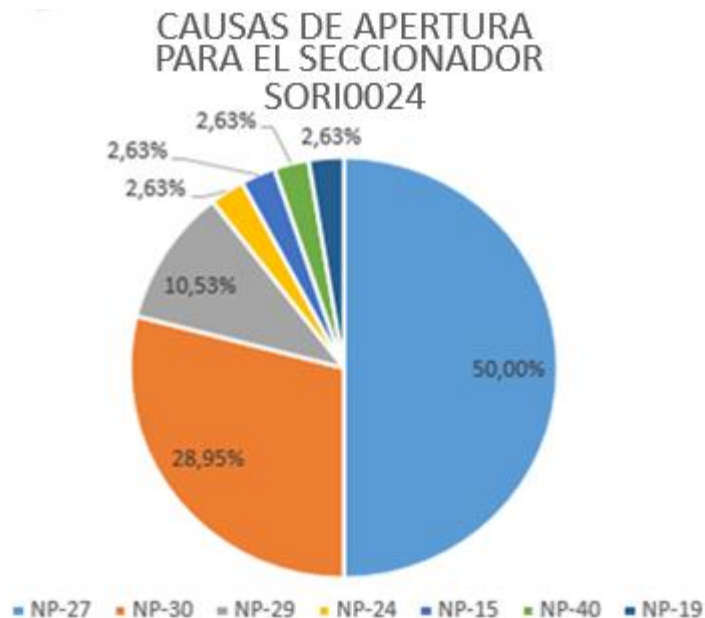


Ilustración 44 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0024.

Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.

Las causas más comunes en el SORI0024 es la NP-27 que hace referencia al contacto de árboles con un total del 50% de probabilidad, el que lo sigue es el NP-30 con el 28.95% de probabilidad, esto lo podemos comprobar con la alta densidad boscosa que tenemos en el sector, estas dos causas cubren el 78.95% de las posibilidades de aperturas

### 6.3. SECCIONADOR SORI0033

Es un seccionador trifásico perteneciente a la vereda florida, tiene como característica principal estar sobre los 700 metros sobre el nivel del mar a diferencia del casco urbano que está a 325 metros sobre el nivel del mar.

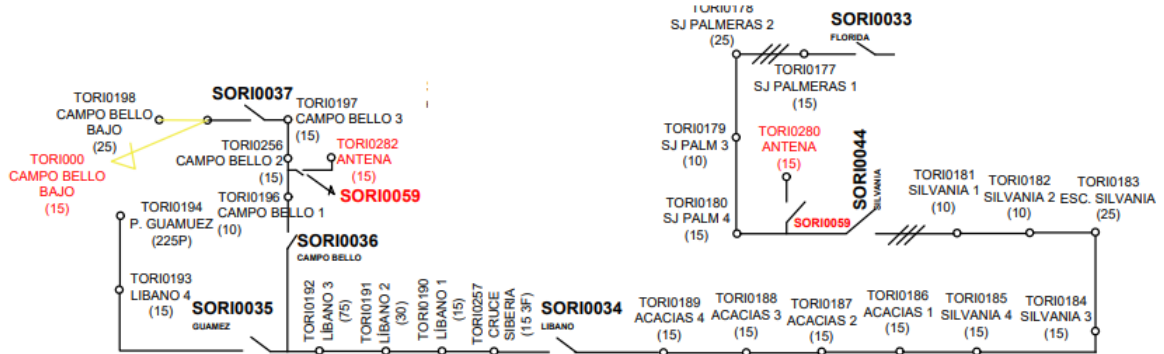


Ilustración 45 Unifilar de suministro del seccionador SORI0033.

Fuente: Subgerencia técnica operativa.

Tiene como función de protección para 26 transformadores con un total de con un total de demanda máxima de 685kVA siendo el de la planta Guamuez el usuario con mayor parte de la demanda con una potencia de 225kVA. Esta área se destaca por ser del casco rural.



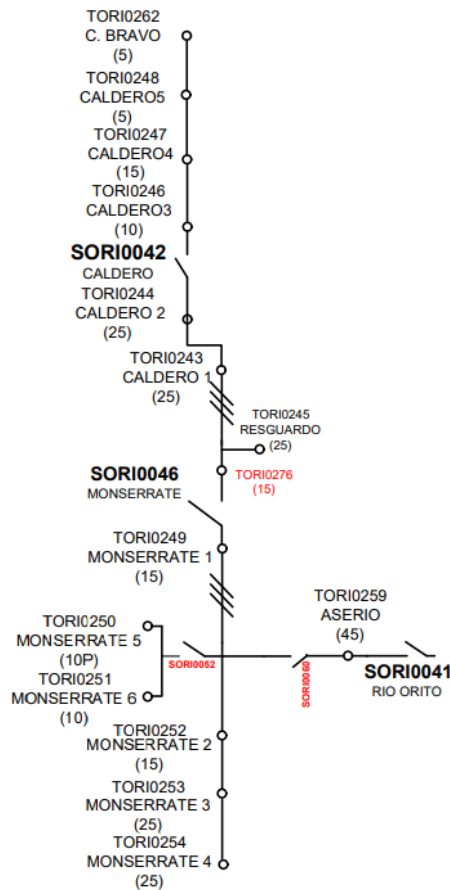
Ilustración 46 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0033.

Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.

En la ilustración 46 las causas comunes el seccionador SORI0033 es las condiciones atmosféricas con código de causa NP-30, con un total del 77.78% de probabilidad en el sector, la segunda pero menos probable es las de contacto de árboles con causa NP-27, esto se puede visualizar porque se considera sector agrario lo que lo conlleva a la escasez de árboles siendo más propensos las descargas atmosféricas en las estructuras de redes de media tensión.

#### 6.4. SECCIONADOR SORI0041

Es una protección aledaña al casco urbano ubicado en el barrio el jardín más específico el sector del rio Orito, su ubicación geográfica tiene características de ser un sector densamente poblado de árboles, abarca las veredas como el caldero, Monserrate.

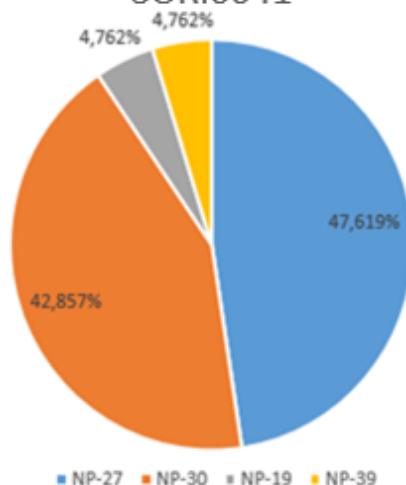


*Ilustración 47 Unifilar de suministro del seccionador SORI0041.*

*Fuente: Subgerencia técnica operativa.*

El SORI0041 tiene como fin suministrar y proteger a un total de 15 transformadores con una potencia de 270kVA teniendo conexión de los transformadores de 2 y 3 fases en media tensión dependiendo de la distancia en el cual se encuentre los transformadores.

### CAUSAS DE APERTURA PARA EL SECCIONADOR SORI0041



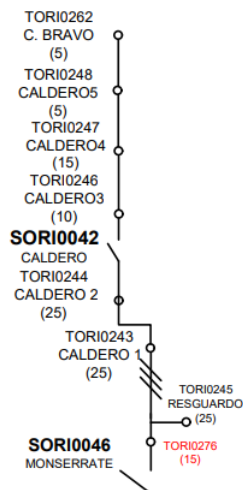
*Ilustración 48 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0041.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

La causa más común en el seccionador SORI0041 es la NP-27 con un total de 47.619% siendo probable junto con la causa NP-30 con un 42.857% de probabilidad sumando un total por encima de 90% de probabilidad, esto se destaca por la longitud de la línea de media tensión y el sector montañoso.

### 6.5. SECCIONADOR SORI0046

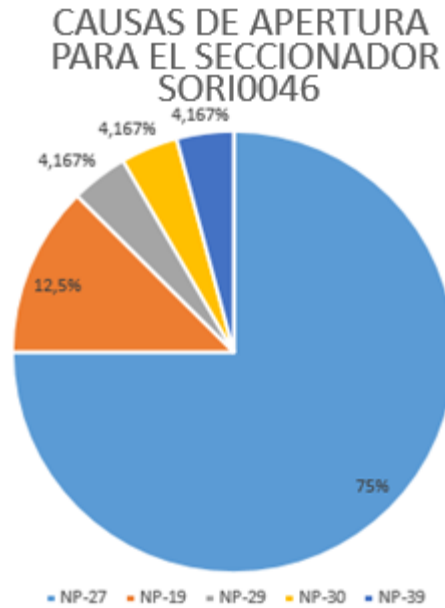
Es una protección de casco rural consecuente al seccionador SORI0041 teniendo como protección 8 transformadores en la vereda el caldero.



*Ilustración 49 Unifilar de suministro del seccionador SORI0046.*

*Fuente: Subgerencia técnica operativa.*

El SORI0046 circula una corriente con una potencia un total de 125kVA teniendo como un total 8 transformadores por lo que abarca gran parte de la vereda el caldero.



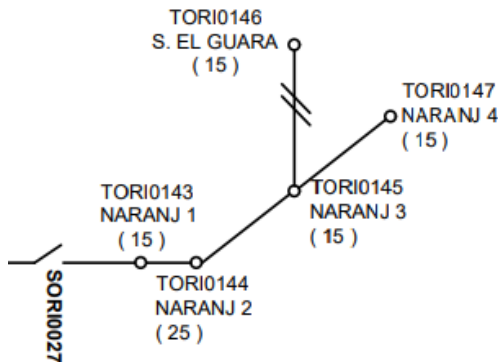
*Ilustración 50 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0046.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

En la ilustración 60 vemos que la causa histórica más común es la NP-27 “contactos por arboles” con una posibilidad del 75% y la siguiente causa más probable es la NP-19 “apertura por contacto animales en las redes eléctricas” con una probabilidad del 12.5%, esto lo podemos comprobar con la geografía del terreno ya que es densamente poblado de árboles teniendo entre las dos causas un total de 87.5% de posibilidad de apertura.

### 6.6. SECCIONADOR SORI0027

Ubicado en el sector rural conocido como vereda el caldero, tiene gran participación en cinco transformadores, la red eléctrica del SORI0027 utiliza una red eléctrica de dos líneas que atraviesa el rio Orito con un ancho de afluente de aproximado de 50mt distancia de extremo a extremo.



*Ilustración 51 Unifilar de suministro del seccionador SORI0027.*

*Fuente: Subgerencia técnica operativa.*

La protección SORI0027 tiene como función proteger y suministrar una potencia total de 85kVA dividido en dos líneas, esta protección está ubicado en la vereda el naranjito.

CAUSAS DE APERTURA PARA EL SECCIONADOR SORI0027

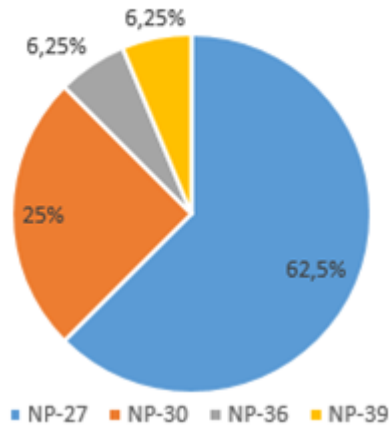


Ilustración 52 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0027.

Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.

En la ilustración anterior podemos visualizar que la causa más común es la NP-27 “Contacto con árboles” con un total de 62.5% y la NP-30 “condiciones atmosféricas” con un total del 25% de probabilidad de causa siendo la 87.5% de posibilidad de apertura.

### 6.7. SECCIONADOR SORI0045

Este seccionador ubicado en la vereda el Guayabal abarca gran parte del circuito CP-46 con un total de 39 transformadores siendo casi el 26% de la cantidad total de transformadores abarcados en el circuito.

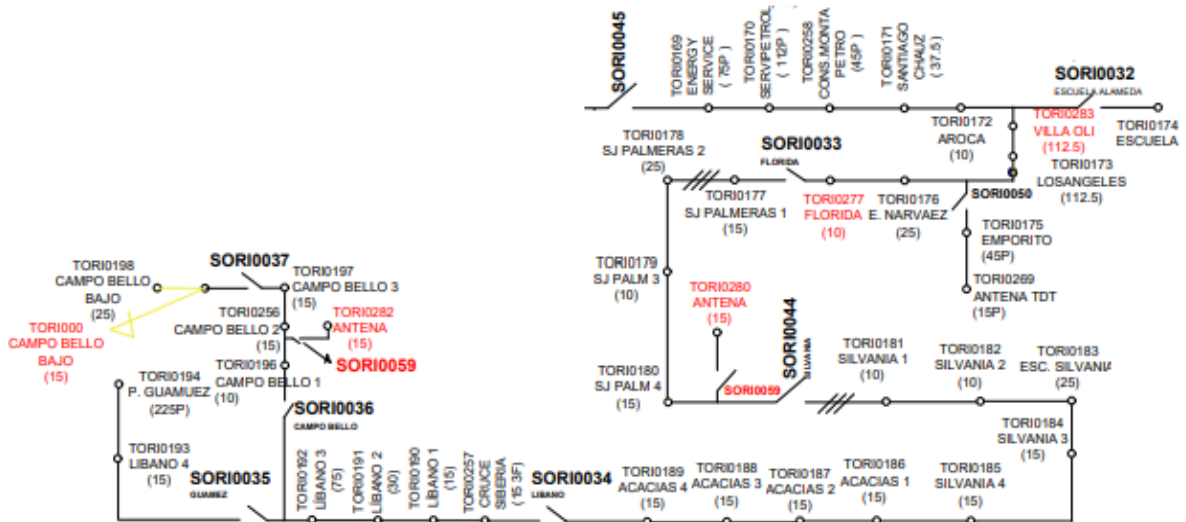


Ilustración 53 Unifilar de suministro del seccionador SORI0046.

Fuente: Subgerencia técnica operativa



En la imagen podemos visualizar el suministro de energía por la protección SORI0045 con un total de potencia de demanda máxima de 1500kVA, también tenemos que abarcar a un total de 10 seccionadores, 3 de derivación y 7 de línea principal.

CAUSAS DE APERTURA  
PARA EL SECCIONADOR  
SORI0045

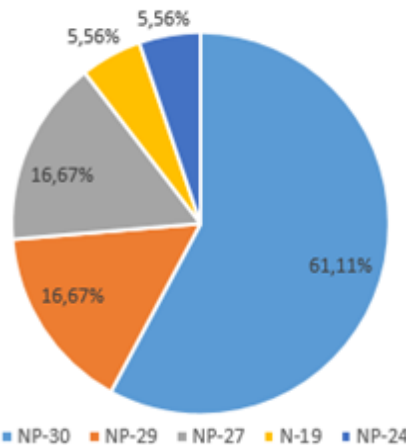


Ilustración 54 *Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0045.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

Podemos visualizar en la imagen anterior la causa más común en el seccionador SORI0045 es NP-30 “condiciones atmosféricas” demostrando una probabilidad del 61.11% de las aperturas siguiente a la NP-29 “Causa desconocida” con un 16.67% junto con NP-27 “contacto de árboles con las líneas”.

**6.8. SECCIONADOR SORI0029**

El seccionador SORI0029 cuenta con un total de 8 transformadores, se encuentra en el casco urbano ubicado entre los barrios el Sábalo, las Piscinas y Alameda.

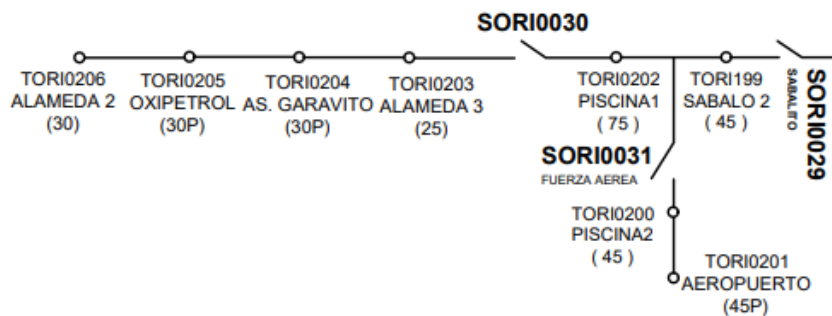
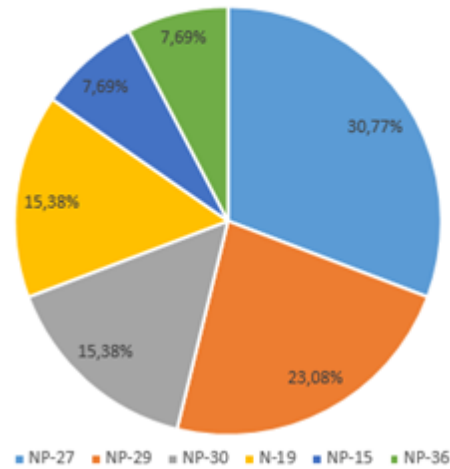


Ilustración 55 *Unifilar de suministro del seccionador SORI0027.*

*Fuente: Subgerencia técnica operativa.*

Tiene como función suministrar y proteger a los transformadores visto por la imagen anterior con un total de 325kVA de potencia siendo el TORI0202 el de mayor demanda con 75kVA.

### CAUSAS DE APERTURA PARA EL SECCIONADOR SORI0029



*Ilustración 56 Distribución porcentual de las causas de aperturas en las protecciones del seccionador SORI0029.*

*Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.*

La causa más común en el Seccionador SORI0029 es la NP-27 “árboles en redes de media tensión” con un 30.77% de probabilidad seguido de la NP-29 “causa desconocida” con una probabilidad del 23.08%, las causas en el seccionador son muy diversos por lo que no se puede predecir una causa más común.

## 7. EVALUACIÓN DE LAS PROTECCIONES DEL CIRCUITO CP-46

Basado en los análisis de aperturas del circuito de protección del CP-46 podemos obtener un criterio a lo que corresponde las protecciones adecuadas en cada seccionador y sector, para ello se hizo un inventario de los seccionadores y sus características junto con protecciones adicionales.

SECCIONADOR	FUSIBLE [A]	TIPO DE FUSIBLE	PROTECCIONES ADICIONALES
SORI0021	100	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0022	80	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0023	40	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0024	10	No tienen en cuenta	DPS
SORI0025	4	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0026	15	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0027	7	No tienen en cuenta	DPS
SORI0028	45	No tienen en cuenta	Reconectador
SORI0029	20	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0030	8	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0031	6	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0032	4	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0033	25	No tienen en cuenta	DPS
SORI0034	15	No tienen en cuenta	DPS
SORI0035	10	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0036	10	No tienen en cuenta	DPS
SORI0037	3	No tienen en cuenta	DPS
SORI0038	40	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0039	30	No tienen en cuenta	DPS
SORI0040	6	No tienen en cuenta	DPS
SORI0041	20	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0042	4	No tienen en cuenta	DPS
SORI0043	4	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0044	20	No tienen en cuenta	DPS
SORI0045	30	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0046	10	No tienen en cuenta	DPS
SORI0047	10	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0049	6	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0050	4	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0052	3	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0057	15	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0058	3	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0059	2	No tienen en cuenta	No tiene
SORI0060	15	No tienen en cuenta	No tiene

Tabla 10 Protecciones existentes en la red de distribución del CP-46.

Fuente: Autor.

Las protecciones adicionales pueden verse en la tabla 14, los sectores que tienen DPS son en el sector rural lo que podemos deducir que es más propenso a las descargas

atmosféricas visto anteriormente en los análisis de causas comunes ilustración 51. También podemos ver que en el seccionador SORI0028 tiene un Reconectador, según los técnicos no está coordinado con las protecciones ya que las aperturas se han hecho por el seccionador principal en el CP-46, generalmente se hace apertura en la subestación por la detección de fallo.

### 7.1. SELECCIÓN DE DPS

La utilización de DPS en los sectores más críticos como lo podemos visualizar previamente en la ilustración 38 “Sectores críticos en el circuito CP-46” donde vemos las aperturas por causas más específico protección para sobretensión que generalmente son hechas por descargas atmosféricas y la tabla 10 “Protecciones existentes en la red de distribución del CP-46” obtenemos las protecciones con las que cuenta cada seccionador. Las características de cada seccionador deben cumplir ciertos parámetros exigido por las normas técnicas colombianas como son:

- DPS poliméricos de óxido de zinc de tipo conexión monofásica.
- Ur: Tensión máxima permitida a12kV.
- Un: Tensión máxima de operación en régimen continuo a 10.2kV.
- In: Corriente nominal máxima de 10kA.

Se requiere que todo seccionador estén protegidos por DPS tanto aguas arriba o aguas abajo, adicionalmente cada seccionador de protección en los transformadores deben tener protección de DPS lo más cercano al transformador.

### 7.2. APANTALLAMIENTO

El apantallamiento tiene como propósito tres pilares fundamentales como lo son, salvaguardar la vida de los ser vivos, la protección de los equipos conectados y por último es la sostenibilidad del fluido eléctrico. La red de distribución CP-46 tiene apantallamiento en la entrada del circuito principal de aproximadamente 4km desde la subestación hasta SORI0021 la única en la red con apantallamiento, para los sectores que requiere un apantallamiento mediante cables de guarda son sectores críticos con mayor impacto de descargas atmosféricas como se lo puede visualizar de la siguiente manera:

APERTURA DE SECCIONADORES CAUSADO POR NP-30

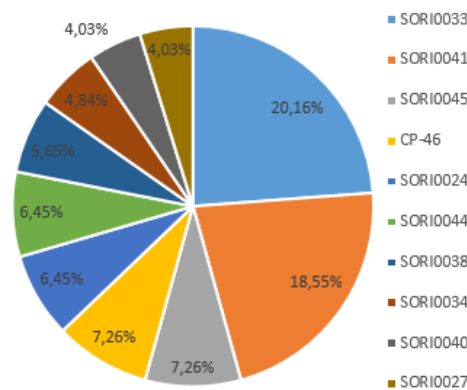
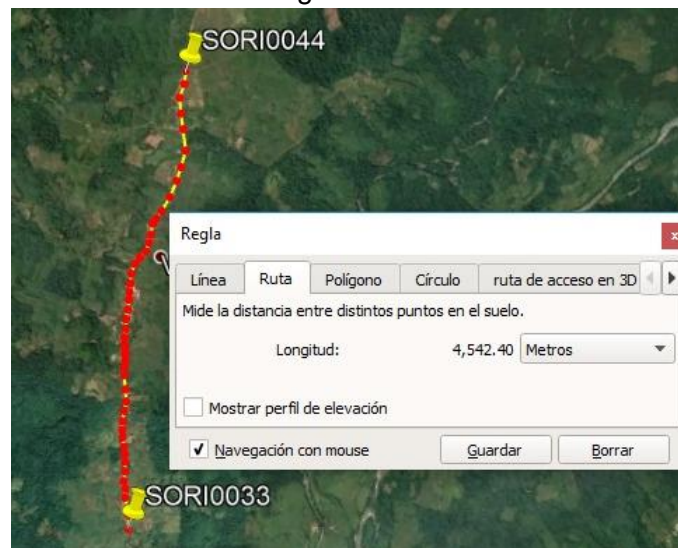


Ilustración 57 Distribución porcentual de aperturas en seccionadores causada por condiciones atmosféricas.

Fuente: Autor – Bitácoras de aperturas de la EEP S.A. E.S.P.

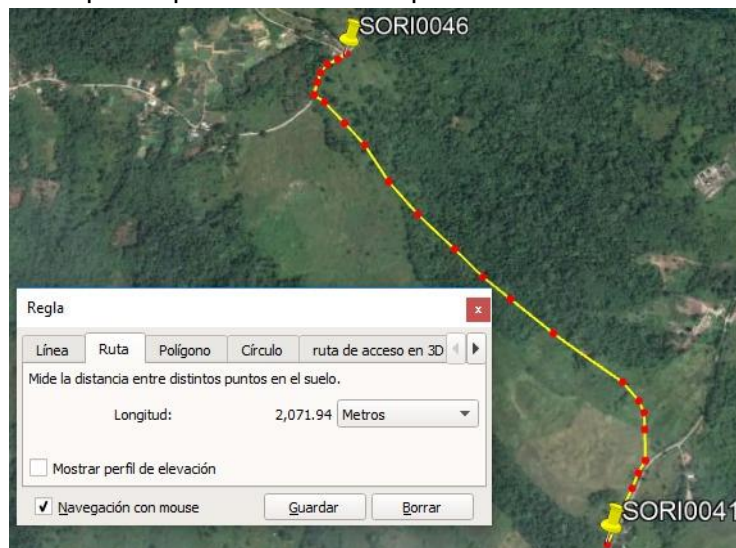
En los diez seccionadores vistos en la ilustración 58 son analizados con una total de 84.68% de probabilidad de apertura por condiciones atmosféricas, los sectores más críticos por la causa NP-30 son los seccionadores SORI0033 y SORI0041 siendo un total del 38,71% de posibilidad con 25 aperturas y 23 aperturas consecutivamente. Los análisis de la distancia de apantallamiento lo que podemos visualizar los recorridos que tiene la red de media tensión para cada sector crítico, esto conlleva al uso de herramientas de visualización como es en el caso de Google Earth.



*Ilustración 58 Tramo perteneciente al SORI0033.*

*Fuente: Autor, Google Earth.*

En la ilustración anterior podemos ver el recorrido que se obtiene entre el SORI0033 hasta el SORI044 con la distancia entre vanos, se considera 10% adicional para lo que se considera la flecha lo que se puede dar de un aproximado de 5 km de cable necesario.



*Ilustración 59 Tramo perteneciente al SORI0041*

*Fuente: Autor, Google Earth.*

El costo de apantallamiento y su proceso de instalación en redes ya instaladas acarrea grandes inversiones, por lo que se asume solo los dos seccionadores siendo los más propensos como lo muestra la siguiente tabla.

<b>SECCIONADOR</b>	<b>DISTANCIA DE APANTALLAMIENTO</b>
<b>SORI0033</b>	Se debe diseñar un apantallamiento entre el inicio de la red del seccionador hasta el SORI0044 con una distancia de aproximadamente de 6 km incluyendo la flecha.
<b>SORI0041</b>	Apantallamiento entre inicio del seccionador hasta el SORI0046 con una distancia de aproximadamente de 2.3 km incluyendo flecha.

*Tabla 11 Sectores con requerimiento de apantallamiento.*

*Fuente: Autor.*

### **7.3. RECONECTADORES**

Para tener un criterio sobre la ubicación de los reconectores en el cual nos basamos a los sectores críticos utilizando como indicadores de aperturas como lo indica la ilustración 40 donde obtenemos como la red principal la más afectada en aperturas con un total 19.231% de probabilidad de apertura, por lo tanto, la protección más cercana a las subestaciones perteneciente a la Empresa de Energía del Bajo Putumayo S.A. E.S.P. es el seccionador SORI0021 en el cual reduce las aperturas por un mal funcionamiento de las las protecciones por lo tanto se quiere la instalación de un reconector en el SORI0021 para la dependencia de la empresa dueña de la subestación Yarumo.

### **7.4. COORDINACIÓN DE FUSIBLES**

Para minimizar la afectación de los usuarios por aperturas se hace la coordinación de protecciones a lo que se utiliza las curvas de tiempo teniendo en cuenta la posición de cada seccionador, adicionalmente se deben coordinar con las protecciones de los transformadores ya que se considera que muchas aperturas suelen ser de baja tensión lo que lo conlleva hacer aperturas en seccionadores de forma innecesarias por las diferencias de coordinación.

#### **Fusibles para transformadores**

La coordinación para los transformadores normalizados depende de la potencia a la cual entrega como debe ser de actuación rápida de utilizar un fusible tipo K comúnmente conocido como de apertura rápida, la dimensión de los fusibles utilizados puede reflejarse en el tipo de transformador.

#### **TRANSFORMADOR MONOFÁSICO**

<b>KVA</b>	<b>Capacidad del fusible tipo K [A]</b>
<b>3</b>	0.5
<b>5</b>	1
<b>10</b>	2
<b>15</b>	3

25	5
37.5	7
50	10
75	15
100	20

*Tabla 12 Fusible para transformador monofásico.*

*Fuente: Fusible normalizado, RA8-005 – EPM.*

En la tabla 12 podemos visualizar las condiciones de los fusibles que se deben utilizar en los diferentes transformadores que se conecta en dos fases de media tensión por el cual el consumo es superior que en tres líneas.

<b>TRANSFORMADOR TRIFÁSICO</b>	
<b>KVA</b>	<b>Capacidad del fusible tipo K [A]</b>
15	1
30	2
45	3
75	5
112.5	7
150	10

*Tabla 13 Fusible para transformador trifásico.*

*Fuente: Fusible normalizado, RA8-005 – EPM.*

En la anterior tabla podemos visualizar el fusible que se debe utilizar para cada transformador trifásico, cabe resaltar que esto se hace con los fusibles de tipo K que son de apertura rápida. Generalmente las corrientes y voltajes transitorios perjudican al transformador reduciendo la vida útil.

### **Fusibles para protección de seccionador**

Las causas generadas en la red de media tensión suelen ser de estado transitorio lo que se puede deducir que las protecciones deben soportar las corrientes transitorias sin generar apertura, por lo que la coordinación de los seccionadores debe estar ligado a la demanda de corriente en cada sector detectando el fenómeno en el seccionador más cercano. Para esto se debe tener un criterio de selección tales como:

- Voltaje nominal.
- Capacidad de interrupción.
- Carga total del ramal (kVA).
- Estar coordinado aguas arriba.

Para los ramales se debe utilizar los fusible tipo T de tal forma que la variación transitoria no genere un impacto negativo.

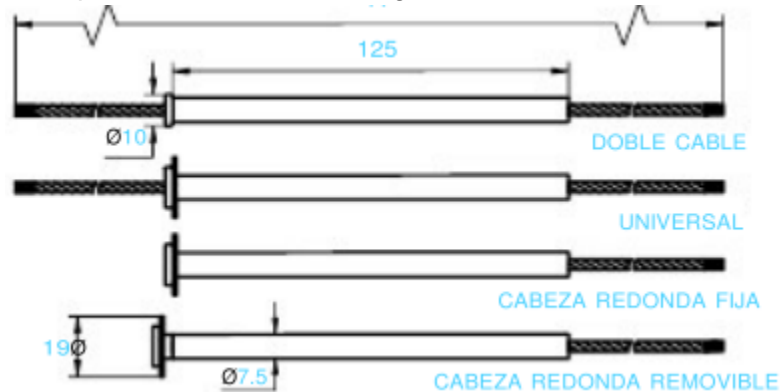
### **Código de identificación de los fusibles**

Los fusibles siempre se conocerán por códigos ya que es el método más común en el cual describe las características, magnitud y parámetros de protecciones, se compone de la siguiente forma:

## 15KB80

Por el cual describimos:

- 15 Hace referencia al tipo de tensión que puede resistir se puede encontrar en 15, 24, 45 y 72 kV
- K Hace referencia al tipo de curva característica de corriente y tiempo, se puede encontrar diferentes curvas las más conocidas son, T, K y H.
- B Hace referencia al tipo de construcción que tiene los fusibles de forma física, se puede encontrar de la siguiente forma.



*Ilustración 60 Tipo de modelo de fusible.*

*Fuente: Tabla de longitudes, Cooper Bussmann.[4]*

En el cual los códigos son D, U, B y BR, consecutivamente siendo B cabeza redonda.

- 80 Describe el tamaño de la protección.

### 7.5. SERVIDUMBRE

Las posibilidades de apertura de los circuitos por contacto de árboles en la red de media tensión son del 21.622% de probabilidad por lo que se encuentra sectores con mayor densidad de flora, esta afectación genera un impacto negativo ante la huella ecológica y la fiabilidad de la red de media tensión por lo que se debe hacer servidumbre en sectores donde la red eléctrica tenga una alta densidad de árboles que se consideren un peligro latente.



## 8. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA MITIGACIÓN DE FALLAS

Para diseñar el plan de mejoramiento se considera un trabajo a la semana, esto puede variar dependiendo de la empresa de energía considerando la disponibilidad de los trabajadores en el área técnica de mantenimiento.

### 8.1. COORDINACIÓN DE FUSIBLES

Dicho anteriormente en el capítulo 7, la coordinación de fusible es necesario para no generar un impacto de mayor magnitud a la fiabilidad en el cual podemos deducir que se busca un mejoramiento de la coordinación de los fusibles dadas en las siguientes actividades:

Evento	Descripción	Semana	Actividad
<b>Inventario de fusibles</b>	Realizar un inventarios de la cantidad de fusibles tanto en tamaño y tipo de fusible con el fin de obtener un informe por el cual la empresa de energía cuenta como presupuesto.	1	• Solicitar el acceso a bodega.
		1	• Realizar inventario “tipo de fusible, cantidad de cada uno”.
		1	• Realizar
		2	• Realizar observaciones sobre los fusibles. • Entregar informe del inventario de fusibles.
<b>Diseño de coordinación de las protecciones</b>	Diseñar la coordinación de protecciones para la red de distribución.	2	• Obtener las curvas características de cada fusible.
		3	• Sobreponer las curvas características para la coordinación de fusible.
		4	• Simular el flujo de carga para las protecciones adecuadas según el diseño previo.
<b>Charla sobre uso adecuado de fusibles</b>	Diseñar una presentación en el cual se genera una solución a mediano y largo plazo sobre la importancia del uso adecuado de los fusibles.	5	• Solicitud para el acompañamiento de los linieros para el cambio de fusible en eventos no programados.

5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acompañamiento a los técnicos para el cambio de fusible en eventos no programados.</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observaciones del acompañamiento a los técnicos.</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar el espacio para charla sobre el uso adecuado de los fusibles.</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe del evento.</li> </ul>

*Tabla 14 Secuencia de actividad para la coordinación de los fusibles.*

*Fuente: Autor.*

## 8.2. SERVIDUMBRE PARA EL CIRCUITO CP-46.

Para la red de distribución se debe tener en cuenta la servidumbre ya que el contacto entre árboles y redes eléctricas puede generar diferentes impactos negativos y riesgos de electrocución de seres vivos, por lo tanto, se opta por hacer diferentes actividades reduciendo el impacto negativo hacia el ecosistema y disminuyendo la tala de árboles.

Evento	Descripción	Semana	Actividad
<b>Ubicación de puntos críticos</b>	Detallar y generar un informe sobre la ubicación de los árboles que se consideren un riesgo para las redes de media tensión en el seccionador SORI0027.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar una ruta para la inspección de riesgos de contacto de árboles en las redes del seccionador SORI0027.</li> </ul>
		1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar la visita de campo y acompañamiento de técnicos linieros.</li> </ul>
		2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar herramienta de trabajo "GPS".</li> </ul>
		2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar la actividad de salida de campo para la inspección de riesgos.</li> </ul>
		2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar informe de riesgo por contacto de árboles.</li> </ul>
<b>Ubicación de puntos críticos</b>	Detallar y generar un informe sobre la ubicación de los árboles que se consideren un riesgo para las redes de	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar una ruta para la inspección de riesgos de contacto de árboles en las redes del seccionador SORI0046.</li> </ul>

	media tensión en el seccionador SORI0046.	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar la visita de campo y acompañamiento de técnicos linieros.</li> </ul>
		4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar herramienta de trabajo "GPS"</li> </ul>
		4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar la actividad de salida de campo para la inspección de riesgos.</li> </ul>
		4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar informe de riesgo por contacto de árboles.</li> </ul>
<b>Ubicación de puntos críticos</b>	Detallar y generar un informe sobre la ubicación de los árboles que se consideren un riesgo para las redes de media tensión en el seccionador SORI0024.	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar una ruta para la inspección de riesgos de contacto de árboles en las redes del seccionador SORI0024.</li> </ul>
		5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar la visita de campo y acompañamiento de técnicos linieros.</li> </ul>
		6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar herramienta de trabajo "GPS".</li> </ul>
		6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar la actividad de salida de campo para la inspección de riesgos.</li> </ul>
		6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar informe de riesgo por contacto de árboles.</li> </ul>

*Tabla 15 Secuencia de actividad para los despejes de árboles.*

*Fuente: Autor.*

### **8.3. RECONECTADORES**

El uso de reconectores mejora de forma positiva la fiabilidad y sostenibilidad de las redes eléctricas, por lo tanto, es una solución que genera un impacto en los indicadores de calidad. Para ellos se busca los puntos estratégicos de la instalación de los reconectores donde se genera una mayor eficiencia de las redes eléctricas ante cualquier inconveniente aislando la apertura no programa, las siguientes actividades se toma en cuenta las diferentes actividades que se consideran necesaria para la ejecución de dicho mejoramiento.

<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Semana</b>	<b>Actividad</b>
<b>Diseño de la instalación de reconector.</b>	Determinar la viabilidad de la instalación de reconector en punto crítico.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la ubicación de los reconectores existentes</li> </ul>

		2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodología de la ubicación de los reconectores.</li> </ul>
		3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulaciones de la metodología para los sectores de estudio.</li> </ul>
		4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección de reconectores simulada.</li> </ul>
<b>Instalación de Reconector</b>	Solicitar la instalación de un Reconector en el seccionador SORI0021 para la independización de las protecciones principales el circuito CP-46.	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar visita de campo con el acompañamiento de linieros técnicos.</li> </ul>
		6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visita de campo para verificación de la viabilidad de instalación de reconector.</li> </ul>
		7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación de las estructuras a intervenir.</li> </ul>
		7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de solicitud de instalación de reconector.</li> </ul>
		8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de materiales.</li> </ul>
		9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de herramienta y equipo de trabajo.</li> </ul>
		10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de programación de apertura.</li> </ul>
		11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecución de la actividad de instalación de reconector en el SORI0021.</li> </ul>
		11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de ejecución de la instalación de reconector.</li> </ul>

12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de apertura.</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecución de la solicitud de coordinación.</li> </ul>
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de la ejecución de la solicitud de coordinación.</li> </ul>
15	

*Tabla 16 Secuencia de actividad para Reconectores.*

*Fuente: Autor.*

#### 8.4. APANTALLAMIENTO

Los apantallamientos de las redes eléctricas suelen ser muy efectivos para la protección contra descargas atmosféricas, generalmente los sistemas de distribución suelen ser muy propensos a estos tipos de fenómenos por sus diferentes aspectos como lo son su altura y el campo electromagnético generado por la línea de volteje de 13200 V, por lo tanto, dicho en el capítulo anterior, los seccionadores más propensos a ser afectados por la causa NP-30 que son los seccionadores SORI0033 y SORI0041. Se obtiene las siguientes actividades:

Evento	Descripción	Semana	Actividad
<b>Diseño de apantallamiento del SORI0033</b>	Diseñar los parámetros para la instalación de las estructuras del cable de guarda y sistema de puesta a tierra con el fin de garantizar los objetivos deseados.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la magnitud de descargas atmosféricas.</li> </ul>
		2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar visita de campo al sector.</li> </ul>
		3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación de las estructuras a intervenir.</li> </ul>
		4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de los soportes para las estructuras actualmente empleadas.</li> </ul>
		5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de la ubicación de los cables de guarda.</li> </ul>
		6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de los cables mecánicos de cables de guarda.</li> </ul>
<b>Apantallamiento del SORI0033</b>	Obtener fiabilidad de la red de distribución en lo que corresponde a las condiciones atmosféricas como primera línea de protección mediante el apantallamiento que	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe sobre materiales requeridos.</li> </ul>
		8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe sobre herramienta requerida.</li> </ul>
		8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe sobre la solicitud de</li> </ul>

---

comprende entre el seccionador SORI0033 has el seccionador SORI0044.	9	apantallamiento en el SORI0033.
	9	• Solicitud de cronograma de la ejecución del evento por tramos.
	10	• Solicitud de material requeridos para la ejecución del evento.
	11	• Solicitud de herramienta requerida para la ejecución del evento.
	11	• Solicitud de equipo de trabajo.
	11	• Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda "total por obra de 500 metros" tramo uno de diez.
	11	• Informe de trabajo realizado, tramo uno de diez.
	12	• Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda "total por obra de 500 metros" tramo dos de diez.
	12	• Informe de trabajo realizado del tramo dos.
	13	• Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda "total por obra de 500 metros" tramo tres de diez.
	13	• Informe de trabajo realizado del tramo tres.
	14	• Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje

---

- 
- de cable de guarda  
"total por obra de 500  
metros" tramo cuatro  
de diez.
- 14 • Informe de trabajo  
realizado del tramo  
cuatro.
  - 15 • Ejecución de la  
adecuación de las  
estructuras y montaje  
de cable de guarda  
"total por obra de 500  
metros" tramo cinco  
de diez.
  - 15 • Informe de trabajo  
realizado del tramo  
cinco.
  - 16 • Ejecución de la  
adecuación de las  
estructuras y montaje  
de cable de guarda  
"total por obra de 500  
metros" tramo seis de  
diez.
  - 16 • Informe de trabajo  
realizado del tramo  
seis.
  - 17 • Ejecución de la  
adecuación de las  
estructuras y montaje  
de cable de guarda  
"total por obra de 500  
metros" tramo siete de  
diez.
  - 17 • Informe de trabajo  
realizado, tramo siete.
  - 18 • Ejecución de la  
adecuación de las  
estructuras y montaje  
de cable de guarda  
"total por obra de 500  
metros" tramo ocho de  
diez.
  - 18 • Informe de trabajo  
realizado del tramo  
ocho.
  - 18 • Ejecución de la  
adecuación de las
-

		19	estructuras y montaje de cable de guarda "total por obra de 500 metros" tramo nueve de diez.
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de trabajo realizado del tramo nueve.</li> </ul>
		19	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda "total por obra de 500 metros" tramo diez de diez.</li> </ul>
		20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de trabajo realizado del tramo diez.</li> </ul>
		20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de trabajo realizado del tramo diez.</li> </ul>
<b>Apantallamiento del SORI0041</b>	Diseñar los parámetros para la instalación de la estructura del cable de guarda y sistema de puesta a tierra con el fin de garantizar los objetivos deseados.	21	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la magnitud de descargas atmosféricas.</li> </ul>
		22	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar visita de campo al sector.</li> </ul>
		23	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación de las estructuras a intervenir.</li> </ul>
		24	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de los soportes para las estructuras actualmente empleadas.</li> </ul>
		25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de la ubicación de los cables de guarda.</li> </ul>
		26	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de los cables mecánicos de cables de guarda.</li> </ul>
<b>Informe de solicitud de apantallamiento del SORI0041</b>	Obtener la fiabilidad de la red de distribución en lo que corresponde a las condiciones atmosféricas como primera línea de protección mediante el apantallamiento que comprende entre el seccionador SORI0041 has el seccionador SORI0046.	27	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar visita de campo al sector.</li> </ul>
		27	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación de las estructuras a intervenir.</li> </ul>
		27	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe sobre materiales requeridos.</li> </ul>
		28	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe sobre herramienta requerida.</li> </ul>



- 
- 28 • Informe sobre la solicitud de apantallamiento en el SORI0041.
  - 29 • Solicitud de cronograma de la ejecución del evento por tramos.
  - 30 • Solicitud de material requeridos para la ejecución del evento.
  - 31 • Solicitud de herramienta requerida para la ejecución del evento.
  - 31 • Solicitud de equipo de trabajo.
  - 32 • Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda “total por obra de 500 metros” tramo uno de cinco.
  - 32 • Informe de trabajo realizado, tramo uno.
  - 33 • Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda “total por obra de 500 metros” tramo dos de cinco.
  - 33 • Informe de trabajo realizado del tramo dos.
  - 34 • Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda “total por obra de 500 metros” tramo tres de cinco.
  - 34 • Informe de trabajo realizado del tramo tres.
  - 35 • Ejecución de la adecuación de las
-

		estructuras y montaje de cable de guarda "total por obra de 500 metros" tramo cuatro de cinco.
35		<ul style="list-style-type: none"> <li>Informe de trabajo realizado del tramo cuatro.</li> </ul>
36		<ul style="list-style-type: none"> <li>Ejecución de la adecuación de las estructuras y montaje de cable de guarda "total por obra de 500 metros" tramo cinco de cinco.</li> </ul>
36		<ul style="list-style-type: none"> <li>Informe de trabajo realizado del tramo cinco</li> </ul>

Tabla 17 *Secuencia de actividad para apantallamiento.*

*Fuente: Autor.*

### 8.5. DPS

El uso de DPS para el capítulo anterior detalla las características y condiciones de trabajo, también se obtiene los seccionadores con que los que cuenta con DPS de protección de la red de distribución del CP-46 el cual detallamos que son el SORI0041 con mayor relevancia y también una inspección del SORI0033 por lo tanto se obtiene las siguientes actividades:

Evento	Descripción	Semana	Actividad
<b>Dimensionamiento de DPS</b>	Determinar las características y parámetros requeridos para la instalación de DPS.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la magnitud de descargas atmosféricas.</li> </ul>
		2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar características de la red de distribución.</li> </ul>
		3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los DPS que se requieran en la red de distribución.</li> </ul>
<b>Diseño de instalación de puesta a tierra</b>	Determinar las configuraciones de puesta a tierra más efectivas para la red de distribución.	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar el tipo de suelo que se encuentra en la ciudad de Orito-Putumayo.</li> </ul>
		5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la impedancia del sub-suelo.</li> </ul>
		6	

		7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar los métodos que aplican para puesta a tierra.</li> <li>• Determinar el método de puesta a tierra más efectivo.</li> </ul>
<b>Instalación de DPS en el seccionador SORI0041</b>	Se desea instalar DPS en el seccionador SORI0041 con el fin de generar una protección contra la sobre corriente.	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar salida a campo con el acompañamiento de un técnico liniero.</li> </ul>
		9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar salida de campo.</li> </ul>
		9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de observaciones y requerimiento para la instalación de DPS en el seccionador SORI0041.</li> </ul>
		9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de solicitud de materiales.</li> </ul>
		10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de solicitud de herramienta.</li> </ul>
		10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de trabajadores para la ejecución de la instalación de DPS.</li> </ul>
		11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecución del evento, instalación de DPS.</li> </ul>
		11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe del evento.</li> </ul>
<b>Instalación de DPS en el seccionador SORI0045</b>	Se desea instalar DPS en el seccionador SORI0045 con el fin de generar una protección contra la sobre corriente.	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar salida a campo con el acompañamiento de un técnico liniero.</li> </ul>
		13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar salida de campo.</li> </ul>
		13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de observaciones y requerimiento para la instalación de DPS en el seccionador SORI0045.</li> </ul>
		13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de solicitud de materiales.</li> </ul>
		14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de solicitud de herramienta.</li> </ul>
		14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de trabajadores para la</li> </ul>

		15	ejecución de la instalación de DPS.
		15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecución del evento, instalación de DPS.</li> <li>• Informe del evento.</li> </ul>
<b>Medición de puesta a tierra.</b>	Detallar la impedancia de la tierra por el método de Werner en el DPS ubicado en el ramal SORI0033 y SORI0041 detallando el que su impedancia sea la exigida por la RETIE..	16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar salida de campo con acompañamiento de los linieros técnicos.</li> </ul>
		16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitar herramienta para la debida medición "Teluro metro".</li> </ul>
		17	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecución del evento medición de puesta a tierra en el SORI0033 y SORI0041.</li> </ul>
		17	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de los resultados.</li> </ul>

*Tabla 18 Secuencia de actividad para DPS.*

*Fuente: Autor.*

## CONCLUSIONES

1. Actualmente se debe hacer un estudio de la calidad de la energía por factor de potencia, ya que nos encontramos con que hay una probabilidad del 10% de que las fallas no sean detectadas por lo que la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. está en la obligación de mejorar sus índices de calidad.
2. Se puede deducir que la red de distribución requiere de la coordinación de protecciones ya que los técnicos de mantenimiento no tienen en cuenta el tipo de protección de los fusibles requerido en cada sector.
3. En los análisis expuestos anteriormente se han desarrollado con la finalidad del uso de la teoría de mantenimiento conocidos como “Fiabilidad y disponibilidad”, por lo que los indicadores de calidad se basan en la DES y la FES siendo indicadores modificados en el año 2008 por la CREG 097 y dando plazo hasta el 2010 para la transición hacia la SAIDI y SAIFI.
4. En el plan de mejoramiento se considera una inversión a mediano y largo plazo por lo que traería un impacto positivo ante los indicadores de calidad, disminuyendo la probabilidad de penalizaciones por la CREG “Comisión de Regulación de Energía y Gas” y Superservicios “Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios”.
5. Dentro del plan de mejoramiento expuesto en el capítulo ocho no se contempla inversión de capital por lo que queda en la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. en considerar las mejoras expuestas.

## **RECOMENDACIONES**

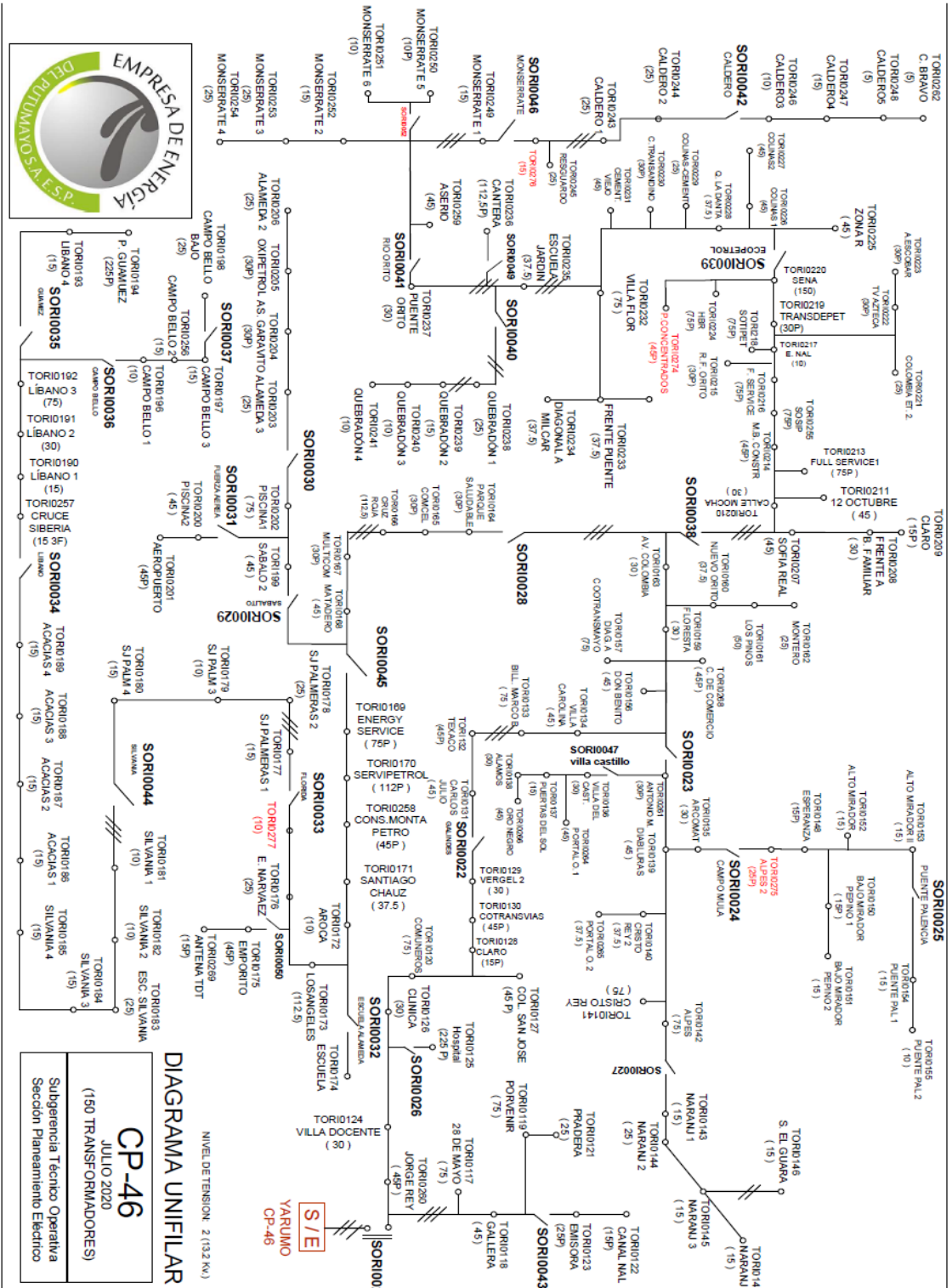
1. Realizar un plan de trabajo por parte de Subgerencia técnica para el cambio de red abierta desnuda a red compacta con cable ecológico.
2. La Subestación Yarumo no es perteneciente a la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P., por lo tanto, se debe tener control y monitoreo de la carga en las redes de media tensión.
3. La Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P. no tiene como consideración los análisis de reactivos en la industria de hidrocarburos y hotelero.
4. Mejoramiento de la comunicación entre las dependencias internas de la Empresa de Energía del Putumayo S.A. E.S.P.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Carrillo, "Protecciones eléctricas," *Prot. Electr.*, p. 234, 2007.
- [2] R. Samuel, "Eléctricos Protección de Sistemas Eléctricos," *Univ. Nac. Colomb. Manizales*, vol. Primera Ed, p. 664, 2014.
- [3] NTC, "Norma Técnica Colombiana Ntc4552-3: Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 3: Daños Físicos a Estructuras Y Amenazas a La Vida," *Ntc*, no. 571, pp. 1–145, 2008, [Online]. Available: <http://tienda.icontec.org/brief/NTC4552-3.pdf>.
- [4] C. Bussmann, "Eslabones fusibles de expulsión," vol. 1, p. 6, [Online]. Available: [www.cooperbussmann.com](http://www.cooperbussmann.com).
- [5] EPM, "Sobretensiones Dps En Media Tensión," pp. 1–20, 2015.
- [6] "CAPITULO-3-01-Montaje-de-Reconectores-Niveles-de-Tensión-II-III-CNS-NT-03-01.pdf." .
- [7] C. Medida *et al.*, "Ra6-014," pp. 1–20, 2008.
- [8] A. D. A. Edwin, "Plan de mejoramiento para las fallas aérea rural del circuito palragonvalia de CENS," Universidad de Pamplona, 2016.
- [9] J. Moubray, "Mantenimiento centrado en confiabilidad," *Aladon Ltd*, vol. III, p. 446, 2000.
- [10] Ing. Adolfo López, "Mantenimiento," Universidad tecnológica de la Huasteca Hidalguense, 2005.
- [11] "Boletín de decisiones | Abril – Junio 2020. 1," pp. 1–34, 2020.

# ANEXOS

## ANEXOS 1





## ANEXO 2



**ANEXO 3**



ANEXO 4





**ANEXO 5**



**ANEXO 6**

