



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“ANÁLISIS DE LA TEORÍA DE ONDAS VIAJERAS MEDIANTE LA
EVALUACIÓN DEL ALIMENTADOR 2/14 MULTITUD- CUMANDÁ DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Electricidad
mención Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Ing. Danny Paúl Logroño Sulca

Ing. Édison Oswaldo Jara Vaca

Tutor:

Ing. Ángel Vladimir Vaca Peñafiel MSc

LATACUNGA –ECUADOR

2021

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “ANÁLISIS DE LA TEORÍA DE ONDAS VIAJERAS MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL ALIMENTADOR 2/14 MULTITUD- CUMANDÁ DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO” presentado por LOGROÑO SULCA DANNY PAÚL y JARA VACA EDISON OSWALDO, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, Junio 24, 2021



Ing. Ángel Vladimir Vaca Peñafiel M.Sc

C.I: 060373118-3

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “ANÁLISIS DE LA TEORÍA DE ONDAS VIAJERAS MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL ALIMENTADOR 2/14 MULTITUD-CUMANDÁ DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Educación Inicial; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, Junio 24, 2021



.....
Ing. Willian Patricio Guamán Cuenca M.Sc.
C.I: 060357895-6
Presidente del tribunal



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS IVAN
QUINATOA
CAIZA**

.....
Ing. Carlos Iván Quinatoa Caiza M.Sc
C.I: 050328786-4
Lector 2



Firmado electrónicamente por:
**XAVIER ALFONSO
PROAÑO MALDONADO**

.....
Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado M.Sc
C.I: 050265642-4
Lector 3

DEDICATORIA

Este esfuerzo y dedicación es para mi Padre, quien fue el que me apoyo para el logro y tan anhelado sueño que hoy estoy cumpliendo.

Gracias Papito bello por todo!!!

También le dedico a mi Madre, por ser el pilar fundamental en mi formación como Magister, por ser esa persona que me aguanto todos esos finales de módulo, ella sabe a qué me refiero.

Gracias Mamita bella por todo!!!

Y finalmente quiero dedicar a una persona, la cual a lo largo de estos tres últimos años se ha convertido en alguien especial para mi!!! A mi mejor amiga Vanessa Semblantes... Gracias por estar ahí siempre, gracias por esas conversas, por esos consejos, por esas salidas y acolites.

Te quiero Vanessita

Danny Paúl Logroño Sulca

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, debo agradecer a mis Padres, ya que ellos hicieron todo lo que estaba a su alcance para que yo pueda ser alguien en la vida, si bien es cierto hemos sufrido por muchos problemas económicos, pero nunca perdí las esperanzas de lograr mi objetivo.

Además, debo agradecer a muchas personas que ayudaron en mi proceso de formación como profesional, por eso mi agradecimiento a mi amigo del alma Edison Jara, gracias mi hermano por la ayuda y el apoyo brindado durante estos últimos años, no tengo como agradecerle por todo el apoyo brindado, un Dios le pague.

Y por último agradezco a mis amigos y personas cercanas por el apoyo brindado y esas palabras que me fortalecieron durante mi formación como Magister.

Danny Paúl Logroño Sulca

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen Santísima por darme la vida, mi familia y la oportunidad de crecer cada día personal y profesionalmente.

Este esfuerzo y sacrificio ofrezco a mis Padres, quienes me han apoyado siempre para lograr mis objetivos y culminar este sueño tan anhelado de seguir preparándome más en la vida

También les dedico a mi esposa e hijas por ser mi inspiración para seguir estudiando y ser un ejemplo de superación al demostrar que no hay edad para aprender y cumplir sueños.

Edison Oswaldo Jara Vaca

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis papis Hugo y María por ser mi ejemplo y apoyo incondicional durante todas las etapas de la vida.

A mi esposa Anita mi compañera de toda la vida que con su sacrificio, paciencia y amor me ha permitido crecer y fortalecer nuestra familia.

A mis hijas Doménica, Victoria y Galilea, que son la inspiración, mi orgullo, mi ternura y locura, es el motor que ha impulsado el volver a estudiar y llegar a terminar con éxito mis estudios.

A mis hermanas y cuñado por sus consejos y respaldo, han permitido hacerme crecer como persona y de mostrar que nada es imposible en la vida.

A mi director de proyecto de titulación el Msc. Ángel Vaca Peñafiel por el apoyo incondicional en el desarrollo de este proyecto.

A Anita María Martínez por las palabras de ánimo que me permitieron no rendirme y alcanzar el objetivo trazado.

Al Ing. Luis Fernando Chávez y a la Eco. Jenny Chávez (+), que con sus sanos consejos me permitieron tomar la decisión de seguir estudiando.

A la Empresa Eléctrica Riobamba S.A por las facilidades brindadas para la realización de este proyecto. Una mención especial al ingeniero Luis Rafael Pino mi gran amigo por todo su apoyo.

A mi Amigo y compañero de estudios, Danny Logroño que ha compartido buenos y malos momentos durante este tiempo de estudio, un Dios de pague.

Edison Oswaldo Jara Vaca

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, Junio 24, 2021



Danny Paúl Logroño Sulca
C.I: 050398401-5



Firmado electrónicamente por:
**EDISON
OSWALDO JARA**

Édison Oswaldo Jara Vaca
C.I: 060291181-0

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, Junio 24, 2021



Danny Paúl Logroño Sulca

C.I: 050398401-5



Firmado electrónicamente por
**EDISON
OSWALDO JARA**

Édison Oswaldo Jara Vaca

C.I: 060291181-0

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “ANÁLISIS DE LA TEORÍA DE ONDAS VIAJERAS MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL ALIMENTADOR 2/14 MULTITUD- CUMANDÁ DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, Junio 24, 2021



Ing. Willian Patricio Guamán Cuenca M.Sc

C.I: 060357895-6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: “ANÁLISIS DE LA TEORÍA DE ONDAS VIAJERAS MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL ALIMENTADOR 2/14 MULTITUD- CUMANDÁ DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Autores: Danny Paúl Logroño Sulca
Édison Oswaldo Jara Vaca

Tutor: Ing. Ángel Vladimir Vaca Peñafiel M.Sc

RESUMEN

Hoy en día, el avance tecnológico permite el estudio más a fondo es por ello que el presente proyecto de investigación está enfocado en el análisis de ondas viajeras en líneas de distribución el cual se lo realizo en el alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá), perteneciente a la Empresa Eléctrica Riobamba el mismo que se encuentra ubicado en el cantón Cumandá en la Provincia de Chimborazo; este alimentador tiene la particularidad de estar compuesto por tres diferentes tramos con distintos calibres de conductores, es por ello que necesariamente se debe realizar un estudio en cada tramo para determinar el análisis de las ondas viajeras formadas en cada punto de estudio.

Para este estudio fue necesario la instalación de medidores que fueron instalados en el alimentador que permitieron conocer las corrientes y voltajes en los diferentes puntos de todo el alimentador que han servido para el desarrollo de nuestro análisis, los mismos que fueron subidos al Sistemas de Información Geográfica (SIG) el cual

permitió el almacenamiento y actualización de datos de los diferentes equipos que conforman el sistema eléctrico de distribución del Alimentador.

Finalmente se pudo evidenciar que mediante la simulación en el programa CYMDIST se corrió el flujo de potencia del Alimentador mismo que dio como resultado el cambio de impedancias de secuencia positiva y secuencia homopolar los mismos que servirán para el ingreso de datos en el software de ATPDraw y poder visualizar el comportamiento de los tramos para con ello cumplir con lo propuesto anteriormente.

Palabras Claves: Alimentador, Impedancias, Ondas, Flujo, ATPDraw, CYMDIST.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS
DE POTENCIA**

**TOPIC: “ANALYSIS OF THE TRAVELING WAVE THEORY THROUGH
THE EVALUATION OF AFFLUENT 2/14 MULTITUD- CUMANDA OF
CHIMBORAZO PROVINCE”**

Authors: Logroño Sulca Danny Paúl

Jara Vaca Edison Oswaldo

ABSTRACT

Nowadays, technological advances allow a more in-depth study, that is why this research project is focused on the analysis of traveling waves in distribution lines, which was carried out in feeder 2/14 (Multitud-Cumandá), belonging to Empresa Eléctrica Riobamba, which is located in Cumandá canton in Chimborazo province; this affluent has the particularity of being composed of three different sections with different conductor calibers, which is why a study must necessarily be performed in each section to determine the analysis of the traveling waves formed at each study point. For this study it was necessary the installation of meters that were installed in the feeder that allowed to know the currents and voltages in the different points of all the feeder that have served for the development of our analysis, the same that were uploaded to the Geographic Information System (GIS) which allowed the storage and updating of data from the different equipment that make up the electrical distribution system of the Feeder. Finally, it could be evidenced that by means of the simulation in the CYMDIST program, the power flow of the feeder was run, which resulted in the change of impedances of positive sequence and homopolar sequence, which will be used to enter data in the ATPDraw software and to visualize the behavior of the sections in order to comply with what was previously proposed.

KEYWORDS: Feeder, Impedances, Waves, Flux, ATPDraw, CYMDIST.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----------|
| Introducción | 1 |
| Antecedentes | 2 |
| Planteamiento del Problema..... | 3 |
| Formulación del Problema | 4 |
| Objetivo General | 4 |
| Objetivos Específicos..... | 4 |
| Tareas con Relación a los Objetivos Específicos..... | 5 |
| Justificación..... | 6 |
| Hipótesis..... | 7 |
| CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA – METODOLÓGICA..... | 8 |
| 1.1. Antecedentes de la investigación | 8 |
| 1.2. Fundamentación Teórica | 15 |
| 1.2.1. Introducción..... | 16 |
| 1.2.2. Parámetros de una línea de distribución | 18 |
| 1.2.2.1. Impedancia en serie de líneas de distribución aéreas Z series..... | 18 |
| 1.2.2.2. Admitancia en paralelo de líneas de distribución aéreas Y shunt | 19 |
| 1.2.2.3. Otros elementos de una Línea de Distribución | 20 |
| 1.2.3. Ondas Viajeras..... | 21 |
| 1.2.4. Ecuación de una onda viajera en una línea de distribución | 22 |
| 1.2.5. Teoría de las ondas viajeras | 23 |
| 1.2.6. Comportamiento de ondas viajeras en el estudio de propagación | 23 |
| 1.2.6.1. Línea de distribución con cambio en su impedancia | 26 |
| 1.2.6.2. Línea abierta | 27 |
| 1.2.6.3. Cortocircuito..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 1.2.6.4. Unión de varias líneas | 30 |
| 1.2.7. Modelos de líneas de transmisión..... | 30 |
| 1.2.7.1. Modelo de línea corta..... | 31 |
| 1.2.7.2. Modelo de línea media..... | 33 |
| 1.2.7.3. Modelo de línea larga y muy larga..... | 35 |
| 1.2.8. Transformación de Clarke..... | 39 |
| 1.2.8. Diagrama de Lattice | 41 |
| 1.2.9. Sobrevoltajes | 43 |
| 1.2.9.1. Sobrevoltajes de origen internas | 44 |
| 1.2.9.2. Sobrevoltajes de maniobra..... | 44 |
| 1.2.9.3. Sobrevoltajes de servicio | 45 |
| 1.2.9.4. Sobrevoltajes de origen externo..... | 46 |
| 1.2.10. Modelación de la investigación mediante los softwares de simulación..... | 49 |
| 1.2.10.1. GEODATABASE (ArcGIS) | 49 |
| 1.2.10.2. CYMDIST | 50 |
| 1.2.10.3. ATPDraw | 50 |
| 1.3. Fundamentación Metodológica | 51 |
| 1.3.1. Tipo de Investigación | 51 |
| 1.3.1.1. Investigación de Campo..... | 51 |
| 1.3.2. Métodos de Investigación | 52 |
| 1.3.2.1. Método Cuantitativo..... | 52 |
| 1.3.3. Técnicas de Recolección de datos | 52 |
| 1.3.3.1. Análisis Documental | 52 |
| 1.3.3.2. Mediciones | 52 |
| 1.3.4. Procedimientos empleados en el proyecto de investigación | 52 |

| | |
|--|----|
| 1.3.5. Análisis de la información | 52 |
| 1.4. Conclusiones del Capítulo I | 53 |
| CAPITULO II. PROPUESTA | 54 |
| 2.1. Análisis de Ondas viajeras | 54 |
| 2.1.1. Información Requerida | 55 |
| 2.1.2. Parámetros Eléctricos..... | 55 |
| 2.1.3. Distribución de cargas..... | 55 |
| 2.1.4. Mediciones de Voltaje realizadas en los puntos de interés..... | 56 |
| 2.2. Descripción de la propuesta | 56 |
| 2.3. Metodología | 59 |
| 2.3.1. Programas Aplicados al Estudio de Ondas Viajeras..... | 59 |
| 2.3.1.1. Análisis computacional ArcGIS | 59 |
| 2.3.1.2. Análisis computacional CYMDIST | 60 |
| 2.3.1.3. Análisis computacional ATPDRAW | 64 |
| 2.3.2. Cambio de Impedancia..... | 65 |
| 2.4. Análisis del alimentador en situación actual | 67 |
| 2.5. Sistema de distribución actual: Troncal trifásico 3/0-1/0-3/0 y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2 AWG)..... | 69 |
| 2.6. Análisis de Lattice..... | 73 |
| 2.7. Descripción de las sobretensiones transitorias ocurridas en el alimentador .. | 77 |
| 2.8. Conclusiones Capítulo II..... | 83 |
| CAPITULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA | 84 |
| 3.1. Repotenciación y Reconfiguración del troncal del alimentador 1500140T02 con conductor ACSR 3/0 AWG y ACSR 4/0 AWG..... | 84 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.1. Sistema de Distribución: Troncal trifásica 3/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2AWG)..... | 85 |
| 3.1.2. Sistema de Distribución: Troncal Trifásico 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2 AWG)..... | 87 |
| 3.1.3. Sistema de Distribución: Troncal Trifásico 3/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla (2AWG) y Suncamal trifásico (2 AWG)..... | 89 |
| 3.2. Análisis del Software ATPDraw con el Cambio de impedancia | 90 |
| 3.3. Simulación en el ATPDraw con el cambio de impedancia con Fuente AC... 90 | |
| 3.3.1. Sistema de Distribución Actual: Troncal trifásico 3/0-1/0-3/0 | 90 |
| 3.3.2. Sistema de Distribución: Troncal trifásica 3/0 AWG | 95 |
| 3.3.3. Sistema de Distribución: Troncal Trifásico 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2AWG)..... | 96 |
| 3.3.5. Resultados de la descripción de las sobretensiones transitorias ocurridas en el nuevo Alimentador | 98 |
| 3.4. Prolongación del alimentador primario 1500140T03 paralelo al alimentador primario 1500140T02..... | 102 |
| 3.5. Comportamiento del Alimentador 1500140T02 al Tomar Carga de CNEL Milagro..... | 104 |
| 3.6. Análisis técnico-económico de las Soluciones | 107 |
| 3.6.1. Reconfiguración del tramo monofásico que sirve al sector de Suncamal | 108 |
| 3.6.2. Cambio del ramal que sirve a Suncamal de monofásico a trifásico..... | 108 |
| 3.6.3. Repotenciación y Reconfiguración del troncal del alimentador primario 1500140T02 con conductor ACSR 4/0 AWG | 109 |
| 3.6.4. Prolongación del alimentador primario 1500140T03..... | 109 |
| 4. CONCLUSIONES | 111 |
| 5. RECOMENDACIONES | 112 |
| 6. REFERENCIAS | 112 |

| | |
|--|-----|
| 7. ANEXOS..... | 117 |
| 7.1. ANEXO 1. FLUJOS DE CARGA DEL ALIMENTADOR MULTITUD CUMANDA SACADOS DEL PROGRAMA CYMDIST | 117 |
| 7.2. ANEXO 2. TABLA DE DATOS DEL ALIMENTADOR MULTITUD CUMANDA..... | 131 |
| 7.3. ANEXO 3. INGRESO DE DATOS A LA SIMULACIÓN CORRESPONDIENTE A CADA EVENTO CONSIDERADO DENTRO DEL ESTUDIO..... | 141 |
| 7.4. ANEXO 4. TABLA DE CARÁCTERISTICAS DE LOS CALIBRES DE LOS CONDUCTORES | 146 |
| 7.5. ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE MULTITUD-CUMANDÁ | 146 |
| 7.6. ANEXO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS EVENTOS ANALIZADOS | 154 |
| 7.7. ANEXO 7. CASO DE ESTUDIO 1: ESTADO ACTUAL TRONCAL CAMBIANTE-FUENTE DC..... | 157 |
| 7.8. ANEXO 8. SIMULACION DE LOS TRAMOS DEL ALIMENTADOR 2/14 EN EL ATPDraw - FUENTE DC..... | 166 |
| 7.9. ANEXO 9. CAIDAS DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR 2/14. | 182 |
| 7.10. ANEXO 10. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN EL ALIMENTADOR 1500140T02 | 183 |
| 7.11. ANEXO 11. CAMBIO DEL RAMAL QUE SIRVE AL SECTOR DE SUNCAMAL DE MONOFÁSICO A TRIFÁSICO | 186 |
| 7.12. ANEXO 12. SIMULACIÓN EN EL PROGRAMA CYMDIST | 190 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Ubicación actual del Alimentador A0214, sectores representativos y límite provincial. | 16 |
| Figura 1.2: Topología actual del Alimentador A0214, sectores representativos y límite provincial. | 16 |
| Figura 1.3: Elemento infinitesimal de una línea de distribución | 21 |
| Figura 1.4: Principio básico de propagación de las ondas viajeras | 22 |
| Figura 1.5: Representación de las ondas incidentes reflejadas y transmitidas en un punto de transición. | 23 |
| Figura 1.6: Voltajes y corrientes de la onda al atravesar un punto de discontinuidad. | 24 |
| Figura 1.7: Distribución de corrientes en un determinado nodo..... | 25 |
| Figura 1.8: Distribución de voltajes en un determinado nodo..... | 25 |
| Figura 1.9: Desplazamiento de ondas viajeras en el cambio de impedancia de voltaje y corriente..... | 27 |
| Figura 1.10: Desplazamiento de una onda en una línea abierta..... | 28 |
| Figura 1.11: Desplazamiento de una onda en una línea en cortocircuito. | 29 |
| Figura 1.12: Desplazamiento de una onda en una unión de líneas. | 30 |
| Figura 1.13: Modelo general de una línea de transmisión | 31 |
| Figura 1.14: Modelo de línea corta | 32 |
| Figura 1.15: Modelo de línea media en π | 33 |
| Figura 1.16: Representación de un circuito T nominal | 35 |
| Figura 1.17: Línea larga con parámetros distribuidos | 36 |
| Figura 1.18: Circuito equivalente π | 38 |
| Figura 1.19: Esquematación del diagrama de Lattice | 41 |
| Figura 1.20: Diagrama de Lattice representando sucesivas reflexiones. | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 1.21: Diagrama de Lattice para reguladores de voltaje. | 43 |
| Figura 1.22: Características de la onda de tensión producida, cuando un conductor no sometido a tensión ni a corriente, se pone bruscamente en comunicación con un circuito de corriente alterna bajo tensión. | 45 |
| Figura 1.23: Efecto de una nube cargada positivamente sobre una línea aérea. . | 47 |
| Figura 1.24: Resumen con pasos de construcción del modelo completo en GIS. | 49 |
| | |
| Figura 2.1: Diagrama Unifilar S/E N °14 | 57 |
| Figura 2.2: Pantalla principal del programa ArcGIS. | 60 |
| Figura 2.3: Descripción general de la Interfaz CYMDIST..... | 61 |
| Figura 2.4: Descripción general de la Interfaz CYMDIST..... | 62 |
| Figura 2.5: Impedancia del Tramo 1 – Calibre del conductor 3/0 AWG | 64 |
| Figura 2.6: Modelo de la estructura trifásica (Centrada doble retención). | 66 |
| Figura 2.7: Modelo de la estructura monofásica (Centrada doble retención)..... | 66 |
| Figura 2. 8: Alimentador 1500140T02, sectores representativos y límite provincial. | 67 |
| Figura 2.9: Diseño del alimentador 2/14 Multitud-Cumandá..... | 69 |
| Figura 2.10: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito cerrado . | 69 |
| Figura 2.11: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito cerrado | 70 |
| Figura 2.12: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 2 circuito cerrado . | 71 |
| Figura 2.13: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 3 circuito cerrado . | 71 |
| Figura 2.14: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 4 circuito cerrado . | 72 |
| Figura 2.15: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 5 circuito cerrado . | 72 |
| Figura 2.16: Modelación del tramo 1 para determinar la perturbación por cambio de impedancia..... | 74 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.17: Modelación del tramo 2 para determinar la perturbación por cambio de impedancia..... | 74 |
| Figura 2.18: Modelación del tramo 3 para determinar la perturbación por cambio de impedancia..... | 75 |
| Figura 2.19: Comportamiento de la onda de voltaje del tramo 1 de la perturbación por cambio de impedancia. | 75 |
| Figura 2.20: Comportamiento de la onda de voltaje del tramo 2 de la perturbación por cambio de impedancia. | 76 |
| Figura 2.21: Comportamiento de la onda de voltaje del tramo 3 de la perturbación por cambio de impedancia. | 76 |
| Figura 2.22: Activación base de análisis CYMDIST | 190 |
| Figura 2.23: Selección de alimentadores CYMDIST | 190 |
| Figura 2.24: Parámetros de demanda por fase CYMDIST | 191 |
| Figura 2.25: Ventana de análisis de flujo de carga CYMDIST | 192 |
| Figura 2.26: Ventana de opciones de reportes CYMDIST | 193 |
| | |
| Figura 3.1: Sistema de distribución alimentador 2/14 Multitud-Cumandá | 85 |
| Figura 3.2: Ondas de Voltaje de la Fase A del Tramo 1 en circuito cerrado..... | 85 |
| Figura 3.3: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 2 circuito cerrado | 86 |
| Figura 3.4: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 4 circuito cerrado | 86 |
| Figura 3.5: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 5 circuito cerrado..... | 87 |
| Figura 3.6: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 1 circuito cerrado | 87 |
| Figura 3.7: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 2 circuito cerrado | 88 |
| Figura 3.8: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 4 circuito cerrado | 88 |
| Figura 3.9: Sistema de distribución alimentador 2/14 Multitud-Cumanda Troncal trifásico..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.10: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 1 circuito cerrado | 89 |
| Figura 3.11: Simulación en ATP tramo1 circuito abierto..... | 91 |
| Figura 3.12: Corriente en el Tramo 1 con Fuente AC | 91 |
| Figura 3.13: Simulación en ATP tramo 2 circuito abierto..... | 92 |
| Figura 3.14: Corriente en el Tramo 2 con Fuente AC | 93 |
| Figura 3.15: Simulación en ATP tramo 3 circuito abierto..... | 93 |
| Figura 3.16: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 3 | 94 |
| Figura 3.17: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto .. | 95 |
| Figura 3.18: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto | 96 |
| Figura 3.19: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto .. | 97 |
| Figura 3.20: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto | 97 |
| Figura 3.21: Configuración alimentadores 1500140T02 y 1500140T03 | 102 |
| Figura 3.22: Repotenciación y extensión del Alimentador 1500140T03, para servir al sector de Suncamal..... | 104 |
| Figura 3.23: Recorrido del alimentador 1500140T02 en las provincias de Chimborazo y Guayas | 105 |
| Figura 3.24: Reconfiguración y cambio de fases del Alimentador 1500140T02 | 106 |
| Figura 3.25: Simulación en ATP tramo1 circuito abierto..... | 166 |
| Figura 3.26: Voltaje en el Tramo 1-FASE A..... | 166 |
| Figura 3.27: Corriente en el Tramo 1-FASE A | 167 |
| Figura 3.28: Simulación en ATP Tramo 2 Circuito Abierto | 168 |
| Figura 3.29: Voltaje en el Tramo 2-FASE A..... | 168 |
| Figura 3.30: Corriente en el Tramo 2-FASE A | 169 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.31: Voltaje en el Tramo 3 de circuito abierto..... | 169 |
| Figura 3.32: Corriente en el Tramo 3-FASE A | 170 |
| Figura 3.33: Tramo 1 del caso 2 de troncal trifásica en DC. | 171 |
| Figura 3.34: Voltaje respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1..... | 171 |
| Figura 3.35: Corriente respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1 | 172 |
| Figura 3.36: Tramo 1 del caso 3 de troncal trifásica en DC calibre 4/0. | 173 |
| Figura 3.37: Ondas de Voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto | 173 |
| Figura 3.38: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto. | 174 |
| Figura 3.39: Voltaje en el Tramo 1-FASE A..... | 175 |
| Figura 3.40: Corriente en el Tramo 1-FASE A | 175 |
| Figura 3.41: Voltaje en el Tramo 2-FASE A..... | 176 |
| Figura 3.42: Corriente en el Tramo 2-FASE A | 177 |
| Figura 3.43: Voltaje en el Tramo 3 de circuito abierto -FASE A..... | 177 |
| Figura 3.44: Corriente en el Tramo 3-FASE A | 178 |
| Figura 3.45: Voltaje respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1..... | 179 |
| Figura 3.46: Corriente respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1 | 179 |
| Figura 3.47: Tramo 1 del caso 3 de troncal trifásica en DC calibre 4/0 | 180 |
| Figura 3.48: Ondas de Voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto | 180 |
| Figura 3.49: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto | 181 |
| Figura 3.50: Influencia de Fallas por tipo | 183 |
| Figura 3.51: Descripción de fallas que ocasionan mayores tiempos de interrupción | 184 |
| Figura 3.52: Ubicación de fallas que ocasionan las mayores desconexiones de carga. | 184 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.53: Ramales monofásicos con mayor número de fallas | 185 |
| Figura 3.54: Repotenciación del tramo que sirve a Suncamal transformándolo a trifásico..... | 186 |
| Figura 3.55: Repotenciación del tramo que sirve a Suncamal transformándolo a trifásico..... | 187 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Tareas en relación a los objetivos específicos..... | 5 |
| Tabla 2. Índices de reflexión y transmisión en voltajes y corrientes | 26 |
| Tabla 3. Mediciones de voltaje realizadas en el poste 62135 | 56 |
| Tabla 4. Mediciones de voltaje realizadas en el poste 123287 | 56 |
| Tabla 5. Mediciones de voltaje realizadas en el poste 97510 | 56 |
| Tabla 6. Distancia entre fases y el neutro..... | 65 |
| Tabla 7. Desbalance de corrientes en alimentador 1500140T02, mes de diciembre 2020..... | 67 |
| Tabla 8. Máxima cargabilidad en el alimentador 1500140T02 de acuerdo con simulaciones en situación actual | 68 |
| Tabla 9. Cálculo de pérdidas técnicas en líneas y transformadores del alimentador 1500140T02 | 68 |
| Tabla 10. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1 | 69 |
| Tabla 11. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1 | 70 |
| Tabla 12. Valores de Voltajes AC-TRAMO 2..... | 71 |
| Tabla 13. Valores de Voltajes AC-TRAMO 3..... | 72 |
| Tabla 14. Valores de Voltajes AC-TRAMO 4..... | 72 |
| Tabla 15. Valores de Voltajes AC-TRAMO 5..... | 73 |
| Tabla 16. Análisis de los tramos del alimentador | 73 |

| | |
|---|----|
| Tabla 17. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14. (FUENTE AC - LÍNEA ABIERTA) | 78 |
| Tabla 18. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14. (FUENTE DC - LÍNEA ABIERTA) | 79 |
| Tabla 19. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14. (FUENTE AC - CORTOCIRCUITO) | 80 |
| Tabla 20. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14. (FUENTE DC - CORTOCIRCUITO) | 81 |
| Tabla 21. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14. (FUENTE AC – UNION DE VARIAS LÍNEAS) | 82 |
| Tabla 22. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1 | 85 |
| Tabla 23. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1 | 91 |
| Tabla 24. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1 | 92 |
| Tabla 25. Valores de Voltajes AC-TRAMO 2 | 92 |
| Tabla 26. Valores de Corrientes AC-TRAMO 2 | 93 |
| Tabla 27. Valores de Voltajes AC-TRAMO 3 | 94 |
| Tabla 28. Valores de Corrientes AC-TRAMO 3 | 94 |
| Tabla 29. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1 | 95 |
| Tabla 30. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1 | 96 |
| Tabla 31. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1 | 97 |
| Tabla 32. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1 | 98 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 33. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14..... | 99 |
| Tabla 34. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14..... | 99 |
| Tabla 35. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14..... | 100 |
| Tabla 36. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14..... | 100 |
| Tabla 37. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14..... | 101 |
| Tabla 33 Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (El nuevo punto más distante desde la subestación) | 106 |
| Tabla 34 Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector de Suncamal)..... | 107 |
| Tabla 35 Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector referencial centro de Cumandá) | 107 |
| Tabla 36. Costo estimado por construir un tramo entre los postes 97452 y 75224 | 108 |
| Tabla 37. Costo estimado por cambiar de monofásico a trifásico el tramo que sirve a Suncamal | 109 |
| Tabla 38. Costo estimado por repotenciar el troncal del alimentador 1500140T02 con conductor ACSR # 4/0 AWG..... | 109 |
| Tabla 39. Costo estimado por extender el alimentador 1500140T03 hasta el sector de Suncamal | 110 |
| Tabla 40. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1 | 167 |
| Tabla 41. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1 | 167 |
| Tabla 42. Valores de Voltajes DC-TRAMO 2..... | 168 |
| Tabla 43. Valores de Corrientes DC-TRAMO 2 | 169 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 44. Valores de Voltajes DC-TRAMO 3 | 170 |
| Tabla 45. Valores de Corrientes DC-TRAMO 3 | 170 |
| Tabla 46. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1 | 171 |
| Tabla 47. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1 | 172 |
| Tabla 48. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1 caso 3..... | 173 |
| Tabla 49. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1 – caso 3 | 174 |
| Tabla 50. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1 | 175 |
| Tabla 51. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1 | 176 |
| Tabla 52. Valores de Voltajes DC-TRAMO 2..... | 176 |
| Tabla 53. Valores de Corrientes DC-TRAMO 2 | 177 |
| Tabla 54. Valores de Voltajes DC-TRAMO 3..... | 178 |
| Tabla 55. Valores de Corrientes DC-TRAMO 3 | 178 |
| Tabla 56. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1..... | 179 |
| Tabla 57. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1 | 180 |
| Tabla 58. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1..... | 181 |
| Tabla 59. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1 | 181 |
| Tabla 60. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (Punto más alejado desde la subestación) Alimentador 1500140T02 | 182 |
| Tabla 61. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector Suncamal) Alimentador 1500140T03 | 182 |
| Tabla 62. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector Cumandá Centro) Alimentador 1500140T02. | 182 |
| Tabla 63. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (Punto más alejado desde la subestación)..... | 187 |
| Tabla 64. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector Suncamal)... | 187 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 65. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector Cumandá Centro) | 188 |
| Tabla 66. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (Punto más alejado desde la subestación)..... | 188 |
| Tabla 67. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector Suncamal)... | 188 |
| Tabla 68. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector Cumandá Centro) | 189 |

Introducción

El principio de las ondas viajeras en las líneas de transmisión y subtransmisión ha sido muy analizado en las últimas décadas dentro del sector eléctrico, siendo uno de sus principales usos, el uso de su teoría en dispositivos de protección digitales, que utilizan elementos fasoriales y algoritmos basados en cantidades fasoriales e impedancias para la protección y la localización de fallas, de forma similar a como lo hacían los dispositivos electromecánicos en el pasado, pero hoy en día los avances en el tratamiento de las señales y la velocidad de cálculo de los relés digitales abren nuevas posibilidades para los algoritmos en el dominio del tiempo. El avance tecnológico y aprovechamiento de la teoría de ondas electromagnéticas, junto con una sincronización horaria precisa de los dispositivos distribuidos dentro del sistema eléctrico general, ha logrado evolucionar rápidamente en su objetivo de la localización de fallas y protección de manera mucho más precisa y rápida [1].

Complementariamente, la misma teoría de ondas viajeras dentro de un sistema eléctrico, es de gran importancia en diferentes otros campos, como el de la operación de los sistemas de transmisión, subtransmisión y distribución; que por ejemplo, tiene como gran inconveniente el manejo de sobrevoltajes transitorios de origen interno y origen externo. Aquellos que son de origen interno, son la consecuencia de las fluctuaciones en el tiempo de los campos magnético y eléctrico, producida por una fuente eléctrica intermitente; y aquellos que son de origen externo, ingresan fácilmente por las líneas aéreas a causa de descargas atmosféricas o rayos, mismos que ocasionan voltajes elevados y formación de arcos eléctricos en el sistema.

En una línea de transmisión o subtransmisión, el cambio de estructura geométrica y medio material produce una variación en las relaciones que gobiernan el recorrido de la energía de la onda electromagnética. Cuantitativamente estas variaciones se traducen en un cambio de la impedancia característica Z_c que es una relación entre las características geométricas del medio, Inductancia “L” y Capacitancia “C” de la línea, donde cualquier variación geométrica significa cambio y comportamiento diferente en las ondas viajeras, en las formas de la corriente y voltaje; acentuando

unas y deprimiendo otras produciendo un disturbio en la línea de transmisión y se propagan por las mismas hasta que llegan a una discontinuidad.

El presente, es un análisis pionero, que enfatizará las características de las causas y comportamiento de sobrevoltajes dentro de la operación de sistemas de subtransmisión, a través de los conceptos de ondas viajeras. Mediante un estudio de factibilidad se desarrollará una investigación acerca de una onda viajera donde se describe que es una perturbación que se propaga con una velocidad constante y en forma fija, mediante un medio material como puede ser el aire, agua y los conductores metálicos, y mediante su análisis y descripción teórica, se podrá determinar las consecuencias de una línea de distribución, con su cambio de impedancia.

Para el caso estudio práctico se utiliza la información real del alimentador 2/14 Multitud-Cumandá, de la Empresa Eléctrica Riobamba, que es uno de los más extensos con una longitud de 53,55 km; y sirve al cantón Cumandá de la provincia de Chimborazo y a una parte del cantón Marcelino Maridueña del cantón Guayas. En estos sectores se concentran diferentes actividades de agricultura, ganadería y crianza de pollos y cerdos; con una demanda del servicio de energía eléctrica de alrededor de 1500 kVA.

Antecedentes

En la elaboración de este proyecto de investigación se realizará bajo la línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi correspondiente a la maestría en Electricidad: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental, de las cual se deriva la siguiente sub línea de investigación Explotación y diseño de Sistemas de Potencia, donde se puede encontrar las diferentes temáticas a utilizar y estas son: Redes de Transmisión, Distribución y Calidad de Energía, las cuales se complementan con el presente proyecto.

En el proyecto de investigación se relata brevemente la historia de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., el cual inicia en 1903 cuando se funda la primera Sociedad que se encargaría de comercializar energía: “Alberto Rhor y Cía.” en un

pequeño pueblo de nuestro Ecuador pero que a esa fecha ya veía la necesidad de contar con la milagrosa energía eléctrica. Esta Sociedad quiebra en 1907, pero para fortuna de la pequeña Riobamba, en 1911 se funda una sociedad anónima a la que bautizaron como Riobamba Electric Ligth and Power.

En 1924 se crea “La Hidroeléctrica”, siendo uno de los socios Hirman Foley apoderado de la Empresa Eléctrica del Ecuador Inc., empresa que se encargó algunos años de la distribución de energía eléctrica.

En 1953 se conforma la Empresa de Electrificación Chimborazo S. A., que tenía algunos proyectos dentro de los cuales figuraba la construcción de una Central Hidroeléctrica, proyecto ambicioso sin duda, pero que el 20 de abril de 1921 vio sus primeras luces con la inauguración de algunas obras, acto que contó con la visita oficial del Presidente de la República Dr. José María Velasco Ibarra.

La línea de interconexión entre las subestaciones 1 y 2 además de la SE #2 con 10 MVA, se inauguran en 1981, y en 1982 se construye la línea Alausí – Multitud – Pallatanga, lo que permitió electrificar hasta la zona límite con la Costa. Como parte de la innovación y uso de tecnología de punta, la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. es la pionera a nivel nacional en implementar el proyecto de automatización. Esto disminuye los tiempos de interrupción del suministro eléctrico y mejorar la calidad en el servicio.

Planteamiento del Problema

En el Alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá) la mayoría de derivaciones monofásicas atienden a sectores aislados con cargas pequeñas, sin embargo existen dos derivaciones con cargas representativas, una de estas derivaciones atiende al sector de Suncamal desde el poste 75362 con la fase A, en mediciones se ha detectado que la corriente en este ramal puede superar los 30 A, la otra derivación representativa se encuentra al final del troncal, en el poste 69450, esta derivación está conectada a la fase B; mediante mediciones se ha determinado que la corriente en este ramal puede superar los 60A.

La topología del alimentador consiste en un troncal trifásico que arranca con conductor ACSR 3/0 AWG hasta el poste 72124 con una distancia de 4,3 km, posteriormente el conductor disminuye de calibre a un ACSR 1/0 AWG hasta el poste 72923 con una distancia de 17,5 km; en este punto el calibre vuelve a subir a un ACSR 3/0 AWG en el centro del Cantón Cumandá y este calibre se mantiene hasta el final del poste 69450 de la troncal con una distancia de 14,5 km y a raíz de la troncal se derivan tramos monofásicos que atienden a diferentes sectores. Es así que, por estos tres diferentes tramos con distintos calibres de conductores, en estos puntos de conexión, se ha detectado incrementos abruptos de voltaje incontrolables e impredecibles, puntos calientes y problemas en su operación en general. Es por ello, que se observa la oportunidad y necesidad de realizar un estudio en cada tramo para determinar el análisis de las ondas viajeras formadas en cada punto de estudio.

Complementariamente, debido a la longitud del alimentador se registraban caídas de voltaje mayores al 8%, las cuales no son permitidas por la regulación N° ARCERNR 002/20 para usuarios conectados en medio voltaje, por lo que en este alimentador se han instalado reguladores de voltaje en tres puntos.

Formulación del Problema

Los sobrevoltajes transitorios producidos por el cambio de calibre de conductor en distintos tramos del Alimentador y así proporcionar la información necesaria para aplicar el análisis de ondas viajeras y dar solución a la problemática.

Objetivo General

Analizar el efecto de las ondas viajeras por el cambio de conductor en el Alimentador 2/14 Multitud - Cumandá de la Provincia de Chimborazo mediante la obtención de datos históricos de mediciones para determinar los sobrevoltajes producidos en las líneas de distribución.

Objetivos Específicos

- Realizar la revisión bibliográfica acerca del estudio de ondas viajeras en redes eléctricas en Alto y Medio voltaje para el análisis del Alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá).

- Determinar los sobrevoltajes producidos en el Alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá) mediante la simulación en el ATPDraw y en los diagramas de Lattice; para ver el comportamiento de las magnitudes eléctricas por el cambio de impedancia en las líneas de distribución.
- Proponer el diseño de un nuevo Alimentador mediante el cambio de calibre de conductor para el mejoramiento de la calidad de servicio eléctrico al usuario final.

Tareas con Relación a los Objetivos Específicos

Tabla 1. Tareas en relación a los objetivos específicos

| Objetivos Específicos | Actividades (tareas) | Resultado de la actividad | Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos) |
|--|--|---|--|
| Realizar la revisión bibliográfica acerca del estudio de ondas viajeras en redes eléctricas en Alto y Medio voltaje para el análisis del alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá). | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Investigación acerca de los diferentes tipos de Redes y Líneas Eléctricas. ➤ Análisis de las teorías de ondas viajeras en las líneas de transmisión y subtransmisión. ➤ Investigación de artículos científicos de la teoría de ondas viajeras, los parámetros de las ondas viajeras en alimentadores. | Redacción del Marco Teórico | Investigación de Campo. Libros. |
| Determinar los sobrevoltajes producidos en el Alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá) mediante la simulación en el ATPDraw y en los diagramas de Lattice; para ver el comportamiento de las magnitudes eléctricas por el cambio de impedancia en las líneas de distribución. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Instalación de medidores en diferentes tramos del alimentador. ➤ Utilización de los software's ARCGIS, CYMDIST, ATPDraw para la obtención de sobrevoltajes y sobrecorrientes, aplicado a la teoría de ondas viajeras en el alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá). ➤ Aplicación del diagrama de Lattice para determinación de sobrevoltajes producidos por el cambio de impedancia. | Determinación de los sobrevoltajes en el Alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá) Tabulación de los datos de sobrevoltajes en cada uno de los tramos. Simulación del alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá) | Experimental, Equipos Tecnológicos (Excel, etc.) Software. |

| | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Determinación de cada uno de los parámetros necesarios para la obtención de datos en el alimentador. | Determinación de los cambios de impedancia en los tramos del Alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá). | |
| Proponer el diseño de un nuevo Alimentador mediante el cambio de calibre de conductor para el mejoramiento de la calidad de servicio eléctrico al usuario final. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseño del alimentador con un solo tipo de calibre de conductor. ➤ Determinación de la nueva ruta del alimentador mediante la georreferenciación. ➤ Elaboración de un presupuesto acorde a las necesidades del nuevo alimentador. | <p>Simulación del nuevo Alimentador propuesto (Multitud-Cumandá).</p> <p>Análisis técnico-económico del alimentador propuesto.</p> | Investigación de Campo, Simulación. |

Elaborado por: Los Autores.

Justificación

El alimentador 2/14 de Multitud-Cumandá es uno de los más extensos de la Empresa Eléctrica Riobamba, tiene una longitud de 53,55 km. La topología del alimentador consiste en un troncal trifásico con tres diferentes tramos con distintos calibres de conductores. En estos puntos de conexión, se ha detectado incrementos abruptos de voltaje incontrolables e impredecibles, puntos calientes y problemas en su operación en general. Complementariamente, debido a la longitud del alimentador se registraban caídas de voltaje mayores al 6%, permitido por la regulación vigente del ARCERNNR 002/20, para usuarios conectados en medio voltaje.

El alimentador al tomar la carga de CNEL Milagro en la provincia de Chimborazo y cede la carga de la EERSA en la provincia de Guayas, tendría una potencia instalada de 9321.5 kVA, y se estima que la demanda máxima de este alimentador podría llegar a 2200 kVA.

La potencia instalada de CNEL UN Milagro en la provincia de Chimborazo corresponde a 4803 kVA, que sumados a los 6172.5 kVA que tiene actualmente el alimentador 1500140T02, resulta en 10975.5 kVA.

Para el cálculo de la demanda, se realizará un análisis del tipo de usuarios en el cantón Cumandá y se determinó que la demanda máxima coincidente, puede llegar al 25% de la potencia instalada. La máxima demanda del alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá) registrada en el año 2018 es de 1475 kVA, si se suma la demanda de CNEL Milagro se podría incrementar en 1200 kVA y llegar a 2600 kVA.

Por la gran importancia de este alimentador, el gran crecimiento futuro, es necesario realizar un estudio en cada tramo para ejecutar el análisis de las ondas viajeras formadas en cada punto de estudio y minimizar las consecuencias, que, por este fenómeno, complican la operación adecuada del alimentador, crean inconvenientes en las rupturas dieléctricas de los elementos, además de tener altos niveles de pérdidas.

Hipótesis

¿Con el estudio realizado de ondas viajeras, se podrá determinar los sobrevoltajes transitorios en el Alimentador 2/14 Multitud-Cumandá de la Provincia de Chimborazo?

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA – METODOLÓGICA

1.1. Antecedentes de la investigación

Referente al análisis del estudio de Ondas Viajeras existen ciertas investigaciones realizadas por diferentes autores, principalmente enfocadas a los sistemas de transmisión y sus protecciones; dentro del análisis de la presente tesis, se encuentran mínimos estudios realizados, pero gran cantidad de conceptos eléctricos aplicables, que fortalecen la hipótesis y trabajo a realizar.

Los principales estudios realizados en torno a los conceptos y análisis de ondas viajeras en subtransmisión y transmisión se detallan a continuación y darán la pauta para esta investigación.

Según Victor H. Gonzalez, Romel A. Cardenas, Vicente Torres, y Mario R. Arrieta Paternina, autores del siguiente proyecto de titulación: “*Bewley’s Lattice Diagram Implementation by Using ATP/EMTP*”, se concluye que: “Actualmente, la identificación de perturbaciones en sistemas eléctricos como son fallas, sobrevoltajes por maniobra o descargas atmosféricas pueden ser detectados por los transitorios electromagnéticos como son, la propagación de ondas generadas por un disturbio en el sistema, lo cual permite la implementación de nuevos esquemas de protección que utilizan las ondas viajeras para determinar si existe una falla y su ubicación en la línea de distribución” [2].

Según Castruita Jorge, autor del siguiente proyecto de titulación: “Nuevo algoritmo de protección de distancia basado en el reconocimiento de patrones de onda viajera”, “La aparición de una falla en la línea de transmisión provoca intercambios instantáneos de energía entre los campos eléctricos y magnéticos generando señales transitorias de alta frecuencia; esas señales se propagan por las líneas en forma de ondas viajeras siendo transmitidas y reflejadas en las discontinuidades de la red hasta que se atenúan” [3].

Feng Zhang, Jun Liang, Li Zhang y Zhihao Yun, autores del siguiente artículo: “Un nuevo método de localización de fallas que evita la velocidad de las ondas y se basa en las ondas de desplazamiento para la línea de transmisión EHV”, donde concluyen que: “La incertidumbre de la velocidad de las ondas genera errores en la ubicación de la falla en función de las olas que viajan. Los métodos actuales de localización de fallas que evitan la velocidad de las olas se basaron en ondas de desplazamiento de terminal simple o doble. Sin embargo, se producirá una invalidación o un gran error cuando las ondas atenuadas no puedan medirse después de la refracción o reflexión. En base a la teoría básica de la ubicación de fallas, en este documento se presenta un nuevo método de ubicación de fallas que evita la velocidad de onda y la línea de transmisión radian. Al medir los diferentes parámetros de tiempo cuando el oleaje inicial de la onda viajera llega al bus de referencia, el bus opuesto de la línea de falla y el bus opuesto de la línea vecinal, este método elimina la influencia causada por la velocidad de la onda y el radián de las líneas de transmisión de la expresión de distancia de falla con el uso de los parámetros de tiempo” [4].

Zheng Xiuvu, Li Xiaoming, Ding Jianyoung y Duan Zhiyuan, autores del siguiente artículo: “Estudio sobre el algoritmo ensamblado de onda de desplazamiento de impedancia en el sistema de localización de fallas de un terminal para líneas de transmisión”, concluyen que: “Teniendo en cuenta la fiabilidad y la precisión del sistema de localización de fallas de un terminal para las líneas de transmisión, se presenta un algoritmo ensamblado de onda de desplazamiento de impedancia, que combina el método de medición de impedancia con el método de onda de desplazamiento. Al principio, utiliza el método de impedancia de medición para calcular aproximadamente la distancia de falla. Luego, las regiones de ondas reflejadas desde el punto de falla y el bus opuesto al bus de detective se confirman respectivamente a través de la distancia. Finalmente, el tiempo exacto de la onda reflejada desde el punto de falla al bus de detección y el de la onda reflejada desde el bus opuesto al bus de detección se identifican respectivamente en las regiones correspondientes, y la ubicación de la falla se implementa de acuerdo con el resultado detectado. Tiene complementariedades de ambos métodos, porque el

método de impedancia de medición garantiza la fiabilidad y el método de onda de desplazamiento mejora la precisión. Los resultados de la simulación son que los errores localizados están dentro de los 100 m si está disponible la ubicación de la falla basada en el algoritmo de onda viajera. Se mejora que el algoritmo ensamblado propuesto sea correcto” [5].

Casas Félix: “Evaluación de las sobretensiones transitorias en líneas de transmisión”, concluye que: “La determinación de la magnitud de las sobretensiones que se producen en un sistema eléctrico de potencia, nos permite prevenir y tomar medidas correctivas de protección a los equipos y dispositivos del sistema, asegurándonos la continuidad de servicio al usuario por ende se emplea el método de ondas viajeras y el método de Bergeron para cálculos analíticos en determinar sobretensiones transitorias en las redes eléctricas de sistemas radiales o enmallados” [6].

Vázquez Ernesto y Castruita Jorge, en su estudio: “Protección de distancia basada en el reconocimiento de patrones de onda viajera”, concluyen que: “La creciente tendencia a operar las líneas de transmisión con voltajes cada vez mayores trae consigo nuevos y complicados problemas para el área de protecciones: uno de estos es la necesidad de reducir el tiempo de detección de fallas, por ende el algoritmo propuesto discrimina entre una falla interna o externa, a partir del reconocimiento de patrones del contorno del primer frente de onda que arriba a la ubicación de la protección” [7].

Dong X, Wang S y Shi S, autores del siguiente artículo: “Investigación sobre características de fallas de voltaje que viajan en ondas en una línea de transmisión”, donde concluyen que: “Los parámetros de línea de las líneas de transmisión de alto voltaje, especialmente de la línea de transmisión de larga distancia EHV / UHV, obviamente tienen las características de los parámetros de distribución. Cuando se produce una falla en una línea de transmisión, las ondas que viajan por fallas de voltaje y las ondas que viajan por fallas de corriente generadas por una fuente de voltaje superpuesta a fallas tienen abundante información de fallas que puede usarse como criterio para la detección de fallas. El análisis característico de las ondas de

desplazamiento de falla de voltaje después de que ocurriera una falla en una línea de transmisión concluyó que: Las ondas de desplazamiento de falla de voltaje después de una falla consisten en dos componentes, ondas de desplazamiento de carga previa a la falla y ondas de desplazamiento de falla posteriores a la falla, y las ondas de desplazamiento de falla pueden clasificarse en ondas de desplazamiento transitorias de falla y ondas de desplazamiento de estado estable de falla de acuerdo con el período de tiempo y las ondas transitorias de falla de falla contienen dos características, el frente de onda de alta frecuencia y el componente de frecuencia de potencia, y la polaridad del frente de onda de alta frecuencia es la misma que la polaridad inicial del componente de frecuencia de potencia. La investigación sobre las características de las ondas de desplazamiento transitorias de voltaje proporciona una base teórica importante para el establecimiento de una nueva teoría de protección de dirección basada en ondas de desplazamiento” [8].

Lei Aoyu, Dong Xinzhou y Shi Shenxing: “Un novedoso método de localización de fallas en un solo extremo basado en ondas de desplazamiento de corriente para localizar fallas monofásicas en una línea de transmisión”, donde concluyen que: “El método de localización de fallas de un solo extremo basado en la onda de desplazamiento actual necesita reconocer las ondas de desplazamiento que se propagan desde la dirección de la falla, así como la onda de desplazamiento reflejada desde el punto de falla o el bus remoto. En primer lugar, este documento compara las ondas de desplazamiento actuales de la línea de falla y la línea de salud más larga conectada al bus local en base a la transformación de wavelet diádica para obtener las ondas de desplazamiento actuales que se propagan desde la dirección de falla. En segundo lugar, en función del fenómeno de transmisión cruzada de ondas de desplazamiento modales en el escenario de falla monofásica a tierra, la relación de secuencia de llegada y la relación de polaridad del componente modal aéreo y el componente modal cero a aéreo (es decir, componente de transmisión cruzada) de las ondas de desplazamiento de corriente reflejadas desde el punto de falla y el bus del extremo remoto se investigan y se identifica la fuente de la segunda onda de desplazamiento de corriente que se propaga desde la dirección de falla. En tercer lugar, la primera y la segunda ondas de desplazamiento

de corriente que se propagan desde la dirección de la falla se utilizan para localizar la falla monofásica a tierra. Finalmente, se usa una gran cantidad de casos de simulación basados en EMTP para probar y validar el método de localización de fallas propuesto” [9].

Li Xiaopeng, Lin Sheng y Jiang Shuai, autores del siguiente artículo: “Método de identificación de fallas internas y externas basado en la característica de amplitud de la onda de retroceso para la línea de transmisión HVDC”, donde concluyen que: “Los análisis teóricos sobre el proceso de transmisión de ondas viajeras para fallas internas y externas en las líneas de transmisión HVDC muestran que, en poco tiempo, para fallas internas, las ondas viajeras hacia atrás se pueden detectar en ambos terminales de línea. Para fallas externas, la onda de retroceso puede detectarse solo en un terminal de línea. La onda de retroceso en la otra terminal es cero en teoría. Teniendo en cuenta el error de cálculo y el ruido, la amplitud de la onda de retroceso aún es muy pequeña. Por lo tanto, el método de identificación de fallas internas y externas para líneas HVDC se puede proponer comparando la amplitud de las ondas de desplazamiento hacia atrás en ambos extremos de la línea. Para fallas internas, la relación de los resultados integrales es relativamente pequeña. Sin embargo, para fallas externas, La relación de los resultados integrales es relativamente grande. Muchos resultados de simulación basados en PSCAD / EMTDC indican que el método de protección propuesto puede discriminar fallas internas de fallas externas bajo varias condiciones de falla, incluyendo fallas con alta resistencia a fallas” [10].

Páez Luis y Villón Franklin, autores de la siguiente tesis: “Modelación matemática de ondas viajeras generadas por descargas atmosféricas en sistemas de distribución desarrollado en el laboratorio de alta tensión de la UPS-Sede Guayaquil”, donde concluyen que: “El presente trabajo tuvo como objetivo elaborar un modelo matemático sobre ondas viajeras, que permita observar los efectos de reflexión y refracción que ocurren cuando una descarga atmosférica impacta en las líneas de distribución eléctrica, tomando en consideración los distintos puntos de transición o derivaciones que existen en la red” [11].

Fernández Daniel, autor del siguiente proyecto: “Análisis comparativo del sistema de localización de Fallas por Onda Viajera frente a los sistemas tradicionales”, concluye que: “Los métodos de determinación de la distancia de falta basados en onda viajera tienen un gran potencial para convertirse en el procedimiento principal en el cual se base la protección de distancia. En la actualidad, ya están disponibles relés capaces de realizar un disparo por la función de onda viajera, suponiendo un punto de inflexión en este ámbito.

Estos métodos son capaces de transmitir la orden de disparo al interruptor correspondiente en 4 milisegundos tras la aparición de la falla y determinar el punto donde se ha producido la misma, con un error máximo entorno a un 2%, consiguiendo así reducir de manera drástica los cortes asociados de la localización de la avería. Por estos factores es un método que requiere de un intenso estudio” [12].

Li Xun, Liu Shungui, Huang Ronghui, Ai Jingwen, Un yunzhu, Chen Ping y Xin Zhengxiang, autores del artículo: “Estudio sobre la precisión del método de localización de falla de onda viajera de la línea aérea - Línea híbrida de cable y sus factores influyentes”, concluyen que: “Tiene una característica complicada y variable de onda transitoria de falla en cable y línea de transmisión híbrida de línea aérea. El análisis teórico y el método de simulación se han utilizado para estudiar las características de propagación de la onda transitoria de falla transitoria en la línea híbrida de cable y línea aérea. Se expone el principio del método de onda viajera de línea única para línea híbrida y se estudió la influencia del ángulo de inicio de fase, resistencia de transición, tipo de falla, posición de falla. Luego, se investiga la precisión de la ubicación combinada de la falla de la onda viajera. Mientras tanto, construyó la relación entre la corriente de falla transitoria y la distancia de falla. Los factores anteriores tienen un impacto significativo en el voltaje transitorio y la onda de corriente. Pero no tienen ningún efecto sobre el tiempo requerido para alcanzar la primera ola de la ola viajera” [13].

Pritchard Christopher, Lampl Heinz y Hensler Thomas; autores del siguiente artículo: “Nuevas posibilidades para probar las funciones de localización de fallas

con ondas viajeras en campo”, concluyen que: “La localización de fallas utilizando ondas viajeras ha demostrado ser un método preciso y confiable para la localización de fallas en líneas de transmisión largas. Integrada tanto en los modernos relés de protección de línea como en los dispositivos de localización de fallas autónomos, proporciona información útil para operadores y técnicos. La prueba y verificación del correcto funcionamiento de estos dispositivos supone todo un reto y en la mayoría de los casos no se realiza durante la puesta en servicio. Aunque esto tal vez sea aceptable en el caso de los localizadores de fallas puros, las nuevas generaciones de relés de protección utilizarán ondas viajeras para determinar las fallas y en consecuencia cuándo dispararse” [1].

Escobar Lizbeth, Vázquez Ernesto y Ramírez Juan, autores del siguiente artículo: “Protección de onda viajera utilizando el segundo momento central”, indican que: “La realización de un algoritmo de ultra-alta-velocidad para la protección de líneas de transmisión basado en el principio de propagación de ondas viajeras. El algoritmo utiliza el primer frente de onda generado en el punto de la falla y aplicando el segundo momento central caracteriza la distorsión de los frentes de onda al atravesar el cambio de impedancia entre líneas adyacentes, para determinar si ha ocurrido una falla interna o externa, independientemente de la configuración de la red eléctrica. Se analizó el desempeño del algoritmo mediante simulaciones en el programa de transitorios electromagnéticos PSCAD considerando fallas monofásicas y trifásicas, con distintos ángulos de inserción y resistencias de falla, mostrando una discriminación correcta entre fallas internas y externas” [14].

Guevara Cristian y Rodríguez Daniel, autores del proyecto: “Metodología de Localización de Fallas basada en Ondas Viajeras con señales de Tensión”, donde concluyen que: “En este documento se desarrolla una metodología para la localización de fallas en sistemas de transmisión utilizando las ondas de tensión medidas por los transformadores de potencial, debido a la necesidad de la localización de fallas de manera efectiva y eficaz, con el fin de reducir el tiempo de impacto que tendría en el sistema sin causar daños y/o deterioro a los equipos de potencia. Además, se describe las metodologías de localización de fallas por medio

de los valores de impedancia, indicando las desventajas con respecto a la metodología de las ondas viajeras partiendo de los parámetros necesarios para cada una de estas y las limitaciones establecidas” [15].

Lopes Felipe y Leite Eduardo, autores del siguiente artículo: “Soluciones basadas en ondas itinerantes para sincronización de tiempo de datos de dos terminales de línea de transmisión”, donde concluyen que: “Esta carta presenta soluciones basadas en ondas viajeras (TW) para la sincronización de tiempo de datos de dos terminales de línea de transmisión. Al analizar la energización de la línea o los registros de fallas con altas tasas de muestreo, se estiman los tiempos de llegada de los TW modales en ambos extremos de la línea, y luego se utilizan para calcular un factor de sincronización a través del cual se alinean las referencias de tiempo local y remoto. La energización de línea y los estudios de caso de fallas se llevaron a cabo utilizando el Programa de transitorios alternativos para evaluar las soluciones propuestas, que a su vez resultaron ser precisas y fáciles de usar” [16].

Como se observa en el Estado del Arte, desarrollado en el presente acápite, el principal objetivo de análisis de la teoría de ondas viajeras es su aplicación dentro de los sistemas de localización de fallas eléctricas y desconexiones. Sin embargo, pocos de los estudios analizan el comportamiento y efectos en la operación de un sistema de transmisión y subtransmisión. Se presume que esta situación se debe a las prioridades económicas y de impacto que causan las desconexiones totales de los sistemas; sin embargo, en este gran campo de investigación, como lo es la ingeniería eléctrica, diferentes efectos y soluciones se podrán apreciar al analizar la teoría de las ondas viajeras en las etapas de subtransmisión.

1.2. Fundamentación Teórica

Dentro del presente acápite se analizan las diferentes aristas que definen la teoría y conceptos de ondas viajeras. Se parte de sus mayores usos, asociados a sistemas de protección de líneas, para introducir los conceptos objeto de análisis dentro del proyecto y cómo se los aplicará para caracterizar los fenómenos dentro de los sistemas de distribución.

1.2.1. Introducción

En esta parte del proyecto se detallará los principales ámbitos y temas a tratar en la redacción de la misma, el alimentador 2/14 de Multitud-Cumandá es uno de los más extensos de la Empresa Eléctrica Riobamba, tiene una georeferenciación como la mostrada en la figura 1.1 y una disposición eléctrica como la mostrada en la figura 1.2.

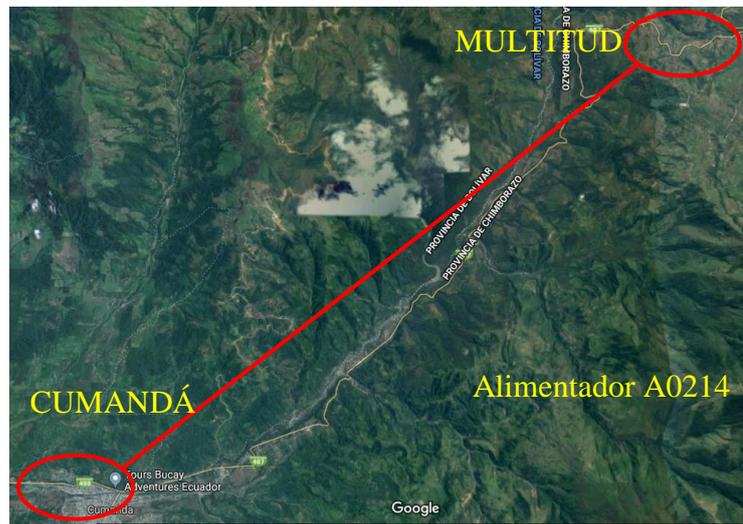


Figura 1.1: Ubicación actual del Alimentador A0214, sectores representativos y límite provincial.

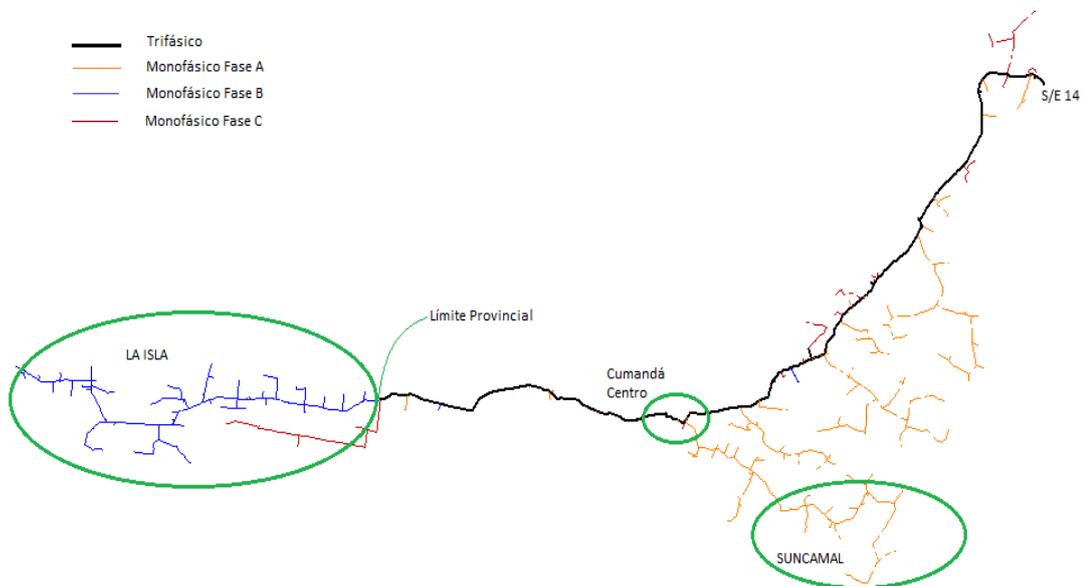


Figura 1.2: Topología actual del Alimentador A0214, sectores representativos y límite provincial.

Al hablar de una línea de transmisión o subtransmisión, se hace referencia al confinamiento de la energía eléctrica desde un punto a otro; por otro lado, las ondas se propagan en el aire o cualquier medio físico. Una línea de transmisión está conformada por algunos hilos conductores entrelazados con una disposición geométrica que condiciona a las características propias de las ondas electromagnéticas.

El análisis de las líneas de transmisión requiere de la solución de algunas ecuaciones de campo magnético, sujetas a condiciones de frontera impuestas por la geometría de la línea y en general no se puede aplicar la teoría clásica de circuitos, ya que ésta se ocupa de circuitos con parámetros concentrados, en tanto que en una línea los parámetros son distribuidos. Dichos parámetros son: Resistencia, Inductancia, Capacitancia y Conductancia y en circuitos eléctricos convencionales, éstos están concentrados en un solo elemento o componente bien localizado físicamente, por ende, se considera que, en un circuito, los parámetros son concentrados cuando las dimensiones físicas de sus componentes, incluyendo los hilos de conexión son mucho menores que la longitud de onda de la energía manejada por el circuito [17].

Cuando se habla de fallas por ondas viajeras, se utiliza un método preciso y confiable para la localización en las líneas de transmisión largas; este método viene integrado tanto en los relés de protección de línea como en los dispositivos de localización de fallas autónomos y por ende proporcionan una información útil para los operadores. Utilizando un método confiable, estas pruebas son posibles utilizando dispositivos de prueba de protección convencionales en el campo y de esta manera, los pulsos de ondas viajeras se sobreponen a las señales de baja frecuencia, pero de alta corriente. Desde un software de control que funciona en una PC, se podría simularse fallas en cualquier punto de la línea y luego observarse y evaluarse de manera integrada la reacción de los elementos de protección [1].

El principio de las ondas viajeras en las líneas de transmisión es bien conocido en el sector eléctrico desde hace décadas. Sin embargo, la mayoría de los dispositivos de protección digitales actuales utilizan elementos fasoriales y algoritmos basados en cantidades fasoriales e impedancias para la protección y la localización de fallas,

de forma similar a como lo hacían los dispositivos electromecánicos en el pasado, pero hoy en día los avances en el tratamiento de las señales y la velocidad de cálculo de los relés digitales abren nuevas posibilidades para los algoritmos en el dominio del tiempo. Junto con una sincronización horaria precisa de los dispositivos distribuidos dentro del sistema eléctrico general, es posible realizar la localización de fallas y protección de manera mucho más precisa y rápida [1].

1.2.2. Parámetros de una línea de distribución

Existen varias características de la línea de distribución y se identifican en las impedancias en serie y admitancias en paralelo de las líneas de distribución, por lo que describe los siguientes parámetros:

1.2.2.1. Impedancia en serie de líneas de distribución aéreas Z series

Resistencia

La resistencia en un conductor se representa por la resistencia directa (c.d), que se encuentra presente cuando la distribución de corriente en un conductor es uniforme, el valor de la resistencia depende del tipo de material y la geometría del conductor, se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\rho(T)*l}{A} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$\rho(T)$: Resistividad del material

l : Longitud

A : Área de la sección transversal del conductor

Este parámetro de la resistencia dieléctrica dependerá de la temperatura, el efecto piel, el trenzado el conductor. En el caso de la temperatura, si aumenta su valor también afecta el aumento del valor de su resistencia eléctrica.

Por otra parte, la presencia del efecto piel hace que se genere un campo magnético no uniforme, causando que la sección del conductor sea menor y su valor resistivo sea mayor. El efecto del trenzado dependerá de un valor resistivo que se encuentra en el orden del 1% al 3%.

Impedancias de secuencia

Dentro del sistema de distribución, se pueden expresar parámetros de impedancias de secuencia, que se representan mediante el teorema de Fortescue que se utiliza para simplificar el análisis de los sistemas no balanceados, por lo que, en el sistema trifásico, se puede tener diferentes sentidos de giro denominados, secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero.

Las líneas de distribución, tienen la característica de tener corrientes desbalanceadas, por lo que se utiliza las impedancias en el dominio de las fases (Z_{abc}). Sin embargo, si se requiere hacer una transformación de impedancias de secuencia, se aplica la matriz de transformación A_s , así:

$$[A_s] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s^2 & a_s \\ 1 & a_s & a_s^2 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde A_s es el fasor: $a_s = 1 < 120^\circ$

En la Ecuación, se determina la matriz de impedancias de secuencia.

$$[Z_{012}] = [A_s]^{-1} [Z_{abc}] [A_s] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (3)}$$

1.2.2.2. Admitancia en paralelo de líneas de distribución aéreas Yshunt

Este caso se tiene cuando los conductores crean un diferencial de potencial y da como resultado un campo eléctrico, con el diferencial de potencial se puede calcular la capacitancia. La forma para calcular los valores de capacitancia entre puntos de diferente potencial puede darse en función de la geometría de las líneas.

En redes aéreas de distribución, se utiliza el método de imágenes de los conductores, el mismo que aplica la matriz primitiva \hat{p} , expresado como:

$$[\hat{P}_{primitive}] = \begin{bmatrix} \hat{P}_{aa} & \hat{P}_{ab} & \hat{P}_{ac} & \hat{P}_{an} \\ \hat{P}_{aa} & \hat{P}_{bb} & \hat{P}_{bc} & \hat{P}_{bn} \\ \hat{P}_{na} & \hat{P}_{nb} & \hat{P}_{nc} & \hat{P}_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (4)}$$

La matriz primitiva se divide en 4 submatrices:

$$[\hat{P}_{primitive}] = \begin{bmatrix} \hat{P}_{ij} & \hat{P}_{in} \\ \hat{P}_{nj} & \hat{P}_{nn} \end{bmatrix}$$

Por el método de kron, para llegar a una matriz en el dominio de las fases ABC, dejando la siguiente expresión:

$$[P_{abc}] = [\hat{P}_{ij}] - [\hat{P}_{in}][\hat{P}_{nn}]^{-1}[\hat{P}_{nj}] \quad \text{Ec. (5)}$$

La relación de la admitancia y la capacitancia está determinada por la

$$[Y_{abc}] = 0 - j\omega[C_{abc}] \text{ uS/millas} \quad \text{Ec. (6)}$$

1.2.2.3. Otros elementos de una Línea de Distribución

Supóngase un elemento infinitesimal de una línea abierta de dos conductores paralelos, con parámetros primarios R, L, C y G, que puede suponerse tan pequeño como se quiera de modo que los parámetros del circuito puedan considerarse concentrados en la forma que se muestra en la figura 1.3.

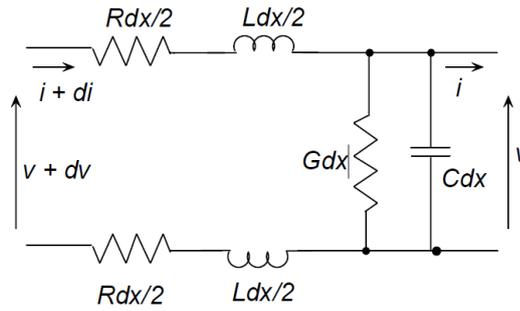


Figura 1.3: Elemento infinitesimal de una línea de distribución

Fuente: [17].

Suponiendo variaciones senoidales para el voltaje y la corriente y empleando notación fasorial, pueden aplicarse las leyes de Kirchhoff al circuito anterior, ahora de parámetros concentrados, con lo que se tiene:

$$dv = i(R + j\omega L) \cdot dx \quad \text{Ec. (7)}$$

$$di = v(G + j\omega C) \cdot dx \quad \text{Ec. (8)}$$

$$\frac{dv}{dx} = (R + j\omega L)i = z \cdot i \quad \text{Ec. (9)}$$

$$\frac{di}{dx} = (G + j\omega C)v = y \cdot v \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde $z = R + j\omega L$, es la impedancia en serie por unidad de longitud e $y = G + j\omega C$, la admitancia en paralelo, también por unidad de longitud.

1.2.3. Ondas Viajeras

Una falla en una línea, que puede ocurrir en cualquier momento, excepto en el paso por cero de la tensión, genera una onda viajera que se propaga desde el punto de la falla hasta ambos extremos de la línea con una velocidad cerca a la velocidad de la luz. El principio se muestra en la figura 1.4 con una línea de distribución simple cuando ocurre una falla en la línea [1].

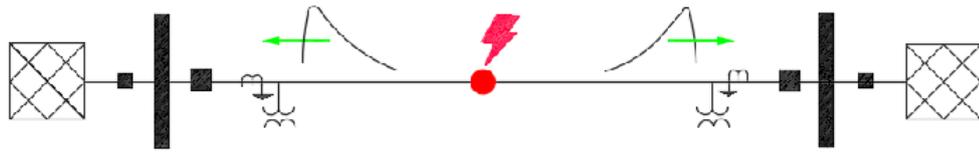


Figura 1.4: Principio básico de propagación de las ondas viajeras

Fuente: [1].

1.2.4. Ecuación de una onda viajera en una línea de distribución

Las ondas viajeras pueden deducirse como resultado de la solución del sistema de ecuaciones diferenciales lineales para líneas de distribución, en el caso de una línea de distribución sin pérdidas: el siguiente par de ecuaciones diferenciales parciales de primer orden describe las tensiones $v(x, t)$ y las corrientes $i(x, t)$ en la línea.

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = -L' \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$\frac{\partial i(x, t)}{\partial x} = -C' \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde L' es la inductancia de la línea por unidad y C' es la capacitancia por unidad, esto puede combinarse en las ecuaciones de onda (ecuación de d'Alembert) como sigue:

$$\frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t^2} = L' C' \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial x^2} \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial t^2} = L' C' \frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial x^2} \quad \text{Ec. (15)}$$

La solución general de las ecuaciones de onda puede expresarse como una suma de una onda viajera f en sentido hacia adelante y g en sentido hacia atrás:

$$v(x, t) = f(x - ct) + g(x + ct) \quad \text{Ec. (16)}$$

$$i(x, t) = \frac{1}{Z_w} [f(x - ut) - (g(x + ut))] \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde $c = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$ es la velocidad de propagación y $Z_W = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ la impedancia característica de la línea, en el caso de una línea de distribución con pérdidas, las ecuaciones tienen que considerar también las pérdidas por resistencia y por conductancia [1].

1.2.5. Teoría de las ondas viajeras

Para el estudio de fenómenos transitorios en los sistemas de distribución de energía eléctrica, se requiere considerar algunos factores que permitan obtener una evaluación de las cantidades presentes. Cuando las ondas viajeras pasan de un medio de impedancia característica Z_1 , a un medio de impedancia característica diferente Z_2 , se presentan los fenómenos de reflexión y refracción de ondas viajeras. Los puntos de un sistema eléctrico, donde se producen estos fenómenos y se los denominan punto de transición o discontinuidades [18].

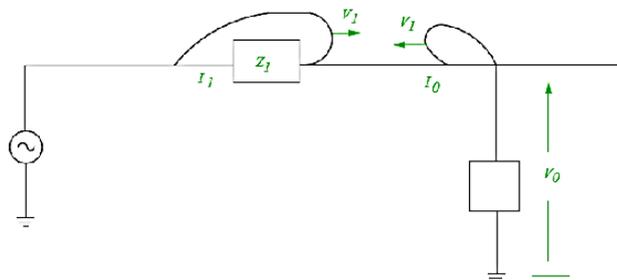


Figura 1.5: Representación de las ondas incidentes reflejadas y transmitidas en un punto de transición.

Fuente: [18].

1.2.6. Comportamiento de ondas viajeras en el estudio de propagación

Cuando trasciende una onda electromagnética a lo largo de una línea de distribución con una impedancia característica, existirá una relación fija entre voltajes y corrientes, pero si llegara a producirse una discontinuidad en el punto donde cambia dicha impedancia, sus condiciones normales de operación sufren alteraciones.

Para cada uno de los análisis correspondientes, se requiere de los índices de reflexión y transmisión que se presentan en los voltajes y corrientes, mismos que estarán presentes cuando las ondas se van propagando por la línea hasta que se encuentran con una discontinuidad. En esa discontinuidad la onda se dividirá en dos: una onda reflejada y otra onda transmitida.

Cuando la onda electromagnética asociada a la energización de la línea llega a un punto de discontinuidad, parte de la onda prosigue su camino y parte de la onda regresa por su conductor.

Supongamos una onda viajera de tensión que se propaga por una línea L1 y llega a un punto de unión de esa línea con otra línea L2 de distinta impedancia. Al llegar la tensión a la discontinuidad, la tensión en el punto de unión sufrirá una modificación por este efecto. Esa tensión se propaga a la línea L2, pues esa línea está conectada a ese punto. La propagación de esa onda de tensión por la línea L2 requiere de la circulación de una intensidad por la línea L2, pero como la impedancia de onda en la línea L2 es diferente que la de la línea L1, la intensidad de corriente I_E no puede ser igual que la intensidad I_R . Sin embargo, en todo punto del espacio se ha de cumplir la primera ley de Kirchhoff. Por tanto, la intensidad restante debe retornar a la fuente por la misma línea que llegó.

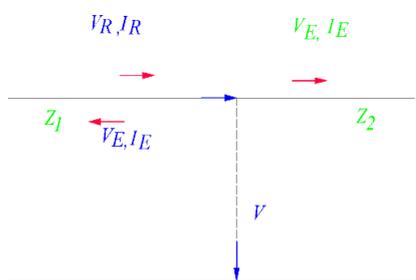


Figura 1.6: Voltajes y corrientes de la onda al atravesar un punto de discontinuidad.

Fuente: [19].

Cuando una onda viajera sufre una alteración por factores que cambian su comportamiento en sus voltajes y corrientes, se refleja una descomposición de la onda en su estado natural. Este comportamiento se produce por los parámetros

del circuito, como un terminal abierto, cortocircuitado, el cambio de impedancia en la línea y la unión de varias líneas en un mismo nodo.

La onda que produce una discontinuidad es llamada onda incidente y existen otras dos ondas que se generan por efecto de la misma discontinuidad son llamadas ondas reflejadas y refractadas.

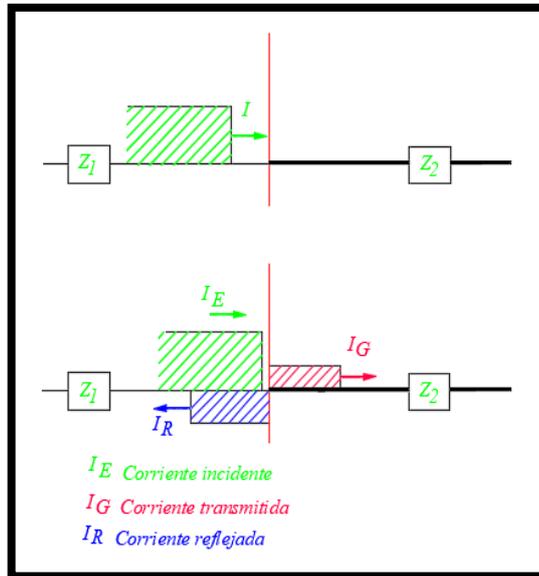


Figura 1.7: Distribución de corrientes en un determinado nodo.

Fuente: [19].

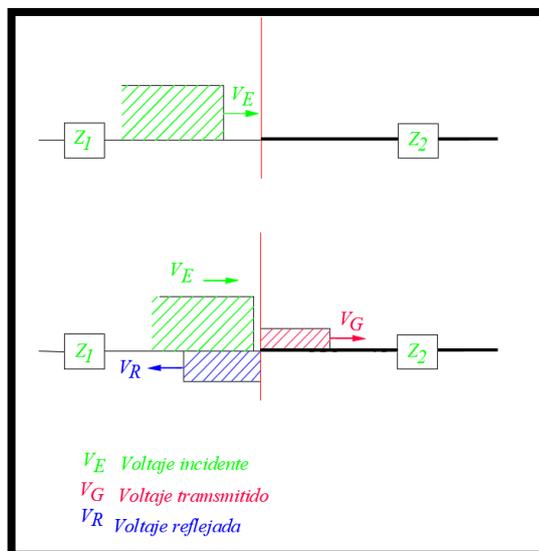


Figura 1.8: Distribución de voltajes en un determinado nodo.

Fuente: [19].

En la siguiente tabla se muestran los voltajes de reflexión y transmisión en función de índices y el voltaje incidente, estos voltajes también serán utilizados para el análisis de discontinuidad.

Tabla 2. Índices de reflexión y transmisión en voltajes y corrientes

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-----------|-------------------|-------------------|
| V_E | $V_R = r_v * V_E$ | $V_G = t_v * V_E$ |
| I_E | $I_R = r_v * I_E$ | $I_G = t_v * I_E$ |

Fuente: Los Autores

$$r_v = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad \text{Ec. (18)}$$

$$t_v = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad \text{Ec. (19)}$$

Donde:

V_E : Voltaje incidente

V_G : Voltaje de transmisión

V_R : Voltaje de reflexión

I_E : Corriente incidente

I_G : Corriente de transmisión

I_R : Corriente de reflexión

r_v : Índice de reflexión

t_v : Índice de transmisión

Z_1 : Impedancia característica de la línea 1 de distribución

Z_2 : Impedancia característica de la línea 2 de distribución

1.2.6.1. Línea de distribución con cambio en su impedancia

Cuando una onda de voltaje llega a un poste de distribución, donde existe una transición en el cambio del diámetro del conductor, se reflejará una diferencia en sus impedancias características, mismas que se expresan a la entrada y salida del nodo.

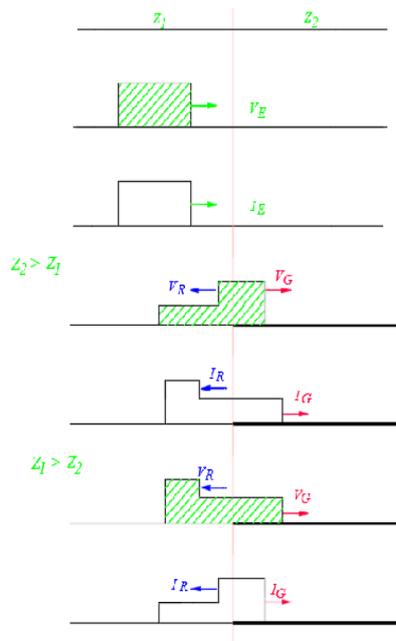


Figura 1.9: Desplazamiento de ondas viajeras en el cambio de impedancia de voltaje y corriente.

Fuente: [19].

El programa ATPDraw realiza el cálculo de las ecuaciones de reflexión y refracción para determinar los voltajes refractados y Voltajes de reflexión de la Figura 1.8 y Figura 1.9 con las ecuaciones Ec. (20) y Ec. (21)

$$V_G = V_E \left(\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) \quad \text{Ec. (20)}$$

$$V_R = V_E \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right) \quad \text{Ec. (21)}$$

En las ecuaciones Ec. (22) y Ec. (23), se puede realizar el análisis del valor de la corriente de reflexión y refracción de cada cambio de impedancia.

$$I_G = I_E \left(\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) \quad \text{Ec. (22)}$$

$$I_R = I_E \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right) \quad \text{Ec. (23)}$$

1.2.6.2. Línea abierta

Otro caso de estudio relevante para el efecto de ondas viajeras es línea abierta o circuito abierto. En el mismo se aplica las leyes de la reflexión y refracción, este caso se presenta debido a que existe una impedancia infinita Z al final de la línea, y para los efectos de reflexión y refracción se muestra en la figura 1.10.

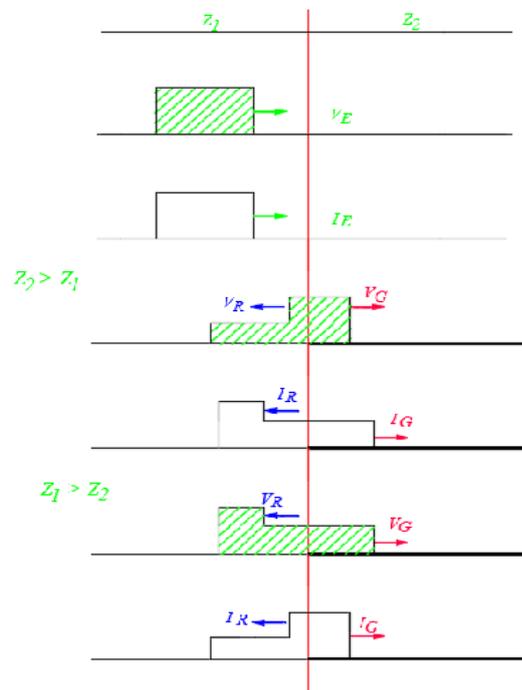


Figura 1.10: Desplazamiento de una onda en una línea abierta.

Fuente: [20].

El programa ATPDraw realizará el cálculo de las ecuaciones de reflexión y refracción de voltajes como se muestran en la Ec. 24 y Ec. 25.

$$V_G = 2V_E \quad \text{Ec. (24)}$$

$$V_R = V_E \quad \text{Ec. (25)}$$

En la Ec. 26 y Ec. 27 se puede realizar el análisis del valor de la corriente de reflexión y refracción de cada cambio de impedancia.

$$I_G = 0 \quad \text{Ec. (26)}$$

$$I_R = -I_E \quad \text{Ec. (27)}$$

1.2.6.3. Cortocircuito

Otro caso de estudio relevante para el efecto de ondas viajeras es el análisis en cortocircuito. En el mismo se aplica las leyes de la reflexión y refracción, este caso se presenta debido a que existe una impedancia Z nula al final de la línea que se encuentra conectada a tierra, como se muestra en la figura 1.11.

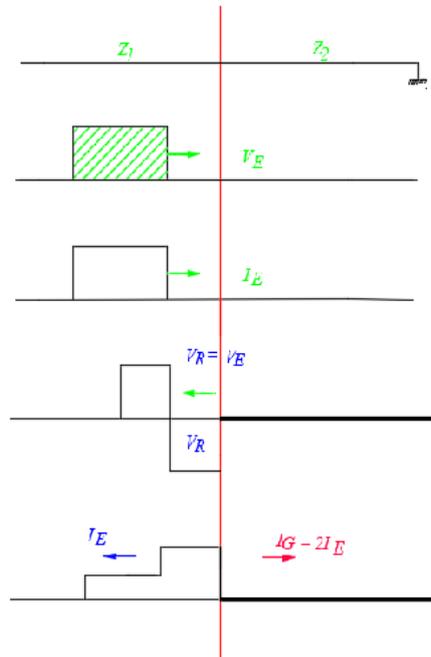


Figura 1.11: Desplazamiento de una onda en una línea en cortocircuito.

Fuente: [20].

El programa ATPDraw realizará el cálculo de las ecuaciones de reflexión y refracción de voltajes como se muestran en las Ec. 28 y Ec. 29.

$$V_G = 0 \quad \text{Ec. (28)}$$

$$V_R = -V_E \quad \text{Ec. (29)}$$

En la Ec. 30 y Ec. 31, se puede realizar el análisis del valor de la corriente de reflexión y refracción de cada cambio de impedancia.

$$I_G = 2I_E \quad \text{Ec. (30)}$$

$$I_R = I_E \quad \text{Ec. (31)}$$

1.2.6.4. Unión de varias líneas

Finalmente se tiene el caso de estudio en el cual las líneas de diferente impedancia se derivan, dicho suceso forma una onda reflejada que regresa a lo largo de la línea que previamente recorría. Las ecuaciones aplicables en el caso de que existieran tres derivaciones de diferente valor en sus impedancias se tienen lo siguiente:

$$Z_2 = \frac{Z_2' * Z_2'' * Z_2'''}{Z_2'' * Z_2''' + Z_2' * Z_2''' + Z_2' * Z_2''} \quad \text{Ec. (32)}$$

Para el caso de que todas las impedancias que pasan por un nodo sean similares se tiene la siguiente ecuación:

$$Z_2 = \frac{Z}{n} \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde n es el número de ramales que pasan por un nodo. En la siguiente figura se muestra los voltajes de reflexión y refracción.

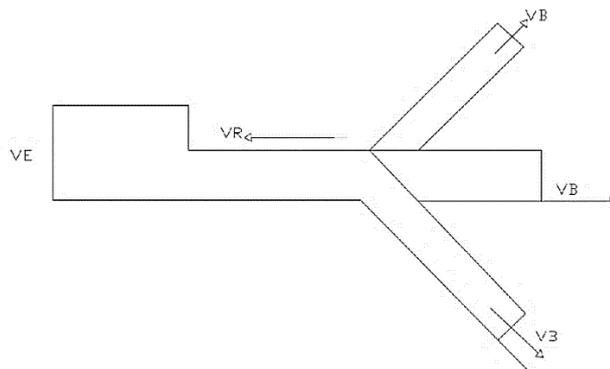


Figura 1.12: Desplazamiento de una onda en una unión de líneas.

Fuente: [20].

1.2.7. Modelos de líneas de transmisión

Las líneas de transmisión funcionan normalmente con cargas trifásicas equilibradas, aunque la disposición de los conductores no sea simétrica o tengan transposición. La línea de transmisión de energía es un circuito de constantes distribuidas, tiene resistencias, inductancias, capacitancias y conductancias, que se encuentran distribuidas a lo largo de toda su longitud, como se muestra en la Figura:

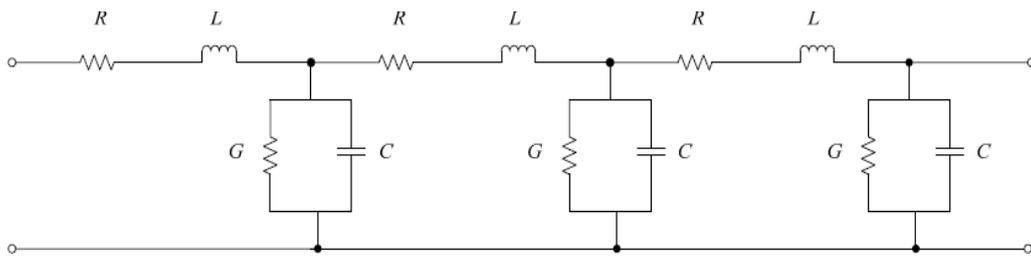


Figura 1.13: Modelo general de una línea de transmisión

Fuente: [21].

Las líneas cortas son modeladas como impedancias en serie, las medias son desarrolladas utilizando el modelo equivalente π , la teoría de líneas largas y muy largas, son dados con parámetros distribuidos. Para estos últimos modelos de líneas, definimos la constante de propagación y la impedancia característica.

Consideraciones sobre longitud de línea

Una línea de transmisión es considerada como; línea corta, línea media, línea larga y muy larga según la longitud de la línea.

- Líneas cortas si la longitud es menor a 80 Km.
- Líneas medias si la longitud esta entre 80 – 250 Km.
- Líneas largas si la longitud es mayor a 250 Km.
- Líneas muy largas si la longitud es mayor a 360 Km.

1.2.7.1. Modelo de línea corta

Se entiende como una línea de menos de 80 km. En estos casos se puede transmitir hasta 1,5 veces la potencia nominal.

Cuando la línea es clasificada como corta, la capacitancia en derivación es tan pequeña que se puede omitir por completo, con una pérdida pequeña y solo se requiere considerar la resistencia “R” y la inductancia “L” en serie para la longitud total de la línea.

El modelo de la línea corta, es representado por una impedancia serie como se muestra en la Fig. 3.1. La impedancia total de la línea, es obtenida multiplicando la

impedancia serie por la longitud de línea.

$$Z = (r + j\omega L) \cdot l \quad \text{Ec. (34)}$$

$$Z = R + jX \quad \text{Ec. (35)}$$

Donde:

Z = Impedancia total en serie.

r = Resistencia de fase por unidad de longitud.

L = Inductancia de fase por unidad de longitud.

l = Longitud de línea.

R = Resistencia total de línea.

X = Reactancia total de línea.

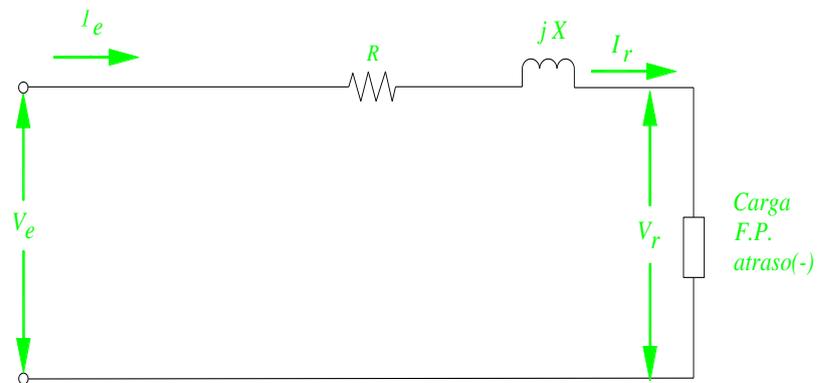


Figura 1.14: Modelo de línea corta

Fuente: [21].

Donde:

V_e, I_e : Voltaje y corriente de fase en la barra de emisión.

V_r, I_r : Voltaje y corriente de fase en la barra de recepción.

F.P: Factor de potencia ($\cos\phi$).

La Ec. de voltaje de emisión está dada por:

$$V_e = V_r + ZI_r \quad \text{Ec. (36)}$$

En un circuito de impedancia serie, la corriente de emisión es igual a la corriente de recepción.

$$I_e = I_r \quad \text{Ec. (37)}$$

1.2.7.2. Modelo de línea media.

Tiene entre 80 y 240 km y puede transmitir hasta 1,2 - 1,3 veces la potencia natural. Las corrientes que circulan en la capacitancia shunt o admitancia shunt no son despreciadas, como se muestra en la Figura.

Se puede representar con R y L como parámetros concentrados, por lo general se incluye la capacitancia pura, toda la admitancia se supone concentrada en el punto medio del circuito que representa a la línea, se dice que es un circuito T nominal, si la admitancia se supone dividida en dos partes iguales en los extremos de la línea se dice que el circuito es π nominal.

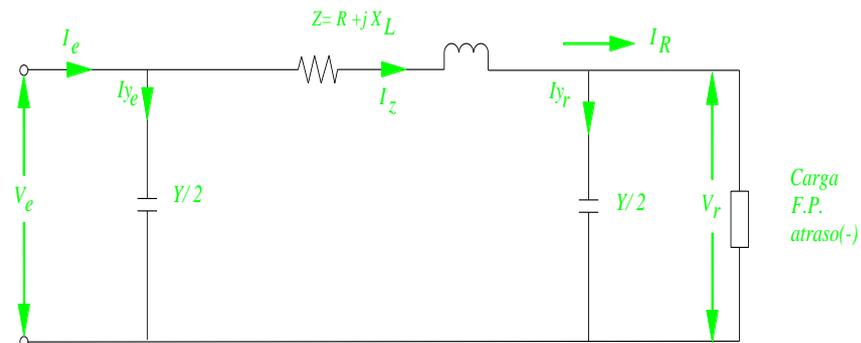


Figura 1.15: Modelo de línea media en π

Fuente: [21].

La admitancia shunt esta expresado por la siguiente ecuación:

$$y = (g + j\omega C).l \quad \text{Ec. (38)}$$

Donde:

g = Conductancia.

C = Capacitancia de la línea neutro.

l = Longitud de la línea.

Bajo condiciones normales, la conductancia shunt por unidad de longitud, representa la corriente de fuga sobre los aisladores, la cual es despreciable. También son llamadas pérdidas transversales.

$$g = 0 \quad \text{Ec. (39)}$$

La ecuación de la admitancia shunt, para línea media queda expresada:

$$y = (j\omega C).l \quad \text{Ec. (40)}$$

Para el Circuito T Nominal

La corriente en el extremo receptor es:

$$\vec{I}_P = \vec{I}_R + \vec{I}_C \quad \text{Ec. (41)}$$

$$\vec{I}_P = \vec{I}_R + \left(\vec{V}_R + \frac{Z}{2} \cdot \vec{I}_R \right) \cdot Y \quad \text{Ec. (42)}$$

$$\vec{I}_P = \vec{V}_R \cdot Y + \vec{I}_R \cdot \left(1 + \frac{Z}{2} \cdot Y \right) \quad \text{Ec. (43)}$$

El voltaje al principio:

$$\vec{V}_P = \vec{V}_R + \vec{I}_R \cdot \frac{Z}{2} + \vec{I}_P \cdot \frac{Z}{2} \quad \text{Ec. (44)}$$

$$\vec{V}_P = \vec{V}_R + \vec{I}_R \cdot \frac{Z}{2} + \vec{V}_R \cdot \frac{Y \cdot Z}{2} + \vec{I}_R \cdot \frac{Z}{2} + \vec{I}_R \cdot Y \cdot \left(\frac{Z}{2} \right)^2 \quad \text{Ec. (45)}$$

$$\vec{V}_P = \vec{V}_R \left(1 + \frac{Y \cdot Z}{2} \right) + \vec{I}_R \cdot \left(Z + \frac{Y \cdot Z^2}{4} \right) \quad \text{Ec. (46)}$$

Representación de un circuito t nominal

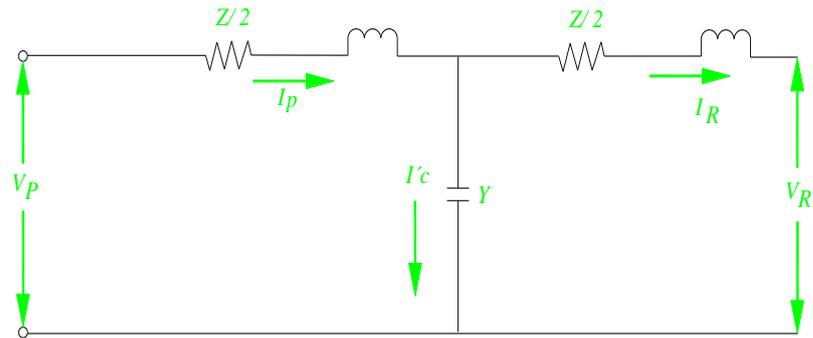


Figura 1.16: Representación de un circuito t nominal

Fuente: [21].

1.2.7.3. Modelo de línea larga y muy larga

Para este modelo es preciso tomar teóricamente un número considerado de fragmentos de línea para lo cual requiere de una solución apropiada para las ecuaciones diferenciales planteadas.

Tanto la impedancia y admitancia shunt son consideradas uniformemente distribuidas a lo largo de toda la línea. La naturaleza distribuida de las constantes de la línea de transmisión, considera el circuito que se muestra en la Fig., el cual representa una sección de línea de longitud dx .

$V(x)$ e $I(x)$, marcan el voltaje y la corriente en la posición x , los cuales se miden desde la derecha, o extremo receptor de la línea.

De modo semejante, $V(x + dx)$ e $I(x + dx)$ denotan el voltaje y la corriente en la posición $(x + dx)$.

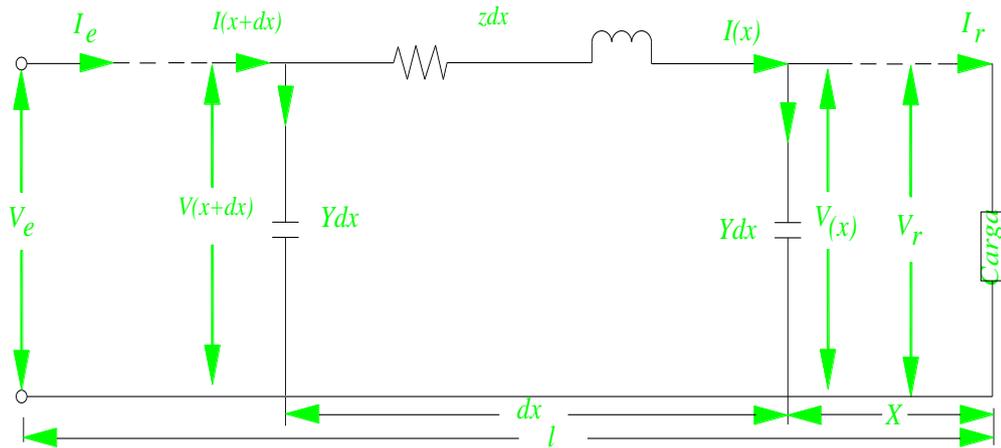


Figura 1.17: Línea larga con parámetros distribuidos

Fuente: [21].

$$Z = (r + j\omega L) \quad \text{Ec. (47)}$$

$$y = (g + j\omega C) \quad \text{Ec. (48)}$$

Por la Ley de tensiones de Kirchhoff (LKV), se tiene:

$$V(x + dx) = V(x) + (z \cdot dx) I(x) \quad \text{Ec. (49)}$$

Reacomodando los términos de la Ec. anterior, se tiene:

$$\frac{V(x+dx)-V(x)}{dx} = z \cdot I(x) \quad \text{Ec. (50)}$$

Y tomando el límite, cuando dx tiende a cero, se tiene:

$$\frac{dV(x)}{dx} = z \cdot I(x) \quad \text{Ec. (51)}$$

De igual manera, para la corriente por la Ley de Corrientes de Kirchhoff (LKC), se tiene:

$$I(x + dx) = I(x) + (y \cdot dx) \cdot V(x + dx) \quad \text{Ec. (52)}$$

Reacomodando los términos:

$$\frac{I(x+dx)-I(x)}{dx} = yV(x + dx) \quad \text{Ec. (53)}$$

Tomando el límite cuando dx tiende a cero, se tiene:

$$\frac{dI(x)}{dx} = y \cdot V(x) \quad \text{Ec. (54)}$$

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = z \frac{dI(x)}{dx} = zy \cdot V(x) \quad \text{Ec. (55)}$$

O bien,

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} - zy \cdot V(x) = 0 \quad \text{Ec. (56)}$$

$$V(x) = A_1 e^{yx} + A_2 e^{-yx} \quad \text{Ec. (57)}$$

En donde A_1 y A_2 son constantes de integración, la constante de propagación es una expresión compleja, dada por:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(r + j\omega L) \cdot (g + j\omega C)} \quad \text{Ec. (58)}$$

Donde:

γ = Constante de propagación y se mide en m^{-1}

α = Constante de amortiguación y se mide en nepers por unidad de longitud.

β = Constante de fase y se mide en radianes por unidad de longitud.

$$I(x) = \frac{1}{z} \frac{dV(x)}{dx} = \frac{y}{z} (A_1 e^{yx} - A_2 e^{-yx}) \quad \text{Ec. (59)}$$

$$I(x) = \sqrt{\frac{y}{z}} (A_1 e^{yx} - A_2 e^{-yx}) \quad \text{Ec. (60)}$$

$$I(x) = \frac{1}{z} (A_1 e^{yx} - A_2 e^{-yx}) \quad \text{Ec. (61)}$$

Donde Z_c , se conoce como impedancia característica, dada por:

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad \text{Ec. (62)}$$

Circuito equivalente π de una línea larga

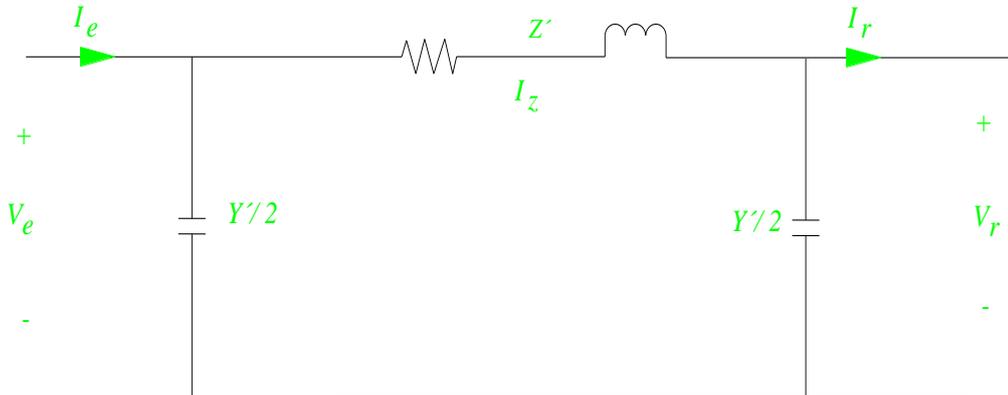


Figura 1.18: Circuito equivalente π

Fuente: [21].

$$V_e = \left(1 + \frac{Y'Z'}{2}\right) V_r + Z'I_r \quad \text{Ec. (63)}$$

$$I_e = Y' \left(1 + \frac{Y'Z'}{4}\right) V_r + \left(1 + \frac{Y'Z'}{2}\right) I_r \quad \text{Ec. (64)}$$

Longitud de onda

La longitud de onda es la distancia requerida para cambiar la fase de la tensión o de la corriente en 2π radianes o 360° . La ecuación está dada por:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad \text{Ec. (65)}$$

Cuando las pérdidas en la línea son ignoradas, se tienen $g=0$ y $r=0$, entonces la parte real de la constante de propagación $\beta = 0$ y las fases, está dada por:

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \quad \text{Ec. (66)}$$

La velocidad de propagación, está dada por:

$$v = \frac{\omega}{\beta} \quad \text{Ec. (67)}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{L.C}} \quad \text{Ec. (68)}$$

También se puede expresar la longitud de onda, como:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{Ec. (69)}$$

1.2.8. Transformación de Clarke

Para el análisis de sistemas de potencia usando las corrientes y tensiones de fase. Estas transformaciones son seleccionadas para simplificar el análisis tomando ventaja de relaciones específicas entre los parámetros trifásicos del sistema o relaciones específicas entre las señales de fase. La transformación más común utilizada en análisis de sistemas de potencias para análisis de falta es la de componentes simétricas. Sin embargo, las componentes simétricas se aplican a fasores tanto de corriente como de tensión y no a los valores instantáneos de tensión y corriente de onda viajera.

La transformada de Clarke. Se puede definir los componentes de la fase de corriente, referidos a la fase A mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{pmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{pmatrix} = T_C^{-1} \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (70)}$$

Las tres componentes están referidas a las ondas de corriente propagadas a través de los conductores aéreos (I_α , I_β) y a la onda de corriente que se propagaría por tierra. Si las corrientes iguales fluyen por los conductores A, B y C y vuelven a tierra, solo la componente cero está excitada. Si todas las corrientes fluyen en la fase A y la mitad vuelve en B y la otra mitad en C, entonces solo la componente alfa está excitada. Si todas las corrientes fluyen por la fase B y regresan en C, entonces solo la componente beta está excitada.

Los componentes de Clarke calculados con referencia de la fase A trabajan correctamente para faltas monofásicas a tierra, entre la fase A y tierra, y para faltas bifásicas entre las fases B y C, pero no trabajarán óptimamente para otro tipo de faltas.

Para cubrir todo tipo de faltas, se puede utilizar los tres conjuntos de componentes de Clark:

$$\begin{pmatrix} I_O^A \\ I_\alpha^A \\ I_\beta^A \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (71)}$$

$$\begin{pmatrix} I_O^B \\ I_\alpha^B \\ I_\beta^B \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -\sqrt{3} & 0 & \sqrt{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (72)}$$

$$\begin{pmatrix} I_O^C \\ I_\alpha^C \\ I_\beta^C \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 2 \\ \sqrt{3} & -\sqrt{3} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (73)}$$

La necesidad de tener que trabajar con tres conjuntos de componentes hace que la transformada de Clarke sea menos conveniente frente a las componentes simétricas a la hora de analizar el dominio de la frecuencia, pero, debido a que no se pueden utilizar las componentes simétricas para analizar transitorios de ondas viajeras se tiene que confiar en las componentes de Clarke, a pesar de la necesidad de tres series de cálculo.

Las componentes alfa son apropiadas para analizar ondas viajeras, provocadas por fallas monofásicas a tierra y los componentes de beta son para fallas bifásicas.

Para cada secuencia los valores de impedancia característica, atenuación y dispersión son diferentes. Como ya se sabe la velocidad de propagación, la dispersión y la atenuación son parámetros claves cuando se selecciona el modo para la localización de las fallas por onda viajera.

La secuencia cero es la menos apropiada para la localización de fallas por onda viajera, debido a que tiene mayor atenuación y dispersión que las ondas de corriente

propagadas a través de los conductores, debido a mayores pérdidas en la tierra que en los conductores. Esto deja 6 componentes de Clarke aéreos para trabajar con: alfa y beta, cada uno referido a las fases A B y C [12].

1.2.8. Diagrama de Lattice

El diagrama de Lattice o conocido como el diagrama de celosía, el cual se utiliza para mostrar la posición, la dirección de la onda viajera a través del tiempo. La finalidad que tiene dicho diagrama es de verificar que existe un punto de falla que se da a lo largo del tiempo y sucede en una discontinuidad.

En la siguiente Figura se muestra el comportamiento de Lattice cuando ocurre una falla entre dos nodos de una línea de distribución, denominados nodo de envío y de recepción. En el instante en el que se produce la falla, se generan ondas transmitidas y ondas reflejadas. La onda de voltaje (V_a) se propaga hacia la terminal (A), recorriendo una distancia (d_a) en un determinado tiempo (t_{a1}), y la otra onda de voltaje (V_b) se extiende hacia el terminal B, recorriendo una distancia (d_b) en un tiempo (t_{b1}). Cuando se llega al terminal B significa que la onda de voltaje es reflejada, la cual llega al punto de falla regresando en un tiempo (t_{b2}). Como consecuencia la otra onda es refractada y se dirige al terminal A en un tiempo (t_{a2}) [2].

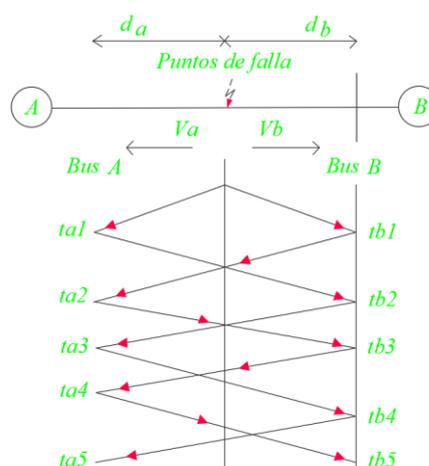


Figura 1.19: Esquemización del diagrama de Lattice

Fuente: [2].

Cuando la onda viajera en una línea de distribución alcanza un punto más allá de la línea que tiene las mismas características en el conductor es diferente, una parte de la onda es reflectada de vuelta a lo largo de la línea y la otra parte pasa a la nueva sección.

Considere una unión entre 2 líneas, cuyas impedancias son diferentes. Se tiene una tensión y una corriente relativa a la impedancia.

Para determinar las reflexiones sucesivas, se utiliza una técnica gráfica que muestra la posición y dirección de cada onda viajera en el tiempo, denominado diagrama Lattice.

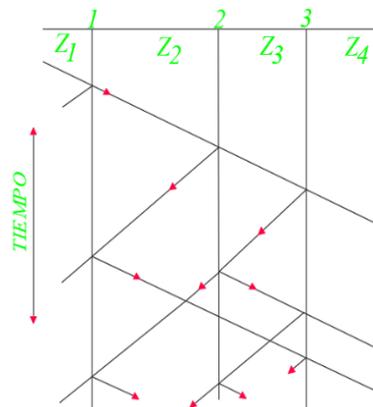


Figura 1.20: Diagrama de Lattice representando sucesivas reflexiones.

Fuente: [21].

El diagrama de Lattice se utiliza para graficar las relaciones tiempo espacio de ondas en una red con diferentes discontinuidades.

La representación del diagrama en espacio y tiempo, se analizan qué ocurre cuando, el interruptor cierra y energiza una línea sin carga en serie con un transformador de distribución que se encuentra sin ninguna carga, con una impedancia característica baja [21].

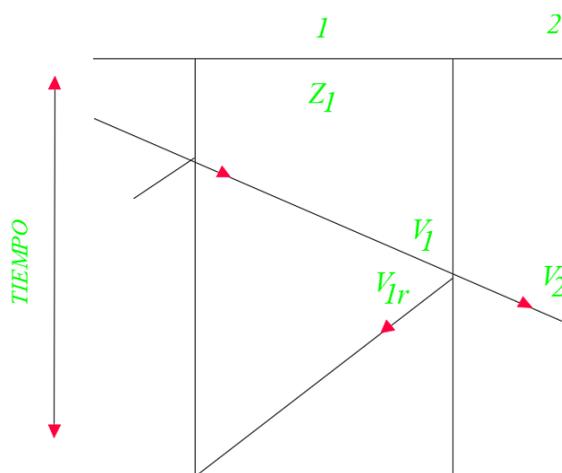


Figura 1.21: Diagrama de Lattice para reguladores de voltaje.

Fuente: [21].

La Teoría de Onda Viajera y Diagramas de Lattice puede ser analizado por la inserción de reguladores de voltaje que se utiliza en la reducción de sobrevoltajes causados por maniobras en los sistemas de distribución, cuando existe un punto de transición entre la línea de distribución y los reguladores de voltaje que son utilizadas para reducir los transitorios por maniobra de cierre cuando un interruptor energiza una línea, banco de capacitores en paralelo o transformador.

1.2.9. Sobrevoltajes

Se define como sobretensión a todo incremento de voltaje que pone en peligro el transporte de energía eléctrica a través de las líneas de transmisión y con ello provocar la falta de suministro de energía a los usuarios finales.

La relación entre la sobretensión y la tensión de servicio se llama factor de sobretensión y viene expresado por:

$$K_s = \frac{U_s}{U} \quad \text{Ec. (74)}$$

Las sobretensiones pueden producir descargas que además de destruir o averiar seriamente el material, también pueden ser la causa de nuevas sobretensiones; muchas veces los peligros de sobretensiones no se deben solamente a su magnitud, sino también a su forma de onda.

1.2.9.1. Sobrevoltajes de origen internas

Estos sobrevoltajes están provocados por fenómenos dependientes de los elementos de la instalación. Están producidas por modificaciones de estado en las redes, que pueden resultar de la presencia de defectos o de maniobras de acoplamiento [22].

Las sobretensiones de origen interno pueden clasificarse en dos grandes grupos, que estudiaremos separadamente:

1.2.9.2. Sobrevoltajes de maniobra

Están producidas por los bruscos cambios de estado de una red, a causa de maniobras normales de acoplamiento de redes, conexión y desconexión de disyuntores, etc. estando la instalación a plena marcha. En resumen, cuando un sistema con resistencia óhmica, inductividad y capacidad pasa bruscamente de un régimen permanente a otro régimen permanente distinto. Por lo tanto, se trata de fenómenos transitorios y la transición de uno a otro régimen permanente va siempre acompañada de ondas de tensión que tienen un carácter oscilatorio amortiguado, desapareciendo cuando han pasado algunos periodos, a causa de las resistencias óhmicas, las corrientes de Foucault, etc. que actúan como amortiguadores de las ondas [22].

La, representa lo que ocurre en los primeros instantes cuando un conductor no sometido a tensión ni a corriente se pone bruscamente en comunicación con un circuito de corriente alterna, de tensión U ; este sería el caso, por ejemplo, de un disyuntor que cierra sobre la red una línea con carga nula.

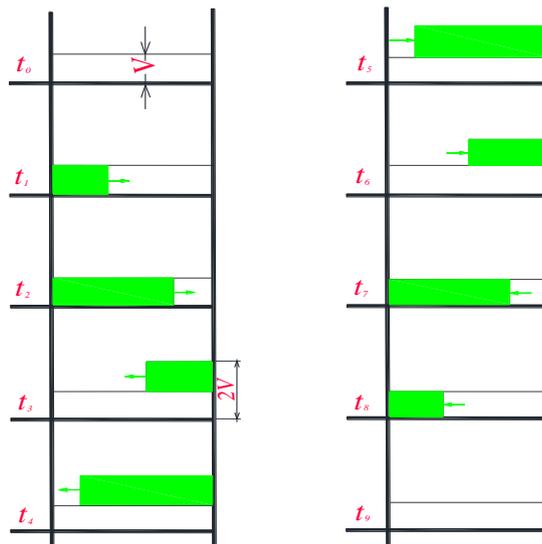


Figura 1.22: Características de la onda de tensión producida, cuando un conductor no sometido a tensión ni a corriente, se pone bruscamente en comunicación con un circuito de corriente alterna bajo tensión.

Fuente: [22].

Cuando se desconecta un cortocircuito por medio de un disyuntor, las sobretensiones que aparecen no son peligrosas. Pero si se conectan y desconectan líneas funcionando en vacío, las cuales se comportan como condensadores, debido a la reactancia de dispersión de generadores y transformadores nacen sobretensiones oscilantes que pueden alcanzar un valor 3 veces mayor que el de la tensión de servicio. Estas sobretensiones son debidas a reencendidos en el arco cortado por el disyuntor. Efectivamente, en caso de desconexión de una línea, el disyuntor interrumpe en el momento en que la corriente es nula, es decir, cuando la tensión alcanza, precisamente su valor máximo. Mientras que la tensión de la línea seccionada conserva este valor, la tensión de alimentación comienza a oscilar a la frecuencia de servicio [22].

1.2.9.3. Sobrevoltajes de servicio

También se producen sobretensiones cuando se modifica el régimen permanente de una red por causas tales como variaciones repentinas de la tensión, descargas atmosféricas, cortocircuitos, derivaciones a tierra, etc.

Cuando se produce un cortocircuito se origina una sobretensión expresada por la Ec. 75.

$$u = I_{cc} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Ec. (75)}$$

Procedente de la transformación de la energía magnética potencial en energía eléctrica:

$$W_M = \frac{1}{2} i^2 \quad \text{Ec. (76)}$$

$$W_C = \frac{1}{2} C E^2 \quad \text{Ec. (77)}$$

Las perturbaciones del estado eléctrico por efecto de descargas atmosféricas producidas cerca de los conductores también determinan ondas de sobretensión. Estas ondas corren por la línea en ambos sentidos, desde el punto donde se inician. Todos los cambios de dirección de los conductores, los aisladores de entrada, los arrollamientos de los transformadores de medida, los arrollamientos de generadores y transformadores, etc., son otros tantos puntos donde las ondas viajeras se reflejan parcial o totalmente, duplicando su altura. Si la estructura del circuito atravesado por estas ondas ocasiona varias reflexiones, puede ocurrir que la altura de la sobretensión exceda en mucho del doble de la tensión de trabajo, lo cual representa un evidente peligro para el aislamiento de la instalación. Los casos más desfavorables se presentan cuando los diferentes trozos de una línea tienen capacidades muy distintas entre sí [22].

1.2.9.4. Sobrevoltajes de origen externo

Las tensiones anormales o sobretensiones y pueden clasificarse según su origen, estas se clasifican en las siguientes:

Inducción Electrostática

Sabemos que un conductor cargado de electricidad obra inductivamente sobre otro cercano de tal modo que los elementos del primero situados en la proximidad del

segundo y cargados con electricidad de cierto signo atraen a los del otro de signo contrario. Por lo tanto, si tal como se representa en la figura siguiente, una nube cargada positivamente se aproxima a una línea eléctrica induce en ésta, cargas eléctricas de signo contrario, es decir, en nuestro caso de signo negativo. Por el momento todavía no hay sobretensiones, ya que la nube se acerca lentamente a la línea y la carga eléctrica del mismo nombre, sobre la línea, queda repelida, evacuándose a tierra por medio de transformadores de tensión puestos a tierra, de bobinas de contacto a tierra, etc.

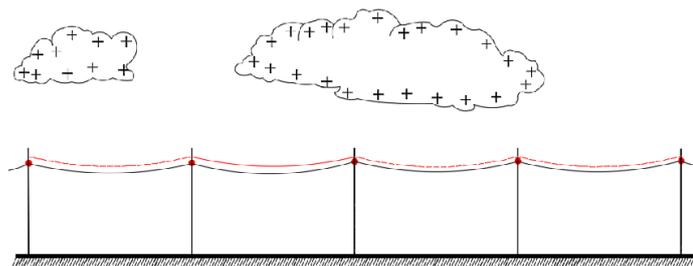


Figura 1.23: Efecto de una nube cargada positivamente sobre una línea aérea.

Fuente: [22].

Descargas Directas

Se denomina descarga directa o rayo a la que se produce en caso de tormenta entre nube y nube o entre nube y tierra. Está caracterizada por las enormes tensiones puestas en acción, por las elevadas intensidades y por su pequeñísima duración. El origen del rayo no está, ni con mucho, bien estudiado, debido, entre otras causas porque la rapidez con que se produce este fenómeno hace muy difícil su estudio. Podemos, sin embargo, intentar una explicación a dicho fenómeno. La atmósfera contiene siempre iones positivos y negativos; con buen tiempo, predominan los iones positivos. La masa terrestre está cargada negativamente y con el exceso positivo de la atmósfera constituye el campo eléctrico del aire [22].

Las tormentas sobrevienen cuando en la atmósfera se interponen capas de aire húmedo entre el suelo y otras capas superiores más frías, lo que produce corrientes de aire húmedo y caliente violentamente impulsado hacia arriba en remolinos, con enfriamiento y formación de nubes por condensación parcial del vapor de agua

contenido en el aire. Parece ser que la acumulación de cargas eléctricas está causada por el rozamiento de las gotas de lluvia con el aire de la atmósfera y, en menor grado, por la fragmentación de las gotas grandes de agua en gotas más pequeñas.

De esta forma, el conjunto nube-tierra viene a resultar como las dos placas de un condensador que se va cargando cada vez más. Cuando la intensidad del campo eléctrico se hace suficientemente elevada (unos 500 kV/m), el condensador así formado se descarga casi instantáneamente, originándose el rayo o descarga directa entre la nube y la tierra o, en otros casos, entre nubes cargadas con distinto signo [22].

Efectos de inducción producidos por descargas atmosféricas

En el proceso de formación del rayo, se producen numerosas descargas entre nubes con cargas de signos contrarios, o entre nubes y tierra, además de resistencia óhmica, todo circuito eléctrico tiene autoinducción y capacidad, por lo que al descargar un rayo en la proximidad de un conductor o producirse una descarga entre las nubes que se hallen sobre él, se modifica el estado eléctrico del conductor, induciéndose en él, tensiones de carácter oscilante, las cuales provocan la producción de considerables sobretensiones.

Por otra parte, los rayos presentan muchas veces, numerosas ramificaciones, y estas descargas laterales actúan induciendo también sobretensiones. Finalmente, hay que tener en cuenta que la corriente de descarga produce líneas de fuerza que, según la dirección de la descarga con relación al conductor, inducen en éste tensiones de magnitud variable. Al contrario de lo que ocurriría con otras causas de sobretensión, la debida a ésta que estamos estudiando tiene carácter oscilante [22].

$$u = I_{cc} \sqrt{\frac{L}{C}} W_M = \frac{1}{2} i^2 W_C = \frac{1}{2} C E^2 \quad \text{Ec. (78)}$$

1.2.10. Modelación de la investigación mediante los softwares de simulación

1.2.10.1. GEODATABASE (ArcGIS)

La tecnología de referencia en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se aplica en diversos campos de la ingeniería. De manera particular en la Ingeniería Eléctrica se utiliza para almacenar y actualizar datos de los diferentes equipos que conforman un sistema eléctrico de Transmisión, Subtransmisión y distribución. En este programa se representan los alimentadores, en un sistema geo referenciado, y además se maneja una base de datos muy amplia, donde se consignan los datos técnicos de las redes y sus equipos, por lo que permite realizar consultas, además de producir y exportar reportes.

La metodología GIS permite la gestión de la información espacial. Su diseño e implementación favorece a su vez separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla como se puede observar en la Figura 1.24.

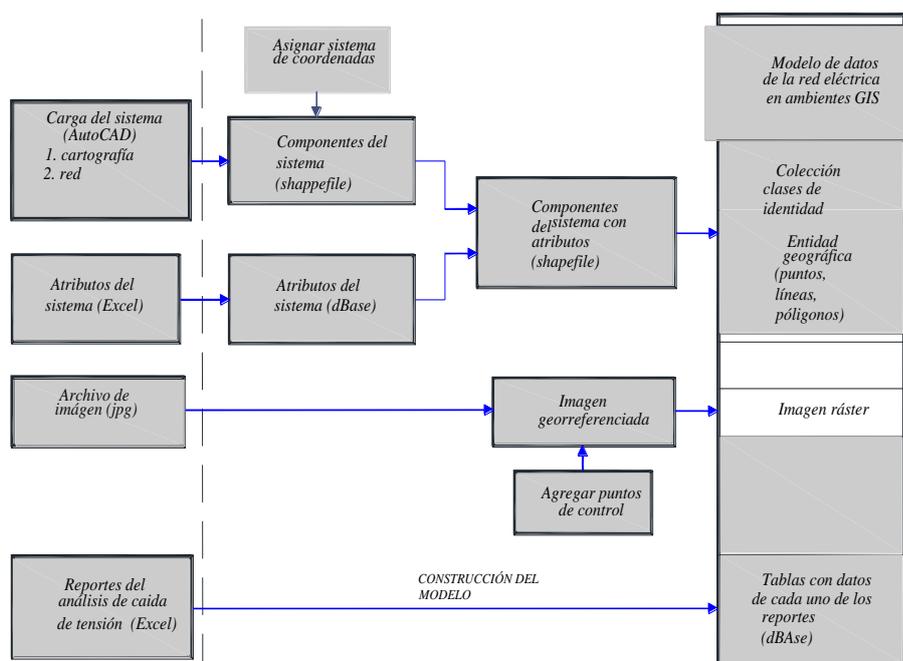


Figura 1.24: Resumen con pasos de construcción del modelo completo en GIS.

Fuente: [22].

El GIS es más que documentar y mapear la red, pues es posible hacerlo parte de cada una de las áreas de la empresa, pudiendo tener aplicaciones direccionadas al área comercial, mantenimiento de redes, calidad de suministro, cálculo del valor de las instalaciones, operaciones, ingeniería, planificación, entre otros.

1.2.10.2. CYMDIST

Es un programa que permite realizar el análisis de redes eléctricas, posee herramientas avanzadas de simulación en redes eléctricas de transporte, distribución e industriales para poder saber el comportamiento de las mismas. CYMDIST fue diseñado para la planificación y explotación de redes eléctricas; permite evaluar de forma precisa y verificar el impacto de cambios o reconfiguraciones hechas a la red en su estado actual o futuro.

La interfaz unificada y clara del programa CYMDIST cubre un amplio espectro de análisis que permiten realizar simulaciones en cualquier configuración de red, como pueden ser flujo de potencia, cortocircuito, estabilidad transitoria, armónicos, análisis de contingencias, análisis de riesgos por sobretensiones atmosféricas, arranque de motor, coordinación de los dispositivos de protección, etc.

1.2.10.3. ATPDraw

La versión ATPdraw es un programa que permite analizar mediante la simulación de fenómenos transitorios electromagnéticos y electromecánicos calculando el valor que adquieren en un determinado tiempo. Estos fenómenos se producirán en Líneas de Transmisión, Subtransmisión y Distribución.

El software permite el análisis de sistemas eléctricos de tipo monofásico y trifásico. Trabaja con modelos que caracterizan el comportamiento de sus distintos elementos constitutivos: resistencias, inductancias, capacitancias, elementos de parámetros concentrados y/o distribuidos; máquinas, interruptores, etc.

1.3. Fundamentación Metodológica

Dentro de los conceptos de optimización y mejora de redes de distribución, existen diferentes aspectos técnicos a considerar, principalmente asociados a mantener niveles de voltaje adecuados en toda su longitud.

Sin embargo, el criterio técnico de este diseño, cada vez se vuelve y debe volverse más amplio, al considerar otras aristas de inconvenientes técnicos resultantes de fenómenos eléctricos internos y externos de los sistemas. Es así que, dentro de un análisis general de un alimentador, se considerarán los efectos definidos por la teoría de ondas viajeras, en cuanto a su impacto en la operación del sistema y en eventos, como descargas atmosféricas, dentro de su entorno eléctrico.

En esta parte del proyecto de investigación se hace referencia a los métodos, técnicas y procedimientos; los cuales permitirán alcanzar mediante la simulación del alimentador para ver el comportamiento del mismo.

1.3.1. Tipo de Investigación

1.3.1.1. Investigación de Campo

Con este tipo de investigación se dará lugar a la implementación de un analizador de energía, para obtener datos de la demanda, potencia, voltajes y corrientes, del alimentador, que permitirá el análisis respectivo, para la determinación del efecto que produce el cambio de impedancia de cada una de las fases donde se están produciendo ondas viajeras, para su posterior análisis.

Además, el estudio de los niveles de sobrevoltajes causados por las descargas atmosféricas en el alimentador A 2/14 Multitud-Cumandá y con ello se determinará el número de desconexiones e interrupciones anuales por medio de la detección de fallas a lo largo de los 55 km de este alimentador.

1.3.2. Métodos de Investigación

1.3.2.1. Método Cuantitativo

Con este método se logrará probar la hipótesis formulada con base en mediciones realizadas previamente en el alimentador A 2/14 Multitud-Cumandá y asociarlo a la teoría de ondas viajeras, para caracterizar los fenómenos observados en las mediciones.

1.3.3. Técnicas de Recolección de datos

1.3.3.1. Análisis Documental

Datos históricos del comportamiento del alimentador

1.3.3.2. Mediciones

Los parámetros recogidos en los análisis de red son:

- Sobretensiones
- Factor de Potencia
- Frecuencia
- Potencias
- Voltaje
- Corriente.

1.3.4. Procedimientos empleados en el proyecto de investigación

Con el estudio integral realizado en el alimentador A 2/14 Multitud Cumandá, y una vez se verifique la convergencia del análisis teórico y práctico, se pueda expandir la aplicación de este estudio en diferentes alimentadores donde que existan similares características ambientales y geográficas y con ello pueda servir como modelo base para otros estudios.

1.3.5. Análisis de la información

La información se la recopila de diferentes fuentes de información técnica disponibles de la Empresa Eléctrica Riobamba, que inicia por la topología y características del tendido eléctrico, continua por las simulaciones eléctricas realizadas, histórico de eventos y de características de ellos, entre otras de carácter técnico y económico.

Para cada una de las etapas del presente estudio: Modelación, simulación, análisis, propuesta de resultados y evaluación económica, se utilizará diferentes fuentes de información, que se describirán en sus respectivos acápite.

1.4. Conclusiones del Capítulo I

El propósito de los estudios de ondas viajeras es analizar el comportamiento de un sistema eléctrico de distribución ante contingencias, perturbaciones y/o eventos transitorios y con base en estos estudios determinar las acciones que habrán de tomarse para permitir al sistema afrontar la ocurrencia de dichos eventos producidos por el cambio de impedancia en los diferentes tramos del alimentador y las consecuencias que estos fenómenos provocan a todo el sistema de distribución.

La Reflexión es un fenómeno que se produce cuando las ondas viajeras se desplazan a través de los conductores que ocasionan alteraciones transversales y longitudinales, se aplicara un nodo de transmisión, los mismos que no permitirán pérdidas en el sistema generando que la corriente cargue los elementos que se encuentran presentes en el sistema y la alta impedancia producida entre la Transición con derivación aérea – subterránea permite que se produzca altas impedancias en línea de media tensión, provocadas por ondas viajeras.

El modelo de línea utilizado para el estudio de ondas viajeras es de línea corta ya que la longitud del alimentador es de 53,55 Km, la capacitancia en derivación es muy pequeña y por ende se logra omitir por completa en la modelación matemática y solo se requiere considerar los valores de resistencia e inductancia en serie para la longitud total de la línea.

CAPITULO II. PROPUESTA

2.1. Análisis de Ondas viajeras

Con el propósito de optimizar el sistema de distribución en estudio: evaluando y modificando las estructuras topológicas del alimentador primario. En el estudio se involucra a la subestación de distribución Multitud y del análisis se determina la condición actual del alimentador, evaluando las pérdidas técnicas, carga instalada, densidad de carga, demandas, conductores sobrecargados y diferentes calibres. Con el simulador de primarios de distribución CYMDIST, se puede hacer el análisis de la situación actual pero lo más importante se puede simular en el estado reconfigurado y de esta manera poder comparar con el estado actual, y así poder observar si el sistema actual ha mejorado.

De la evaluación del estado actual del sistema de distribución en estudio, se proceden a realizar cambios como la variación en la frontera de servicio del primario mediante la ubicación de seccionadores, transferencia de carga, cambios de calibres en zona con sobrecarga.

Respecto al análisis de las ondas viajeras dentro del sistema eléctrico, se parte de la Reflexión, que es un fenómeno que se produce cuando las ondas viajeras se desplazan a través de los conductores que ocasionan alteraciones transversales y longitudinales, se aplicará a un nodo de subtransmisión, los mismos que no permitirán pérdidas en el sistema generando que la corriente cargue los elementos que se encuentran presentes en el sistema. La alta impedancia producida entre la Transición con derivación de cambio de impedancia, permite que se produzca altas impedancias en línea de media tensión, provocadas por ondas viajeras.

El análisis teórico y validación práctica, permitirá la caracterización de varios fenómenos identificados en la empresa eléctrica, pero que no han podido ser solventados.

Otro tipo de software que se utilizará dentro del estudio es el ATPDraw, el mismo que nos permitirá, detectar ondas viajeras producidas por el cambio de impedancia

tanto en la troncal del alimentador como en sus derivaciones, las mismas que producirán sobrevoltajes en cada uno de los nodos del sistema de distribución. Se verificará el comportamiento de ondas de voltaje y corrientes, con fuentes continuas y alternas.

2.1.1. Información Requerida

La topología de la red, la distribución geográfica, la demanda de energía y potencia medida a diferentes niveles del sistema, y en diferentes instantes; datos que permitan analizar al sistema para definir perfiles de voltaje, flujos de carga, pérdidas y capacidad de los elementos. Comprenden a los sistemas de distribución primaria en cada uno de sus elementos.

La utilización de programas computacionales para análisis de sistemas de transmisión, subtransmisión tienen dificultades que se encuentran para estructurar una información clara y precisa de acuerdo a la realidad. Lo mismo sucede en un sistema primario de distribución.

2.1.2. Parámetros Eléctricos

Los parámetros necesarios para el análisis se concretan en las impedancias de las líneas y los equivalentes a nivel de subestación, que resultan simples de obtener a partir de las distancias, configuración y calibres.

2.1.3. Distribución de cargas

Para la distribución de las cargas la dificultad está definida por las demandas en los diversos puntos del alimentador. Se puede emplear la demanda medida sobre el primario a nivel de subestación y repartirla, sobre la base de la energía suministrada por las diferentes áreas servidas o en función de los kVA instalados en transformadores. Por lo tanto, se debería contar con la distribución de energía por transformador o por sector de primario, demanda máxima por primario, factor de potencia y potencia de transformadores instalados en cada sector del primario para lograr definir demandas distribuidas a lo largo del alimentador.

2.1.4. Mediciones de Voltaje realizadas en los puntos de interés

La información obtenida en los flujos de potencia y los valores obtenidos en mediciones en el campo se procede a comparar, por este motivo se realizaron mediciones de voltaje en algunos puntos del alimentador:

Tabla 3. Mediciones de voltaje realizadas en el poste 62135

| Medición voltaje en Poste 62135 | | | |
|--|---------|---------|---------|
| Poste de servicio a Granja Avícola Granda Zúñiga | | | |
| HORA | Fase A | Fase B | Fase C |
| 16:45 | 7.56 kV | 7.82 kV | 7.98 kV |
| 19:30 | 7.20 kV | 7.57 kV | 7.72 kV |
| Flujo potencia | 7.31 kV | 7.39 kV | 7.77 kV |

Fuente: Los Autores

Tabla 4. Mediciones de voltaje realizadas en el poste 123287

| Medición voltaje en Poste 123287 | | | |
|----------------------------------|---------|---------|---------|
| HORA | Fase A | Fase B | Fase C |
| 20:00 | 7.10 kV | 7.53 kV | 7.72 kV |
| Flujo potencia | 7.19 kV | 7.26 kV | 7.75 kV |

Fuente: Los Autores

Tabla 5. Mediciones de voltaje realizadas en el poste 97510

| Medición voltaje en Poste 97510 | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| Sector Cascajal previo a reguladores | | | |
| HORA | Fase A | Fase B | Fase C |
| 20:30 | 7.01 kV | 7.50 kV | 7.70 kV |
| Flujo potencia | 7.08 kV | 7.13 kV | 7.73 kV |

Fuente: Los Autores

Los resultados obtenidos en los flujos son similares a los obtenidos en mediciones, mientras que en el punto de mayor caída de voltaje en la fase A se obtuvo 7.08 kV en el flujo, en un lugar cercano se obtuvo 7,01 kV de acuerdo con las mediciones en campo, la variación se puede deber a que las condiciones en el momento de medición no coinciden con las del modelamiento del alimentador.

2.2. Descripción de la propuesta

Mediante el análisis de ondas viajeras en el Alimentador 2/14 (Multitud-Cumandá) se podrá identificar el efecto teórico del impacto en un sistema eléctrico con derivaciones de los conductores de diferente impedancia. Además, se analizará

desde la parte práctica, los diferentes efectos encontrados en el análisis, que causan un impacto significativo en la operación del sistema. Adicionalmente, se realizará un análisis paralelo, para identificar dentro de esta misma teoría, que las soluciones también aportarán a reducir las pérdidas y caídas de voltaje en los sectores más alejados y con ello mejorar la calidad del servicio eléctrico en la localidad.

El sistema de subtransmisión de los cantones del sur de la provincia Guamote, Alausi, Chunchi y Cumanda presenta una configuración radial, a través de las subestaciones N°06 (San Juan Chico), N°07 (Cajabamba), N°08 (Guamote), N°09 (Alausí), N°10 (Chunchi), N°14 (Multitud).

Se tiene una longitud aproximada de 128 km en líneas de subtransmisión a 69 kV; y alrededor de 4.000 km en alimentadores primarios.

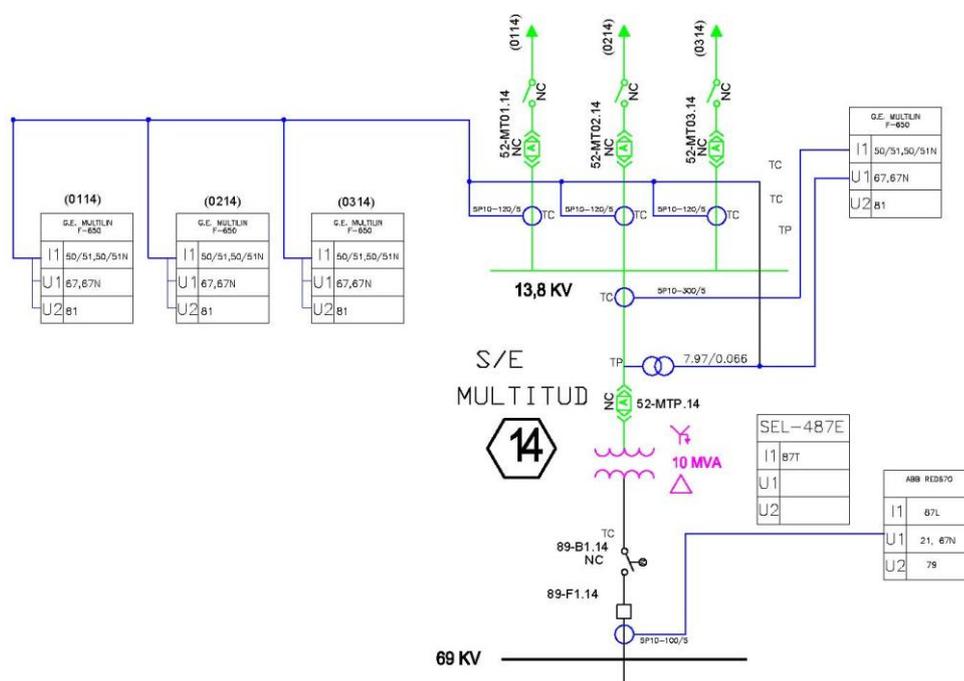


Figura 2.1: Diagrama Unifilar S/E N °14

Fuente: [Departamento Planificación E.E.R.S.A].

La subestación Multitud inició su operación en el año 2010, la misma que cuenta con un transformador de potencia 10 kVA con un voltaje en el primario 69 kV y en el secundario a 13,8 kV, se encuentra en la parroquia Multitud del cantón Alausi,

consta de tres alimentadores, como se aprecia en el diagrama unifilar de la Figura 2.1: 1500140T01 (0114) Multitud-Pallatanga, 1500140T02 (0214) Multitud-Cumanda, 1500140T03 (0314) Multitud-Multitud.

El alimentador parte de la subestación Multitud N°14, recorriendo aproximadamente 53,55 Km es uno de los más extensos, la demanda de este alimentador es de alrededor de 1500 kVA.

La topología del alimentador consiste en un troncal trifásico que arranca con conductor ACSR 3/0 AWG hasta el poste 72124, una distancia aproximadamente 4,23 Km, posteriormente el conductor disminuye de calibre a ACSR 1/0 AWG hasta el poste 72923 una distancia aproximada de 18 Km , en este punto el calibre vuelve a subir a ACSR 3/0 AWG en el sector de Cumandá, este calibre se mantiene hasta el final del troncal 31,32 Km, a raíz del troncal se derivan tramos monofásicos que atienden a diferentes sectores.

El objetivo de este proyecto es el mejoramiento en el alimentador al encontrar de una manera técnica los problemas causados por el cambio del calibre del conductor en el tramo principal del alimentador el cual causa el fenómeno que se conoce como ondas viajeras y realizar el diagnóstico actual del estado del alimentador 1500140T02 del cantón Cumandá y en el ANEXO 5 podemos ver las condiciones y la subestación Multitud para el análisis posterior.

Adicionalmente, los estudios de análisis de transitorios para analizar el comportamiento de un sistema eléctrico de potencia ante contingencias, perturbaciones y/o eventos transitorios y con base en estos estudios determinar las acciones que habrán de tomarse para permitir al sistema afrontar la ocurrencia de dichos eventos. Este análisis será desarrollado en el presente estudio, con fines de convergencia de la parte teórica y la aplicación dentro del sistema de la distribuidora.

2.3. Metodología

Una vez definidas los posibles problemas que están causando las ondas viajeras, en el troncal del alimentador y en sus derivaciones monofásicas que son en la mayoría, se realiza la simulación de flujos de potencia en el programa CYMDIST. Los resultados obtenidos de esta simulación, serán aplicados en el programa ATPDraw que se utilizará para modelar el sistema de distribución de la troncal principal del alimentador 2/14 Multitud-Cumandá, para determinar las perturbaciones producidas por el cambio de impedancia.

Se tomarán en cuenta una serie de métodos y técnicas, adecuadas para la recopilación de información, procesamiento de datos, su respectivo análisis y de los resultados.

Se presenta a continuación la metodología a utilizarse:

2.3.1. Programas Aplicados al Estudio de Ondas Viajeras

Las herramientas computacionales facilitan en gran medida el estudio de sistemas de distribución, debido a que, para el manejo de bases de datos, mediciones, entre otros, es necesario procesar gran volumen de información. Herramientas como el ArcGIS, Cymdist y ATPDraw se emplean para realizar estudios en sistemas de distribución, ya que manejan información georreferenciada, dentro de bases de datos, información necesaria para la corrida de flujos de potencia y modelación de sistema.

2.3.1.1. Análisis computacional ArcGIS

El sistema eléctrico de distribución de la Empresa Eléctrica Riobamba, se representa en el ArcGIS, la misma que permite almacenar la información total de la red en la base de datos de este sistema, permite guardar las características de los diferentes equipos que conforman el sistema de distribución (estructuras, postes, transformadores etc.), constantemente se debe actualizar la base de datos de todos los equipos que conforman la red ya que la empresa sigue creciendo.

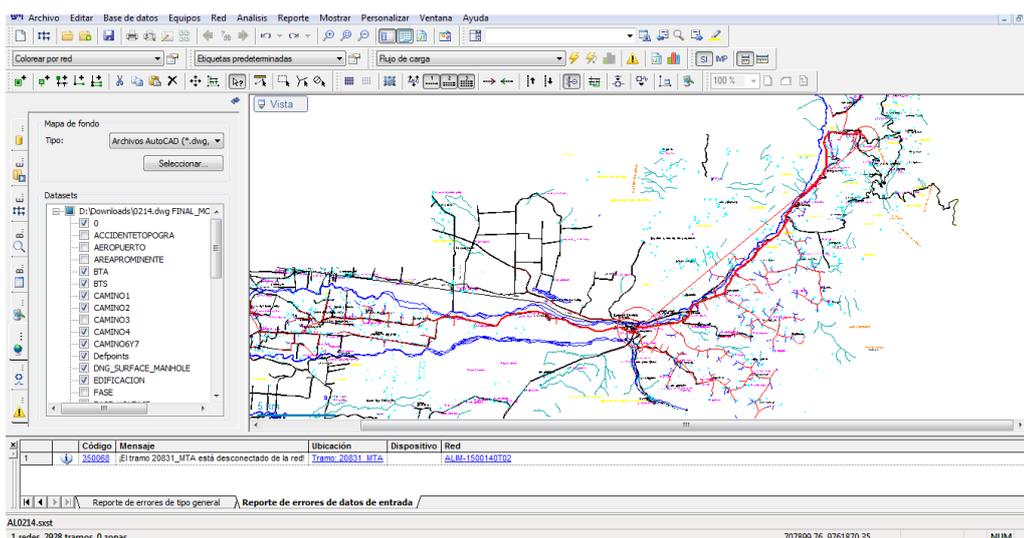


Figura 2.3: Descripción general de la Interfaz CYMDIST

Fuente: Los Autores.

En el menú análisis puede determinar el flujo de carga, análisis de fallas, distribución de carga, balance de carga, armónicos. En el menú red se seleccionan los alimentadores que van a ser migrados y se visualizan en la ventana principal.

El menú equipo muestra la información de todos los equipos que se hayan cargado a la base previamente. Se tiene el menú reportes que se puede personalizar para obtener reportes específicos según sea el caso de estudio.

La barra de exploración almacena todas las bases de datos que se hayan creado y es donde se pueden activar las mismas para realizar los diferentes análisis y la ventana principal es donde se tiene la topología de la red de los alimentadores que se hayan cargado inicialmente.

En la ventana de reportes, aparecen los diferentes resultados de los análisis que se realizan a los alimentadores.

En el programa CYMDIST se carga la base de datos. Se presenta cómo se realiza la carga de la base de datos en la barra de exploración mediante la opción crear, la base de datos para equipos, estos son proporcionados por el MEER y la base de datos para red de la empresa se actualiza periódicamente utilizando la información almacenada en el GIS.

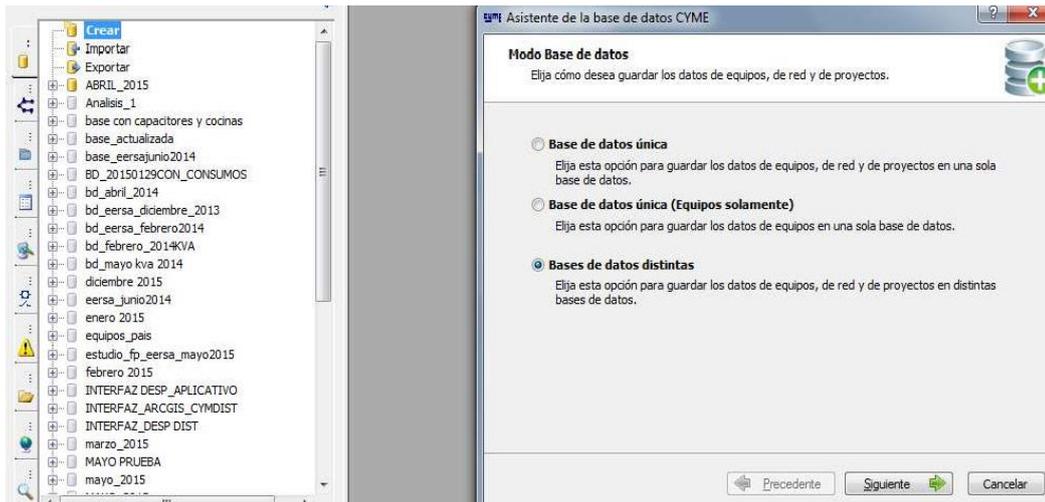


Figura 2.4: Descripción general de la Interfaz CYMDIST

Fuente: Los Autores.

El programa CYMDIST permite evaluar las pérdidas de potencia en los alimentadores, el cual utiliza la metodología propuesta en [23].

Esta metodología que a continuación se describe, es aplicable a todos los sistemas en los que se tenga que evaluar pérdidas resistivas por efecto Joule, es decir, en líneas de los sistemas de transmisión y distribución, para pérdidas resistivas en transformadores, para redes secundarias y acometidas.

Para el cálculo de pérdidas de potencia se obtiene los registros de demanda, los cuales se miden al inicio del alimentador, con un mínimo registro de una semana, con fecha y hora, obteniéndose la siguiente matriz.

$$\text{Registro} = [d_i \quad t_i \quad D_{Pi} \quad D_{Qi}] \quad \text{Ec. (79)}$$

Donde:

- d_i Fecha del registro de demanda en el instante i
- t_i Hora del registro de demanda en el instante i
- D_{Pi} Registro de demanda de potencia activa en el instante i
- D_{Qi} Registro de demanda de potencia reactiva en el instante i

Posteriormente se determinan las pérdidas resistivas (D_{RL-i}) en cualquier intervalo

de demanda mediante la Ecuación, se calcula mediante la ecuación $I^2 \times R$, obtenidas con base al flujo de potencia a demanda máxima. De la variación del cociente cuadrático entre la demanda horaria registrada y la demanda máxima, en cada subsistema se determina las pérdidas resistivas de potencia sobre la base de la siguiente expresión.

$$D_{RL-i} = I^2 \times R = \left(\frac{D_{Pi}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi_i} \right)^2 \times R \quad \text{Ec. (80)}$$

De esta ecuación se deduce:

$$\frac{D_{RL-máx}}{D_{RL-i}} = \frac{I_{máx}^2 \times R}{I^2 \times R} = \frac{\left(\frac{D_{Pmáx}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi_{máx}} \right)^2 \times R}{\left(\frac{D_{Pi}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi_i} \right)^2 \times R} \quad \text{Ec. (81)}$$

$$D_{RL-i} = \left(\frac{D_{Pi} \times \cos \varphi_{máx}}{D_{Pmáx} \times \cos \varphi_i} \right)^2 \times D_{RL-máx} \quad \text{Ec. (82)}$$

Donde:

D_{RL-i} Pérdidas resistivas de potencia en el instante i

$D_{RL-máx}$ Pérdidas resistivas de potencia a demanda maxima (kW)

$\cos \varphi_{máx}$ Factor de potencia a demanda máxima

$\cos \varphi_i$ Factor de potencia en el intervalo i

$D_{Pmáx}$ Demanda máxima (kW)

D_i Demanda en el instante i (kW)

Para la determinación del cálculo de las pérdidas resistivas, se obtienen del registro del medidor ION ubicados en la cabecera del alimentador, el mismo que registra periódicamente los datos necesarios, en el cual se puede obtener el día donde se registra la demanda máxima durante un mes o año. Para la determinación de las pérdidas técnicas de energía en los circuitos primarios se determina a través de la siguiente ecuación.

$$\text{Pérdidas de energía} = 24 \times Fp \times \text{número de días} \times D_{RL-máx} \quad \text{Ec. (83)}$$

Donde:

F_p Factor de pérdidas

$D_{RL-m\acute{a}x}$ Pérdidas de potencia a demanda máxima obtenida en la simulación.

2.3.1.3. Análisis computacional ATPDRAW

Mediante la simulación del programa CYMDIST se corrió el flujo de potencia en el Alimentador 2/14 Multitud-Cumandá, mismo que dio como resultado las impedancias de secuencia positiva y secuencia homopolar, mismas que servirán para el ingreso de datos en el software de ATPDraw como se muestra en las siguientes figuras:

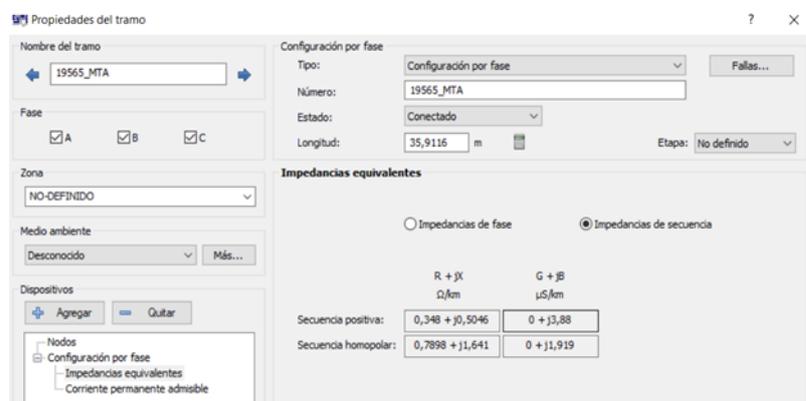


Figura 2.5: Impedancia del Tramo 1 – Calibre del conductor 3/0 AWG

Fuente: Los Autores.

Las figuras anteriores muestran las impedancias equivalentes en secuencia positiva y negativa. Para determinar la impedancia característica dependerá del valor de la capacitancia e inductancia, las siguientes ecuaciones se utilizarán para determinar dicha impedancia característica (Z_c).

$$L = \frac{x_L}{2 * \pi * f} \quad \text{Ec. (84)}$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * x_c} \quad \text{Ec. (85)}$$

$$z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Ec. (86)}$$

Donde:

L : Inductancia uF/km)

x_L : Reactancia inductiva (Ω /km)

f : Frecuencia (Hz)

C : Capacitancia u (uH/km)

x_C : Reactancia capacitiva (uS/km)

z_c : Impedancia característica (Ω /km)

El ingreso de datos correspondientes de las impedancias características, están mostrados en el ANEXO 3.

2.3.2. Cambio de Impedancia

Para el caso de cambio de impedancia, se ha definido parámetros de las estructuras existentes en los cambios de conductor, por lo que en el poste (P72124); existe un cambio de calibre de conductor 3/0 a 1/0 AWG. En el poste (P72923), existe un cambio de calibre de conductor de 1/0 a 3/0 AWG y para las derivaciones monofásicas de La isla y Suncamal, existen los postes P69450 y P75362 respectivamente, estos postes tienen un cambio de calibre de conductor de 3/0 a 2 AWG. Por lo que en las siguientes tablas se muestran las características de los conductores y en el ANEXO 2 se puede visualizar los datos del alimentador Multitud-Cumanda.

En la siguiente Tabla 7 se muestra la estructura trifásica de doble retención, misma que se utilizará en cada cambio de calibre de conductor y en la tabla se muestra el sistema de distribución de las fases, tomando en consideración un sistema de coordenadas en (X, Y).

Tabla 6. Distancia entre fases y el neutro

| COORDENADAS EN METROS | | |
|-----------------------|------|----|
| | X | Y |
| FASE 1 | -1.3 | 10 |

| | | |
|--------|-----|------|
| FASE 2 | 0 | 10.5 |
| FASE 3 | 1.3 | 10 |
| NEUTRO | 0 | 9.1 |

Fuente: Los Autores.

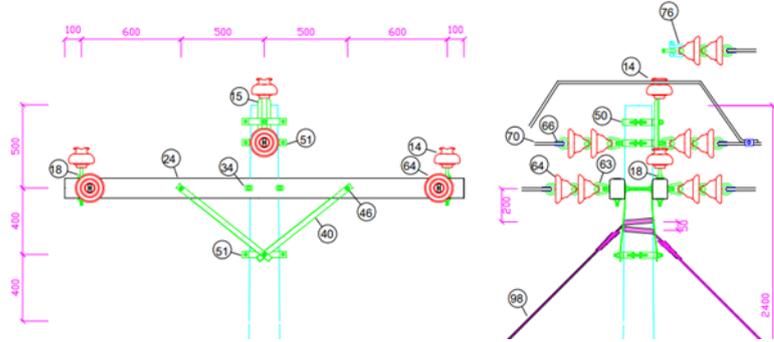


Figura 2.6: Modelo de la estructura trifásica (Centrada doble retención).

Fuente: Los Autores.

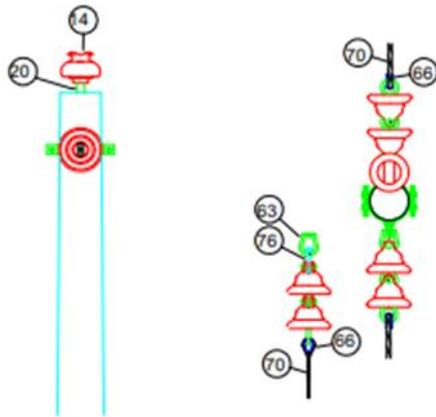


Figura 2.7: Modelo de la estructura monofásica (Centrada doble retención).

Fuente: Los Autores.

Finalmente se requiere el ingreso datos al ATPdraw, otros parámetros como resistividad del suelo, la frecuencia y la distancia del calibre de conductor y en el software de simulación de ATPdraw se ha permitido el modelamiento de este tipo de diseño con la estructura indicada y los datos ya registrados anteriormente y en el ANEXO 4 se puede observar la tabla de calibre y características de los conductores

usados en el alimentador en estudio y en el ANEXO 7 se puede observar la simulación de todos los tramos del caso de estudio.

2.4. Análisis del alimentador en situación actual

Para el análisis actual del alimentador se ha tomado la información del sistema GIS y de los medidores instalados a la salida del alimentador, y un valor representativo anual y se analizarán varios escenarios con el incremento de carga y diferentes configuraciones.

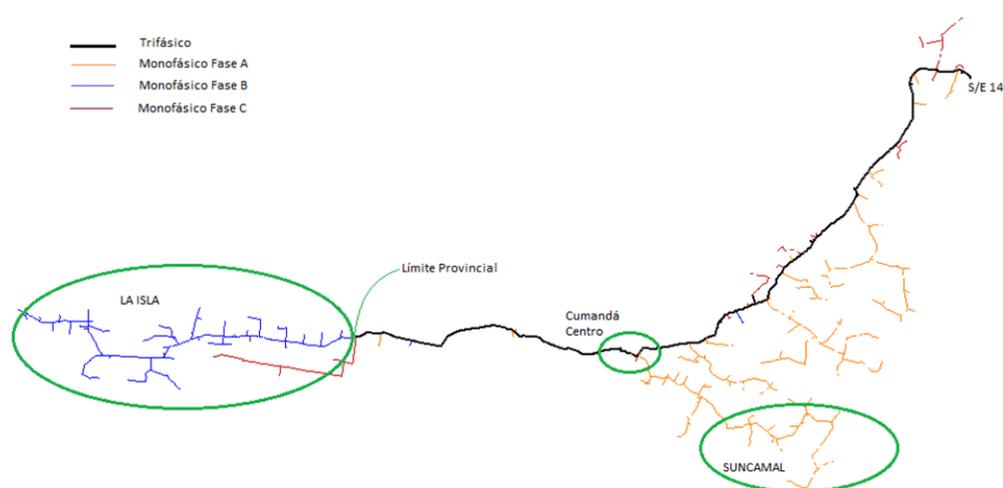


Figura 2. 8: Alimentador 1500140T02, sectores representativos y límite provincial.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla programa CYMDIST)

El análisis de Balance de fases realizado en cabecera del alimentador muestra los siguientes resultados:

Tabla 7. Desbalance de corrientes en alimentador 1500140T02, mes de diciembre 2020.

| DESBALANCE DE CORRIENTES | |
|--|------|
| Número de Registros | 2976 |
| Máximo porcentaje de desbalance admitido | 10% |
| Porcentaje de registros que incumplen | 100% |

Fuente: Los Autores.

El desbalance de corrientes en este alimentador se debe a la topología de la red, puesto que grandes cargas son alimentadas por ramales monofásicos.

El análisis realizado por el programa CYMDIST, además de obtener los datos de impedancia característica del conductor que serán aplicados en el ATPDRAW,

Con respecto a la máxima cargabilidad del conductor, se registra en el troncal del Alimentador, en el tramo comprendido entre los postes 72124 y 154142, en este punto el calibre del conductor ACSR cambio de 3/0 AWG a 1/0 AWG.

Tabla 8. Máxima cargabilidad en el alimentador 1500140T02 de acuerdo con simulaciones en situación actual

| CARGABILIDAD DEL CONDUCTOR | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|----------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|
| Tramo con máxima Cargabilidad | | Conductor Instalado | | Corriente que circula | Cargabilidad Dem. Máx |
| Desde Poste | Hasta Poste | Calibre | Ampacidad | | |
| 72124 | 154142 | ACSR 1/0 | 242 A | 76 A | 31.4 % |

Fuente: Los Autores

El valor de máxima cargabilidad del conductor es apenas del 31.4 %, este valor se presenta en el troncal, al bajar el calibre del conductor ACSR de 3/0 AWG a 1/0 AWG, el alimentador no tiene problemas de sobrecarga en el conductor, esto se debe a que es un alimentador extenso, aunque su demanda no es muy alta.

Se clasifican las pérdidas en este alimentador, en pérdidas en líneas y transformadores, con los siguientes resultados:

Tabla 9. Cálculo de pérdidas técnicas en líneas y transformadores del alimentador 1500140T02

| PÉRDIDAS EN LÍNEAS Y TRANSFORMADORES | | | |
|---|--------|-----------------|-----------|
| Determinación de pérdidas | Líneas | Transformadores | |
| | | En Vacío | Con Carga |
| Pérdidas Potencia [kW] | 149.78 | 23.65 | 5.92 |
| Pérdidas Energía [MWh/año] | 537.95 | 207.17 | 21.26 |

Fuente: Los Autores

Las mayores pérdidas están en las líneas, esto se debe a que este alimentador tiene una longitud aproximada de 54 km.

2.5. Sistema de distribución actual: Troncal trifásico 3/0-1/0-3/0 y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2 AWG)

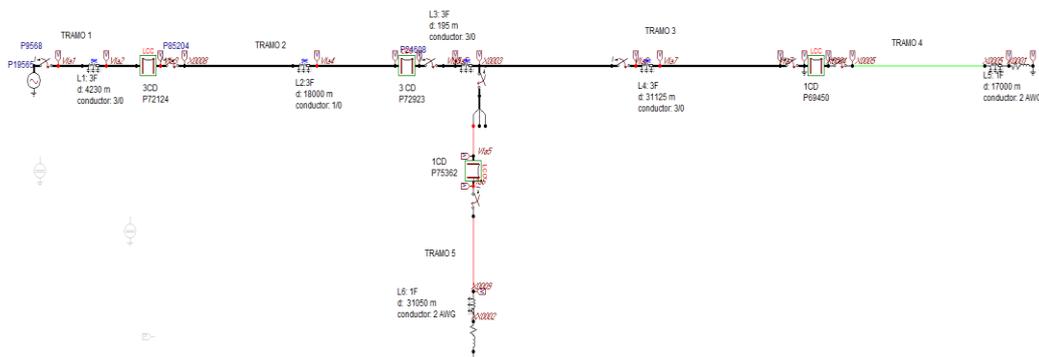


Figura 2.9: Diseño del alimentador 2/14 Multitud-Cumandá

Fuente: Los Autores.

TRAMO 1:

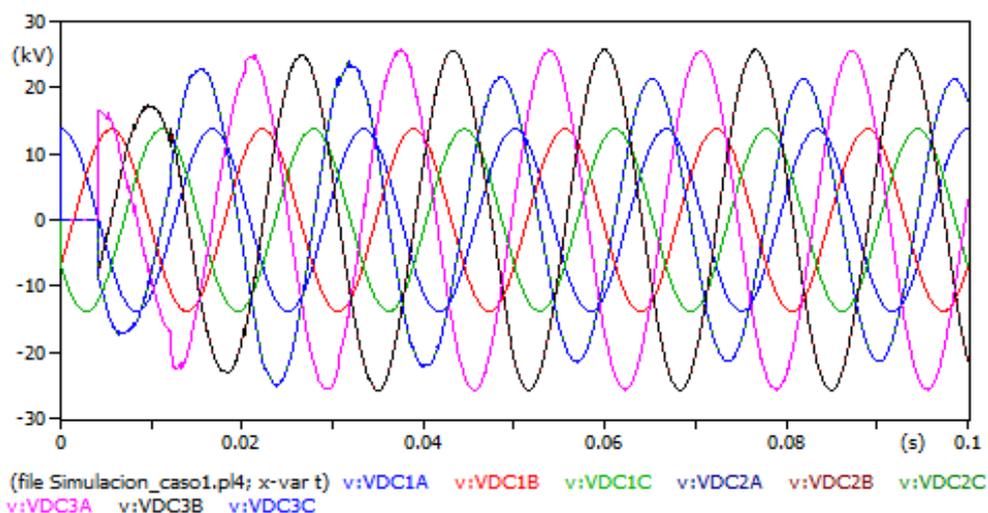


Figura 2.10: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 10. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| VFA1C=13.8kV | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores

Este nuevo caso de estudio es analizado con fuentes de voltaje alternas en circuito cerrado. En el comportamiento del voltaje se analiza las tres fases y en el caso de la corriente se analizan las dos fases A, B y se obtiene como resultado lo siguiente:

En la Figura 2.10, Figura 2.12, y Figura 2.14 correspondientes a los voltajes de la Fase A, Fase B, y fase C con respecto a la entrada de la fuente, se observa que en la fase A tiene sobrevoltajes que llegan hasta los 25 kV de voltaje de operación. En la fase B similar comportamiento que la fase A llega con in voltaje de operación de 25 kV.

Finalmente, en la Fase C de voltaje de operación de 18,75 Kv. Se verifica que la impedancia cambia tanto a la entrada de la fuente como a la salida de la fuente.

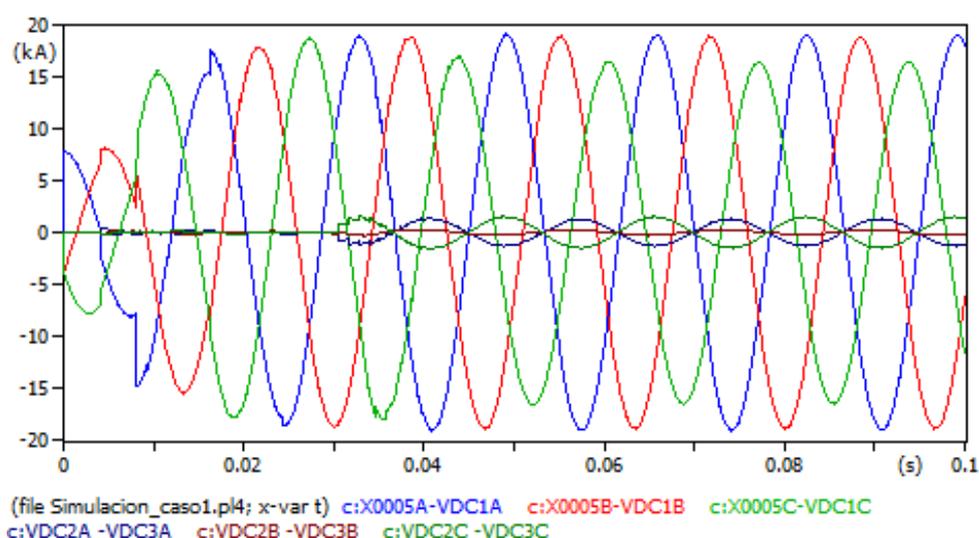


Figura 2.11: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 11. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLESIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-----------------|
| IFA1A=13.8 kV | IFA4A=25.7 kV | IFA5A=25.7 kV |
| IFA1B=13.8 kV | IFA4B=25.7 kV | IFA5B=25.7 kV |
| IFA1C=13.8kV | IFA4C=21.47 kV | IFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores

TRAMO 2:

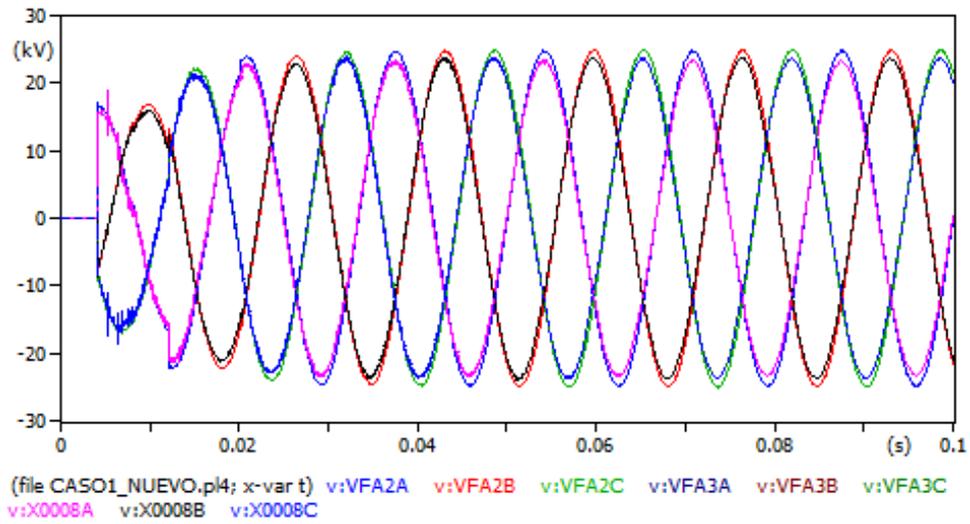


Figura 2.12: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 2 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 12. Valores de Voltajes AC-TRAMO 2

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| VFA1C=13.8 kV | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores

TRAMO 3:

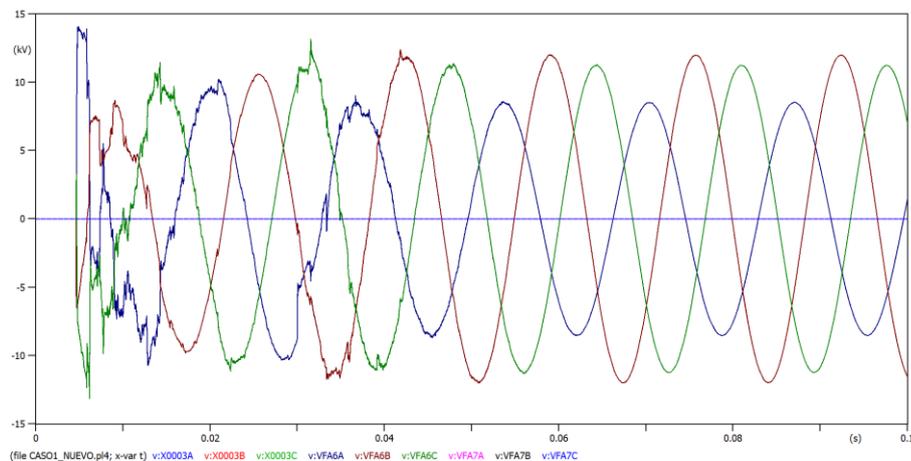


Figura 2.13: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 3 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 13. Valores de Voltajes AC-TRAMO 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| VFA1C=13.8kV | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores

TRAMO 4:

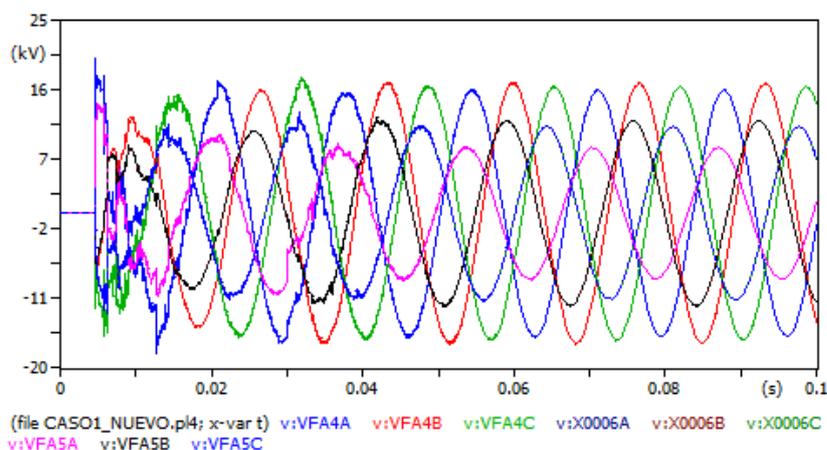


Figura 2.14: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 4 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 14. Valores de Voltajes AC-TRAMO 4

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| VFA1C=13.8kV | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores

TRAMO 5:

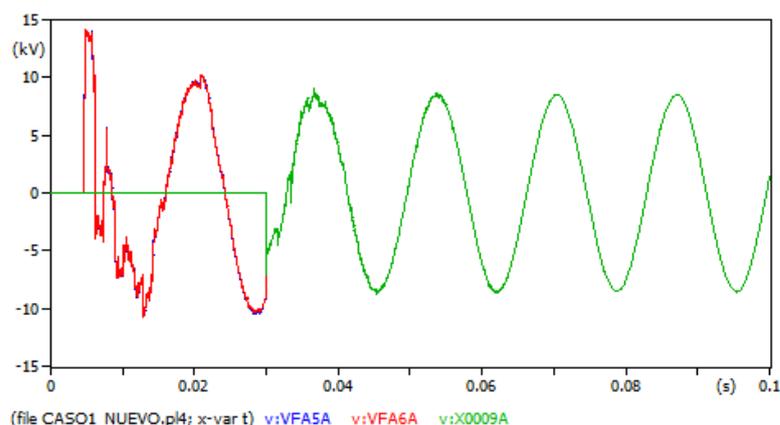


Figura 2.15: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 5 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 15. Valores de Voltajes AC-TRAMO 5

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| VFA1C=13.8kV | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores.

2.6. Análisis de Lattice

Para realizar el análisis de una onda viajera simulada en ATPDraw con el método de Lattice, se considerará el diseño de una línea de distribución de una troncal principal de una distancia aproximada de 54.2 km y que tiene cambios de impedancia por las variaciones en los conductores que van de 3/0 a 1/0 y de 1/0 a 3/0. Esta línea estará conectada a una fuente continua ya que permite la representación gráfica en función tiempo-voltaje y permite visualizar el fenómeno que se produce en la localización de fallas.

El objetivo es analizar el concepto de onda viajera usando al menos 3 tramos de la troncal principal de los cuales se tiene impedancias cambiantes.

En la tabla 21. El análisis de los tramos del alimentador se muestran los valores que se considerarán para el análisis realizado por tramos.

Tabla 16. Análisis de los tramos del alimentador

| TRAMO | DISTANCIA (Km) | VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN (km/s) | IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA (ohmios/km) |
|-------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 4.2 | V(0)=407.675 | Zc(0)=1.775 |
| | | V(+)=1045.378 | Zc(+)=1.399 |
| 2 | 18 | V(0)=421.098 | Zc(0)=1.691 |
| | | V(+)=1001.472 | Zc(+)=1.40 |
| 3 | 32 | V(0)=339.720 | Zc(0)=1.75 |
| | | V(+)=1338.275 | Zc(+)=1.791 |

Fuente: Los Autores.

Otro de los propósitos de la onda viajera será el mostrar el comportamiento de la onda a lo largo del tiempo y con diferentes coeficientes de reflexión y transmisión.

Como resultados del análisis indicado, en cada tramo del alimentador se tiene:

1) Perturbación a 4.2 km del tramo 1

El circuito de la Figura 2.16, se indica una línea corta con parámetros distribuidos, el primer tramo considera la fuente DC de voltaje de operación de 13.8 kV y analizando una perturbación en la mitad de la línea de una distancia entre nodos de 4.2 km.

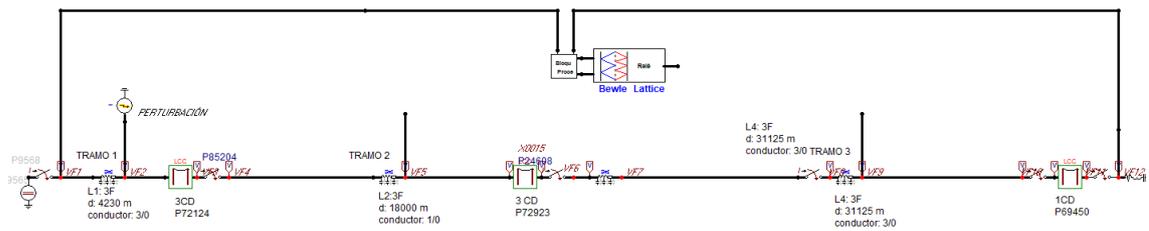


Figura 2.16: Modelación del tramo 1 para determinar la perturbación por cambio de impedancia.

Fuente: Los Autores.

2) Perturbación a 18 km del tramo 2

En el circuito de la Figura 2.17, se muestra una línea larga de 18 km con una fuente de DC con voltaje pico de fase igual a 13.8 kV y simulando una perturbación en 22.4 km de la línea.

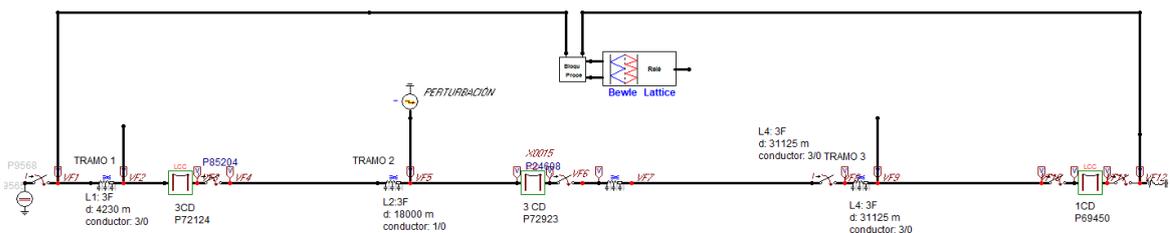


Figura 2.17: Modelación del tramo 2 para determinar la perturbación por cambio de impedancia.

Fuente: Los Autores.

3) Perturbación a 32 km del tramo 3

En el siguiente caso se analiza una línea más larga de parámetros distribuidos de distancia de 32 km en el que se utiliza una fuente de DC con voltaje pico de fase igual a 13.8 kV y se simulando una perturbación a 54.2 km del inicio de la línea. El diagrama del caso utilizado se muestra en la figura 2.18.

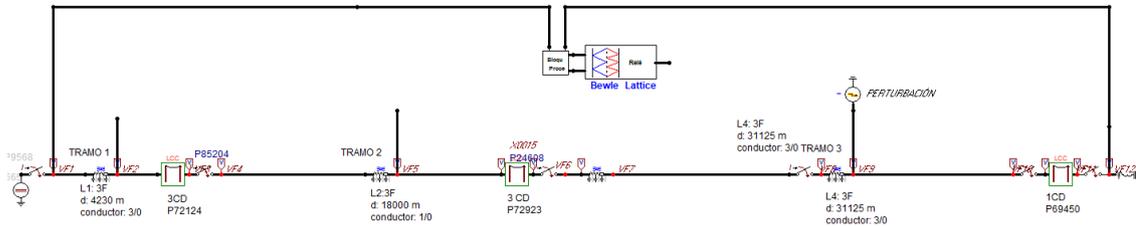


Figura 2.18: Modelación del tramo 3 para determinar la perturbación por cambio de impedancia.

Fuente: Los Autores.

1) Perturbación a 4.2 km del tramo 1

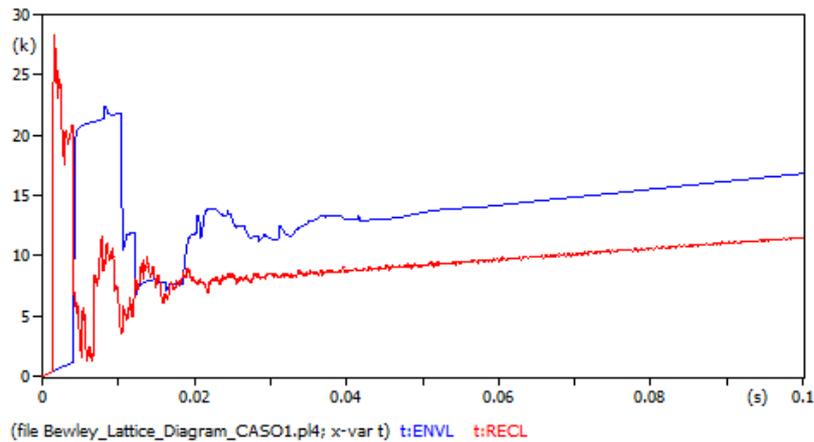


Figura 2.19: Comportamiento de la onda de voltaje del tramo 1 de la perturbación por cambio de impedancia.

Fuente: Los Autores.

En la Figura 2.19 se indica que la onda de envío tarda en salir en 1 ms y para la recepción de la onda aumenta su voltaje y genera picos elevados de voltaje en un tiempo menor a 1 ms, por lo que la propagación de la onda en el extremo es más rápida en el extremo derecho, ya que tiene una distancia corta.

2) Perturbación a 18 km del tramo 2

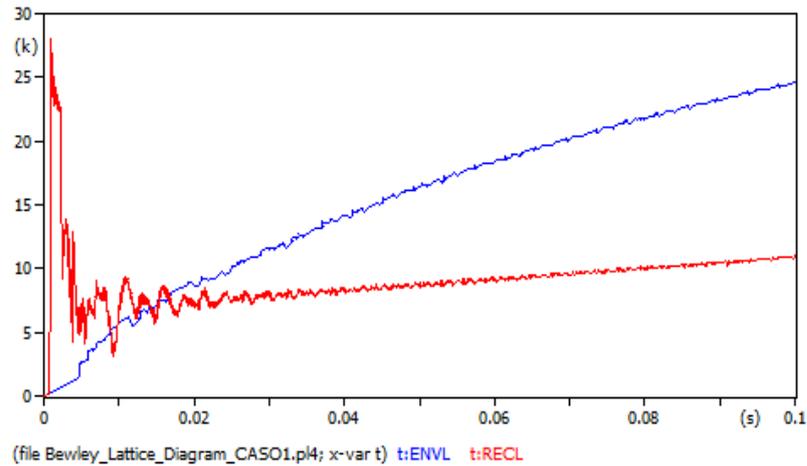


Figura 2.20: Comportamiento de la onda de voltaje del tramo 2 de la perturbación por cambio de impedancia.

Fuente: Los Autores.

En la figura 2.20 se indica que la onda de envío incrementa su voltaje a un valor de 25 kV, generando así sobrevoltajes al envío, por lo que la señal transmitida genera picos de voltaje en tiempos menores, se verifica que a más distancia, más perturbaciones existen. Cabe mencionar que las impedancias que pasan por el nodo de recepción son menores.

3) Perturbación a 32 km del tramo 3

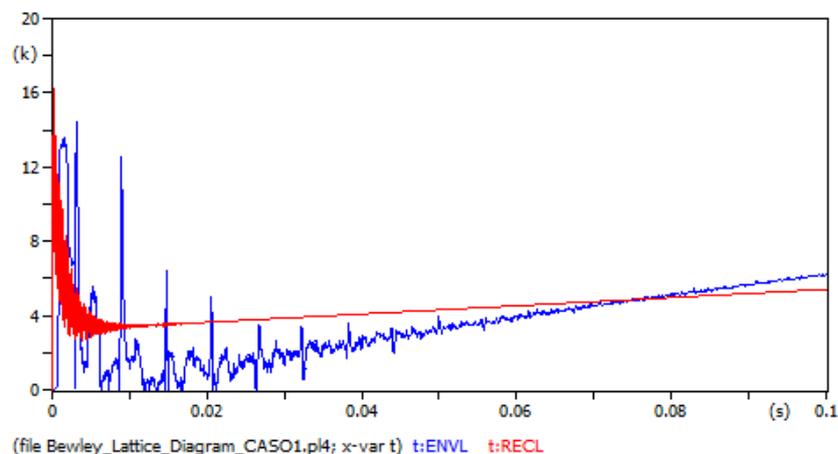


Figura 2.21: Comportamiento de la onda de voltaje del tramo 3 de la perturbación por cambio de impedancia.

Fuente: Los Autores.

En la figura 2.21 se indica que la onda de envío genera bajos voltajes y el voltaje de recepción genera bajos voltajes de hasta 4kV, por lo que la señal transmitida genera un voltaje casi constante en un determinado tiempo.

El uso del diagrama Lattice, ha sido poco utilizado para representar este tipo de fenómenos de una manera práctica. Este estudio se ha desarrollado en el uso de una herramienta para poder observar la transición temporal de ondas viajeras de voltaje y corriente durante su propagación, mostrando una metodología para su representación mediante el diagrama Lattice de Bewley.

2.7. Descripción de las sobretensiones transitorias ocurridas en el alimentador

Dentro del estudio realizado y mediante simulaciones en el ATPDraw se determinó los sobrevoltajes ocurridos dentro de los diferentes tramos del alimentador 2/14 Multitud-Cumandá, estos valores se los presenta en por unidad y se detalla en la tabla 17.

En el Anexo 8 se puede observar la simulación de todos los tramos del Alimentador 2/14 Multitud-Cumandá en el software ATPDraw.

Tabla 17. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14.

(FUENTE AC - LÍNEA ABIERTA)

| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0-1/0-3/0 | | | | | | | | |
|---|--------|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| | | | | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN | VOLTAJE TRANSMISIÓN EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA2A=25.4 kV | 1,84057971 | VFA3A=25.4 kV | 1,84057971 | IFA1A=18 kA | IFA2A=18 kA | IFA3A=0 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m. | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA2B=25.4 kV | 1,84057971 | VFA3B=25.4 kV | 1,84057971 | IFA1B=18 kA | IFA2B=18 kA | IFA3B=0 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8 kV | 1 | VFA2C=25.4 kV | 1,84057971 | VFA3C= 25.4 kV | 1,84057971 | IFA1C=18 kA | IFA2C=18 kA | IFA3C= 0 A |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA3A=25.5 kV | 1,847826087 | VFA4A=27.3 kV | 1,97826087 | VFA5A=27.56 kV | 1,997101449 | IFA3A=266 A | IFA4A=136 A | IFA5A=136 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m. | 0-0.1 ms | VFA2B=25.5 kV | 1,847826087 | VFA4B=27.3 kV | 1,97826087 | VFA5B=27.56 kV | 1,997101449 | IFA3B=266A | IFA4B=136 A | IFA5B=136 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA2C=25.5 kV | 1,847826087 | VFA4C=27.3 kV | 1,97826087 | VFA5C=27.56 kV | 1,997101449 | IFA3C=266 A | IFA4C=136 A | IFA5C= 136 A |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA5A=27.2 kV | 1,971014493 | VFA6A=27.3 kV | 1,971014493 | VFA7A=28.38 kV | 2,056521739 | IFA5A=135 A | IFA6A=0 A | IFA7A=0 |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m. | 0-0.1 ms | VFA5B=27.2 kV | 1,971014493 | VFA6B=27.3 kV | 1,971014493 | VFA7B=28.38 kV | 2,056521739 | IFA5B=135 A | IFA6B= 0 | IFA7B=0 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA5C=27.2 kV | 1,971014493 | VFA6C=27.3 kV | 1,971014493 | VFA7C=28.38 kV | 2,056521739 | IFA5C=135 A | IFA6C=0 A | IFA7C= 0 A |

Fuente: Los Autores.

Tabla 18. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14.
(FUENTE DC - LÍNEA ABIERTA)

| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0-1/0-3/0 | | | | | | | | |
|---|--------|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P72124 | DC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 0,701219512 | VFA2A=18.6 kV | 1,347826087 | VFA3A=18.6 kV | 1,347826087 | IVFA1A=6.7 kA | IFA2A=0 kA | IFA3A=0 kA |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | DC | 18000 m. | 0-0.1 ms | VFA3A=19.68 kV | 1,426086957 | VFA4A=18.78 kV | 1,360869565 | VFA5A=16.5 kV | 1,195652174 | IA3A=200 A | IFA4A=-200 A | IFA5A=0kV |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | DC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA5A=14.2 kV | 1,028985507 | VFA6A=17 kV | 1,231884058 | VFA7A=18.9 kV | 1,369565217 | IFA5A=130 A | IFA6A=-130 A | IFA7A=0 A |

Fuente: Los Autores.

Tabla 19. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14.

(FUENTE AC - CORTOCIRCUITO)

| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0-1/0-3/0 | | | | | | | | |
|---|--------|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| | | | | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA2A=10.5 kV | 0,760869565 | VFA3A=0 kV | 0 | IFA1A=10.52 kA | IFA2A=10.5 kA | VFA3A=4.2 kA |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA2B=10.5 kV | 0,760869565 | VFA3B=0 k | 0 | IFA1B=10.52 kA | IFA2B=10.5 kA | VFA3B=4.2 kA |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8 kV | 1 | VFA2C=10.5 kV | 0,760869565 | VFA3C= 0 kV | 0 | IFA1C=10.52 kA | VFA2C=10.5 kA | VFA3C= 4.2 kA |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA3A=21.3 kV | 1,543478261 | VFA4A=10.7 kV | 0,775362319 | VFA5A=0 kV | 0 | IFA1A=830 A | IFA2A=830 A | VFA3A=850 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA2B=21.3 kV | 1,543478261 | VFA4B=10.7 kV | 0,775362319 | VFA5B=0 kV | 0 | IFA1B=830 A | IFA2B=830 A | VFA3B=850 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA2C=21.3 kV | 1,543478261 | VFA4C=10.7 kV | 0,775362319 | VFA5C= 0 kV | 0 | IFA1C=830 A | VFA2C=830 A | VFA3C= 850 A |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA5A=10.53kV | 0,763043478 | VFA6A=10.53 kV | 0,763043478 | VFA7A=0 kV | 0 | IFA5A=564 A | IFA6A=538 A | IFA7A=560 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA5B=10.53 kV | 0,763043478 | VFA6B=10.53 kV | 0,763043478 | VFA7B=0 kV | 0 | IFA5B=564 A | IFA6B= 538 A | IFA7B=560 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA5C=10.53 kV | 0,763043478 | VFA6C=10.53 kV | 0,763043478 | VFA7C= 0 kV | 0 | IFA5C=564 A | IFA6C=538 A | IFA7C= 560 A |

Fuente: Los Autores.

Tabla 20. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14.
(FUENTE DC - CORTOCIRCUITO)

| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0-1/0-3/0 | | | | | | | | |
|---|--------|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P72124 | DC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA2A=11.8 kV | 0,855072464 | VFA3A=0 kV | 0 | IVFA1A=6.7 kA | IFA2A=6.7 kA | IFA3A=2.8 kA |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | DC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA3A=15.42 kV | 1,117391304 | VFA4A=10.5 kV | 0,760869565 | VFA5A=0 kV | 0 | IA3A=566 A | IFA4A=566A | IFA5A=561 |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | DC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA5A=4.39 kV | 0,318115942 | VFA6A=4.39 kV | 0,318115942 | VFA7A=0 kV | 0 | IFA5A=347 A | IFA6A= 347A | IFA7A=420 A |

Fuente: Los Autores.

Tabla 21. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en los tramos con distinto tipo de calibre de conductor en el Alimentador 2/14.

(FUENTE AC – UNION DE VARIAS LÍNEAS)

| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0-1/0-3/0 | | | | | | | | |
|---|--------|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| | | | | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=25.7 kV | 2,007246377 | VFA5A=25.7 kV | 1,862318841 | IFA1A=13.8 kV | IFA4A=25.7 kV | IFA5A=25.7 kV |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=25.7 kV | 2,007246377 | VFA5B=25.7 kV | 1,862318841 | IFA1B=13.8 kV | IFA4B=25.7 kV | IFA5B=25.7 kV |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8k V | 1 | VFA4C=21.47 kV | 1,555797101 | VFA5C= 21.47 kV | 1,555797101 | IFA1C=13.8k V | IFA4C=21.47 kV | IFA5C= 21.47 kV |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=25.7 kV | 2,007246377 | VFA5A=25.7 kV | 1,862318841 | VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=25.7 kV | 2,007246377 | VFA5B=25.7 kV | 1,862318841 | VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8k V | 1 | VFA4C=21.47 kV | 1,555797101 | VFA5C= 21.47 kV | 1,555797101 | VFA1C=13.8k V | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=25.7 kV | 1,862318841 | VFA5A=25.7 kV | 1,862318841 | VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=25.7 kV | 1,862318841 | VFA5B=25.7 kV | 1,555797101 | VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8k V | 1 | VFA4C=21.47 kV | 1,555797101 | VFA5C= 21.47 kV | 1,555797101 | VFA1C=13.8k V | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores.

2.8. Conclusiones Capítulo II

Los alimentadores principales de las líneas de distribución son normalmente trifásicos, sin embargo, es más simple entender los conceptos de ondas viajeras y métodos relacionados a considerar la propagación de la onda en líneas monofásicas.

En una línea de distribución el cambio de estructura geométrica y medio produce una variación en las relaciones que lideran el desplazamiento de la energía de la onda electromagnética y la cantidad de variaciones se interpretan en un cambio de la impedancia característica Z_c que es una relación entre las propiedades geométricas del medio, inductancia L y capacidad de C de la línea.

En la simulación del ATPDraw el modelo de línea utilizado es la línea corta, ya que el alimentador tiene 55,33 Km de longitud y mediante el CYMDIST se pudo obtener los valores de resistencia e inductancia para la determinación de la impedancia característica.

CAPITULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1. Repotenciación y Reconfiguración del troncal del alimentador 1500140T02 con conductor ACSR 3/0 AWG y ACSR 4/0 AWG

En la descripción del alimentador se indica que el troncal parte de la subestación con conductor ACSR 3/0 AWG, luego el calibre se reduce a ACSR 1/0 AWG y posteriormente se vuelve a incrementar a ACSR 3/0 AWG, el tramo construido con conductor más delgado es de aproximadamente 20 km, entre la salida en la subestación 14 y el poste número 72923 ubicado en a la entrada del centro poblado del cantón Cumandá.

Otro de los inconvenientes que ha presentado este alimentador es la ocurrencia de fallas que han ocasionado la interrupción del servicio, de los análisis realizados la mayoría de fallas se han presentado en el troncal y se debieron a factores ambientales, esto se debe a que gran parte del alimentador recorre por terrenos con gran cantidad de vegetación.

Una opción para mejorar los niveles de voltaje en este alimentador y disminuir el número de fallas, es repotenciar el troncal en el tramo mencionado con conductor ACSR 3/0 AWG y ACSR 4/0 AWG, y además mover la red a la vía, lo que implica construir un nuevo troncal a lo largo de 20 km, los resultados al hacer este cambio son:

Los niveles de voltaje en al alimentador 1500140T02 mejoran notablemente, otra alternativa para mejorar la calidad del servicio en el cantón Cumandá es llegar con otro alimentador paralelo al existente, el cual se derivará de la misma subestación Multitud cómo una prolongación del alimentador 1500140T03 que en la actualidad tiene una demanda baja, esto permitirá mejorar la confiabilidad del alimentador.

3.1.1. Sistema de Distribución: Troncal trifásica 3/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2AWG)

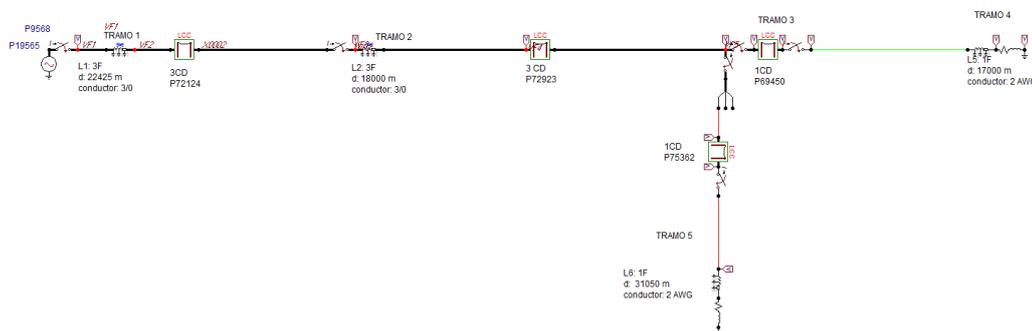


Figura 3.1: Sistema de distribución alimentador 2/14 Multitud-Cumandá

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

TRAMO 1:

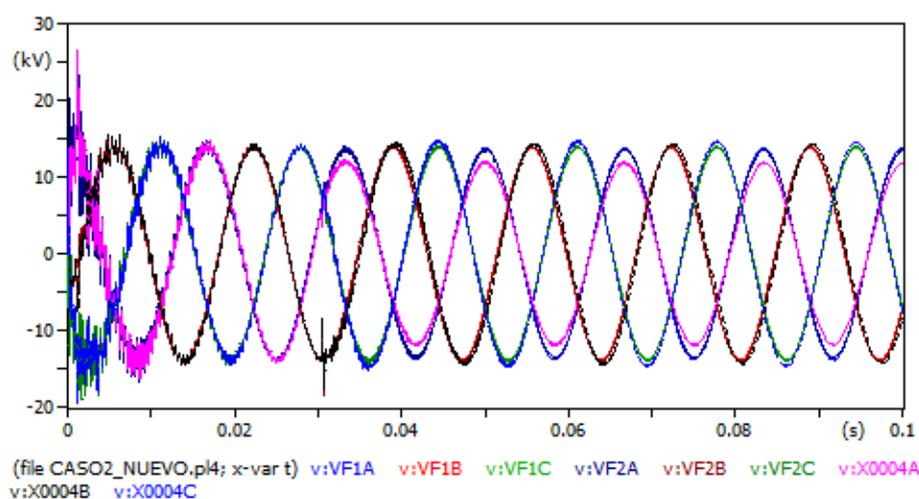


Figura 3.2: Ondas de Voltaje de la Fase A del Tramo 1 en circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 22. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=25.7 kV | VFA5A=25.7 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=25.7 kV | VFA5B=25.7 kV |
| VFA1C=13.8kV | VFA4C=21.47 kV | VFA5C= 21.47 kV |

Fuente: Los Autores

TRAMO 2:

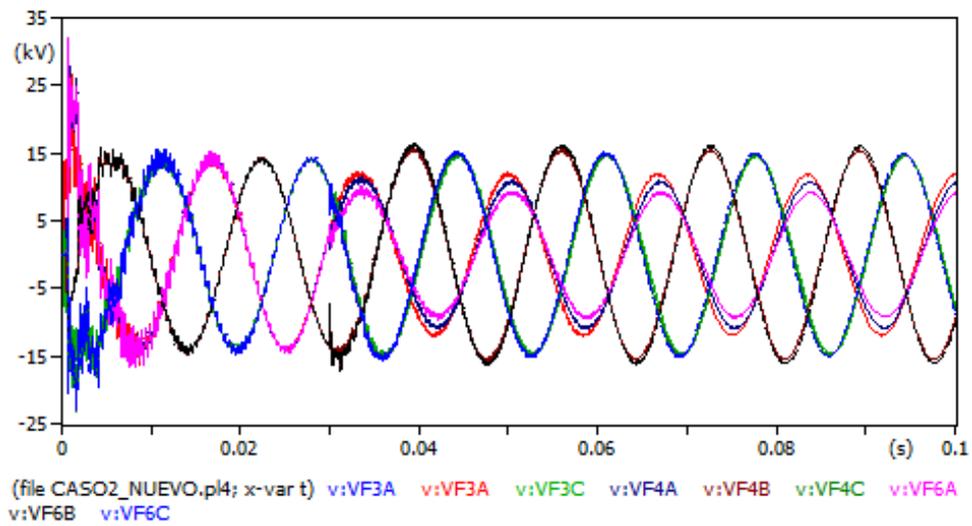


Figura 3.3: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 2 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

TRAMO 4:

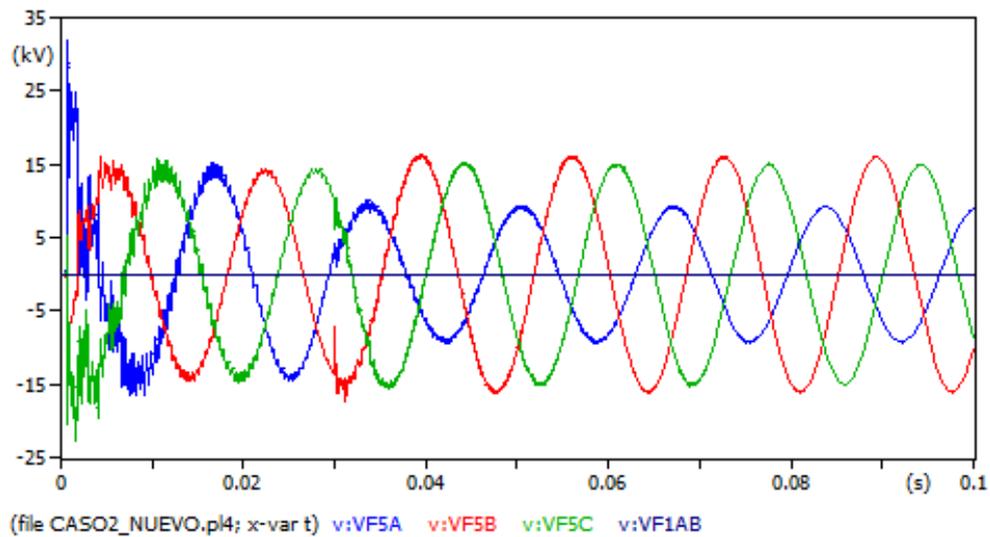


Figura 3.4: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 4 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

TRAMO 5:

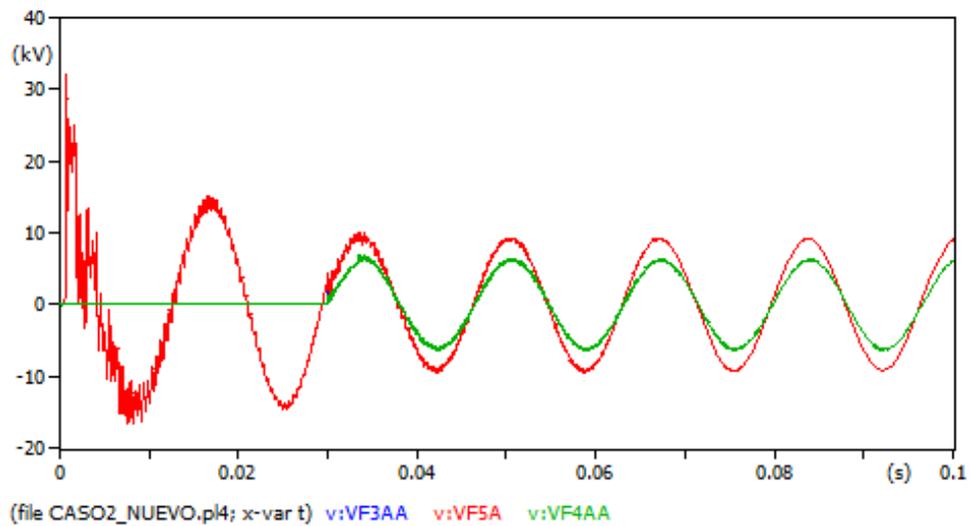


Figura 3.5: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 5 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

3.1.2. Sistema de Distribución: Troncal Trifásico 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2 AWG)

TRAMO 1:

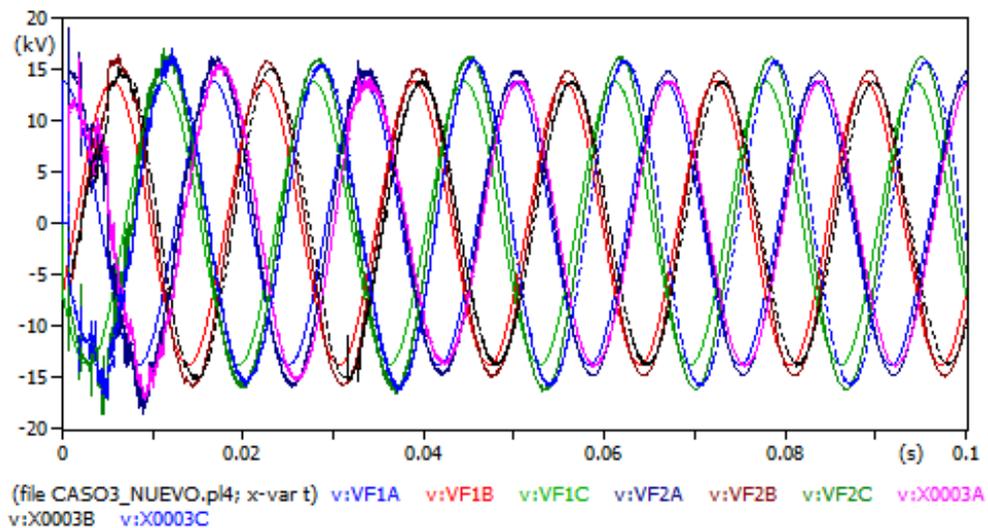


Figura 3.6: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 1 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

TRAMO 2:

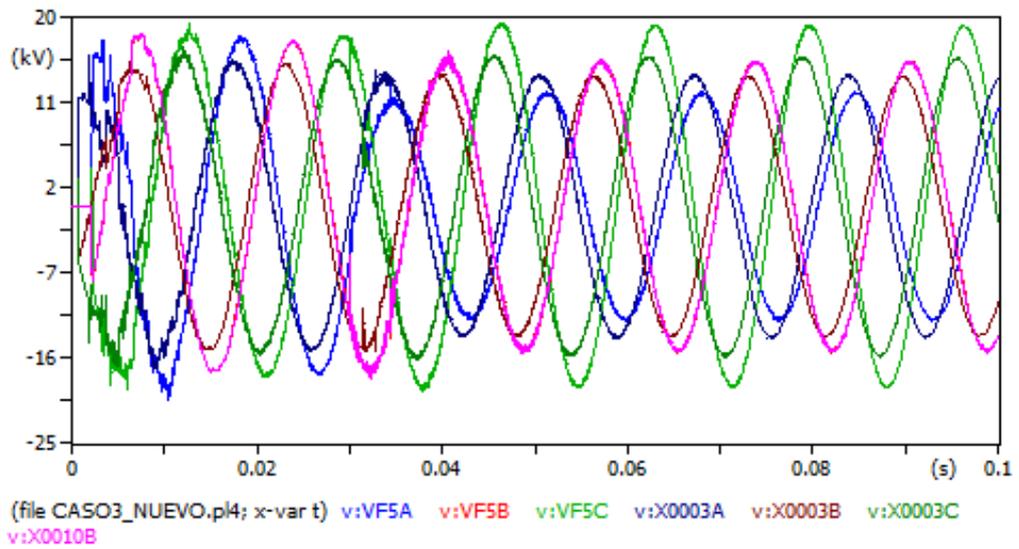


Figura 3.7: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 2 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

TRAMO 4:

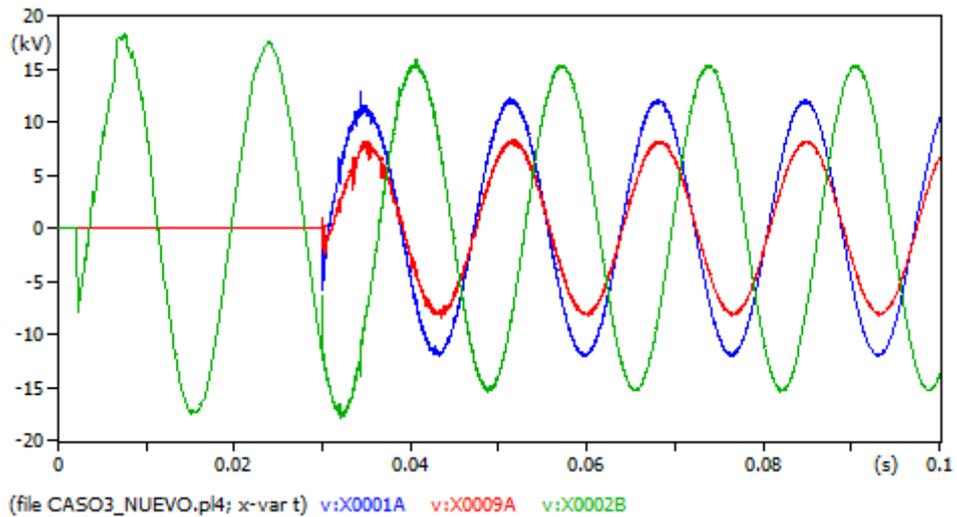


Figura 3.8: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 4 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

3.1.3. Sistema de Distribución: Troncal Trifásico 3/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla (2AWG) y Suncamal trifásico (2 AWG)

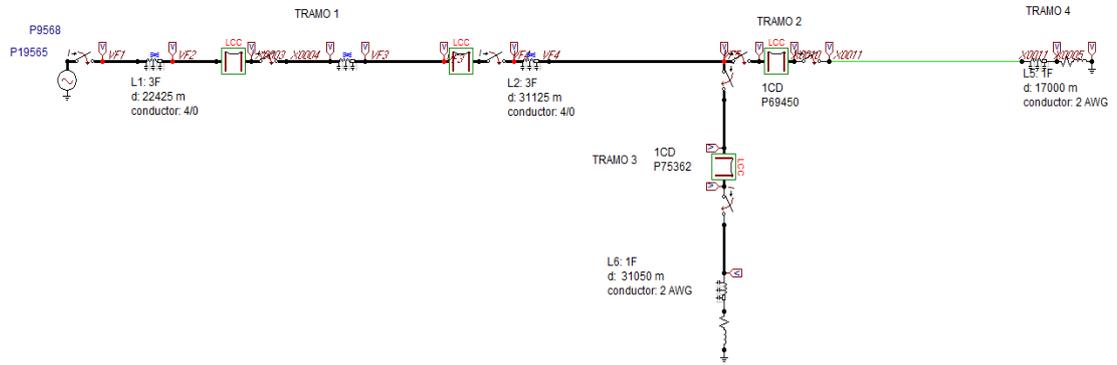


Figura 3.9: Sistema de distribución alimentador 2/14 Multitud-Cumanda Troncal trifásico.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

TRAMO 1:

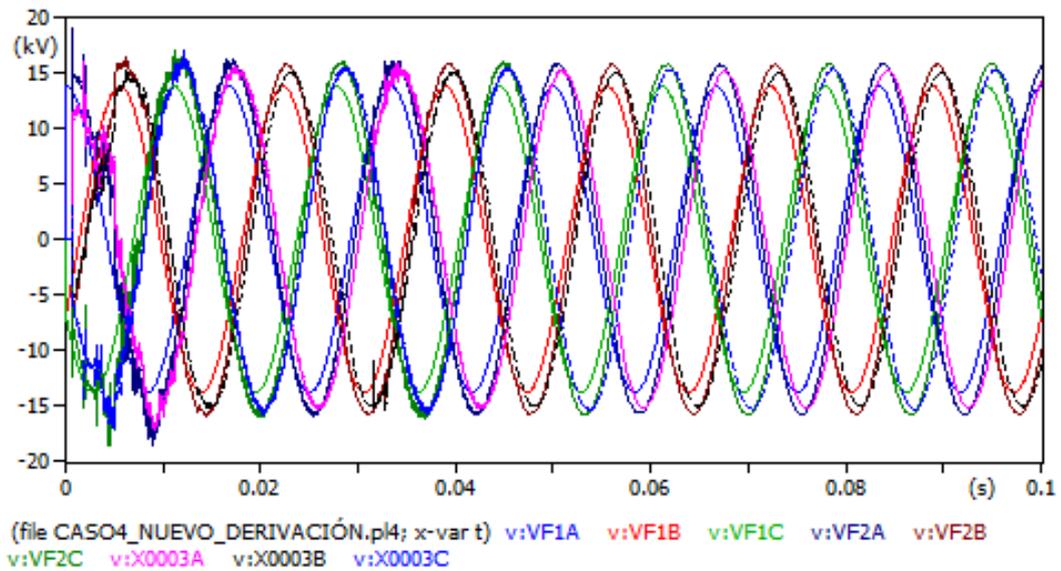


Figura 3.10: Ondas de Voltaje en la Fase (A) del tramo 1 circuito cerrado

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

3.2. Análisis del Software ATPDraw con el Cambio de impedancia

Para el análisis del software ATP Draw se realizó de dos maneras distintas una de ellas es con una fuente de corriente directa y otra con una fuente de corriente alterna para así obtener valores acordes a la realidad del estudio.

En el caso de la utilización de una fuente de Corriente Directa (DC), se puede representar la perturbación de tal manera que se pueda observar el cambio en la forma de un tren de pulsos; es decir que si el voltaje o la corriente mantiene el mismo valor el resultado va a ser constante o en línea recta, por el contrario, si sufre una discontinuidad, cambio o perturbación se va a visualizar si el pulso de voltaje o corriente comienza a subir o bajar, es decir va a ser más notorio los cambios.

En el caso de la utilización de una fuente de Corriente Alterna se puede visualizar las ondas desfasadas a 120 grados cada fase, se puede visualizar el voltaje en un determinado tiempo, además se verificar el pico máximo de voltaje al que está operando el alimentador. Estas ondas generadas de corriente y voltaje, ayudarán a visualizar posibles perturbaciones a lo largo del tiempo, y si varía la amplitud del voltaje, por ende, esto llevará a determinar una relación directa entre el voltaje y la frecuencia; es decir si varía el voltaje, varía la frecuencia.

3.3. Simulación en el ATPDraw con el cambio de impedancia con Fuente AC

3.3.1. Sistema de Distribución Actual: Troncal trifásico 3/0-1/0-3/0

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P85204 con una longitud de 4230 m.

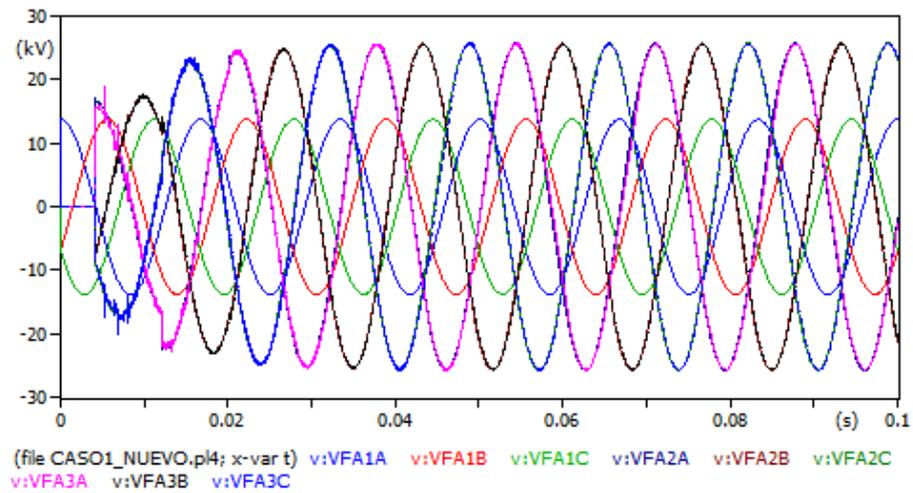


Figura 3.11: Simulación en ATP tramo1 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 23. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA2A=25.4 kV | VFA3A=25.4 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA2B=25.4 kV | VFA3B=25.4 kV |
| VFA1C=13.8 kV | VFA2C=25.4 kV | VFA3C= 25.4 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente

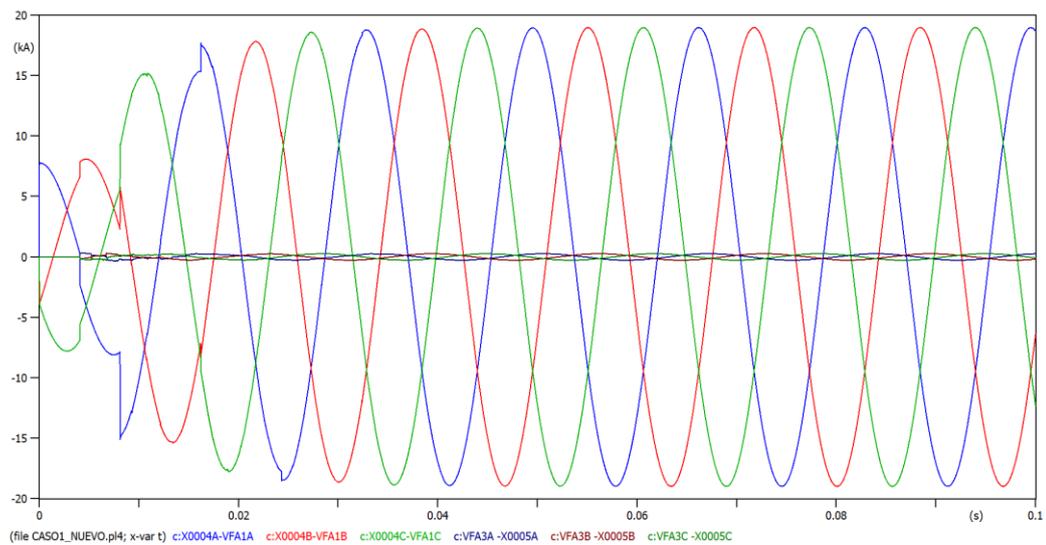


Figura 3.12: Corriente en el Tramo 1 con Fuente AC

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 24. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-------------|-------------|-------------|
| IFA1A=18 kA | IFA2A=18 kA | VFA3A=0 A |
| IFA1B=18 kA | IFA2B=18 kA | VFA3B=0 A |
| IFA1C=18 kA | VFA2C=18 kA | VFA3C= 0 A |

Fuente: Los Autores

TRAMO 2:

En el tramo 2 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 V con un calibre de conductor de 1/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P85204 hasta el poste P24608 con una longitud de 18000 m.

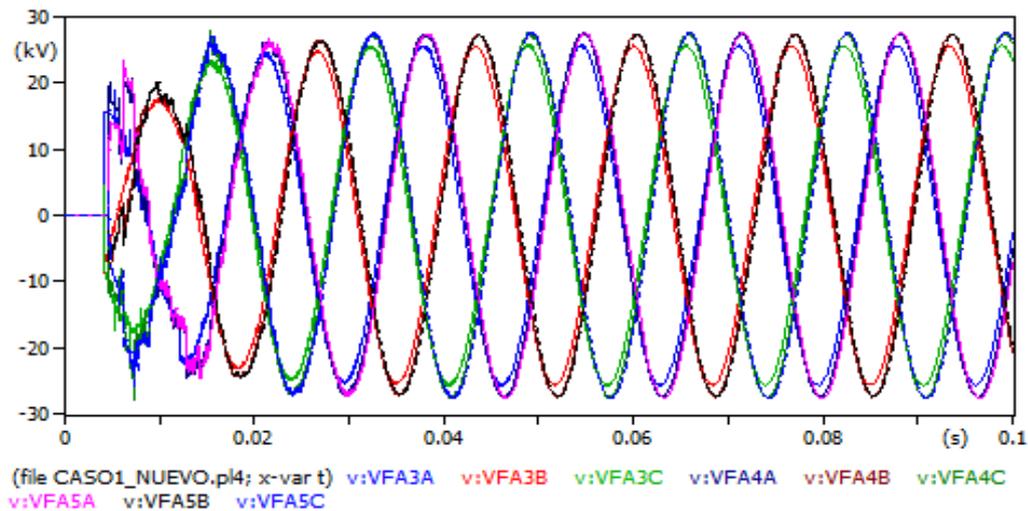


Figura 3.13: Simulación en ATP tramo 2 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 25. Valores de Voltajes AC-TRAMO 2

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|-----------------|
| VFA3A=25.5 kV | VFA4A=27.3 kV | VFA5A=27.56 kV |
| VFA2B=25.5 kV | VFA4B=27.3 kV | VFA5B=27.56 kV |
| VFA2C=25.5 kV | VFA4C=27.3 kV | VFA5C= 27.56 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Tramo 2

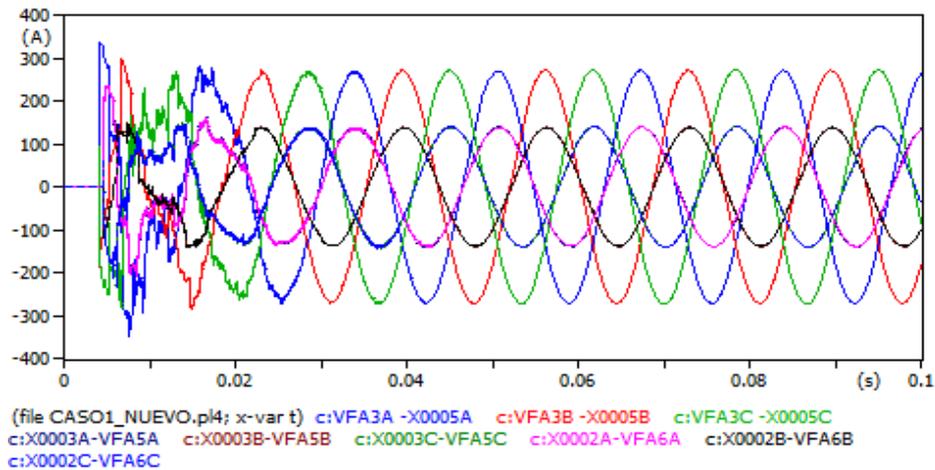


Figura 3.14: Corriente en el Tramo 2 con Fuente AC

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 26. Valores de Corrientes AC-TRAMO 2

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-------------|-------------|--------------|
| IFA3A=266 A | IFA4A=136 A | VFA5A=136 A |
| IFA3B=266A | IFA4B=136 A | VFA5B=136 A |
| IFA3C=266 A | VFA4C=136 A | VFA5C= 136 A |

Fuente: Los Autores

TRAMO 3:

En el tramo 3 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor nuevamente de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P24608 hasta el poste P24862 con una longitud de 195 m.

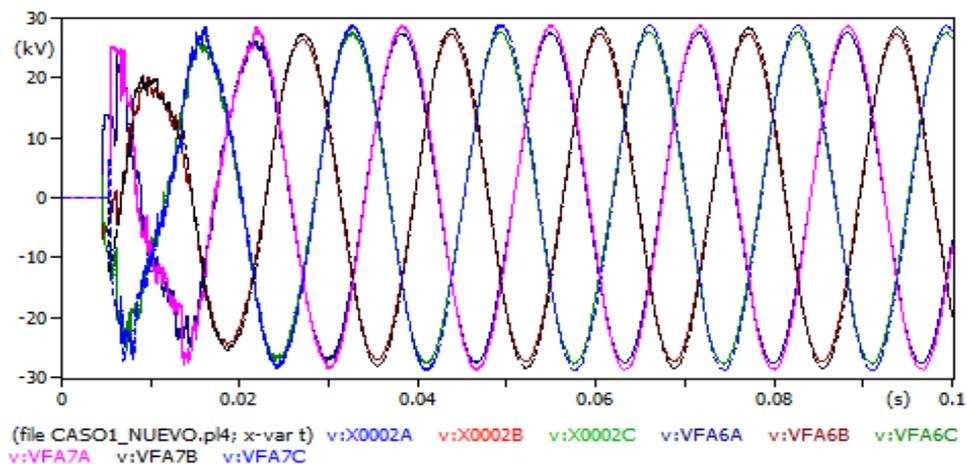


Figura 3.15: Simulación en ATP tramo 3 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 27. Valores de Voltajes AC-TRAMO 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|-----------------|
| VFA5A=27.2 kV | VFA6A=27.3 kV | VFA7A=28.38 kV |
| VFA5B=27.2 kV | VFA6B=27.3 kV | VFA7B=28.38 kV |
| VFA5C=27.2 kV | VFA6C=27.3 kV | VFA7C= 28.38 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Tramo 3

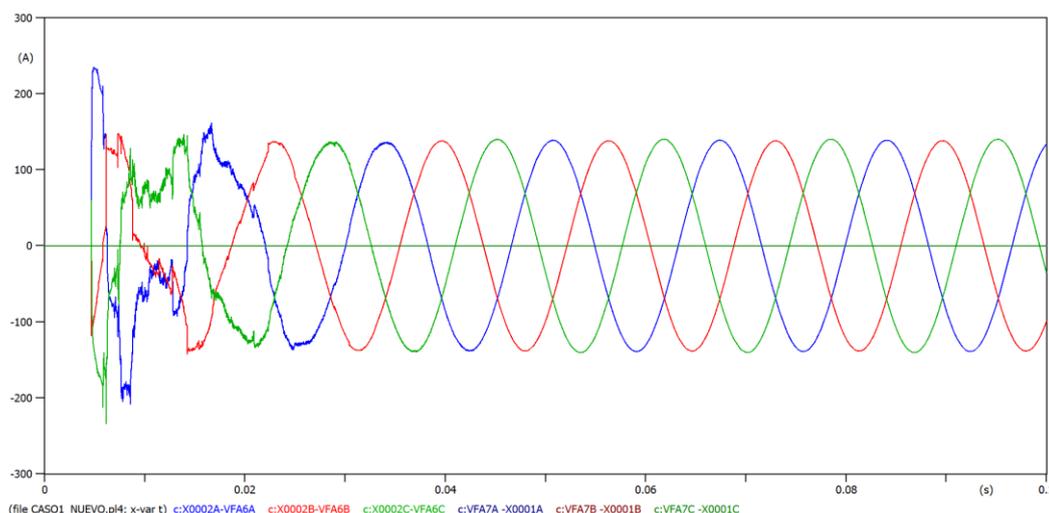


Figura 3.16: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 3

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 28. Valores de Corrientes AC-TRAMO 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-------------|-----------|-------------|
| IFA5A=135 A | IFA6A=0 A | IFA7A=0 |
| IFA5B=135 A | IFA6B= 0 | IFA7B=0 A |
| IFA5C=135 A | IFA6C=0 A | IFA7C= 0 A |

Fuente: Los Autores

Se realiza el estudio con fuente DC, debido a que muestran ondas de voltajes en las tres fases, mismas que se encuentran desfasadas 120 grados. Por lo que los voltajes en diferentes fases muestran un comportamiento senoidal, Y el voltaje incidente inicialmente es el valor de 13.8 kV y los voltajes de transmisión y reflexión son los mismos valores, pero con sobrevoltajes elevados. En el caso de las corrientes su valor más alto está en la corriente incidente y las corrientes de reflexión y

transmisión arrojan resultados de 0 amperios, este análisis se lo realiza en circuito abierto.

3.3.2. Sistema de Distribución: Troncal trifásica 3/0 AWG

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P24862 con una longitud de 22425m.

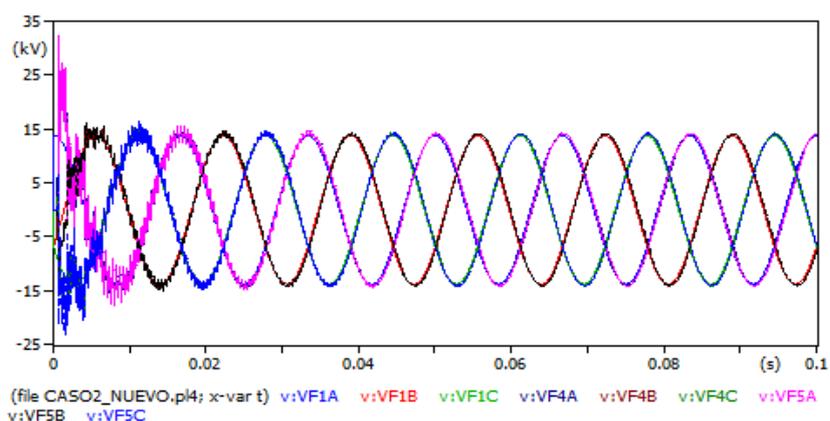


Figura 3.17: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 29. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|-------------|--------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=15 kV | VFA5A=15 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=15kV | VFA5B=15 kV |
| VFA1C=13.8kV | VFA4C=15 kV | VFA5C= 15 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de la corriente tramo 1

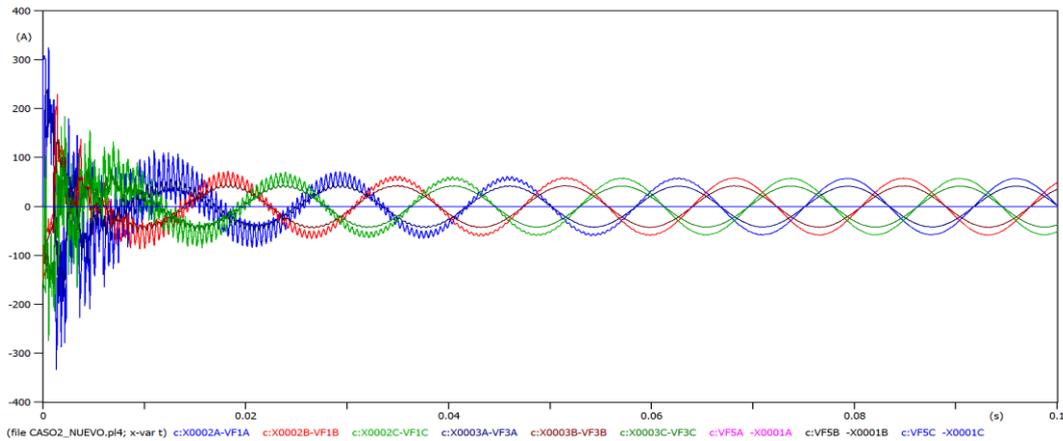


Figura 3.18: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto
Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 30. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|------------|------------|-------------|
| IFA1A=53 A | IFA4A=43 A | VFA5A=0 A |
| IFA1B=53A | IFA4B=43 A | VFA5B=0 A |
| IFA1C=53 A | VFA4C=43 A | VFA5C= 0 A |

Fuente: Los Autores

Se realiza el estudio con fuente AC, debido a que muestran ondas de voltajes en las tres fases, mismas que se encuentran desfasadas 120 grados. Por lo que los voltajes en diferentes fases muestran un comportamiento senoidal, Y el voltaje incidente inicialmente es el valor de 13.8 kV y los voltajes de transmisión y reflexión son los mismos valores, pero con sobrevoltajes no tan elevados de máximo 15 kV. En el caso de las corrientes su valor más alto está en la corriente incidente y las corrientes de reflexión y transmisión arrojan resultados de 0 amperios, este análisis se lo realiza en circuito abierto.

3.3.3. Sistema de Distribución: Troncal Trifásico 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2AWG)

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 4/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P85204 con una longitud de 22425 m.

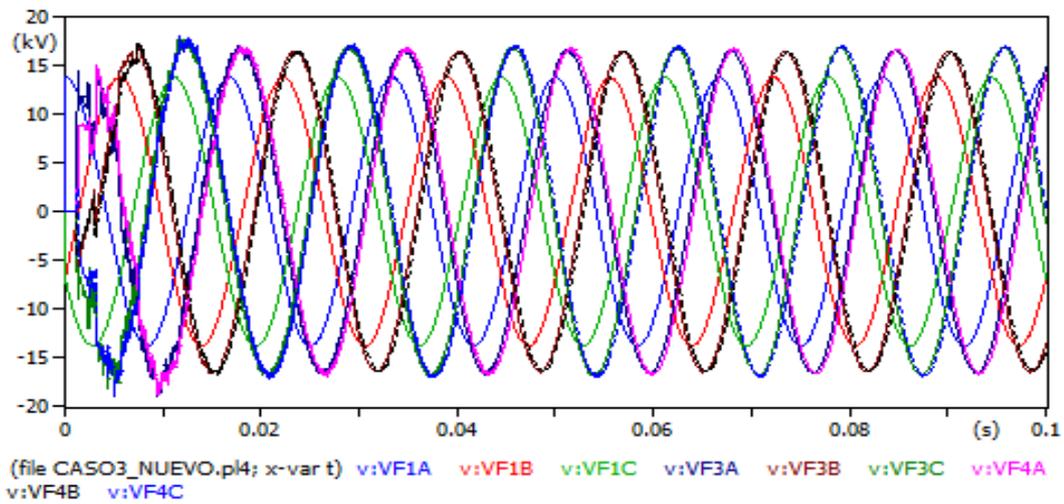


Figura 3.19: Ondas de voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 31. Valores de Voltajes AC-TRAMO 1.

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=16.7 kV | VFA5A=16.8 kV |
| VFA1B=13.8 kV | VFA4B=16.7 kV | VFA5B=16.8 kV |
| VFA1C=13.8kV | VFA4C=16.7 kV | VFA5C= 16.8 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de la corriente en el tramo 1

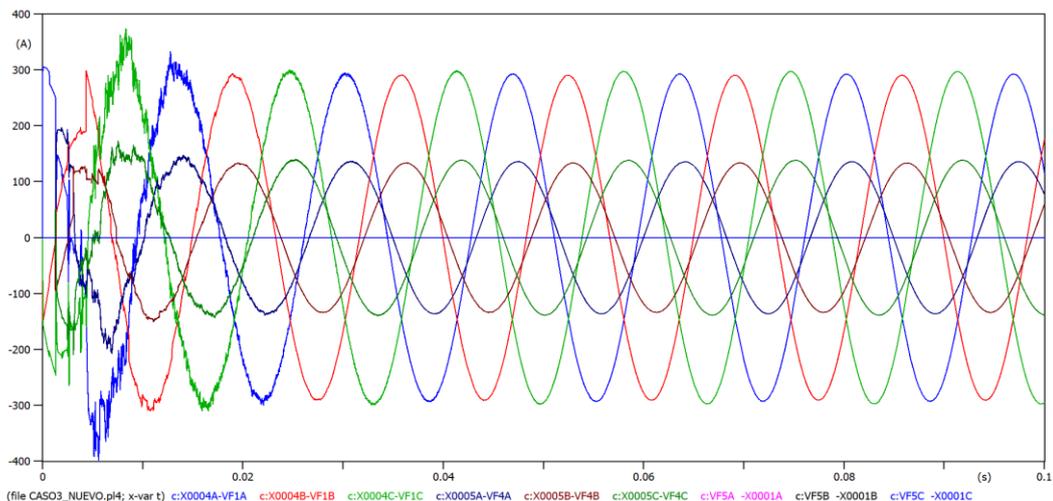


Figura 3.20: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 32. Valores de Corrientes AC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|------------------|------------------|--------------------|
| IFA1A=300 A | IFA4A=132 | IFA5A=0 A |
| IFA1B=300 A | IFA4B=132 A | IFA5B=0 A |
| IFA1C=300 A | IFA4C=132 A | IFA5C= 0 A |

Fuente: Los Autores

Se realiza el estudio con fuente AC, debido a que muestran ondas de voltajes en las tres fases, mismas que se encuentran desfasadas 120 grados. Por lo que los voltajes en diferentes fases muestran un comportamiento senoidal, Y el voltaje incidente inicialmente es el valor de 13.8 kV y los voltajes de transmisión y reflexión son los mismos valores, pero con sobrevoltajes no tan elevados de máximo 16.7 kV. En el caso de las corrientes su valor más alto está en la corriente incidente y las corrientes de reflexión y transmisión arrojan resultados de 0 amperios, este análisis se lo realiza en circuito abierto.

En el caso de Fuente DC se analiza el cambio de impedancia en el diseño de red de distribución para el caso en que toda la troncal es de calibre 4/0, El voltaje incidente tiene el mismo valor a lo largo de la troncal que es de 13.7 kV, pero el voltaje de reflexión llega a tener un valor de 14.1 kV y el de transmisión de 18.1 kV, a pesar de que el calibre es igual en toda la troncal tiene un sobrevoltaje pero más bajo que el del calibre de 3/0 AWG. En cuanto a la corriente se puede observar que el valor de la corriente de transmisión es de 0 Amperios.

3.3.5. Resultados de la descripción de las sobretensiones transitorias ocurridas en el nuevo Alimentador

Con las nuevas simulaciones realizadas en el ATPDraw se obtuvieron los siguientes valores de voltajes y corrientes en el nuevo alimentador.

En la Tabla 33 se puede observar los valores:

Tabla 33. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14.

(FUENTE AC - LÍNEA ABIERTA)

| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0 AWG | | | | | | | | |
|---|----|----------|----------|---------------------------|---|---------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=15 kV | 1,086956522 | VFA5A=15 kV | 1,086956522 | IFA1A=53 A | IFA4A=43 A | VFA5A=0 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m. | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=15kV | 1,086956522 | VFA5B=15 kV | 1,086956522 | IFA1B=53A | IFA4B=43 A | VFA5B=0 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8kV | 1 | VFA4C=15 kV | 1,086956522 | VFA5C= 15 kV | 1,086956522 | IFA1C=53 A | VFA4C=43 A | VFA5C= 0 A |
| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 4/0 AWG | | | | | | | | |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=16.7 kV | 1,210144928 | VFA5A=16.8 kV | 1,217391304 | IFA1A=300 A | IFA4A=132 | IFA5A=0 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m. | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=16.7 kV | 1,210144928 | VFA5B=16.8 kV | 1,217391304 | IFA1B=300 A | IFA4B=132 A | IFA5B=0 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8kV | 1 | VFA4C=16.7 kV | 1,210144928 | VFA5C= 16.8 kV | 1,217391304 | IFA1C=300 A | IFA4C=132 A | IFA5C= 0 A |

Tabla 34. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14.

(FUENTE AC - LÍNEA CERRADA)

| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0 AWG | | | | | | | | |
|---|--------|---------------|-----------------|--|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN N EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor, 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P24862 | DC | 22425m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=21.57 kV | 1,563043478 | VFA5A=20.9 kV | 1,514492754 | IFA1A=181 A | IFA4A=76 A | IFA5A=0 A |
| | | | | TRONCAL TRIFÁSICO 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2AWG). | | | | | | | | |
| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN N EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor 4/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | DC | 22425 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=14.1 kV | 1,02173913 | VFA5A=18.06 kV | 1,308695652 | IFA1A=200 | IFA4A=186 | IFA5A=0 |

Tabla 35. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14.

(FUENTE AC - CORTOCIRCUITO)

| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0 AWG | | | | | | | | |
|---|----|---------|----------|---------------------------|---|--------------|-------------|-------------|---|-------------|-------------|--------------|
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=4.8 kV | 0,347826087 | VFA5A=0 kV | 0 | IFA1A=400 A | IFA4A=400 A | VFA5A=400 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=4.8 kV | 0,347826087 | VFA5B=0 kV | 0 | IFA1B=400 A | IFA4B=400 A | VFA5B=400 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8kV | 1 | VFA4C=4.8 kV | 0,347826087 | VFA5C= 0 kV | 0 | IFA1C=400 A | VFA4C=400 A | VFA5C= 400 A |
| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 4/0 AWG | | | | | | | | |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=6.6 kV | 0,47826087 | VFA5A=0 kV | 0 | IFA1A=200 A | IFA4A=238 A | IFA5A=253 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=6.6 kV | 0,47826087 | VFA5B=0 kV | 0 | IFA1B=200 A | IFA4B=238 A | IFA5B=253 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8kV | 1 | VFA4C=6.6 kV | 0,47826087 | VFA5C= 0 kV | 0 | IFA1C=200 A | IFA4C=238 A | IFA5C= 253 A |

Tabla 36. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14.

(FUENTE AC - CORTOCIRCUITO)

| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 3/0 AWG | | | | | | | | |
|---|----|---------|----------|---------------------------|---|--------------|-------------|-------------|---|-------------|-------------|--------------|
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=4.8 kV | 0,347826087 | VFA5A=0 kV | 0 | IFA1A=400 A | IFA4A=400 A | VFA5A=400 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=4.8 kV | 0,347826087 | VFA5B=0 kV | 0 | IFA1B=400 A | IFA4B=400 A | VFA5B=400 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8kV | 1 | VFA4C=4.8 kV | 0,347826087 | VFA5C= 0 kV | 0 | IFA1C=400 A | VFA4C=400 A | VFA5C= 400 A |
| | | | | TRONCAL TRIFÁSICA 4/0 AWG | | | | | | | | |
| Conductor 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | AC | 4230 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=6.6 kV | 0,47826087 | VFA5A=0 kV | 0 | IFA1A=200 A | IFA4A=238 A | IFA5A=253 A |
| Conductor 1/0 AWG; P85204 hasta el poste P24608 | AC | 18000 m | 0-0.1 ms | VFA1B=13.8 kV | 1 | VFA4B=6.6 kV | 0,47826087 | VFA5B=0 kV | 0 | IFA1B=200 A | IFA4B=238 A | IFA5B=253 A |
| Conductor 3/0 AWG; P24608 hasta el poste P24862 | AC | 195 m | 0-0.1 ms | VFA1C=13.8kV | 1 | VFA4C=6.6 kV | 0,47826087 | VFA5C= 0 kV | 0 | IFA1C=200 A | IFA4C=238 A | IFA5C= 253 A |

Tabla 37. Sobrevoltajes y corrientes transitorias ocurridos en el nuevo Alimentador 2/14.

(FUENTE DC – LÍNEA ABIERTA)

| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
|--|--------|---------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Conductor, 3/0 AWG; P9568 hasta el poste P24862 | DC | 22425m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=7.5 kV | 0,543478261 | VFA5A=0 kV | 0 | IFA1A=314 A | IFA4A=248 | IFA5A=146 A |
| TRONCAL TRIFÁSICO 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2AWG). | | | | | | | | | | | | |
| TRAMO | FUENTE | DISTANCIA (m) | RANGO DE TIEMPO | VOLTAJE INCIDENTE | VOLTAJE INCIDENTE EN Pu | VOLTAJE REFLEXIÓN | VOLTAJE REFLEXIÓN EN Pu | VOLTAJE TRANSMISIÓN N | VOLTAJE TRANSMISIÓN EN Pu | CORRIENTE INCIDENTE | CORRIENTE REFLEXIÓN | CORRIENTE TRANSMISIÓN |
| Conductor 4/0 AWG; P9568 hasta el poste P85204 | DC | 22425 m | 0-0.1 ms | VFA1A=13.8 kV | 1 | VFA4A=10.54 kV | 0,763768116 | VFA5A=0 kV | 0 | IFA1A=286.78 | IFA4A=158.97 | IFA5A=179.41 |

3.4. Prolongación del alimentador primario 1500140T03 paralelo al alimentador primario 1500140T02

La demanda del alimentador 1500140T03, apenas ronda los 100 kVA, por esta razón se analizan la posibilidad de extender este alimentador, hasta el sector de Suncamal con el fin de servir con mediante dos redes al cantón Cumandá.

En un análisis preliminar se ha Recorrido los alimentadores en estudio con el fin de determinar la factibilidad para la repotenciación del alimentador 1500140T03.

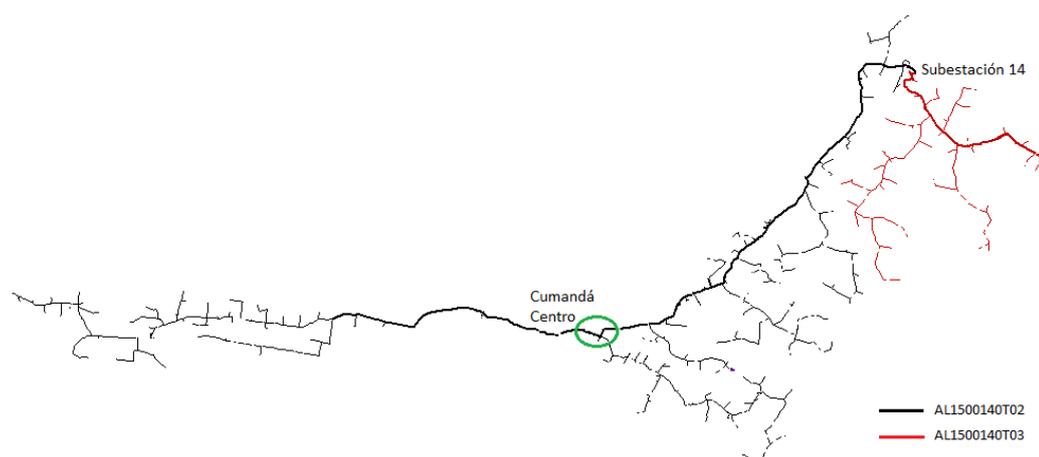


Figura 3.21: Configuración alimentadores 1500140T02 y 1500140T03

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST).

En el actual estudio se ha considerado utilizar las mismas redes existentes para la repotenciación del alimentador, en un diseño más detallado se podría encontrar una mejor ruta.

La repotenciación parte del sector de Multitud, desde el poste 134949, este tramo se repotencia hasta el poste número 67757, en total son 7.06 km, a partir del poste 67757 se proyecta la construcción de un tramo hasta el poste número 72401 y de aquí al poste 72404, son 1.4 km.

Desde el poste 72404 se mantiene la ruta hasta el poste 155066, en este punto se hace una variación hasta el poste 72518, en el sector de sacramento, esta ruta representa unos 2.71 km.

Desde el poste 72518 se plantea construir red hasta el poste 62288 hasta el sector de Miraflores, con una longitud de 1.40 km, desde el poste 62288 se mantiene la ruta hasta el poste 62363, este trayecto es de 5.78 km.

El poste 62363 está instalado en la propiedad del Sr. Espinoza, en este punto existen plantaciones de plátano y palmito, desde el poste 62363 se debe construir red hasta el poste 97432 en el sector de Rio Blanco, este tramo es de aproximadamente 0.9 km.

A partir del poste 97432 se mantiene la misma ruta hasta el poste 97394, este tramo es de 1.75 km, desde el poste 97432 se debe construir un tramo de 0.5 km hasta el poste 13580 ubicado en una granja avícola de Rio Blanco.

Finalmente, desde el poste 13580, se mantiene la misma ruta hasta el poste 75067 en el sector de Suncamal, con un total de 0.64 km y con los trabajos sugeridos, se repotencia el alimentador 1500140T03 y el cantón Cumandá quedaría abastecido por dos alimentadores primarios, de la siguiente manera:

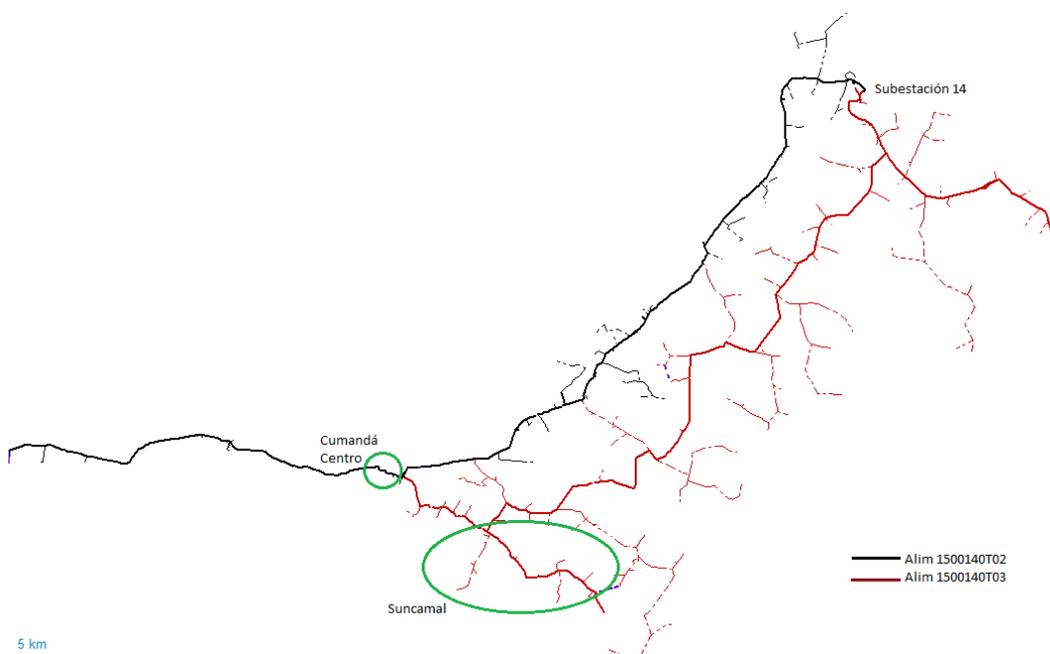


Figura 3.22: Repotenciación y extensión del Alimentador 1500140T03, para servir al sector de Suncamal

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST).

Con la configuración mostrada, el alimentador 1500140T02 tendrá una demanda estimada de 1777 kVA mientras que la demanda del alimentador 1500140T03 será de 740 kVA, y se mejoran los niveles de voltaje en los sectores de Cumandá y Suncamal.

En el ANEXO 9 se puede observar las caídas de voltaje en el Alimentador 2/14 Multitud-Cumandá.

3.5. Comportamiento del Alimentador 1500140T02 al Tomar Carga de CNEL Milagro.

El cantón Cumandá es servido por dos empresas distribuidoras del servicio de energía eléctrica, la mayoría de los usuarios residenciales de la cabecera cantonal consumen energía que proporciona la empresa CNEL UN Milagro.

La potencia instalada de CNEL UN Milagro en la provincia de Chimborazo corresponde a 4803 kVA, para el cálculo de la Demanda, se realizó un análisis del tipo de usuarios en el cantón Cumandá y se determinó que la demanda máxima coincidente, puede llegar al 25% de la potencia instalada.

Por otra parte, la Empresa Eléctrica Riobamba S.A EERSA, sirve a una parte del cantón Marcelino Maridueña en la provincia del Guayas, la Potencia Instalada, de la EERSA en el cantón Marcelino Maridueña es de 1654 kVA, que corresponden a una demanda máxima coincidente de 479 kVA.

La carga de la EERSA en la provincia del Guayas se concentra en dos ramales monofásicos que sirven a sectores como Producción Agrícola y Jesús del Gran poder, al ceder esta carga a CNEL Milagro, la longitud del alimentador 1500140T02 se

reducirá a 36.56 km en el punto más alejado desde la subestación, esto ayudará a reducir la caída de voltaje en los sectores más alejados.

El alimentador 1500140T02, al tomar la carga de CNEL Milagro en la provincia de Chimborazo y ceder la carga de la EERSA en la provincia de Guayas, tendría una potencia instalada de 9321.5 kVA, y se estima que la demanda máxima de este alimentador podría llegar a 2200 kW.

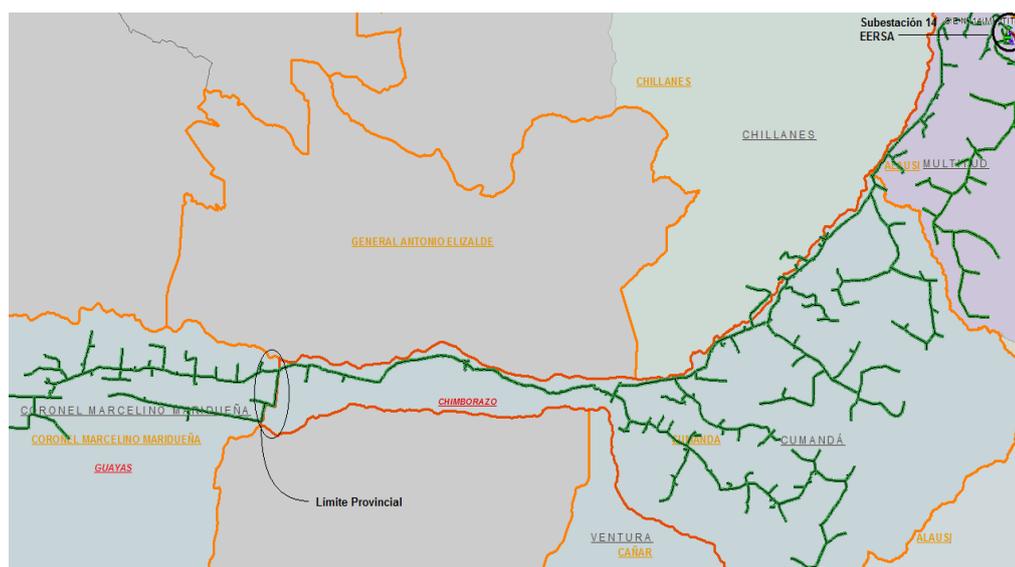


Figura 3.23: Recorrido del alimentador 1500140T02 en las provincias de Chimborazo y Guayas

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST).

Al tomar la carga de CNEL Milagro en la provincia de Chimborazo, se requieren ciertos cambios inmediatos en la red, los cambios propuestos son los siguientes:

- Reconfiguración tramo a Suncamal (Construyendo un tramo entre los postes 97452 y 75224, abriendo el tramo entre los postes 75159 y 75166. Cambio de fase del ramal que parte del poste 72904, de la fase A a la fase C.
- La mayoría de la carga monofásica tomada de la CNEL Milagro se deberá conectar a la fase B del alimentador 1500140T02.

- Cambio de fase del ramal que parte del poste 72316, de la fase A a la fase B.
- Cambio de fase del ramal que parte del poste 62204, de la fase A a la fase C.

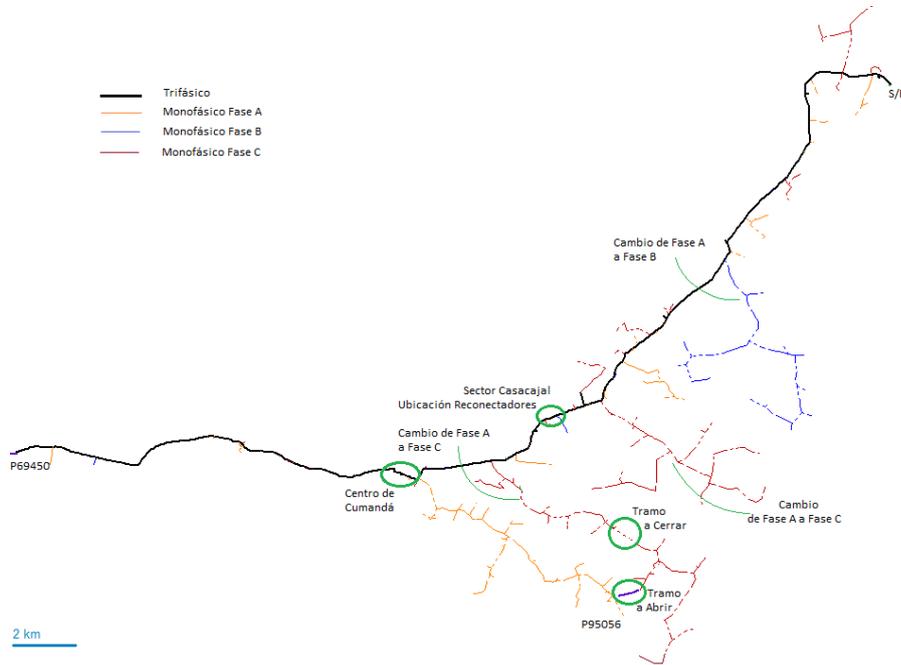


Figura 3.24: Reconfiguración y cambio de fases del Alimentador 1500140T02

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST).

Los resultados obtenidos en el punto más alejado desde la subestación luego de los cambios propuestos son:

Tabla 38 Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (El nuevo punto más distante desde la subestación)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|------------------|--------------------|----------------|------------------|------|--------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 69450 | Punto más distante | 11.92 | 6.68 | A | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 6.14 | 7.08 | B | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 7.68 | 8.21 | C | 36.56 |

Fuente: Los Autores

En cuanto al sector de Suncamal, se reconfiguró este tramo de manera que la caída de voltaje en este sector resulta:

Tabla 39 Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector de Suncamal)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 95056 | Punto crítico fase A | 13.63 | 6.88 | A | 31.68 |

Fuente: Los Autores

En vista de que este alimentador servirá a nuevos usuarios, en su mayoría situados en la cabecera cantonal del cantón Cumandá, conviene analizar los voltajes en este sector:

Tabla 40 Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector referencial centro de Cumandá)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 75379 | Centro de Cumandá | 11.04 | 7.09 | A | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | 5.34 | 7.54 | B | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | 6.35 | 7.46 | C | 23.57 |

Fuente: Los Autores

El voltaje en la fase A, es el más crítico, esto se debe a que el sector de Suncamal es servido por un ramal monofásico conectado a la fase A, esto complica realizar un balance de carga efectivo que permita mejorar las condiciones operativas de este alimentador.

3.6. Análisis técnico-económico de las Soluciones

Para el mejoramiento de este alimentador y evitar que se produzca el fenómeno de ondas viajeras por cambios de impedancia en el alimentador se ha realizado varias opciones económicas y técnicas que permitirán un mejor funcionamiento en el alimentador, ya que se deberá tomar muy en cuenta que además del problema que causan las ondas viajeras tenemos problemas de caídas de voltaje en todo el alimentador para lo cual se ha pensado realizar varios cambio, como el completar

de una derivación monofásica a trifásica para el sector de Suncamal, la reconfiguración de la troncal principal de cambiar el conductor de 1/0 AWG por un conductor a 3/0 AWG a todo el alimentador, y por último que es la opción más adecuada a largo plazo es la implementación de un alimentador paralelo construido por la vía que unen los cantones Pallatanga-Cumanda ya que por ser una zona subtropical se tienen mucha vegetación y el desbroce de vía es un problema ya que no se puede acceder muy fácilmente para realizar este tipo de trabajos y además por costos de operación y mantenimiento a la línea por eso, la mejor alternativa sería la construcción de un nuevo alimentador con un conductor en sus fase de 4/0 AWG. en el ANEXO 6 se puede observar el presupuesto referencial del costo del nuevo alimentador.

Para realizar un análisis de precios se solicitó información a la Dirección de Ingeniería y construcciones de la empresa eléctrica Riobamba, de esta manera se obtuvo valores referenciales de los costos por los trabajos a ejecutarse en el alimentador 1500140T02, en el ANEXO 6 se describe el análisis económico de un alimentador nuevo.

3.6.1. Reconfiguración del tramo monofásico que sirve al sector de Suncamal

Se trata de construir un tramo de 680 metros entre los postes 97450 y 75224, para lo cual se ha calculado un costo de USD 8700.

Tabla 41. Costo estimado por construir un tramo entre los postes 97452 y 75224

| ITEM | COSTO U | CANTIDAD | COSTO TOTAL |
|---|----------|----------|-------------|
| Construcción tramo monofásico 1/0 [km] | 12428.57 | 0.70 | 8700.00 |
| TOTAL | | | 8700.00 |

Fuente: Los Autores

Los demás trabajos consisten en balances de carga que no implican gastos adicionales a los trabajos que realizará el personal propio de la EERSA.

3.6.2. Cambio del ramal que sirve a Suncamal de monofásico a trifásico

De acuerdo al análisis realizado se propone repotenciar la red entre los postes 13506 y 75159, este tramo que en la actualidad es monofásico cambiará a trifásico, en el

estudio de costo se considera seguir la misma ruta, por lo que solamente se cambiará los postes de madera y en los postes de hormigón se reemplazarán solamente las estructuras existentes.

El tramo es de alrededor de 8400 metros y existen alrededor de 105 postes, de los cuales 30 aún son de madera.

Tabla 42. Costo estimado por cambiar de monofásico a trifásico el tramo que sirve a Suncamal

| ITEM | COSTO U | CANTIDAD | COSTO TOTAL |
|---------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Retiro red monofásica [km] | 1250.00 | 8.4 | 10500.00 |
| Construcción tramo trifásico 1/0 [km] | 17261.90 | 8.4 | 145000.00 |
| TOTAL | | | 155500.00 |

Fuente: Los Autores

Con estas consideraciones se calcula un valor estimado de USD 155500.00, por la repotenciación del tramo que sirve al sector de Suncamal.

3.6.3. Repotenciación y Reconfiguración del troncal del alimentador primario 1500140T02 con conductor ACSR 4/0 AWG

El cambio de conductor en el troncal de este alimentador consiste en la construcción de 20 km de red trifásica con conductor ACSR # 4/0 AWG.

Tabla 43. Costo estimado por repotenciar el troncal del alimentador 1500140T02 con conductor ACSR # 4/0 AWG

| ITEM | COSTO U | CANTIDAD | COSTO TOTAL |
|---------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Retiro red trifásica [km] | 1250.00 | 20 | 25000.00 |
| Construcción tramo trifásico 4/0 [km] | 25654.05 | 20 | 513081.00 |
| TOTAL | | | 538081.00 |

Fuente: Los Autores

3.6.4. Prolongación del alimentador primario 1500140T03

Este trabajo implica la construcción de 23 km de red trifásica desde la parroquia Multitud hasta el sector de Suncamal.

Tomando en cuenta que los 23 km de red a construir, tienen tramos en los que son de difícil acceso y carecen de red existente, se ha realizado las siguientes estimaciones de costos:

Tabla 44. Costo estimado por extender el alimentador 1500140T03 hasta el sector de Suncamal

| ITEM | COSTO ESTIMADO |
|---|-----------------------|
| Construcción 23 km red conductor ACSR 1/0 AWG | 529 000.00 |
| Construcción 23 km red conductor ACSR 3/0 AWG | 583 000.00 |

Fuente: Los Autores

En el estudio se consideró conductor ACSR #3/0 AWG, tomando en cuenta que la carga que tomaría el nuevo alimentador Suncamal será menor a la del alimentador existente Cumandá, el valor se estima en USD 583000.00.

En el caso de considerar cable ecológico debido a que la ruta de este alimentador sería por terreno con vegetación, el costo de la red se triplicaría de acuerdo a consulta realizada a proveedores de este tipo de conductor.

3.7. Conclusiones Capítulo III

Los sobrevoltajes fueron determinados por el ATPDraw, y como resultado nos dio que el pico mas alto se observo en el tramo numero 1 con un valor de 1,86 pu, en milésimas de segundos, lo cual perjudica a los equipos conectados al alimentador.

Para el diseño del nuevo alimentador se utilizó en la simulación 2 tipos de calibres de conductores, el 3/0 AWG y el 4/0 AWG, dando como resultados la disminución de los sobrevoltajes en el alimentador en estudio y dando paso al mejoramiento de la calidad de servicio hacia los usuarios finales.

En el estudio técnico-económico se determinó que se debe tener un presupuesto de 1'200.000 dólares para la implementación del nuevo alimentador y este se lo realizara por la vía principal Multitud-Cumandá, para solucionar problemas con la vegetación existente en el lugar.

4. CONCLUSIONES

En el análisis realizado en el proceso de titulación, converge en un análisis de la teoría de las ondas viajeras, principalmente, dentro de un entorno de líneas con cambios de impedancia y sus efectos en los elementos cercanos a estos puntos, el estudio ha incorporado análisis técnicos de otras aristas diferentes dentro de la misma operación del sistema y es así que, marca una pauta de una paradigmática posibilidad de empezar con el uso de diferentes criterios de optimización en el diseño, operación y optimización de líneas de subtransmisión, que no considera únicamente las caídas de voltaje como su función objetivo, sino criterios de calidad, continuidad, uso del recurso, disminución de efectos adversos en la vida útil de los elementos, entre otros criterios.

Los efectos de ondas refractantes en cambio de impedancia de los conductores, son fenómenos que se encuentran también en la operación continua de los sistemas, no únicamente de forma transitoria o en fallas es por ello que el análisis de ondas viajeras, permite caracterizar efectos eléctricos que se observan en la operación del sistema, pero que no se conoce su origen, ni comportamiento; tal como en el caso de sobrevoltajes en los tramos del Alimentador 2/14 Multitud-Cumandá.

El ATPDraw permite la simulación y el uso del diagrama Lattice, el cual ha sido utilizado como una herramienta para representar este tipo de fenómenos de una manera práctica en el proyecto de investigación y poder observar la transición temporal de ondas viajeras de voltaje y corriente durante su propagación en un tiempo muy corto ocurrida la falla.

Al utilizar una Fuente DC se analizó el cambio de impedancia en el diseño de red de distribución para el caso en que toda la troncal es de calibre 4/0, el voltaje incidente tiene el mismo valor a lo largo de la troncal que es de 13.7 kV, pero el voltaje de reflexión llega a tener un valor de 14.1 kV y el de transmisión de 18.1 kV, a pesar de que el calibre es igual en toda la troncal tiene un sobrevoltaje pero más bajo que el del calibre de 3/0 AWG, por este análisis se llegó a determinar de que la mejor opción técnica y económica para mejorar tanto en el fenómeno de

ondas viajeras por cambios de impedancia y caídas de tensión es la construcción de un alimentador paralelo.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda diseñar un alimentador por la vía principal para el ahorro en mantenimiento, tiempos de reconexión y menor tiempo posible sin suministro eléctrico.

Se recomienda a los profesionales de la Ingeniería Eléctrica profundizar los análisis de optimización de Alimentadores para poder brindar un servicio de calidad a los usuarios finales.

Adicionalmente, se recomienda una recolección de información a mediano y largo plazo, de los criterios de sobre voltajes por cambios de impedancia, carga de conductores, incremento de fallas en las líneas sobrecargadas, entre otros asociados a conceptos de ondas viajeras analizadas en el presente estudio, con el fin de que se pueda evidenciar y desde la parte teoría, caracterizar el impacto de estas condiciones dentro de la operación de los sistemas de distribución.

6. REFERENCIAS

- [1] C. Pritchard, H. Lampl y T. Hensler, *Nuevas posibilidades para probar las funciones de localización de fallas con ondas viajeras en campo*, Austria: OMICRON, 2018.
- [2] V. González , R. Cárdenas, V. Torres y M. Arrieta Patermina, «Bewley's Lattice Diagram Implementation by Using,» *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 17, nº 9, p. 8, 2019.

- [3] J. Castruita, *Nuevo algoritmo de protección de distancia basado en el reconocimiento de patrones de onda viajera*, Mexico D.F.: UANL, 2004.
- [4] L. Jun, L. Zhang , Y. Zhihao y Z. Feng , *Un nuevo método de localización de fallas que evita la velocidad de las ondas y se basa en las ondas de desplazamiento para la línea de transmisión EHV*, Nanjing: IEEE, 2008.
- [5] X. Zheng, X. Li, J. Ding y Z. Duan, *Estudio sobre el algoritmo ensamblado de onda de desplazamiento de impedancia en el sistema de localización de fallas de un terminal para líneas de transmisión*, Nanjing: IEEE, 2008.
- [6] F. Casas Arias, *Evaluación de las sobretensiones transitorias en las líneas de transmisión*, Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2009.
- [7] E. Vázquez Martínez y J. Castruita Ávila , *Protección de distancia basada en el reconocimiento de patrones de onda viajera*, Mexico D.F.: UANL, 2009.
- [8] X. Dong, S. Wang y S. Shi, *Investigación sobre características de fallas de voltaje que viajan en ondas en una línea de transmisión*, Wroclaw: IEEE, 2010.
- [9] X. Dong , A. Lei y S. Shi, *Un novedoso método de localización de fallas en un solo extremo basado en ondas de desplazamiento de corriente para localizar fallas monofásicas en una línea de transmisión*, Stoke on Trent: IEEE, 2015.
- [10] X. Li, S. Lin y S. Jiang, *Método de identificación de fallas internas y externas basado en la característica de amplitud de la onda de retroceso para la línea de transmisión HVDC*, Changsha: IEEE, 2015.

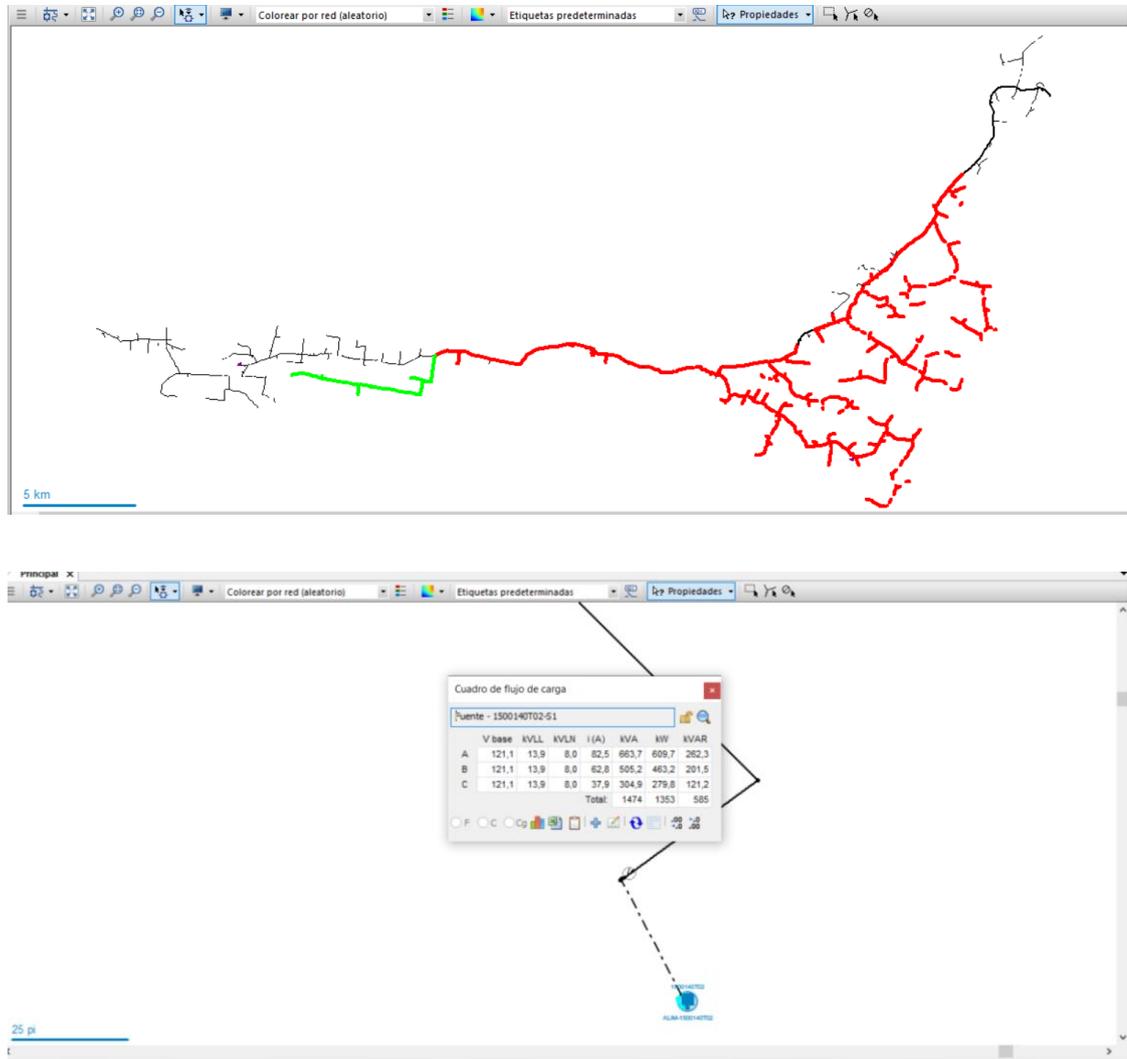
- [11] L. Páez y F. Villón , *Modelación matemática de ondas viajeras generadas por descargas atmosféricas en sistemas de distribución desarrollado en el laboratorio de alta tensión de la UPS-Sede Guayaquil*, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, 2016.
- [12] D. Fernández, *Análisis comparativo del sistema de localización de Fallas por Onda Viajera frente a los sistemas tradicionales*, Leganés: Universidad Carlos III de Madrid, 2017.
- [13] L. Xun, L. Shungui, H. Ronghui, A. Jingwen, U. Yunzhu, C. Ping y X. Zhengxiang, *Estudio sobre la precisión del método de localización de falla de onda viajera de la línea aérea - Línea híbrida de cable y sus factores influyentes*, Jinan: IEEE, 2017.
- [14] L. Escobar , E. Vázquez y J. Ramírez, *Protección de onda viajera utilizando el segundo momento central*, Mexico D.F.: UANL, 2018.
- [15] C. Guevara y D. Rodríguez, *METODOLOGÍA DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS BASADA EN ONDAS VIAJERAS CON SEÑALES DE TENSIÓN*, Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, 2018.
- [16] F. Lopes y E. Leite, *Soluciones basadas en ondas itinerantes para sincronización de tiempo de datos de dos terminales de línea de transmisión*, Mexico D.F: IEEE, 2018.
- [17] C. Pérez Vega, *Capítulo 9. Líneas de Transmisión*, Santander: Universidad de Cantabria, 2010.

- [18] X. Orejuela, *Análisis de sobrevoltajes transientes producidos por descargas atmosféricas y coordinación de aislamientos en sistemas de potencia de alta tensión*, Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral, 1993.
- [19] INEL, *Ondas Viajeras de tensión*, Lima: Inel, 2020.
- [20] H. Herrera Alvarez y E. F. Prado Otero, *Uso del computador para el estudio de ondas viajeras mediante el método del diagrama de Lattice*, Calí: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1987.
- [21] P. J. Sola Pazmiño, *Calculo de transitorios en líneas de transmisión a 230kV con aplicación a la línea Quevedo-Totoras*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010.
- [22] E. Frezz, *Análisis de las ondas viajeras en las líneas de transmisión*, Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.
- [23] EATON Powering Business Worldwide, *CYME Programa de análisis de redes eléctricas*, Québec: CYME International, 2020.
- [24] Dirección de Planificación de la Empresa Eléctrica Riobamba, *Análisis del alimentador 1500140T02*, Riobamba: EERSA, 2020.
- [25] H. Oraee, «A Quantative approach to estimate the life expectancy of Motor Insulation Systems.,» de *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Tehran, IEEE, 2000, pp. 790-796.
- [26] C. Guevara Vicuña, *Métodos prácticos para lograr ahorros de Energía Eléctrica*, Segunda ed., Santiago de Chile: GRUPO EDITORIAL EMB, 2009.

- [27] J. Tovar y H. Ruiz , «Sector Electricidad,» 03 Enero 2011. [En línea].
Available: <http://www.sectorelectricidad.com/8548/modelado-de-lineas-de-transmision-parte-1/>. [Último acceso: 17 Enero 2020].
- [28] B. Guevara Cortés, *Capítulo 1. Teoría de la Onda Viajera*, Mexico D.F.: Academia de Potencia, 2010.

7. ANEXOS

7.1. ANEXO 1. FLUJOS DE CARGA DEL ALIMENTADOR MULTITUD CUMANDA SACADOS DEL PROGRAMA CYMDIST



Cuadro de flujo de carga

| Fuente - 1500140T02-S1 | | | | | | | |
|------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | KVAR |
| A | 121,1 | 13,9 | 8,0 | 82,5 | 663,7 | 609,7 | 262,3 |
| B | 121,1 | 13,9 | 8,0 | 62,8 | 505,2 | 463,2 | 201,5 |
| C | 121,1 | 13,9 | 8,0 | 37,9 | 304,9 | 279,8 | 121,2 |
| Total: | | | | | 1474 | 1353 | 585 |

| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|--------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Fuente - 1500140T02-S1 | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | kVAR |
| A | 121,1 | 13,9 | 8 | 82,5 | 663,7 | 609,7 | 262,3 |
| B | 121,1 | 13,9 | 8 | 62,8 | 505,2 | 463,2 | 201,5 |
| C | 121,1 | 13,9 | 8 | 37,9 | 304,9 | 279,8 | 121,2 |
| Total: | | | | | 1474 | 1353 | 585 |

| Línea aérea por fase - 105334_MTA | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | kVAR |
| A | 117,4 | 13,6 | 7,8 | 81,7 | 637,2 | 588,5 | 244,4 |
| B | 119,8 | 13,7 | 8 | 62,7 | 498,8 | 460,2 | 192,2 |
| C | 120,3 | 13,7 | 8 | 34,1 | 272,5 | 248,9 | 110,8 |
| Total: | | | | | 1408 | 1298 | 547 |

Propiedades del tramo

Nombre del tramo: 105334_MTA

Fase: A B C

Zona: NO-DEFINIDO

Medio ambiente: Desconocido Más...

Dispositivos:

- Configuración por fase
- Impedancias equivalentes
- Corriente permanente admisible

Configuración por fase

Tipo: Configuración por fase Fallas...

Número: 105334_MTA

Estado: Conectado

Longitud: 402,6161 pies Etapa: No definido

Parámetros

Configuración

Posición: ABC Conductores de misma fase

Fase A: ACSR. 3/0

Fase B: ACSR. 3/0

Fase C: ACSR. 3/0

Neutro 1: ACSR. 4

Neutro 2: NONE

Distancia: 3CP

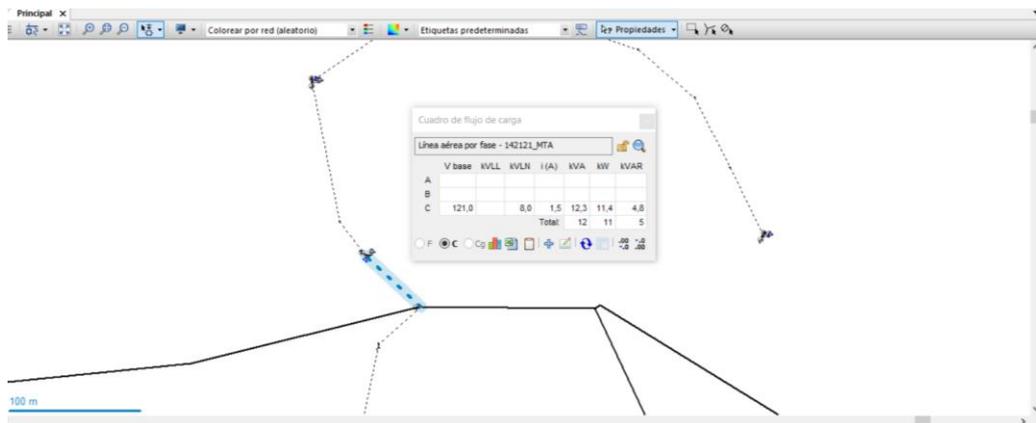
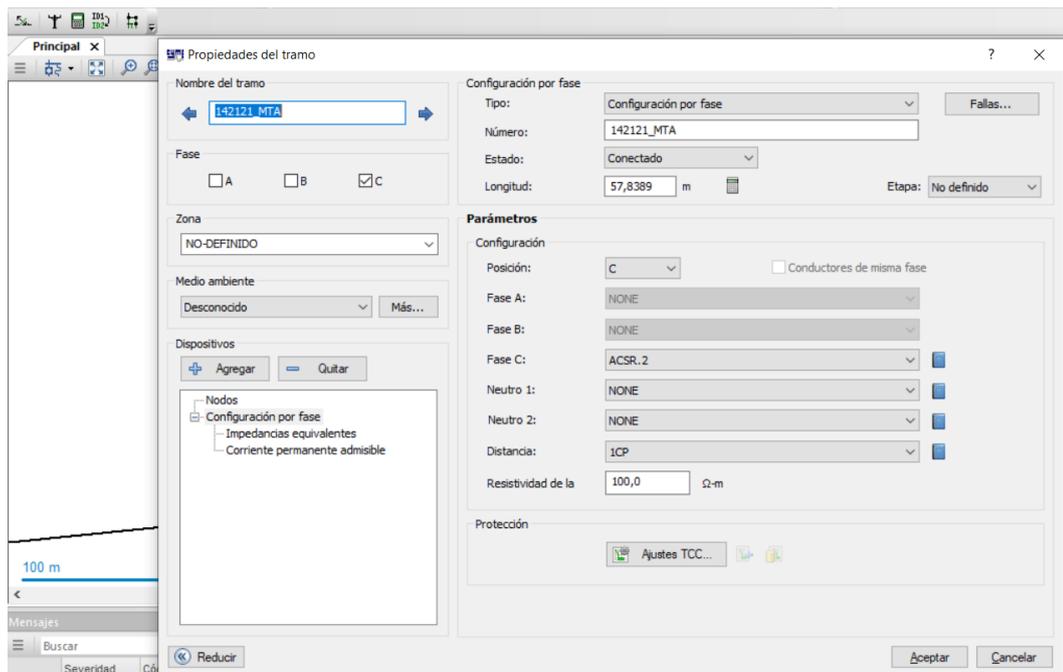
Resistividad de la: 100,0 Ω·m

Protección: Ajustes TCC...

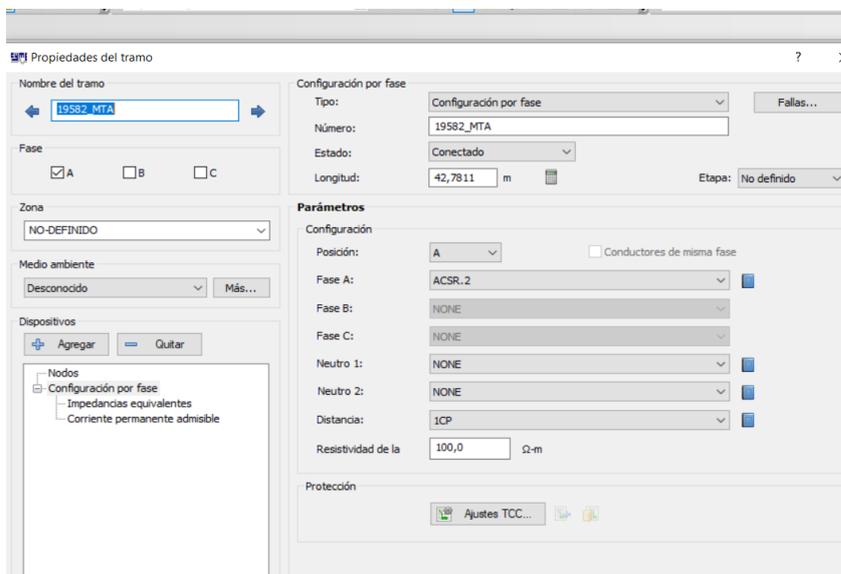
Reducir Aceptar Cancelar

| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Línea aérea por fase - 19461_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | KVAR |
| A | 120,5 | 13,9 | 8 | 82,5 | 661 | 607,6 | 260,2 |
| B | 120,9 | 13,9 | 8 | 62,8 | 504,4 | 462,9 | 200,4 |
| C | 121 | 13,9 | 8 | 37,9 | 304,7 | 279,4 | 121,4 |
| Total: | | | | | 1470 | 1350 | 582 |

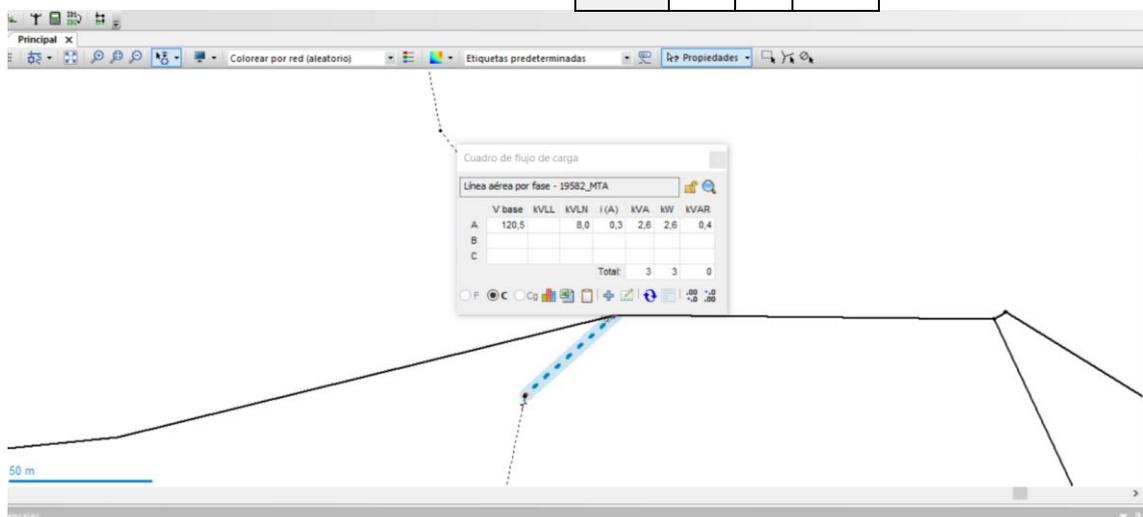
| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Línea aérea por fase - 19571_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | KVAR |
| A | 120,6 | 13,9 | 8 | 82,5 | 662,2 | 608,5 | 261,2 |
| B | 120,9 | 13,9 | 8 | 62,8 | 504,8 | 463,1 | 200,9 |
| C | 121 | 13,9 | 8 | 37,9 | 304,8 | 279,6 | 121,4 |
| Total: | | | | | 1472 | 1351 | 584 |



| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|------|------|-------|------|------|------|
| Línea aérea por fase - 142121_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | kVAR |
| A | | | | | | | |
| B | | | | | | | |
| C | 121 | | 8 | 1,5 | 12,3 | 11,4 | 4,8 |
| Total: | | | | | 12 | 11 | 5 |



| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-----|-----|------|
| Línea aérea por fase - 19582_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | KVAR |
| A | 120,5 | | 8 | 0,3 | 2,6 | 2,6 | 0,4 |
| B | | | | | | | |
| C | | | | | | | |
| Total: | | | | | 3 | 3 | 0 |



Nombre del tramo: 32097_MTA

Fase: A B C

Zona: NO-DEFINIDO

Medio ambiente: Desconocido Más...

Dispositivos: Agregar Quitar

Nodos:

- Configuración por fase
- Impedancias equivalentes
- Corriente permanente admisible

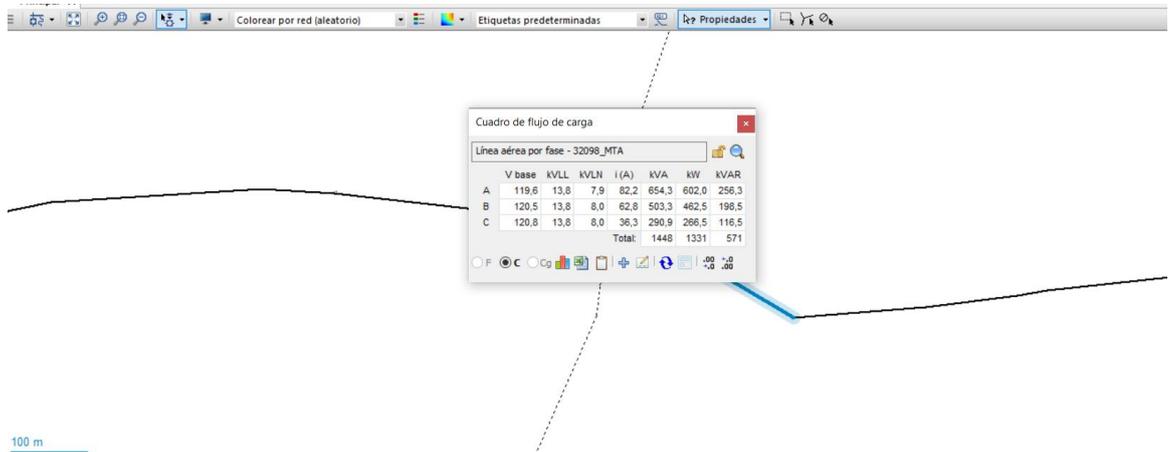
Configuración por fase:

- Tipo: Configuración por fase
- Número: 32097_MTA
- Estado: Conectado
- Longitud: 719,9498 m
- Etapas: No definido

Parámetros:

- Configuración:
 - Posición: ABC Conductores de misma fase
 - Fase A: ACSR_3/0
 - Fase B: ACSR_3/0
 - Fase C: ACSR_3/0
 - Neutro 1: ACSR_4
 - Neutro 2: NONE
 - Distancia: 3CP
 - Resistividad de la: 100,0 Ω -m
- Protección: Ajustes TCC...

Reducir Aceptar Cancelar



| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Línea aérea por fase - 32098_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | KW | KVAR |
| A | 119,6 | 13,8 | 7,9 | 82,2 | 654,3 | 602 | 256,3 |
| B | 120,5 | 13,8 | 8 | 62,8 | 503,3 | 462,5 | 198,5 |
| C | 120,8 | 13,8 | 8 | 36,3 | 290,9 | 266,5 | 116,5 |
| Total: | | | | | 1448 | 1331 | 571 |

Propiedades del tramo

Nombre del tramo: 19469_MTA

Fase: A B C

Zona: NO-DEFINIDO

Medio ambiente: Desconocido

Dispositivos:

- Configuración por fase
- Impedancias equivalentes
- Corriente permanente admisible

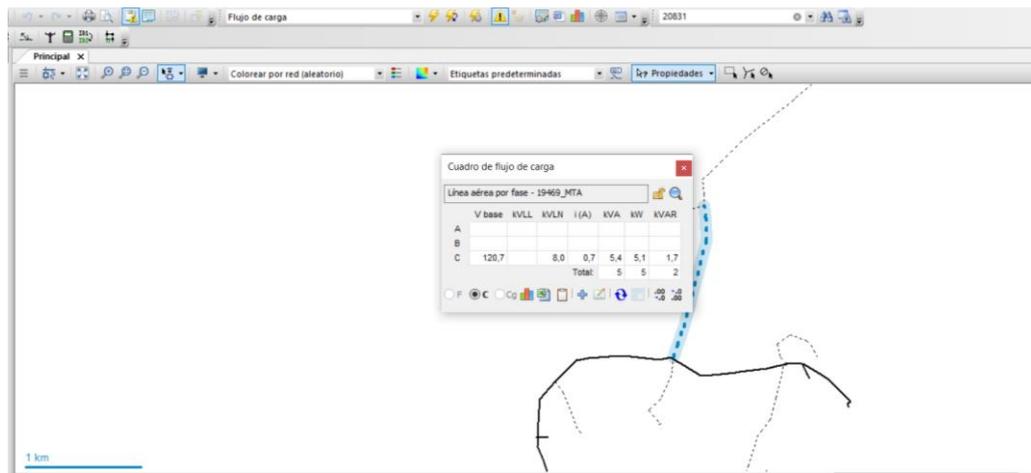
Configuración por fase:

- Tipo: Configuración por fase
- Número: 19469_MTA
- Estado: Conectado
- Longitud: 1356,896 m
- Etapas: No definido

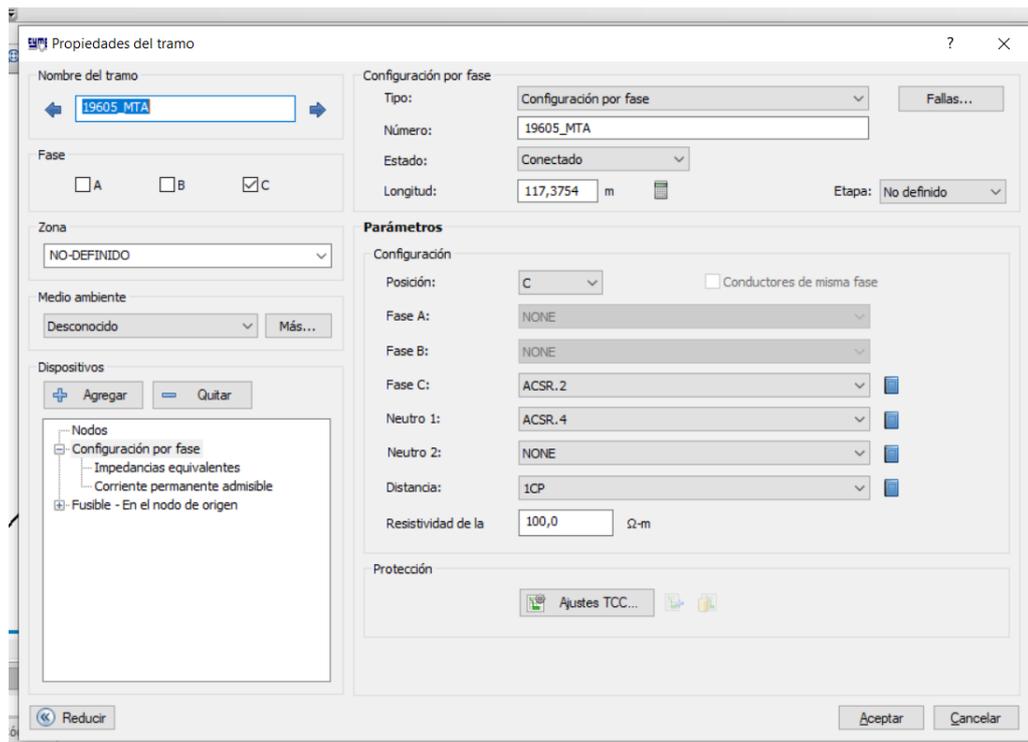
Parámetros:

- Configuración:
 - Posición: C
 - Fase A: NONE
 - Fase B: NONE
 - Fase C: ACSR..2
 - Neutro 1: ACSR..4
 - Neutro 2: NONE
 - Distancia: 1CP
 - Resistividad de la: 100,0 Ω-m
- Protección: Ajustes TCC...

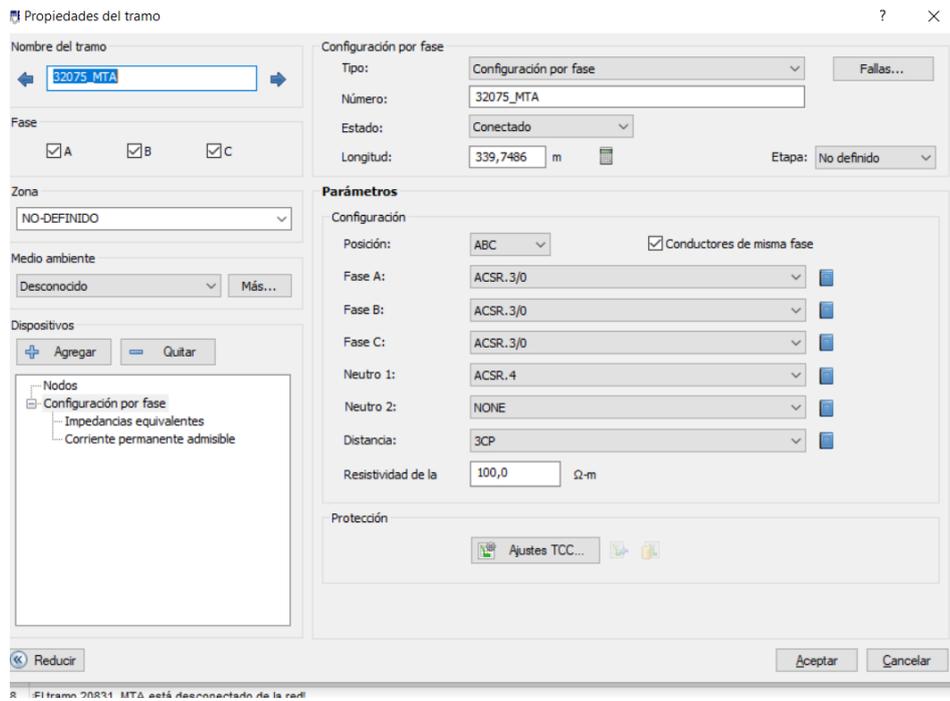
Botones: Reducir, Aceptar, Cancelar



| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-----|-----|------|
| Línea aérea por fase - 19469_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | KVAR |
| A | | | | | | | |
| B | | | | | | | |
| C | 120,7 | | 8 | 0,7 | 5,4 | 5,1 | 1,7 |
| Total: | | | | | 5 | 5 | 2 |



| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-----|----|------|
| Línea aérea por fase - 19605_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | kVAR |
| A | | | | | | | |
| B | | | | | | | |
| C | 120,8 | | 8 | 0,5 | 4,4 | 4 | 1,7 |
| Total: | | | | | 4 | 4 | 2 |



| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|--------|-------|-------|-------|
| Línea aérea por fase - 32075_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | kVAR |
| A | 119,3 | 13,8 | 7,9 | 82,2 | 652,8 | 600,9 | 255 |
| B | 120,4 | 13,8 | 8 | 62,8 | 502,9 | 462,4 | 197,8 |
| C | 120,7 | 13,8 | 8 | 34,6 | 277,4 | 253,9 | 111,7 |
| | | | | Total: | 1433 | 1317 | 564 |

| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Línea aérea por fase - 32073_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | kVAR |
| A | 118,8 | 13,8 | 7,9 | 82,1 | 649,6 | 598,3 | 253 |
| B | 120,3 | 13,8 | 8 | 62,8 | 502,3 | 462,2 | 196,8 |
| C | 120,6 | 13,8 | 8 | 34,6 | 277,3 | 253,7 | 111,8 |
| Total: | | | | | 1429 | 1314 | 562 |

Propiedades del tramo

Nombre del tramo: 32073_MTA

Fase: A B C

Zona: NO-DEFINIDO

Medio ambiente: Desconocido

Dispositivos:

- Configuración por fase
- Impedancias equivalentes
- Corriente permanente admisible

Configuración por fase

Tipo: Configuración por fase

Número: 32073_MTA

Estado: Conectado

Longitud: 383,7255 m

Etapa: No definido

Parámetros

Configuración

Posición: ABC Conductores de misma fase

Fase A: ACSR_3/0

Fase B: ACSR_3/0

Fase C: ACSR_3/0

Neutro 1: ACSR_4

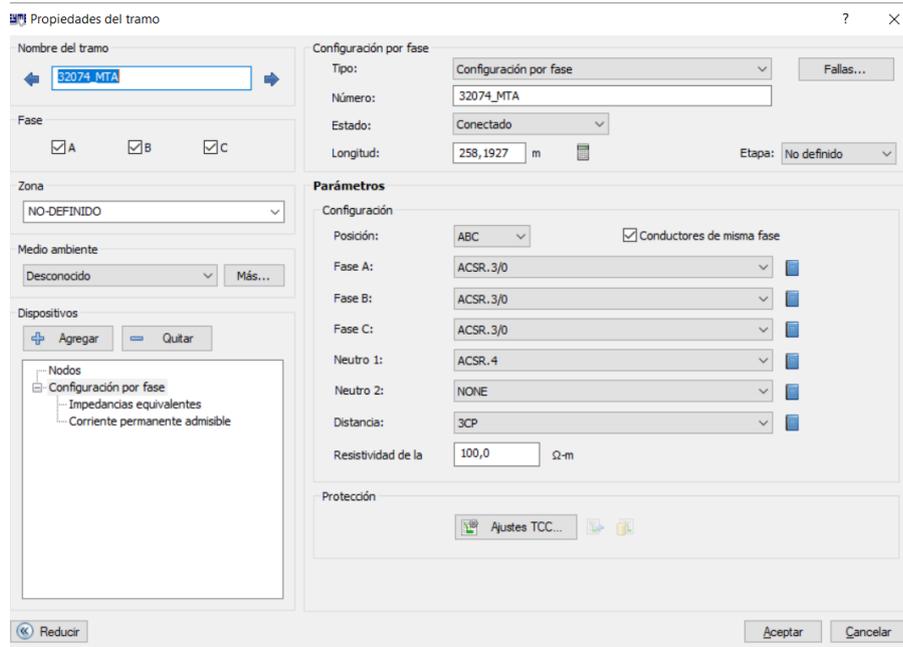
Neutro 2: NONE

Distancia: 3CP

Resistividad de la: 100,0 Ω -m

Protección: Ajustes TCC...

Reducir Aceptar Cancelar



| Cuadro de flujo de carga | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|--------|-------|-------|-------|
| Línea aérea por fase - 32074_MTA | | | | | | | |
| | V base | kVLL | kVLN | i (A) | kVA | kW | kVAR |
| A | 118,6 | 13,7 | 7,9 | 82,1 | 647,8 | 597 | 251,5 |
| B | 120,2 | 13,8 | 8 | 62,9 | 501,9 | 462 | 196 |
| C | 120,6 | 13,8 | 8 | 34,2 | 274,2 | 250,8 | 110,8 |
| | | | | Total: | 1424 | 1310 | 558 |

7.2. ANEXO 2. TABLA DE DATOS DEL ALIMENTADOR MULTITUD CUMANDA.

TRONCAL Y DERIVACIONES.

| RAMALES DEL ALIMENTADOR MULTITUD CUMANDA | | | | | |
|---|---------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| TRAMO | | DISTANCIA EN Km | No Trafo | Potencia kVA | Fases |
| P72033 | P72001 | 0.201 | 809 | 10 | 1Φ |
| P72001 | P91325 | 1.457 | 8523-812-811 | 30 | 1Φ |
| P91321 | P113948 | 0.227 | 12195 | 10 | 1Φ |
| | | 1.457 | | 50 | |
| P134223 | P100683 | 0.908 | 9653-9092- 808-13791 | 40 | 1Φ |
| P134223 | P85363 | 1.3 | | | |
| P85363 | P110796 | 0.924 | | | |
| P110796 | P110904 | 0.168 | 11485 | 5 | 1Φ |
| P110796 | P110786 | 0.267 | 11469-11468 | 20 | 1Φ |
| P85363 | P73734 | 1.5 | 762-763-764 | 25 | 1Φ |
| | | 5.067 | | 50 | |
| P72066 | P72095 | 0.537 | 795 | 5 | 1Φ |
| | | | | | |
| P72124 | P72140 | 0.608 | 800-801 | 20 | 1Φ |
| | | | | | |
| P72204 | P72214 | 0.814 | 807-806 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |
| P72235 | P72243 | 0.232 | | | |
| P72243 | P73625 | 0.858 | 5518-792 | 20 | 1Φ |
| P72243 | P72269 | 0.609 | 783 | 10 | 1Φ |
| | | 1.699 | | 30 | |
| P72280 | P72281 | 0.71 | 72281 | 30 | 3Φ |
| | | | | | |
| P72290 | P72532 | 0.98 | 772 | 100 | 3Φ |
| | | | | | |
| P72295 | P72302 | 0.516 | 787 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|---------|----|----|
| P72316 | P72320 | 0.640 | 789 | 10 | 1Φ |
| P72320 | P72332 | 0.740 | | | |
| P72332 | P72339 | 0.659 | 791-790 | 20 | 1Φ |
| P72332 | P72349 | 0.259 | 781 | 10 | 1Φ |
| P72349 | P72358 | 0.418 | 782 | 10 | 1Φ |
| P72358 | P72386 | 0.961 | | | |
| P72386 | P72497 | 1.97 | 768-767 | 20 | 1Φ |
| P72497 | P72502 | 0.515 | 769 | 10 | 1Φ |
| P72497 | P72506 | 0.337 | | | |
| P72506 | P72522 | 0.267 | 13794 | 10 | 1Φ |
| P72506 | P72518 | 1.19 | 770-773 | 20 | 1Φ |
| P72386 | P72400 | 1.13 | 15004 | 10 | 1Φ |
| P72400 | P72401 | 0.347 | 779 | 10 | 1Φ |
| P72400 | P72412 | 0.234 | | | |
| P72412 | P72417 | 0.289 | 776 | 10 | 1Φ |
| P72412 | P72436 | 0.247 | 777 | 10 | 1Φ |
| P72436 | P72438 | 0.302 | 13797 | 10 | 1Φ |
| P72436 | P72452 | 0.862 | 13795 | 10 | 1Φ |
| P72452 | P72457 | 0.365 | 13796 | 10 | 1Φ |
| P72452 | P72472 | 0.461 | | | |
| P72472 | P13459 | 1013 | | | |
| P13459 | P13460 | 0.244 | 765 | 10 | 1Φ |
| P13459 | P13466 | 0.536 | 766 | 10 | 1Φ |
| P72472 | P13441 | 0.248 | 774 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |
| P62144 | P92289 | 0.341 | 8579 | 10 | 1Φ |
| P92289 | P92281 | 0.356 | 8577 | 10 | 1Φ |
| P92281 | P92286 | 0.618 | 8576 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |
| P62180 | P62181 | 0.167 | 1007 | 10 | 1Φ |
| P62181 | P110879 | 0.318 | 11482 | 10 | 1Φ |
| P110879 | P110891 | 0.748 | 11483 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |
| P62204 | P62218 | 1.400 | | | |
| P62218 | P62219 | 0.426 | 1004 | 10 | 1Φ |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|----|----|
| P62218 | P122569 | 0.73 | | | |
| P122569 | P62227 | 0.108 | 1005 | 10 | 1Φ |
| P122569 | P62233 | 0.56 | | | |
| P62233 | P62387 | 0.681 | 995 | 10 | 1Φ |
| P62233 | P123269 | 0.916 | 1003 | 10 | 1Φ |
| P123269 | P62296 | 0.500 | 998 | 10 | 1Φ |
| P62296 | P62318 | 1.022 | 999 | 10 | 1Φ |
| P62318 | P62347 | 1.087 | 996 | 10 | 1Φ |
| P62347 | P94779 | 0.463 | 8866 | 10 | 1Φ |
| P62347 | P62363 | 1.008 | 997 | 10 | 1Φ |
| P123269 | P62253 | 0.411 | | | |
| P62253 | P62265 | 0.654 | 1002 | 10 | 1Φ |
| P62265 | P62276 | 0.648 | | | |
| P62276 | P62281 | 0.173 | 1000 | 10 | 1Φ |
| P62276 | P62288 | 0.442 | 13805 | 10 | 1Φ |
| P62253 | P81246 | 1.148 | 5656 | 10 | 1Φ |
| P81246 | P81328 | 0.736 | 5662 | 10 | 1Φ |
| P81328 | P81343 | 1.018 | 5663 | 10 | 1Φ |
| P81343 | P81364 | 0.530 | 5664 | 10 | 1Φ |
| P81246 | P81250 | 0.2 | | | |
| P81250 | P13576 | 0.269 | 5660 | 10 | 1Φ |
| P13576 | P81308 | 0.504 | 5661 | 10 | 1Φ |
| P81250 | P81256 | 0.609 | 5657 | 10 | 1Φ |
| P81256 | P81269 | 0.301 | 5658 | 10 | 1Φ |
| P81269 | P81284 | 0.756 | 5659 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |
| P62413 | P62426 | 0.433 | 987 | 15 | 1Φ |
| P62426 | P92266 | 0.428 | 8581 | 10 | 1Φ |
| P92266 | P92261 | 0.472 | 8580 | 10 | 1Φ |
| P92261 | P92272 | 0.601 | 8575 | 10 | 1Φ |
| P92272 | P2252 | 0.496 | 8574 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |
| P62442 | P154271 | 0.23 | 16402 | 10 | 1Φ |
| P154271 | P154278 | 0.327 | 16416 | 10 | 1Φ |
| P154278 | P151243 | 0.122 | | | |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|----|----|
| | | | | | |
| P62455 | P90114 | 0.112 | 8354 | 10 | 1Φ |
| P90114 | P161270 | 0.63 | 17608 | 25 | 1Φ |
| | | | | | |
| P72904 | P97374 | 0.738 | | | |
| P97374 | P13537 | 0.258 | 5947 | 10 | 1Φ |
| P13537 | P170298 | 0.160 | 17117 | 10 | 1Φ |
| P170298 | P112965 | 0.5 | 12065 | 10 | 1Φ |
| P112965 | P123347 | 0.47 | 16125 | 10 | 1Φ |
| P97374 | P97380 | 0.292 | 9195 | 10 | 1Φ |
| P97380 | P97388 | 0.567 | 9196 | 10 | 1Φ |
| P97388 | P97400 | 0.939 | | | |
| P97400 | P102322 | 0.324 | 10246 | 75 | 1Φ |
| P97400 | P97401 | 0.197 | | | |
| P97401 | P97405 | 0.257 | 9197 | 10 | 1Φ |
| P97401 | P97415 | 0.424 | | | |
| P97415 | P97411 | 0.434 | 9198 | 10 | 1Φ |
| P97415 | P97438 | 0.68 | 9200 | 10 | 1Φ |
| P97438 | P97431 | 0.726 | | | |
| P97431 | P97452 | 0.455 | 9202 | 10 | 1Φ |
| P97431 | P97419 | 0.609 | 9199 | 10 | 1Φ |
| P97431 | P97457 | 0.27 | 9201 | 10 | 1Φ |
| | | | | | |
| P75362 | P75025 | 1.2 | | | |
| P75025 | P72762 | 0.424 | | | |
| P72762 | P118567 | 0.225 | 15633 | 10 | 1Φ |
| P72762 | P118541 | 0.105 | 17605 | 25 | 1Φ |
| P118541 | P118538 | 0.113 | 12269 | 10 | 1Φ |
| P118538 | P118536 | 0.87 | 15638 | 10 | 1Φ |
| P75025 | P75054 | 2.226 | 981 | 15 | 1Φ |
| P75054 | P75067 | 0.11 | | | |
| P75067 | P75070 | 0.394 | 976 | 5 | 1Φ |
| P75070 | P13580 | 0.42 | 13806 | 50 | 1Φ |
| P75070 | P13579 | 0.402 | 10282 | 75 | 1Φ |
| P75067 | P75077 | 0.118 | | | |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|------|----|
| P75077 | P75078 | 0.231 | 75078 | 5 | 1Φ |
| P75078 | P75090 | 1.054 | 7592 | 10 | 1Φ |
| P75090 | P75091 | 0.143 | | | |
| P75091 | P75092 | 0.127 | 978 | 15 | 1Φ |
| P75091 | P75098 | 0.739 | 979 | 5 | 1Φ |
| P75098 | P75103 | 0.346 | | | |
| P75103 | P102324 | 0.141 | 10247 | 50 | 1Φ |
| P75103 | P75112 | 0.717 | 975 | 10 | 1Φ |
| P75112 | P75118 | 0.238 | 75118 | 5 | 1Φ |
| P75118 | P75124 | 0.579 | 75124 | 5 | 1Φ |
| P75112 | P75113 | 0.59 | | | |
| P75113 | P75128 | 0.396 | 794 | 10 | 1Φ |
| P75128 | P13598 | 0.274 | 13808 | 15 | 1Φ |
| P75113 | P75136 | 0.821 | | | |
| P75136 | P13608 | 0.474 | 11456 | 10 | 1Φ |
| P75136 | P75139 | 0.235 | | | |
| P75139 | P75140 | 0.103 | 971 | 10 | 1Φ |
| P75139 | P75158 | 0.179 | | | |
| P75158 | P87220 | 0.26 | 7708 | 37.5 | 1Φ |
| P87220 | P102151 | 0.12 | 10222 | 50 | 1Φ |
| P75158 | P75159 | 0.131 | | | |
| P75159 | P75166 | 0.804 | 969 | 10 | 1Φ |
| P75166 | P122664 | 0.383 | | | |
| P122664 | P81767 | 0.411 | 5704 | 10 | 1Φ |
| P122664 | P75175 | 0.192 | | | |
| P75175 | P75178 | 0.190 | 970 | 10 | 1Φ |
| P75175 | P75185 | 0.475 | 968 | 25 | 1Φ |
| P75185 | P75203 | 0.406 | 8894 | 25 | 1Φ |
| P75203 | P75208 | 0.385 | 967 | 10 | 1Φ |
| P75208 | P75224 | 0.574 | 966 | 10 | 1Φ |
| P75203 | P75245 | 0.487 | 965 | 10 | 1Φ |
| P75203 | P75185 | 0.406 | 963 | 25 | 1Φ |
| P75185 | P75260 | 0.290 | | | |
| P75260 | P100217 | 0.57 | 13809 | 10 | 1Φ |
| P75260 | P75264 | 0.234 | 964 | 10 | 1Φ |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|----|----|
| P75264 | P75277 | 0.692 | | | |
| P75277 | P75295 | 0.242 | | | |
| P75295 | P95814 | 0.85 | 8996 | 10 | 1Φ |
| P75295 | P75300 | 0.396 | 963 | 10 | 1Φ |
| P75277 | P75283 | 0.231 | 962 | 10 | 1Φ |
| P75283 | P95033 | 0.889 | 8928 | 10 | 1Φ |
| P95033 | P103393 | 0.725 | | | |
| P103393 | P95036 | 0.065 | 8927 | 10 | 1Φ |
| P103393 | P103397 | 0.685 | | | |
| P103397 | P103409 | 0.108 | 10421 | 10 | 1Φ |
| P103397 | P103399 | 0.857 | 10420 | 10 | 1Φ |
| P103409 | P103418 | 0.818 | 10422 | 10 | 1Φ |
| P103418 | P103433 | 1.024 | 10423 | 10 | 1Φ |
| P75077 | P75308 | 0.364 | | | |
| P75308 | P102889 | 0.081 | 10339 | 50 | 1Φ |
| P75308 | P75312 | 0.793 | | | |
| P75312 | P75318 | 0.152 | 961 | 15 | 1Φ |
| P75312 | P75328 | 0.166 | | | |
| P75328 | P75330 | 0.196 | | | |
| P75328 | P75334 | 0.552 | 960 | 10 | 1Φ |
| P75334 | P102887 | 0.432 | 13807 | 75 | 1Φ |
| | | | | | |
| P69449 | P75547 | 0.549 | 9416 | 10 | 1Φ |
| P75547 | P75549 | 0.550 | 945 | 10 | 1Φ |
| P75549 | P75559 | 0.959 | | | |
| P75559 | P75681 | 0.566 | 13810 | 5 | 1Φ |
| P75559 | P75563 | 0.487 | 942 | 10 | 1Φ |
| P75563 | P75578 | 0.256 | 935 | 25 | 1Φ |
| P75578 | P75603 | 0.908 | 936 | 10 | 1Φ |
| P75603 | P75612 | 0.375 | 0.375 | 10 | 1Φ |
| P75612 | P75627 | 0.745 | | | |
| P75627 | P75628 | 0.62 | 938 | 10 | 1Φ |
| P75627 | P96598 | 0.492 | | | |
| P96598 | P96602 | 0.194 | 9110 | 15 | 1Φ |
| P96602 | P116324 | 0.219 | 15081 | 10 | 1Φ |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|------------|------|----|
| P116324 | P116334 | 0.160 | 15132 | 15 | 1Φ |
| P96598 | P75645 | 0.3 | 939 | 15 | 1Φ |
| P75645 | P75662 | 0.83 | 940 | 10 | 1Φ |
| P75662 | P116350 | 0.65 | 12628 | 15 | 1Φ |
| P116350 | P75671 | 0.530 | | | |
| P75671 | P75673 | 0.127 | 941 | 5 | 1Φ |
| P75671 | P76697 | 0.594 | 5612 | 10 | 1Φ |
| P76697 | P5613 | 0.811 | 811 | 10 | 1Φ |
| P69449 | P69460 | 0.755 | 1073 | 15 | 1Φ |
| P69460 | P110810 | 0.405 | 110810 | 10 | 1Φ |
| P69460 | P69481 | 0.756 | 1038 | 10 | 1Φ |
| P69481 | P69483 | 0.189 | | | |
| P69483 | P69488 | 0.371 | 1084 | 10 | 1Φ |
| P69483 | P69495 | 0.2 | 1085 | 10 | 1Φ |
| P69495 | P69496 | 0.1 | 13812 | 10 | 1Φ |
| P69496 | P69497 | 0.099 | 7867 | 10 | 1Φ |
| P69497 | P69499 | 0.192 | 1086 | 10 | 1Φ |
| P69499 | P69502 | 0.2 | | | |
| P69502 | P69528 | 0.307 | 1077 | 10 | 1Φ |
| P69502 | P69503 | 0.69 | 1087-13811 | 60 | 1Φ |
| P69503 | P69516 | 0.403 | 1088 | 10 | 1Φ |
| P69528 | P69531 | 0.4 | 1078 | 10 | 1Φ |
| P69531 | P69541 | 0.047 | | | |
| P69541 | P69560 | 0.920 | 1079 | 10 | 1Φ |
| P69541 | P122551 | 0.438 | 15606 | 10 | 1Φ |
| P69531 | P69584 | 0.704 | | | |
| P69584 | P109885 | 0.093 | 11365 | 10 | 1Φ |
| P69584 | P69592 | 0.5 | 8197 | 15 | 1Φ |
| P69592 | P69593 | | | | |
| P69593 | P74572 | 0.6 | | | |
| P74572 | P74579 | 0.325 | 1092 | 10 | 1Φ |
| P69593 | P69616 | 0.8 | 10981 | 37.5 | 1Φ |
| P69616 | P69648 | 0.620 | 1072 | 10 | 1Φ |
| P74572 | P74587 | 0.49 | | | |
| P74587 | P74588 | 0.16 | 1093 | 10 | 1Φ |

| | | | | | |
|--------|---------|-------|-------|----|----|
| P74587 | P74599 | 0.185 | | | |
| P74599 | P74600 | 0.065 | 1094 | 10 | 1Φ |
| P74599 | P74605 | 0.287 | 1095 | 10 | 1Φ |
| P74605 | P74608 | 0.084 | | | |
| P74608 | P74675 | 0.8 | 1098 | 15 | 1Φ |
| P74608 | P74666 | 0.173 | | | |
| P74666 | P74667 | 0.056 | 1099 | 10 | 1Φ |
| P74608 | P74616 | 0.37 | | | |
| P74616 | P74624 | 0.343 | 1096 | 10 | 1Φ |
| P74616 | P74650 | 0.508 | 1097 | 10 | 1Φ |
| P74666 | P74705 | 1.024 | | | |
| P74705 | P74707 | 0.19 | 1100 | 10 | 1Φ |
| P74705 | P74710 | 0.309 | | | |
| P74710 | P74713 | 0.120 | 1101 | 10 | 1Φ |
| P74713 | P74719 | 0.44 | 1102 | 10 | 1Φ |
| P74719 | P74721 | 0.258 | | | |
| P74721 | P74752 | | 1104 | 10 | 1Φ |
| P74752 | P74727 | 0.55 | 1103 | 15 | 1Φ |
| P74710 | P74768 | 0.9 | 1105 | 3 | 1Φ |
| P74768 | P74775 | 0.526 | | | |
| P74775 | P55417 | 0.476 | 15119 | 10 | 1Φ |
| P55417 | P55439 | 0.79 | 1090 | 10 | 1Φ |
| P55439 | P74908 | 0.632 | 1091 | 10 | 1Φ |
| P55417 | P74786 | 0.450 | 1107 | 10 | 1Φ |
| P74786 | P74798 | 0.52 | 1108 | 10 | 1Φ |
| P74775 | P74777 | 0.23 | 1106 | 15 | 1Φ |
| P74777 | P74779 | 0.218 | | | |
| P74779 | P102327 | 0.333 | 10248 | 50 | 1Φ |
| P74779 | P71217 | 0.92 | 1113 | 10 | 1Φ |
| P71217 | P71218 | 0.107 | 1114 | 15 | 1Φ |
| P71218 | P114780 | 0.31 | 12361 | 15 | 1Φ |
| P71218 | P71220 | 0.106 | 13814 | 10 | 1Φ |
| P71220 | P71223 | 0.129 | | | |
| P71223 | P71224 | 0.30 | 13816 | 25 | 1Φ |
| P71223 | P71227 | 0.33 | 1115 | 10 | 1Φ |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|------------|------|----|
| P71227 | P71184 | 0.3 | 1116 | 10 | 1Φ |
| P71184 | P71190 | 0.176 | 1117 | 10 | 1Φ |
| P71190 | P55381 | 0.164 | | | |
| P55381 | P55387 | 0.6 | | | |
| P55387 | P55402 | 0.165 | 1110 | 10 | 1Φ |
| P55387 | P55389 | 0.222 | 1109 | 10 | 1Φ |
| P55389 | P11523 | 1.44 | 111245 | 10 | 1Φ |
| P55381 | P712011 | 0.3 | 1111 | 10 | 1Φ |
| P712011 | P71160 | 0.516 | 1112 | 10 | 1Φ |
| P71160 | P71174 | 0.502 | | | |
| P71174 | P71176 | 0.153 | 1119 | 10 | 1Φ |
| P71174 | P71103 | 0.343 | | | |
| P71103 | P123527 | 0.09 | | | |
| P123527 | P55301 | 0.75 | 1123 | 15 | 1Φ |
| P123527 | P55313 | 1.336 | 1124 | 37.5 | 1Φ |
| P55313 | P118020 | 0.2 | 15545 | 10 | 1Φ |
| P118020 | P118010 | 0.357 | 15550 | 10 | 1Φ |
| P55313 | P55323 | 0.256 | | | |
| P55323 | P55378 | 0.256 | 55378 | 10 | 1Φ |
| P55323 | P55324 | 0.065 | 11097 | 10 | 1Φ |
| P55324 | P55331 | 0.390 | 1125 | 15 | 1Φ |
| P55331 | P78641 | 0.331 | | | |
| P78641 | P78647 | 0.641 | 8363 | 10 | 1Φ |
| P78641 | P55345 | 0.08 | 55345 | 3 | 1Φ |
| P55345 | P55347 | 0.24 | 10708 | 10 | 1Φ |
| P55347 | P55350 | 0.195 | | | |
| P55350 | P55355 | 0.224 | 128 | 15 | 1Φ |
| P55350 | P55352 | 0.083 | 1227 | 5 | 1Φ |
| P55350 | P55358 | 0.291 | | | |
| P55358 | P111193 | 0.405 | 11511 | 25 | 1Φ |
| P55358 | P55395 | 0.083 | 1131-15256 | 18 | 1Φ |
| P55395 | P55360 | 0.112 | 1130 | 10 | 1Φ |
| P55360 | P55365 | 0.431 | | | |
| P55365 | P93643 | 0.214 | 8723 | 10 | 1Φ |
| P55365 | P55370 | 0.614 | 9579 | 50 | 1Φ |

| | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|----|----|
| P55370 | P182210 | 0.155 | | | |
| P182210 | P182221 | 0.31 | 19658 | 75 | 1Φ |
| P182210 | P55376 | 0.351 | 1134 | 15 | 1Φ |
| P55370 | P100241 | 0.217 | 11512 | 25 | 1Φ |
| P100241 | P100242 | 0.050 | | | |
| P100242 | P100247 | 0.124 | 9577 | 25 | 1Φ |
| P55323 | P13669 | 0.65 | 16051 | 10 | 1Φ |
| P71103 | P71111 | 0.527 | 1120 | 10 | 1Φ |
| P71111 | P71126 | 0.935 | 1121 | 10 | 1Φ |
| P71126 | P71146 | 0.761 | 1122 | 10 | 1Φ |

3309

7.3. ANEXO 3. INGRESO DE DATOS A LA SIMULACIÓN CORRESPONDIENTE A CADA EVENTO CONSIDERADO DENTRO DEL ESTUDIO.

CASO 1: ESTADO ACTUAL: Troncal trifásica 3/0-1/0-3/0 y derivaciones monofásicas la Isla y Suncamal 2 AWG.

| DATOS DE INGRESO PARA ANÁLISIS ONDAS VIAJERAS | | | |
|--|---|--------------|---------------|
| | S/E 14-Alimentador Multitud-Cumandá 0214 | | |
| CASO 1: ESTADO ACTUAL | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia (RO) | 0.7898 | omhios/km |
| | Resistencia (R+) | 0.3480 | omhios/km |
| | Π | 3.141593 | |
| | Inductancia(L0) | 4.35 | mH/km |
| | Inductancia(L+) | 1.338 | mH/km |
| | Capacitancia (C0) | 1.382 | mF/km |
| | Capacitancia (C+) | 0.684 | mF/km |
| | ImpedanciaZc(0) | 1.775 | omhios/km |
| | Impedancia Zc(+) | 1.399 | omhios/km |
| | Velocidad (V0) | 407675.22 | m/s |
| | Velocidad (V+) | 1045378.01 | m/s |
| | Tiempo | 0.010376 | s |
| | Longitud | 4230 | m |
| TRAMO 2 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia (R0) | 0.9769 | omhios/km |
| | Resistencia (R+) | 0.5518 | omhios/km |
| | Π | 3.141593 | |
| | Inductancia(L0) | 4.02 | mH/km |
| | Inductancia(L+) | 1.40 | mH/km |
| | Capacitancia (C0) | 1.404 | mF/km |
| | Capacitancia (C+) | 0.713 | mF/km |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.691 | omhios/km |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.400 | omhios/km |
| | Velocidad (V) | 421098.95 | m/s |
| | Velocidad (V) | 1001472.20 | m/s |
| | Tiempo | 0.04 | s |

| | | | |
|-------------------|--------------------------|------------------|---------------|
| | Longitud | 18000 | m |
| TRAMO 3 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia (R0) | 0.5256 | omhios/km |
| | Resistencia (R+) | 0.3480 | omhios/km |
| | Π | 3.141593 | |
| | Inductancia(L0) | 5.15 | mH/km |
| | Inductancia(L+) | 1.34 | mH/km |
| | Capacitancia (C0) | 1.682 | mF/km |
| | Capacitancia (C+) | 0.417 | mF/km |
| | Impedancia Zc(0) | 1.750 | omhios/km |
| | Impedancia Zc(+) | 1.791 | omhios/km |
| | Velocidad (V) | 339720.97 | m/s |
| | Velocidad (V) | 1338275.46 | m/s |
| | Tiempo | 0.00057 | s |
| | Longitud | 195 | m |
| | TRAMO 4 | Parámetro | Valor |
| Resistencia (R0) | | 0.5256 | omhios/km |
| Resistencia (R+) | | 0.3480 | omhios/km |
| Π | | 3.141593 | |
| Inductancia(L0) | | 5.15 | mH/km |
| Inductancia(L+) | | 1.34 | mH/km |
| Capacitancia (C0) | | 1.682 | mF/km |
| Capacitancia (C+) | | 0.417 | mF/km |
| Impedancia Zc(0) | | 1.750 | omhios/km |
| Impedancia Zc(+) | | 1.791 | omhios/km |
| Velocidad (V) | | 339720.97 | m/s |
| Velocidad (V) | | 1338275.46 | m/s |
| Tiempo | | 0.0922 | s |
| Longitud | | 31320 | m |
| TRAMO 5 | | Parámetro | Valor |
| | Resistencia | 0.9353 | omhios/km |
| | Π | 3.141593 | |
| | Inductancia(L) | 2.68 | mH/km |
| | Capacitancia | 1.083 | mF/km |
| | R/L | 0.349 | |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.574 | omhios/km |

| | | | |
|--|---------------|-----------|-----|
| | Velocidad (V) | 586745.72 | m/s |
| | Tiempo final | 0.0290 | s |
| | Longitud | 17000 | m |

CASO 2: TRONCAL TRIFÁSICA 3/0 AWG Y DERIVACIONES MONOFÁSICAS: LA ISLA Y SUNCAMAL (2AWG)

| CASO 2: TRONCAL 3/0 | | S/E 14-Alimentador Multitud-Cumandá 0214 | |
|---|--------------------------|--|-----------|
| TRAMO 1 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia (RO) | 0.7898 | ohmios/km |
| | Resistencia (R+) | 0.3480 | ohmios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L0) | 4.35 | mH/km |
| | Inductancia(L+) | 1.338 | mH/km |
| | Capacitancia (C0) | 1.382 | mF/km |
| | Capacitancia (C+) | 0.684 | mF/km |
| | ImpedanciaZc(0) | 1.775 | ohmios/km |
| | Impedancia Zc(+) | 1.399 | ohmios/km |
| | Velocidad (V0) | 407675.22 | m/s |
| | Velocidad (V+) | 1045378.01 | m/s |
| | Tiempo | 0.13 | s |
| | Longitud | 53745 | m |
| Límite Provincial-La Isla (DERIVACIÓN 1) | | | |
| TRAMO 5 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia | 0.9353 | ohmios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L) | 2.68 | mH/km |
| | Capacitancia | 1.083 | mF/km |
| | R/L | 0.349 | |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.574 | ohmios/km |
| | Velocidad (V) | 586745.72 | m/s |
| | Tiempo final | 0.03 | s |
| Longitud | 17000 | m | |
| Cumandá Centro-Suncamal (DERIVACIÓN 2) | | | |
| TRAMO 6 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia | 0.9353 | ohmios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L) | 2.68 | mH/km |
| | Capacitancia | 1.083 | mF/km |
| | R/L | 0.349 | |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.574 | ohmios/km |
| | Velocidad (V) | 586745.72 | m/s |
| | tiempo | 0.05 | s |
| | Longitud | 31050 | m |

CASO 3: TRONCAL TRIFÁSICO 4/0 AWG Y DERIVACIONES MONOFÁSICAS: LA ISLA Y SUNCAMAL (2AWG)

| DATOS DE INGRESO PARA ANÁLISIS ONDAS VIAJERAS | | | |
|---|--------------------------|--|-----------|
| CASO 3: TRONCAL 4/0 | | S/E 14-Alimentador Multitud-Cumandá 0214 | |
| TRAMO 1 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia (RO) | 0.5523 | omhios/km |
| | Resistencia (R+) | 0.2765 | omhios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L0) | 3.34 | mH/km |
| | Inductancia(L+) | 1.277 | mH/km |
| | Capacitancia (C0) | 1.342 | mF/km |
| | Capacitancia (C+) | 0.669 | mF/km |
| | ImpedanciaZc(0) | 1.579 | omhios/km |
| | Impedancia Zc(+) | 1.382 | omhios/km |
| | Velocidad (V0) | 471918.55 | m/s |
| | Velocidad (V+) | 1081570.17 | m/s |
| | Tiempo | 0.11 | s |
| | Longitud | 53745 | m |
| Limite Provincial-La Isla (DERIVACIÓN 1) | | | |
| TRAMO 5 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia | 0.9353 | omhios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L) | 2.68 | mH/km |
| | Capacitancia | 1.083 | mF/km |
| | R/L | 0.349 | |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.574 | omhios/km |
| | Velocidad (V) | 586745.72 | m/s |
| | Tiempo final | 0.03 | s |
| Longitud | 17000 | m | |
| Cumandá Centro-Suncamal (DERIVACIÓN 2) | | | |
| TRAMO 6 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia | 0.9353 | omhios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L) | 2.68 | mH/km |
| | Capacitancia | 1.083 | mF/km |
| | R/L | 0.349 | |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.574 | omhios/km |
| | Velocidad (V) | 586745.72 | m/s |
| | tiempo | 0.05 | s |
| | Longitud | 31050 | m |

CASO 4: TRONCAL TRIFÁSICO 3/0 AWG Y DERIVACIONES MONOFÁSICAS: LA ISLA (2AWG) Y SUNCAMAL TRIFÁSICO (2AWG)

| DATOS DE INGRESO PARA ANÁLISIS ONDAS VIAJERAS | | | |
|--|--------------------------|--|-----------|
| CASO 4: TRONCAL 3/0+SUNCAMAL 3F | | S/E 14-Alimentador Multitud-Cumandá 0214 | |
| TRAMO 1 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia (RO) | 0.7898 | ohmios/km |
| | Resistencia (R+) | 0.3480 | ohmios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L0) | 4.35 | mH/km |
| | Inductancia(L+) | 1.338 | mH/km |
| | Capacitancia (C0) | 1.382 | mF/km |
| | Capacitancia (C+) | 0.684 | mF/km |
| | ImpedanciaZc(0) | 1.775 | ohmios/km |
| | Impedancia Zc(+) | 1.399 | ohmios/km |
| | Velocidad (V0) | 407675.22 | m/s |
| | Velocidad (V+) | 1045378.01 | m/s |
| | Tiempo | 0.13 | s |
| | Longitud | 53745 | m |
| Límite Provincial-La Isla (DERIVACIÓN 1) | | | |
| TRAMO 5 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia | 0.9353 | ohmios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L) | 2.68 | mH/km |
| | Capacitancia | 1.083 | mF/km |
| | R/L | 0.349 | |
| | Impedancia Caract(Zc(0)) | 1.574 | ohmios/km |
| | Velocidad (V) | 586745.72 | m/s |
| | Tiempo final | 0.03 | s |
| | Longitud | 17000 | m |
| Cumandá Centro-Suncamal (DERIVACIÓN 2)-TRIFÁSICO | | | |
| TRAMO 6 | Parámetro | Valor | Unidad |
| | Resistencia (RO) | 0.4000 | ohmios/km |
| | Resistencia (R+) | 0.4000 | ohmios/km |
| | PI | 3.141593 | |
| | Inductancia(L0) | 3.71 | mH/km |
| | Inductancia(L+) | 3.714 | mH/km |
| | Capacitancia (C0) | 0.531 | mF/km |
| | Capacitancia (C+) | 0.531 | mF/km |
| | ImpedanciaZc(0) | 2.646 | ohmios/km |
| | Impedancia Zc(+) | 2.646 | ohmios/km |
| | Velocidad (V0) | 712446.25 | m/s |
| | Velocidad (V+) | 712446.25 | m/s |
| | Tiempo | 0.08 | s |
| | Longitud | 53745 | m |

7.4. ANEXO 4. TABLA DE CARÁCTERÍSTICAS DE LOS CALIBRES DE LOS CONDUCTORES

CONDUCTORES DE ALUMINIO

ACSR

| CÓDIGO | Calibre (AWG o kcmil) | Sección transversal (mm ²) | Construcción | | | | Diámetro del conductor (mm) | Peso Total Aprox (kg / km) | Carga de Rotura (kgf) | Resistencia a C.C. a 20°C (ohm/km) | Capacidad de Corriente (A)* |
|--------|-----------------------|--|--------------|-------|---------------------|-------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| | | | No. Hilos | | Diámetro hilos (mm) | | | | | | |
| | | | Aluminio | Acero | Aluminio | Acero | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|--------|----|---|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-----|
| Turkey | 6 | 13,3 | 6 | 1 | 1680 | 1680 | 5,04 | 54,01 | 540 | 2,1065 | 105 |
| Swan | 4 | 21,15 | 6 | 1 | 2,118 | 2,118 | 6,35 | 85,87 | 843 | 13232 | 140 |
| Sparrow | 2 | 33,62 | 6 | 1 | 2,672 | 2,672 | 8,02 | 136,56 | 1292 | 0,8316 | 134 |
| Raven | 1/0 | 53,49 | 6 | 1 | 3,370 | 3,370 | 10,11 | 217,25 | 1986 | 0,5227 | 242 |
| Quail | 2/0 | 67,44 | 6 | 1 | 3,782 | 3,782 | 11,35 | 273,82 | 2404 | 0,4151 | 276 |
| Pigeon | 3/0 | 85,02 | 6 | 1 | 4,247 | 4,247 | 12,74 | 345,23 | 3002 | 0,3292 | 315 |
| Penguin | 4/0 | 107,2 | 6 | 1 | 4,770 | 4,770 | 14,31 | 435,35 | 3786 | 0,2610 | 357 |
| Waxwing | 266,8 | 135,19 | 18 | 1 | 3,092 | 3,092 | 15,46 | 432,10 | 3120 | 0,2112 | 449 |
| Partridge | 266,8 | 135,19 | 26 | 7 | 2,573 | 2,000 | 16,30 | 546,49 | 5125 | 0,2091 | 475 |
| Ostrich | 300 | 152 | 26 | 7 | 2,730 | 2,120 | 17,28 | 614,32 | 5760 | 0,1860 | 492 |
| Piper | 300 | 152 | 30 | 7 | 2,540 | 2,540 | 17,78 | 698,90 | 7000 | 0,1902 | 490 |
| Merlin | 336,4 | 170,45 | 18 | 1 | 3,472 | 3,472 | 17,36 | 544,83 | 3936 | 0,1674 | 519 |
| Linnet | 336,4 | 170,45 | 26 | 7 | 2,888 | 2,250 | 18,29 | 689,87 | 6393 | 0,1660 | 529 |
| Oriole | 336,4 | 170,45 | 30 | 7 | 2,690 | 2,690 | 18,83 | 783,77 | 7847 | 0,1647 | 535 |
| Chickadee | 397,5 | 20141 | 18 | 1 | 3,774 | 3,774 | 18,87 | 643,78 | 4508 | 0,1416 | 576 |
| Brant | 397,5 | 20141 | 24 | 7 | 3,270 | 2,180 | 19,61 | 762,05 | 6622 | 0,1411 | 584 |
| Ibis | 397,5 | 20141 | 26 | 7 | 3,140 | 2,440 | 19,88 | 813,95 | 7393 | 0,1405 | 587 |
| Lark | 397,5 | 20141 | 30 | 7 | 2,923 | 2,920 | 20,46 | 925,09 | 9208 | 0,1394 | 594 |
| Pelican | 477 | 24170 | 18 | 1 | 4,135 | 4,135 | 20,68 | 772,57 | 5352 | 0,1180 | 646 |
| Flicker | 477 | 24170 | 24 | 7 | 3,581 | 2,390 | 21,48 | 914,86 | 7801 | 0,1174 | 655 |
| Hawk | 477 | 24170 | 26 | 7 | 3,439 | 2,674 | 21,80 | 976,99 | 8845 | 0,1170 | 659 |
| Hen | 477 | 24170 | 30 | 7 | 3,203 | 3,203 | 22,42 | 1111,30 | 10795 | 0,1162 | 666 |
| Heron | 500 | 253,35 | 30 | 7 | 3,279 | 3,279 | 22,95 | 1164,80 | 11086 | 0,1141 | 694 |
| Osprey | 556,5 | 28198 | 18 | 1 | 4,466 | 4,466 | 22,32 | 90132 | 6214 | 0,1012 | 711 |

7.5. ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE MULTITUD-CUMANDÁ

SUBESTACIÓN MULTITUD CUMANDÁ







SALIDA DEL ALIMENTADOR 2/14 MULTITUD CUMANDA





Cambio de conductor de 1/0 a 3/0 sector cantón Cumanda



Cambio de conductor de 3/0 a 1/0 sector Cruz del Hueso



Derivación de la troncal trifásica de 1/0 a Suncamal con calibre de conductor

2





Derivación de la troncal trifásica de 3/0 a la Isla con calibre de conductor 2



7.6. ANEXO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS EVENTOS ANALIZADOS

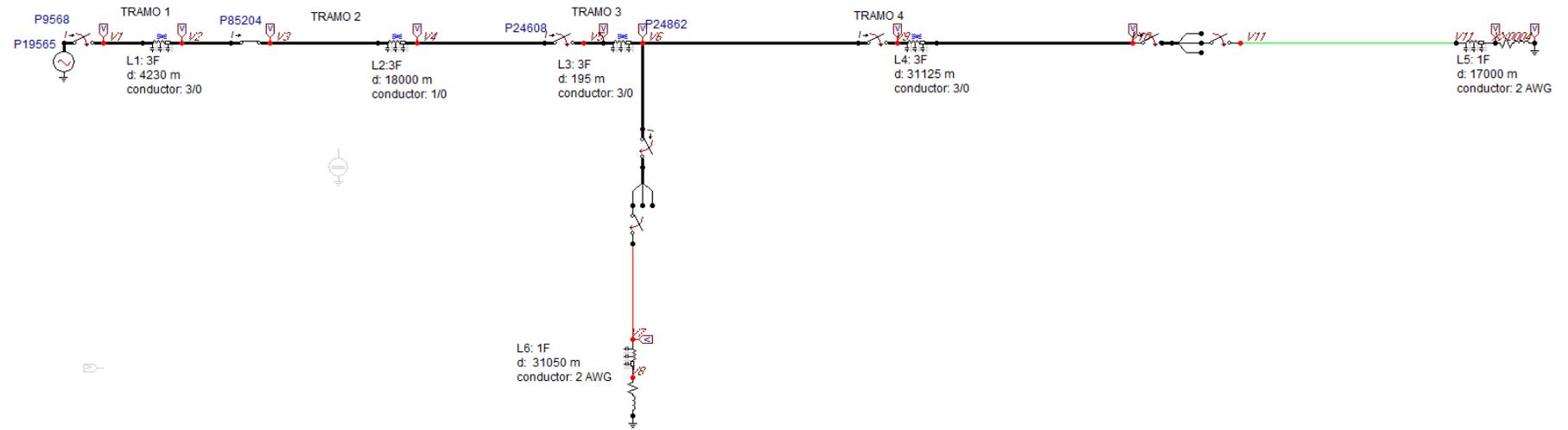
| PRESUPUESTO REFERENCIAL 21 KM | | | | | | |
|--|--|--|------|----------|-----------------|-------------------|
| CON CABLE SEMIAISLADO 3X3/0 MCM AAC 15KV TRES CAPAS DE AISLAMIENTO | | | | | | |
| ALIMENTADOR A0214 – CUMANDÁ | | | | | | |
| ITEM | MODELO | DESCRIPCION | UNIT | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| CABLE / MENSAJERO / ESPACIADORES: | | | | | | |
| 1 | S0030PA15B3-00 | CABLE # 3/0 AAC 7 25KV POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD HDPE | Mtrs | 72450 | 7.94 | 575253.00 |
| 2 | MSG0052 AWA | CABLE MENSAJERO 0052 2 AWA 5 STL | Mtrs | 22050 | 10.58 | 233289.00 |
| 3 | RTL-15 | ESPACIADOR 15 KV XL 3C RTL | C/U | 2394 | 54.14 | 129611.16 |
| HERRAJES Y ACCESORIOS | | | | | | |
| 4 | BD-35 | MENSULA TIPO "C" TERMINAL | C/U | 336 | 167.72 | 56353.92 |
| 5 | BA3-35 | MENSULA ANGULAR TIPO "C" | C/U | 21 | 150.14 | 3152.94 |
| 6 | BAS-14F | BRAZO ANTI-VAIVEN 0-6", Angle 14" HDPE | C/U | 63 | 22.42 | 1412.46 |
| 7 | CMA-1 | GRAPA DE DESVIO ANGULAR | C/U | 21 | 69.79 | 1465.59 |
| 8 | BM-14 | BRAZO TANGENTE 14" | C/U | 63 | 88.96 | 5604.48 |
| 9 | CG-0117 | PREFORMADO TERMINAL PARA CONDUCTOR SEMIAISLADO | C/U | 1260 | 86.27 | 108700.20 |
| 10 | DEINS-15 | AISLADOR DE RETENCION TERMINAL 15 KV | C/U | 1260 | 49.27 | 62080.20 |
| 11 | HDTG | GRAPA HORQUILLA DE SERVICIO PESADO | C/U | 420 | 50.73 | 21306.60 |
| 12 | HPI-15VTP-01 | AISLADOR PIN TIPO VISE-TOP 15 KV | C/U | 651 | 39.96 | 26013.96 |
| 13 | LINEDUC-BL | MANTA PROTECTORA DERIVACIONES 8' | C/U | 84 | 77.65 | 6522.60 |
| 14 | MG-4131 | PREFORMADO TERMINAL PARA CABLE MENSAJERO | C/U | 420 | 118.50 | 49770.00 |
| 15 | SC | HORQUILLA GRILLETE | C/U | 1260 | 15.51 | 1954.00 |
| 16 | SSP-2 | PERNO PIN AISLADOR VISE-TOP 3/4" X 3" | C/U | 651 | 20.92 | 13618.92 |
| 17 | TC | HORQUILLA | C/U | 1260 | 13.83 | 17425.80 |
| 18 | TS-1 | ESTRIBO PARA BRAZO TANGENTE | C/U | 63 | 13.68 | 861.84 |
| 19 | KM25-266 | KIT DE EMPALME EN FRIO PARA CONDUCTOR 266 MCM | C/U | 126 | 195.36 | 24615.36 |
| 20 | BAB-58 | Perno 5/8" para sujecion de cinta metalica | C/U | 840 | 38.18 | 32071.20 |
| 21 | 1 1/4-201-SSB-1 | Cinta metalica 10.000 lb x 1m | C/U | 840 | 26.92 | 22612.80 |
| 22 | EYE BOLT 5/8" | Perno de ojo 5/8" todo rosca 40 cm | C/U | 315 | 4.41 | 1389.15 |
| 23 | PRF-TEN | Preformado para tensor de anclaje 3/8" | C/U | 315 | 5.63 | 1773.45 |
| 24 | GCP-T | Guardacabo para cable de acero de 9,51 mm (3/8") de diám. | C/U | 315 | 1.25 | 393.75 |
| 25 | VA-T | Varilla de anclaje de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. | C/U | 315 | 12.46 | 3924.90 |
| 26 | BCA-002 | Bloque cónico de hormigón armado, base inferior 400 mm de d | C/U | 315 | 6.25 | 1968.75 |
| 27 | ABR-003 | Abrazadera de pletina 3 pernos con perno de ojo | C/U | 420 | 14.38 | 6039.60 |
| 28 | ABR-001 | Abrazadera de pletina para poste 12 metros conico | C/U | 210 | 10.63 | 2232.30 |
| 29 | CT-15 | Cable tensor 3/8" | C/U | 6300 | 1.25 | 7875.00 |
| 30 | CT- #2 | Conector ranura paralela para Tierra | C/U | 420 | 6.88 | 2889.60 |
| 31 | VPT | Cable de cobre calibre 2/0 AWG para tierra | C/U | 1890 | 9.06 | 17123.40 |
| 32 | 3M-33 | Cinta autofundente numero 33 | C/U | 84 | 23.94 | 2010.96 |
| 33 | PBF409 | Grapa derivacion en Linea Viva 1/0 a 4/0 AWG | Mtrs | 210 | 12.94 | 2717.40 |
| 34 | PRRY | Pararrayos para montaje en cruceta | C/U | 252 | 72.50 | 18270.00 |
| 35 | CVT | Suelda exotérmica de 110 gramos | C/U | 126 | 14.95 | 1883.70 |
| 36 | CTER | Conector terminal TUBULAR para cable 3/0 | C/U | 252 | 10.50 | 2646.00 |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| 37 | Construcción Global del Proyecto Semiaislado | | Km | 21 | 11250.00 | 236250.00 |
| | | | | | SUBTOTAL | 1703083.99 |

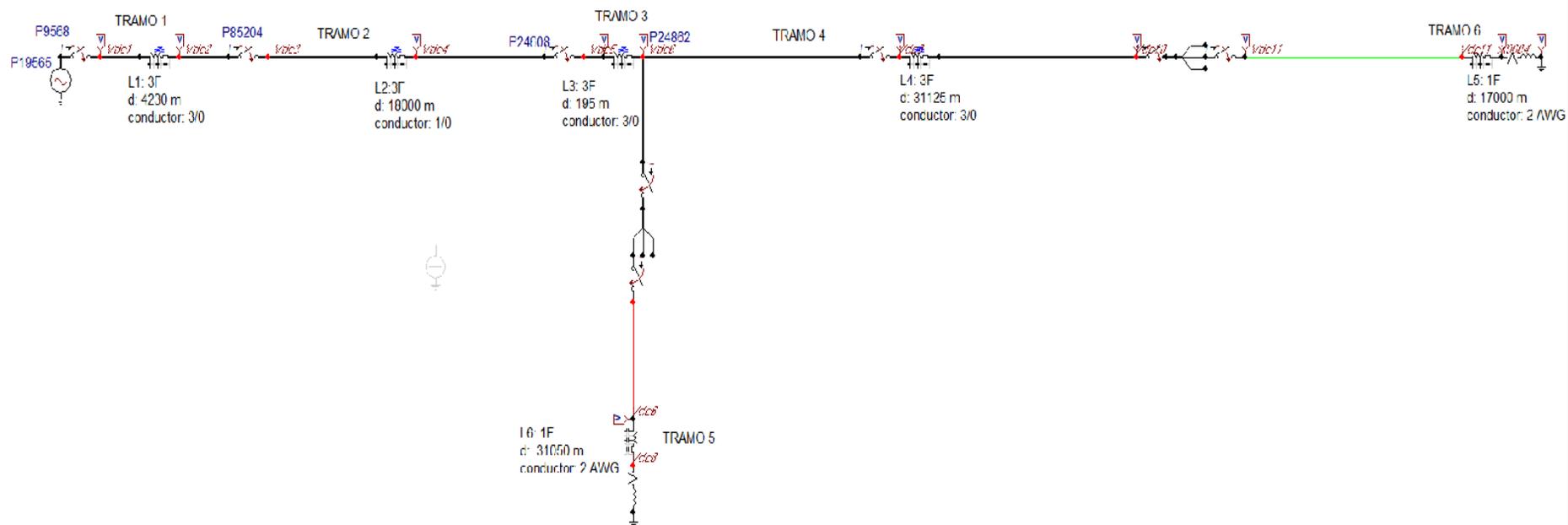
| PRESUPUESTO REFERENCIAL 21 KM | | | | | | |
|---|---------------------|--|------|----------|-------------------|------------|
| CON CABLE Conductor ACSR #3/0 AWG DE ALUMINIO | | | | | | |
| ALIMENTADOR A0214 – CUMANDÁ | | | | | | |
| ITEM | EESTRUCTURA | DESCRIPCION | UNIT | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| 1 | EST-3CP | Est. 13 kV 3F Centrada Pasante | C/U | 10 | 120 | 1200 |
| | EST-3CR | Est. 13 kV 3F Centrada Retención | C/U | 10 | 215 | 2150 |
| 2 | EST-3CD | Est. 13 kV 3F Centrada Doble retención | C/U | 400 | 345 | 138000 |
| 3 | EST-3VD | Est. 13 kV 3F En volado Doble retención | C/U | 150 | 400 | 60000 |
| 4 | ESE-1ER | Est. 0V 1 vía. Vertical Retención | C/U | 10 | 15 | 150 |
| 5 | ESE-1EP | Est. 0V 1 vía. Vertical Pasante o Angular | C/U | 100 | 10 | 1000 |
| 6 | ESE-1ED | Est. 0V 1 vía. Vertical Doble Retención | C/U | 400 | 24 | 9600 |
| 7 | TAT-OTD | Tensor a Tierra Doble en redes de dist. 13 kV | C/U | 1100 | 70 | 77000 |
| 8 | CO0-0B2/0 | Conductor ACSR #2/0 AWG | M | 30000 | 1.5 | 45000 |
| 9 | CO0-0B3/0 | Conductor ACSR #3/0 AWG | M | 80000 | 2 | 160000 |
| 10 | PO0-0HC12_500 | Poste Hormigón armado Circular de 12m carga de rotura 500kg | C/U | 500 | 250 | 125000 |
| 11 | PO0-0HC12_2000 | Poste Hormigón armado Circular de 12m carga de rotura 2000kg | C/U | 20 | 1000 | 20000 |
| 12 | SPT-1S100 | Secc. 13kV 1F con seccionador fus. unipolar ab. 100A | C/U | 9 | 115 | 1035 |
| 13 | TIRAFUSIBLE DE 100K | OTROS | C/U | 9 | 5 | 45 |
| 14 | CONECTOR ANDERSON | | | 400 | 5 | 2000 |
| 15 | GRAPA EN CALIENTE | | | 9 | 15 | 135 |
| | | | | | TOTAL | 642315 |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| | | | | | MANO DE OBRA | 600000 |
| | | | | | TOTAL ESTRUCTURAS | 642315 |
| | | | | | TRANSPORTE PESADO | 60000 |
| | | | | | DIRECCIÓN TECNICA | 40000 |
| | | | | | SUBTOTAL | 10 |
| | | | | | TOTAL | 1342325.00 |

| ALIMENTADOR PRINCIPAL PROYECTADO POR PANAMERICANA SUR (MULTITUD CUMANDA) | | | | | | |
|---|---------------------|--|------|----------|-------------------|------------|
| CON CABLE Conductor ACSR #4/0 AWG DE ALUMINIO | | | | | | |
| ALIMENTADOR A0214 – CUMANDÁ | | | | | | |
| ITEM | EESTRUCTURA | DESCRIPCION | UNIT | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| 1 | EST-3CP | Est. 13 kV 3F Centrada Pasante | C/U | 10 | 120 | 1200 |
| | EST-3CR | Est. 13 kV 3F Centrada Retención | C/U | 10 | 215 | 2150 |
| 2 | EST-3CD | Est. 13 kV 3F Centrada Doble retención | C/U | 400 | 345 | 138000 |
| 3 | EST-3VD | Est. 13 kV 3F En volado Doble retención | C/U | 150 | 400 | 60000 |
| 4 | ESE-1ER | Est. 0V 1 vía. Vertical Retención | C/U | 10 | 15 | 150 |
| 5 | ESE-1EP | Est. 0V 1 vía. Vertical Pasante o Angular | C/U | 100 | 10 | 1000 |
| 6 | ESE-1ED | Est. 0V 1 vía. Vertical Doble Retención | C/U | 400 | 24 | 9600 |
| 7 | TAT-OTD | Tensor a Tierra Doble en redes de dist. 13 kV | C/U | 1100 | 70 | 77000 |
| 8 | CO0-0B2/0 | Conductor ACSR #3/0 AWG | M | 30000 | 2 | 60000 |
| 9 | CO0-0B3/0 | Conductor ACSR #4/0 AWG | M | 80000 | 2.5 | 200000 |
| 10 | PO0-0HC12_500 | Poste Hormigón armado Circular de 12m carga de rotura 500kg | C/U | 500 | 250 | 125000 |
| 11 | PO0-0HC12_2000 | Poste Hormigón armado Circular de 12m carga de rotura 2000kg | C/U | 20 | 1000 | 20000 |
| 12 | SPT-1S100 | Secc. 13kV 1F con seccionador fus. unipolar ab. 100A | C/U | 9 | 115 | 1035 |
| 13 | TIRAFUSIBLE DE 100K | OTROS | C/U | 9 | 5 | 45 |
| 14 | CONECTOR ANDERSON | | | 400 | 5 | 2000 |
| 15 | GRAPA EN CALIENTE | | | 9 | 15 | 135 |
| | | | | | TOTAL | 697315 |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| | | | | | MANO DE OBRA | 600000 |
| | | | | | TOTAL ESTRUCTURAS | 697315 |
| | | | | | TRANSPORTE PESADO | 60000 |
| | | | | | DIRECCIÓN TECNICA | 40000 |
| | | | | | SUBTOTAL | 10 |
| | | | | | TOTAL | 1397325.00 |

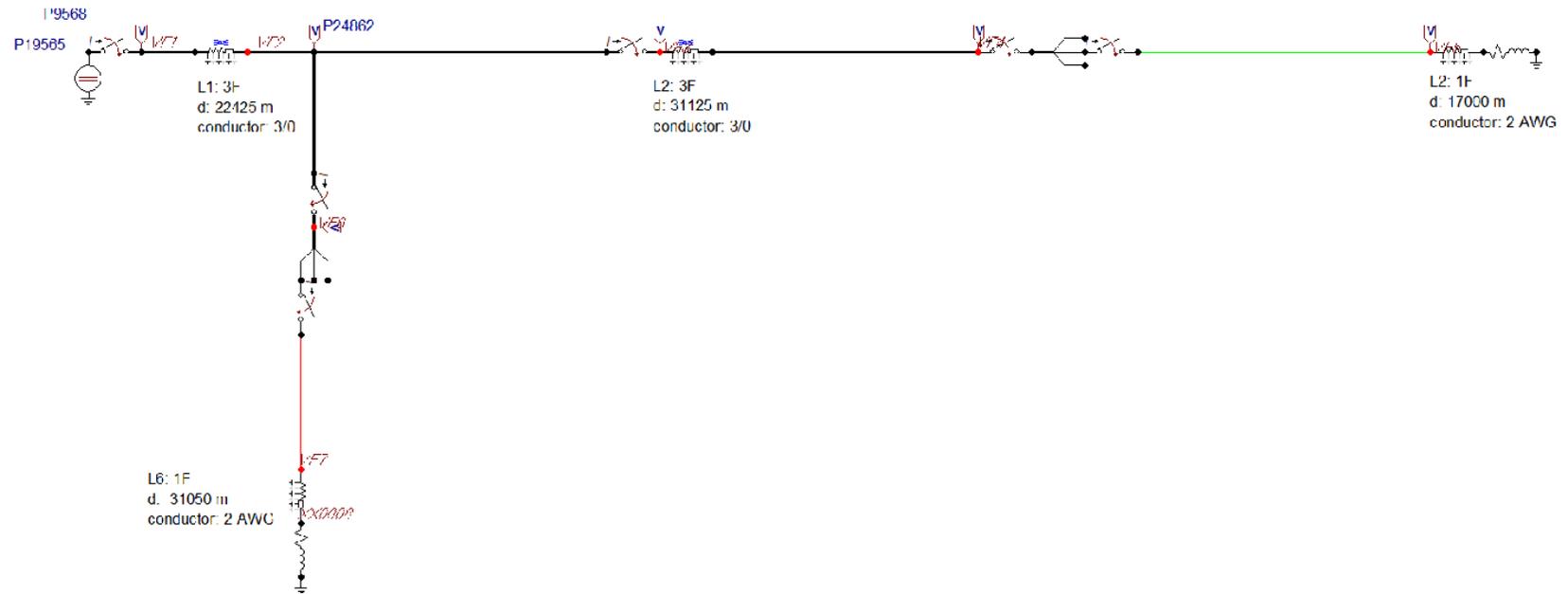
| DIFERENTES CAMBIOS DE CONFIGURACIÓN EN EL ALIMENTADOR MULTITUD CUMANDA PARA LAS MEJORAS EN SU FUNCIONAMIENTO | | | |
|---|----------------|-----------------|--------------------|
| Costo estimado por construir un tramo entre los postes 97452 y 75224 | | | |
| ITEM | COSTO U | CANTIDAD | COSTO TOTAL |
| Construcción tramo monofásico 1/0 [km] | 12428.57 | 0.70 | 8700.00 |
| TOTAL | | | 8700.00 |
| Costo estimado por cambiar de monofásico a trifásico el tramo que sirve a Suncamal | | | |
| ITEM | COSTO U | CANTIDAD | COSTO TOTAL |
| Retiro red monofásica [km] | 1250.00 | 8.4 | 10500.00 |
| Construcción tramo trifásico 1/0 [km] | 17261.90 | 8.4 | 145000.00 |
| TOTAL | | | 155500.00 |
| Costo estimado por repotenciar el troncal del alimentador 1500140T02 con conductor ACSR # 4/0 AWG | | | |
| ITEM | COSTO U | CANTIDAD | COSTO TOTAL |
| Retiro red trifásica [km] | 1250.00 | 20 | 25000.00 |
| Construcción tramo trifásico 4/0 [km] | 25654.05 | 20 | 513081.00 |
| TOTAL | | | 538081.00 |
| Costo estimado por extender el alimentador 1500140T03 hasta el sector de Suncamal | | | |
| ITEM | | | |
| Construcción 23 km red conductor ACSR 1/0 AWG | | | 529 000.00 |
| Construcción 23 km red conductor ACSR 3/0 AWG | | | 583 000.00 |

7.7. ANEXO 7. CASO DE ESTUDIO 1: ESTADO ACTUAL TRONCAL CAMBIANTE-FUENTE DC

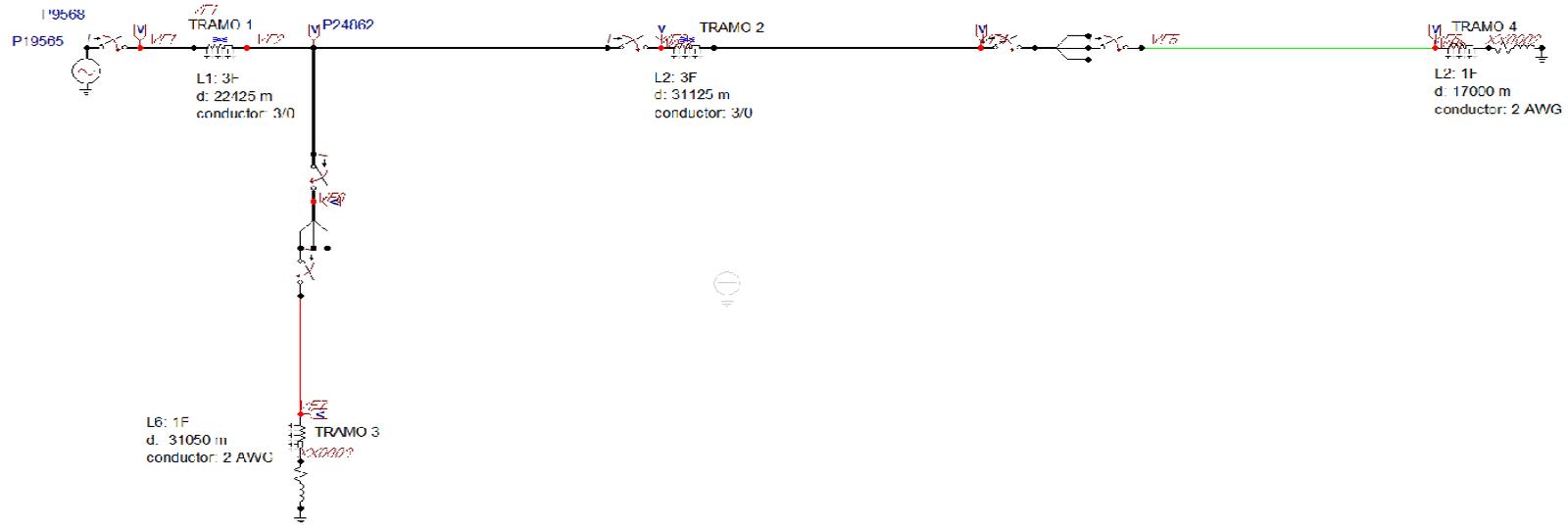




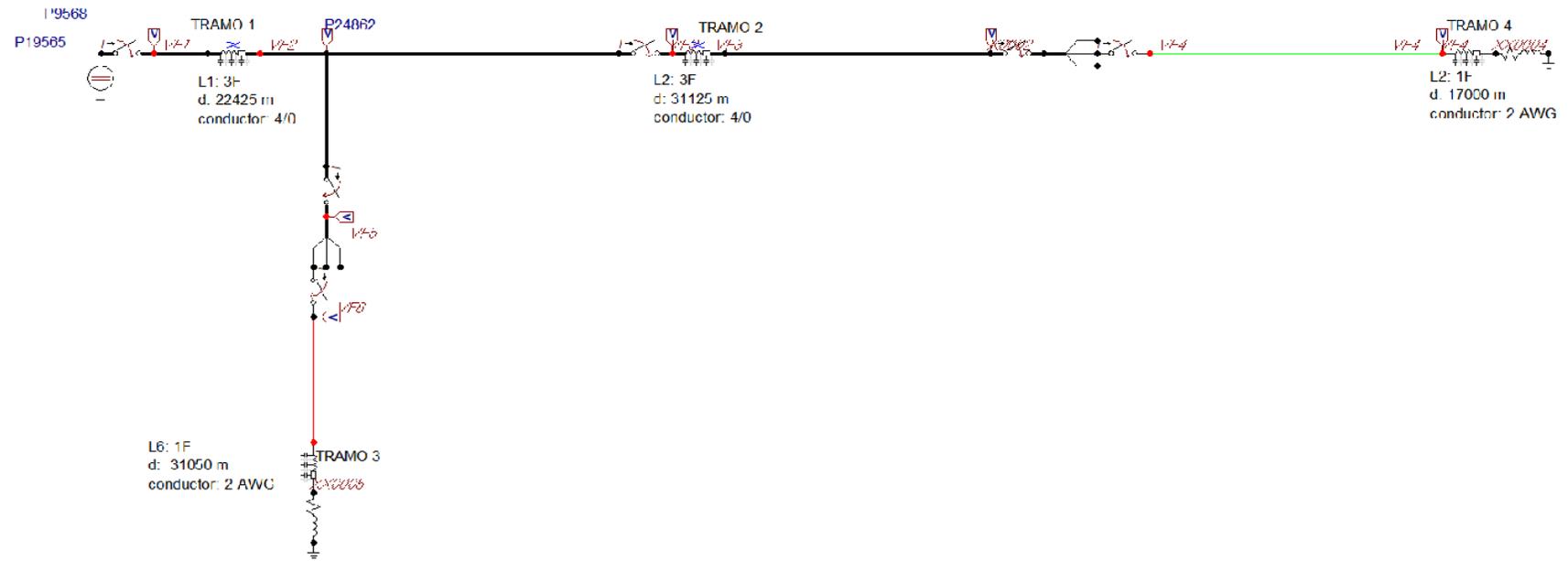
CASO DE ESTUDIO 2: TRONCAL CALIBRE 3/0-FUENTE DC



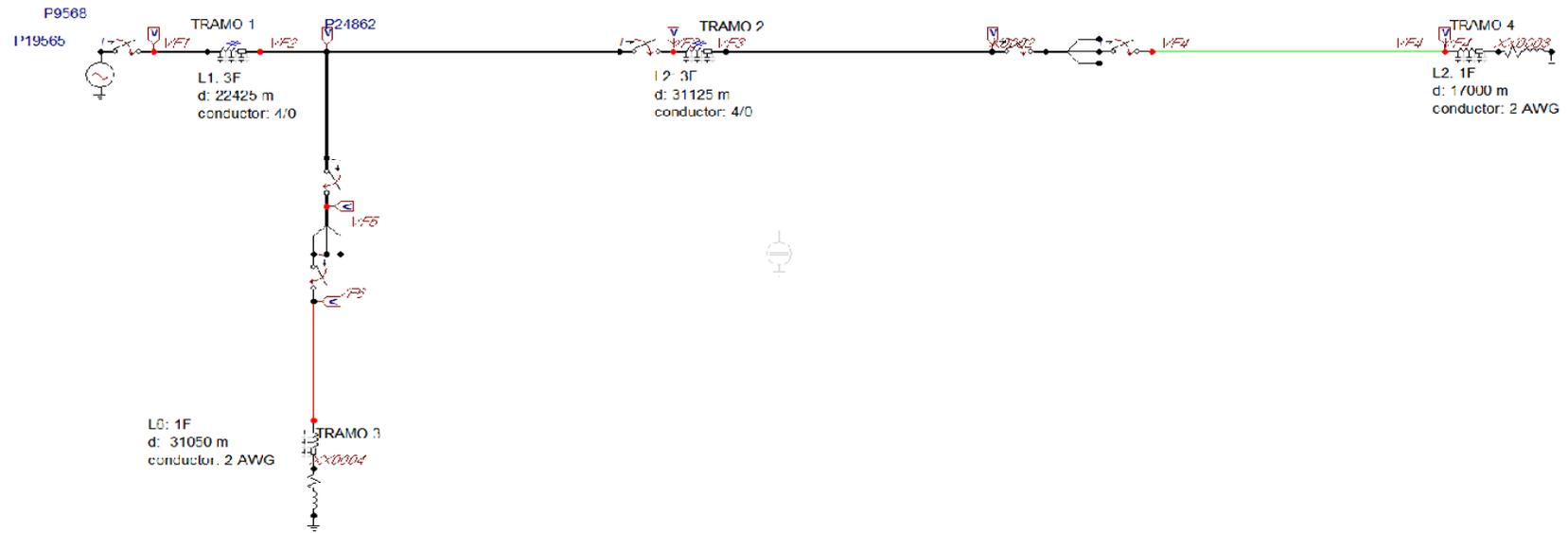
CASO DE ESTUDIO 2: TRONCAL CALIBRE 3/0-FUENTE AC



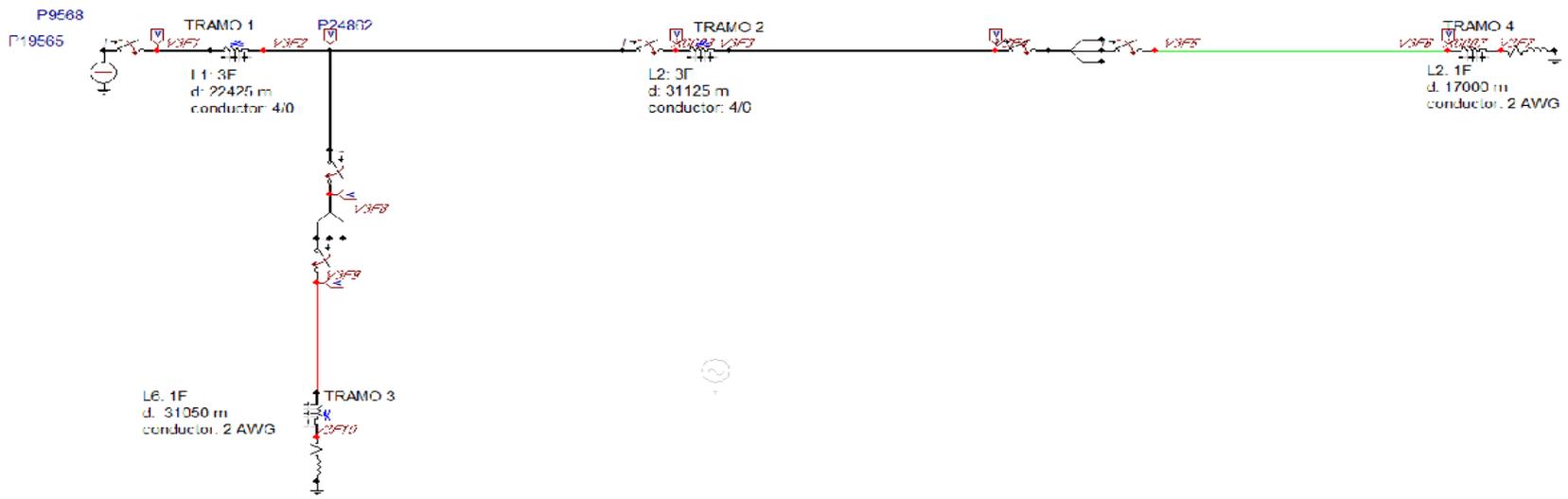
CASO DE ESTUDIO 3: TRONCAL CALIBRE 4/0-FUENTE DC

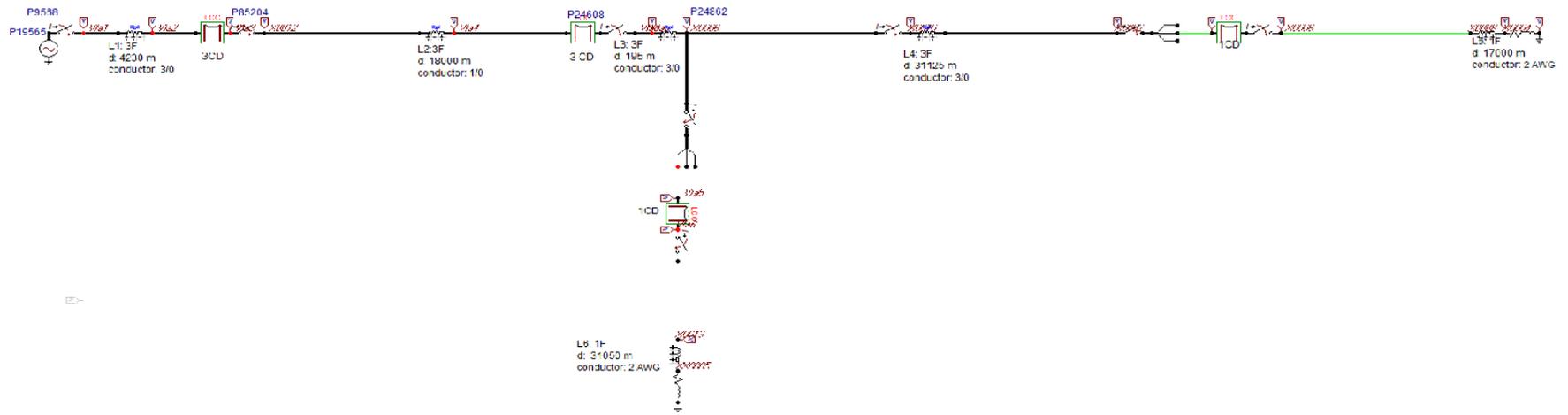


CASO DE ESTUDIO 3: TRONCAL CALIBRE 4/0-FUENTE AC



CASO DE ESTUDIO 4: TRONCAL CALIBRE 3/0-SUNCAMAL 3F-FUENTE DC





7.8. ANEXO 8. SIMULACION DE LOS TRAMOS DEL ALIMENTADOR 2/14 EN EL ATPDraw - FUENTE DC

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL: Troncal trifásico 3/0-1/0-3/0

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P72124 con una longitud de 4230 m.

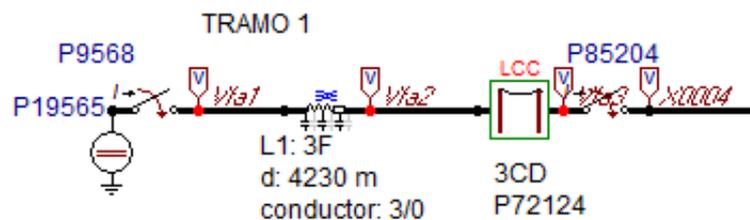


Figura 3.25: Simulación en ATP tramo1 circuito abierto.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Análisis de Voltaje-Fase A

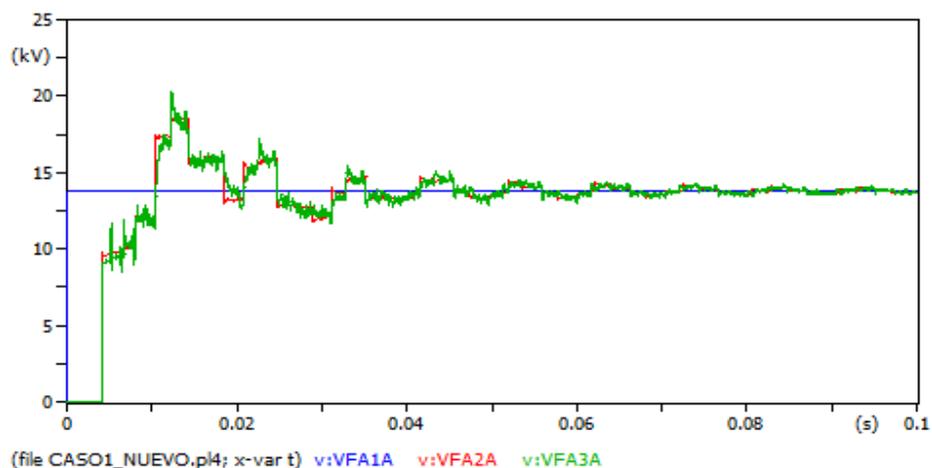


Figura 3.26: Voltaje en el Tramo 1-FASE A.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 45. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|---------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA2A=18.6 kV | VFA3A=18.6 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

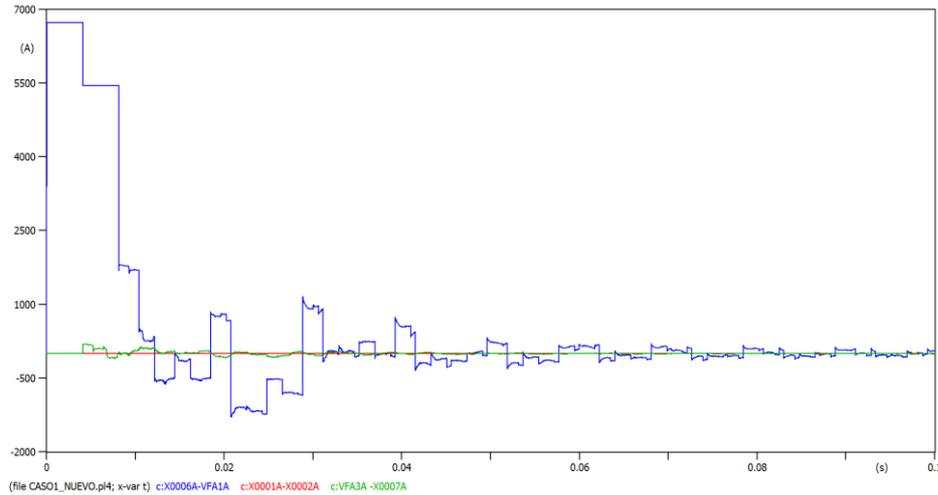


Figura 3.27: Corriente en el Tramo 1-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

En el caso de la corriente, el valor transmitido muestra un valor de corriente que tiende a cero

Tabla 46. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|------------|-------------|
| IVFA1A=6.7 kA | IFA2A=0 kA | IFA3A=0 kA |

Fuente: Los Autores

TRAMO 2:

En el tramo 2 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 V con un calibre de conductor de 1/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P85204 hasta el poste P24608 con una longitud de 18000 m.

Análisis de Voltaje-Fase A

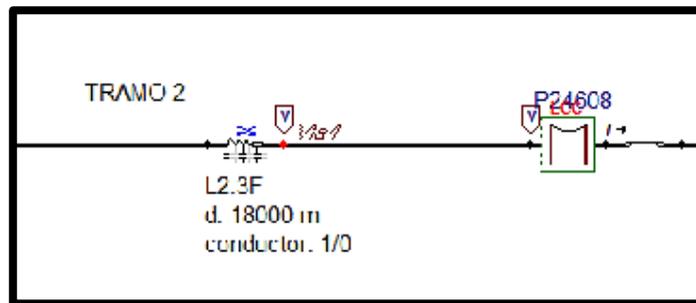


Figura 3.28: Simulación en ATP Tramo 2 Circuito Abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

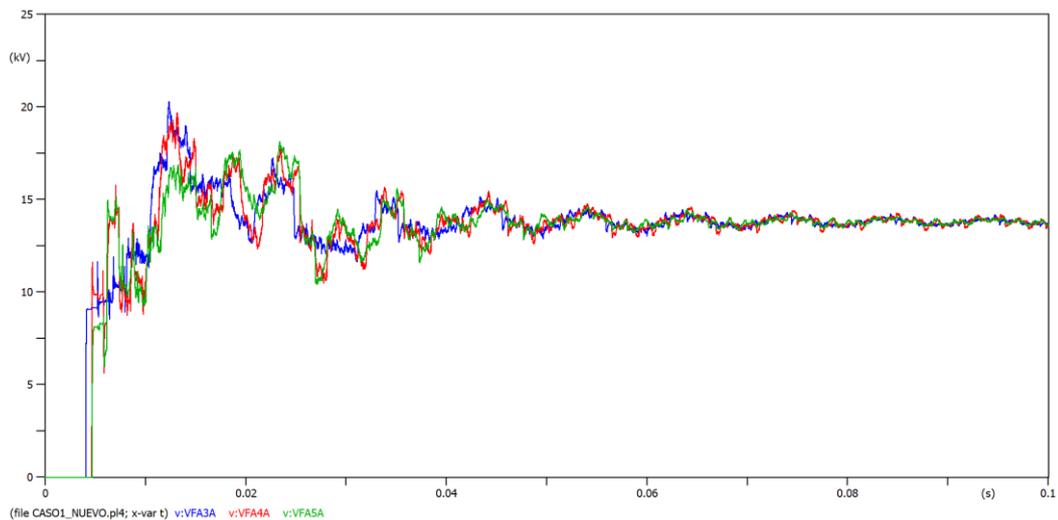


Figura 3.29: Voltaje en el Tramo 2-FASE A.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 47. Valores de Voltajes DC-TRAMO 2

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|----------------|----------------|---------------|
| VFA3A=19.68 kV | VFA4A=18.78 kV | VFA5A=16.5 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

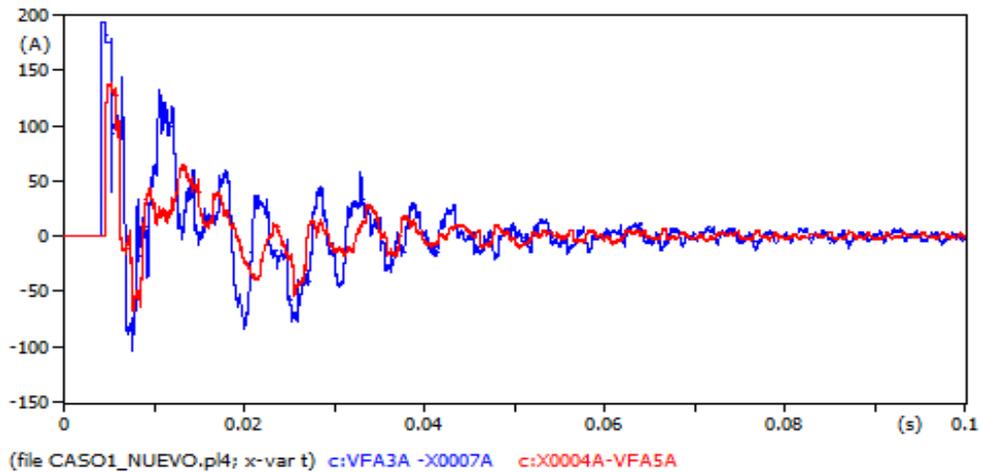


Figura 3.30: Corriente en el Tramo 2-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 48. Valores de Corrientes DC-TRAMO 2

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-----------|--------------|-------------|
| IA3A=200 | IFA4A=-200 A | IFA5A=0kV |

Fuente: Los Autores

TRAMO 3:

En el tramo 3 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor nuevamente de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P24608 hasta el poste P24862 con una longitud de 195 m.

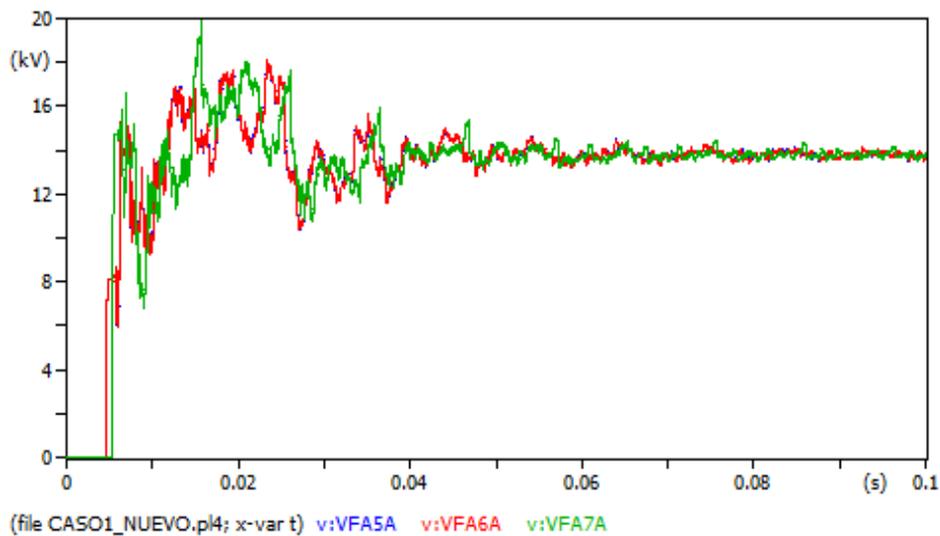


Figura 3.31: Voltaje en el Tramo 3 de circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 49. Valores de Voltajes DC-TRAMO 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|-------------|---------------|
| VFA5A=14.2 kV | VFA6A=17 kV | VFA7A=18.9 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

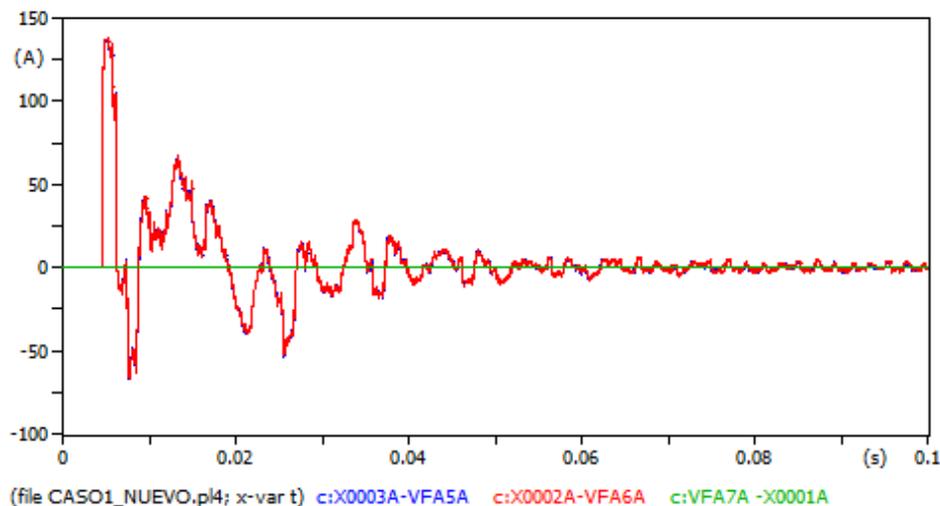


Figura 3.32: Corriente en el Tramo 3-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 50. Valores de Corrientes DC-TRAMO 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-------------|--------------|-------------|
| IFA5A=130 A | IFA6A=-130 A | IFA7A=0 A |

Fuente: Los Autores

En el caso de Fuente DC se analiza el cambio de impedancia en el diseño de red de distribución para el caso actual, en el cual el calibre cambia de 3/0 a 1/0, luego de 1/0 a 3/0. Para los tramos 1,2 y 3 los voltajes incidentes muestran un cambio a partir del tramo 2 su voltaje es elevado con un valor de 19.68 kV, lo cual indica que existe diferencia de 5.88 kV y luego en el tramo 3 trato de bajar nuevamente a 14,9 kV, cabe mencionar que el valor d las impedancias características varían en los tres tramos. En el caso de las ondas de corriente se observa distorsiones en el primer tramo debido a que sus fases son desbalanceadas.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN: Troncal trifásica 3/0 AWG

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P24862 con una longitud de 22425m.

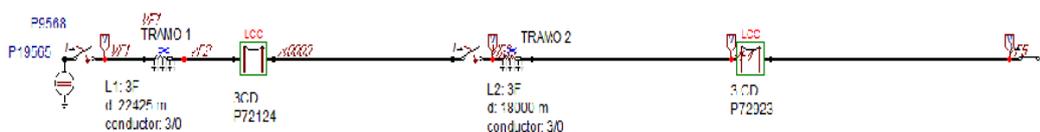


Figura 3.33: Tramo 1 del caso 2 de troncal trifásica en DC.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Análisis de Voltaje-Fase A

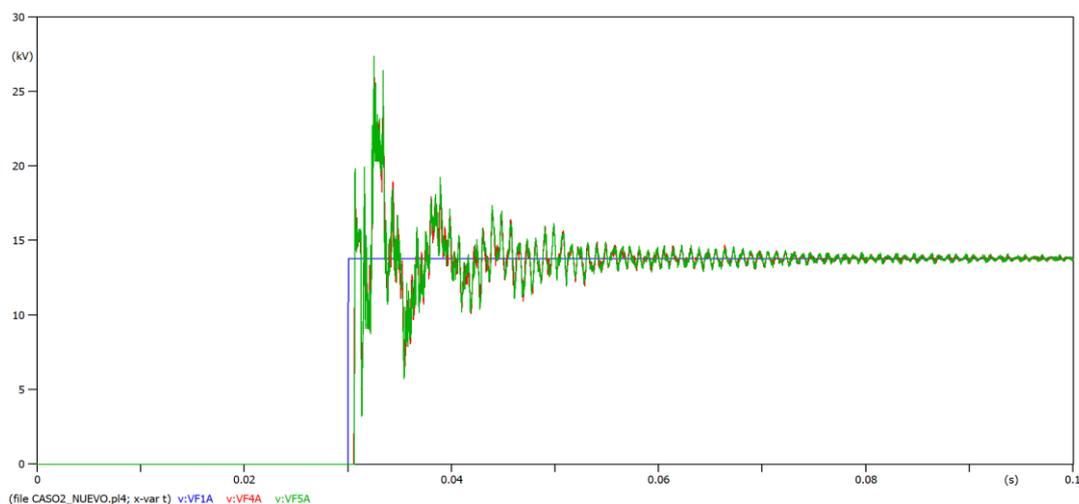


Figura 3.34: Voltaje respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 51. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|---------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=21.57 kV | VFA5A=20.9 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

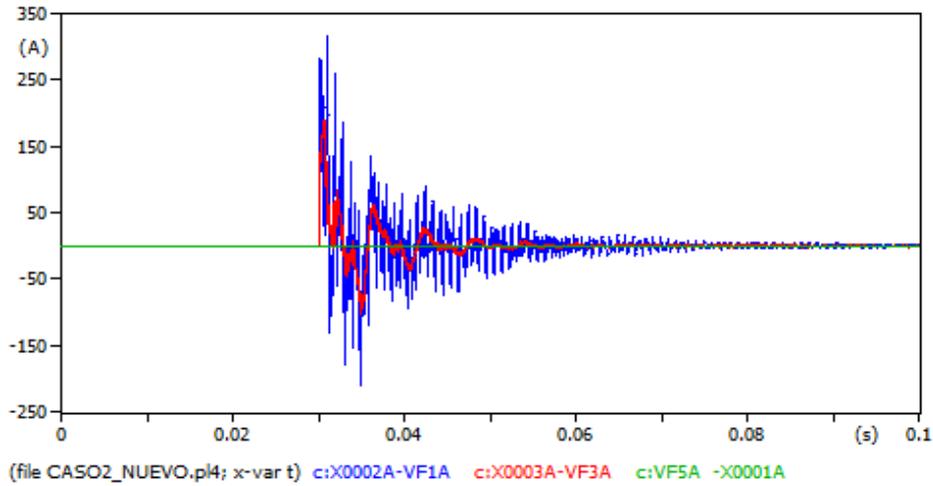


Figura 3.35: Corriente respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1
Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 52. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-------------|------------|-------------|
| IFA1A=181 A | IFA4A=76 A | IFA5A=0 A |

Fuente: Los Autores

En el caso de Fuente DC se analiza el cambio de impedancia en el diseño de red de distribución para el caso en que toda la troncal es de calibre 3/0, El voltaje incidente tiene el mismo valor a lo largo de la troncal, pero el voltaje de reflexión llega a tener un valor de 21.57 kV y el de transmisión de 20.9 kV, a pesar de que el calibre es igual en toda la troncal tiene un sobrevoltaje. En cuanto a la corriente se puede observar que el valor de la corriente de transmisión es de 0 Amperios

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN: Troncal Trifásico 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2AWG).

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 4/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P85204 con una longitud de 22425 m.

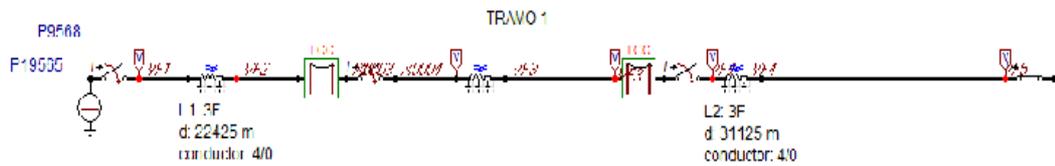


Figura 3.36: Tramo 1 del caso 3 de troncál trifásica en DC calibre 4/0.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

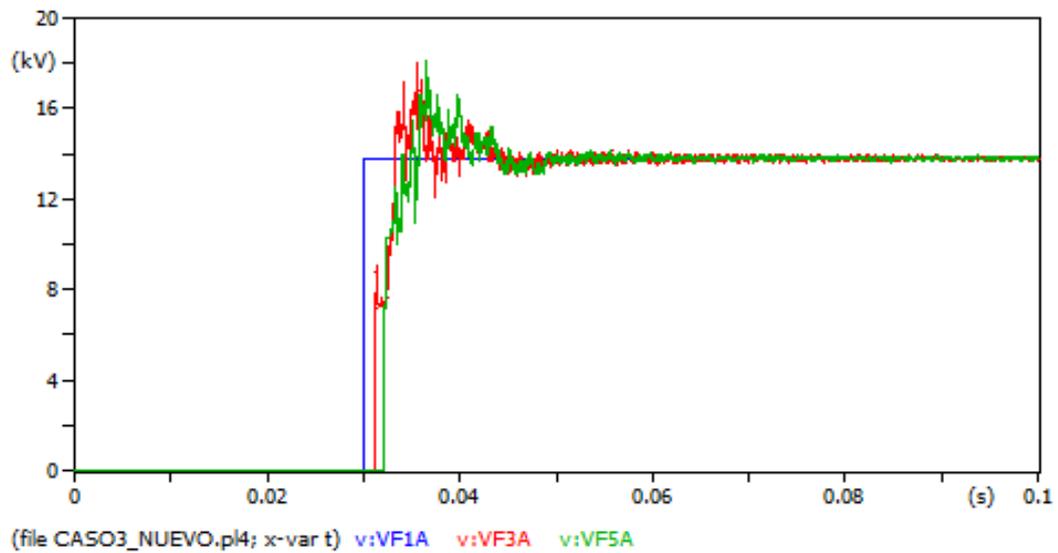


Figura 3.37: Ondas de Voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Análisis de Voltaje-Fase A

Tabla 53. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1 caso 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|----------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=14.1 kV | VFA5A=18.06 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

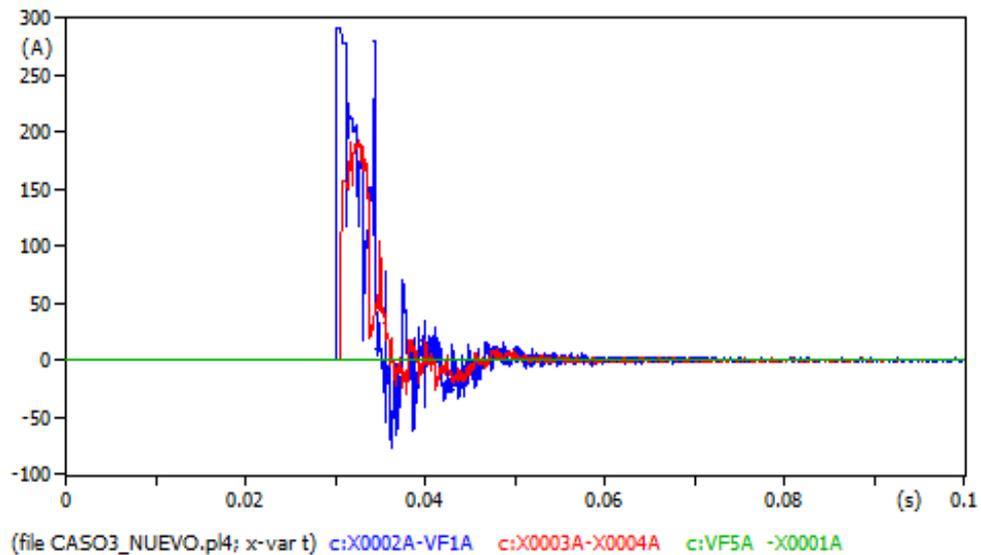


Figura 3.38: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 54. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1 – caso 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-----------|-----------|-------------|
| IFA1A=200 | IFA4A=186 | IFA5A=0 |

Fuente: Los Autores

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL: Troncal trifásico 3/0-1/0-3/0 con Fuente DC

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P72124 con una longitud de 4230 m.

Análisis de Voltaje-Fase A

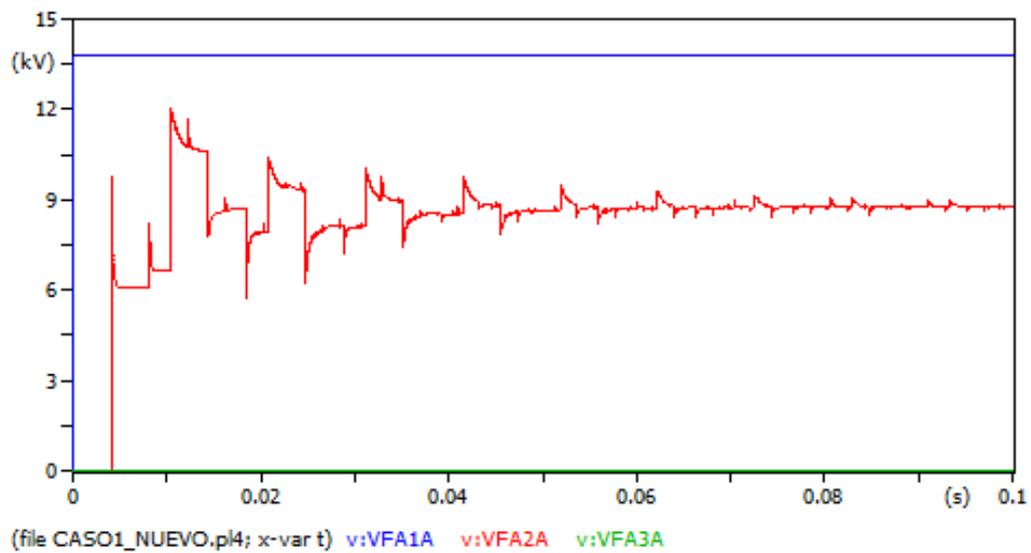


Figura 3.39: Voltaje en el Tramo 1-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 55. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|-------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA2A=11.8 kV | VFA3A=0 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

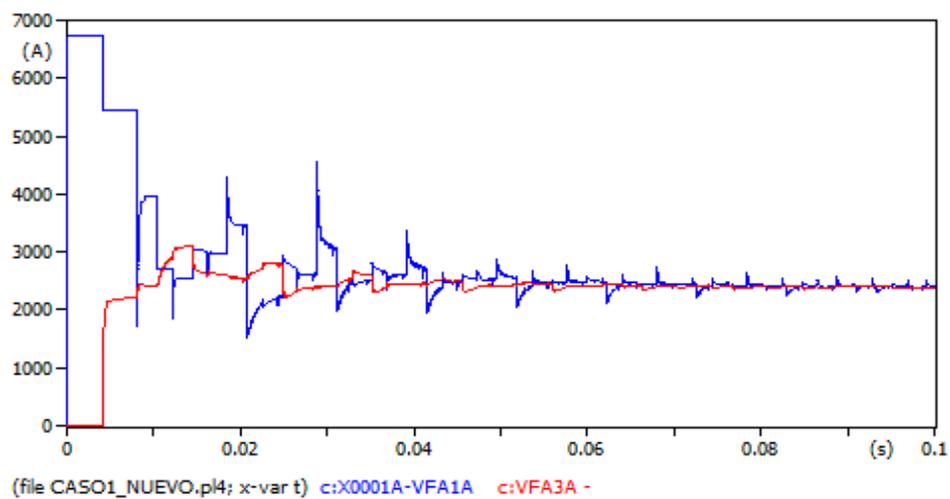


Figura 3.40: Corriente en el Tramo 1-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

En el caso de la corriente, el valor transmitido muestra un valor de corriente que tiende a cero

Tabla 56. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|--------------|--------------|
| IVFA1A=6.7 kA | IFA2A=6.7 kA | IFA3A=2.8 kA |

Fuente: Los Autores

TRAMO 2:

En el tramo 2 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 V con un calibre de conductor de 1/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P85204 hasta el poste P24608 con una longitud de 18000 m.

Análisis de Voltaje-Fase A

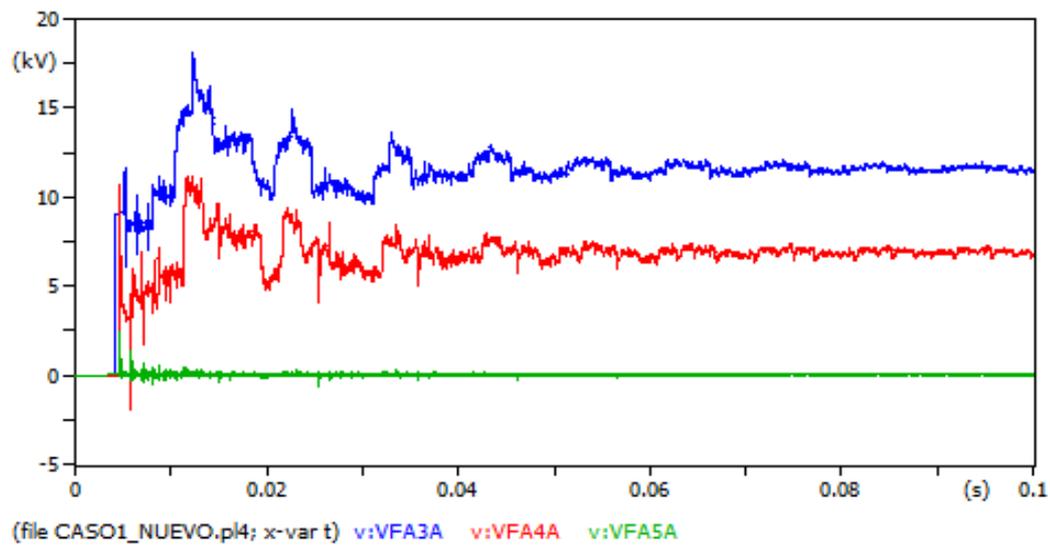


Figura 3.41: Voltaje en el Tramo 2-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 57. Valores de Voltajes DC-TRAMO 2

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|----------------|---------------|-------------|
| VFA3A=15.42 kV | VFA4A=10.5 kV | VFA5A=0 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

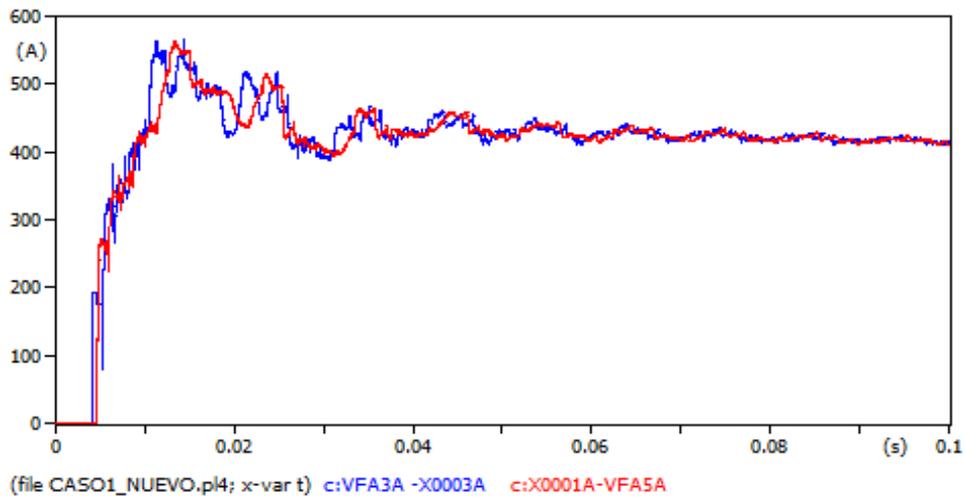


Figura 3.42: Corriente en el Tramo 2-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 58. Valores de Corrientes DC-TRAMO 2

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|------------|------------|-------------|
| IA3A=566 A | IFA4A=566A | IFA5A=561 |

Fuente: Los Autores

TRAMO 3:

En el tramo 3 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor nuevamente de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P24608 hasta el poste P24862 con una longitud de 195 m.

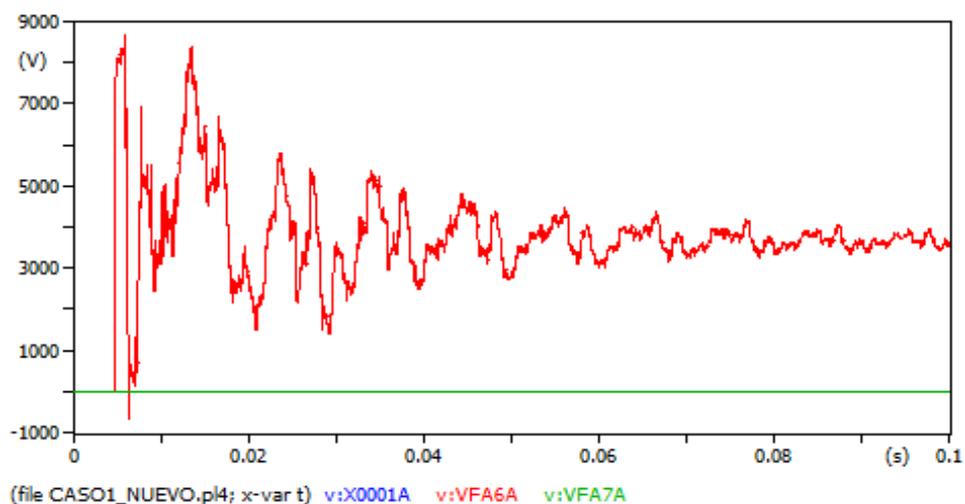


Figura 3.43: Voltaje en el Tramo 3 de circuito abierto -FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 59. Valores de Voltajes DC-TRAMO 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|---------------|-------------|
| VFA5A=4.39 kV | VFA6A=4.39 kV | VFA7A=0 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

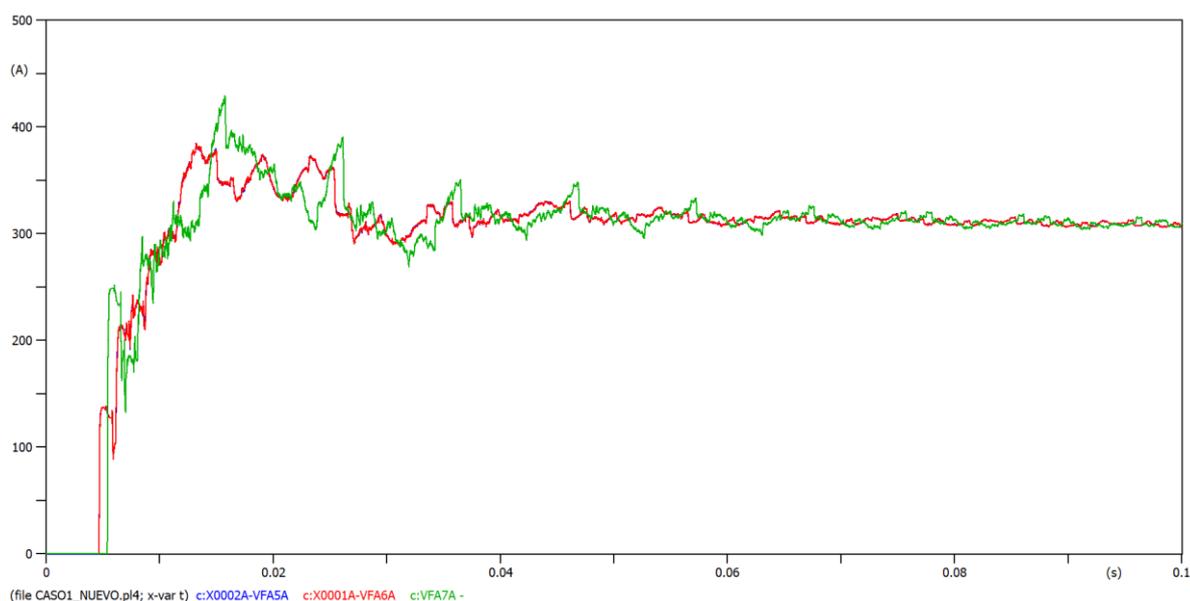


Figura 3.44: Corriente en el Tramo 3-FASE A

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 60. Valores de Corrientes DC-TRAMO 3

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-------------|-------------|-------------|
| IFA5A=347 A | IFA6A= 347A | IFA7A=420 A |

Fuente: Los Autores

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN: Troncal trifásica 3/0 AWG

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 3/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P24862 con una longitud de 22425m.

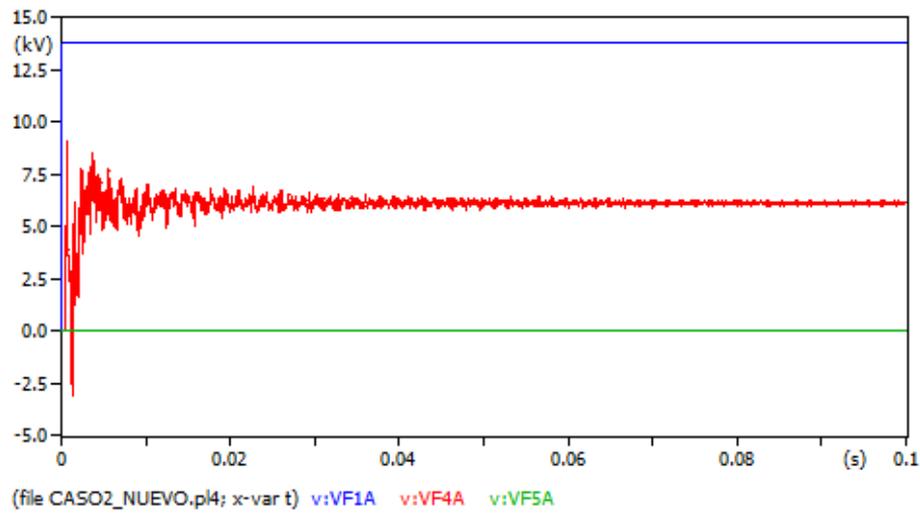


Figura 3.45: Voltaje respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 61. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|--------------|-------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=7.5 kV | VFA5A=0 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

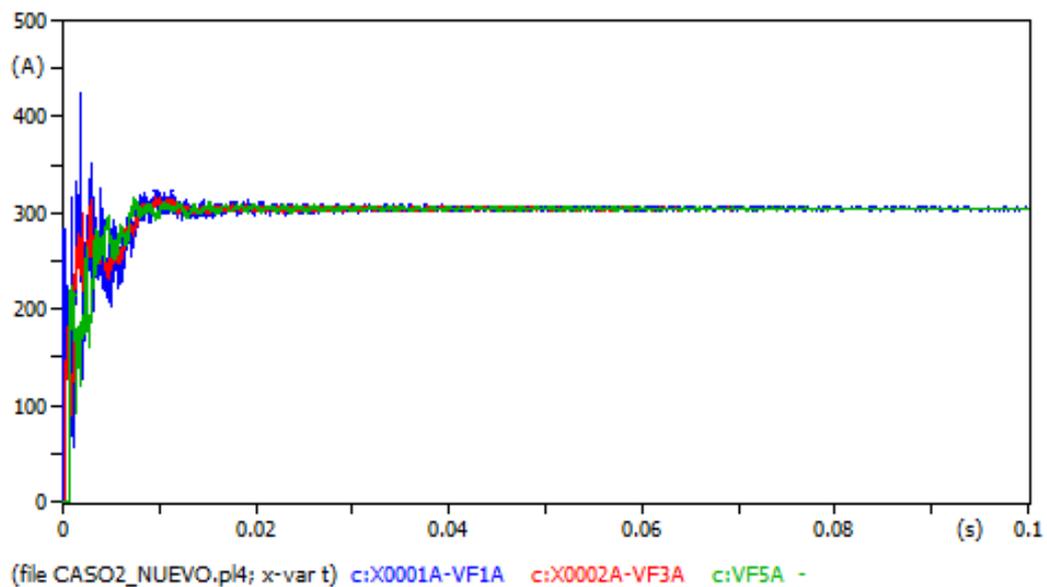


Figura 3.46: Corriente respecto a la Fuente de circuito abierto del Tramo 1

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 62. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|-------------|-----------|-------------|
| IFA1A=314 A | IFA4A=248 | IFA5A=146 A |

Fuente: Los Autores

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN: Troncal Trifásico 4/0 AWG y derivaciones monofásicas: La Isla y Suncamal (2 AWG).

TRAMO 1:

En el tramo 1 se muestra parte de la troncal trifásica de voltaje de operación de 13800 voltios con un calibre de conductor de 4/0 AWG, este tramo viene desde el Poste P9568 hasta el poste P85204 con una longitud de 22425 m.

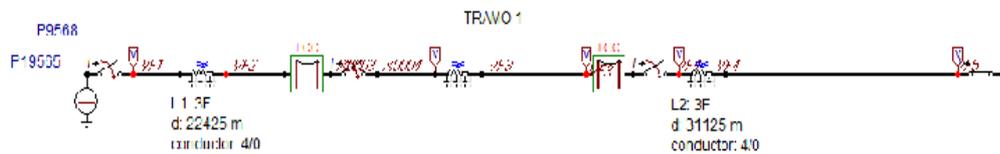


Figura 3.47: Tramo 1 del caso 3 de troncal trifásica en DC calibre 4/0

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Análisis de Voltaje-Fase A

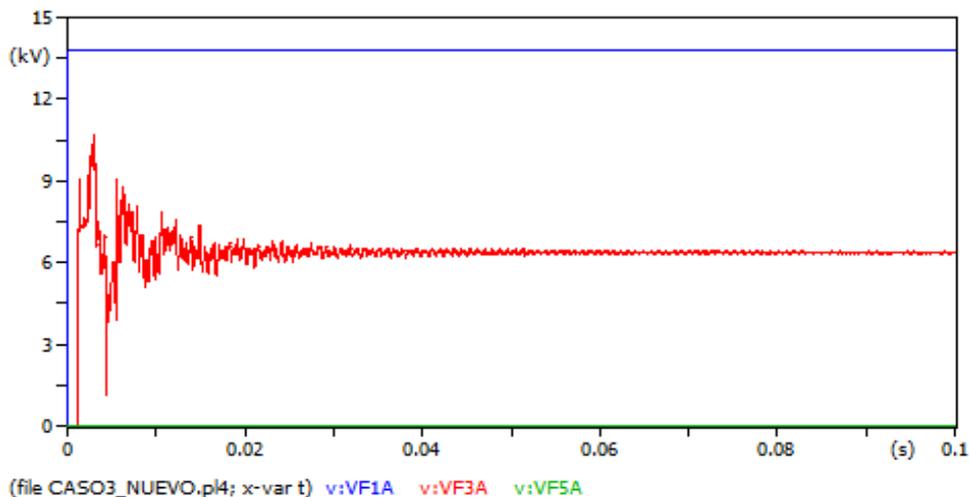


Figura 3.48: Ondas de Voltaje respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 63. Valores de Voltajes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|---------------|----------------|-------------|
| VFA1A=13.8 kV | VFA4A=10.54 kV | VFA5A=0 kV |

Fuente: Los Autores

Análisis de Corriente-Fase A

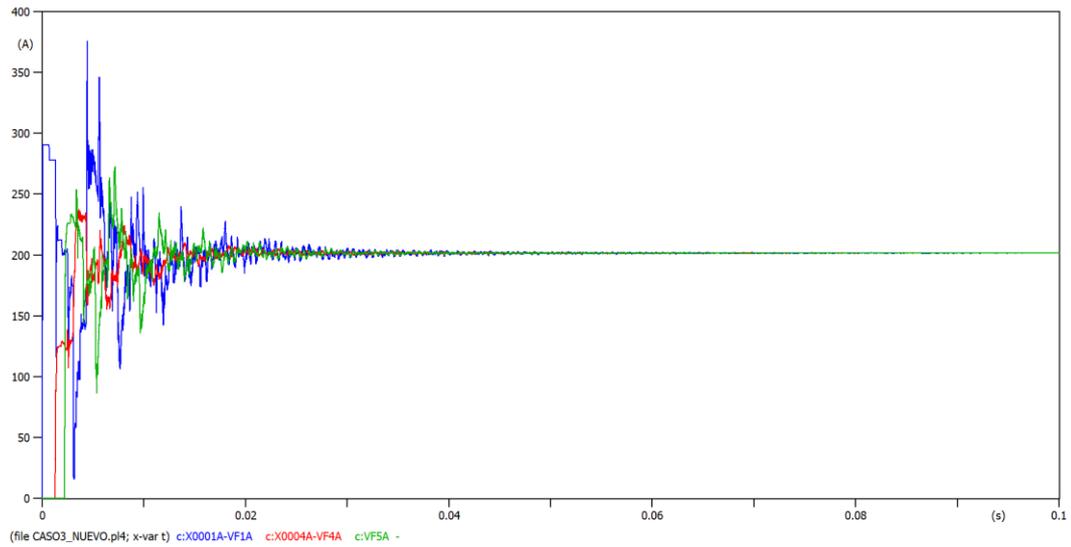


Figura 3.49: Ondas de Corriente respecto a la Fuente y Tramo 1 circuito abierto

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa ATPDraw).

Tabla 64. Valores de Corrientes DC-TRAMO 1

| INCIDENTE | REFLEXIÓN | TRANSMISIÓN |
|--------------|--------------|--------------|
| IFA1A=286.78 | IFA4A=158.97 | IFA5A=179.41 |

Fuente: Los Autores

7.9. ANEXO 9. CAIDAS DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR 2/14.

Tabla 65. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (Punto más alejado desde la subestación) Alimentador 1500140T02

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|------------------|--------------------|----------------|------------------|------|--------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 69450 | Punto más distante | 6.01 | 7.48 | A | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 2.83 | 7.74 | B | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 0.18 | 7.95 | C | 36.56 |

Fuente: Los Autores

Tabla 66. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector Suncamal) Alimentador 1500140T03

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|------------------|-------------------|----------------|------------------|------|--------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 95056 | Suncamal | 6.13 | 7.47 | A | 30.72 |
| 95056 | Suncamal | 3.86 | 7.66 | B | 30.72 |
| 95056 | Suncamal | 5.49 | 7.53 | C | 30.72 |

Fuente: Los Autores

En el centro de Cumandá, los niveles de voltaje obtenidos son:

Tabla 67. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector Cumandá Centro) Alimentador 1500140T02.

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|------------------|-------------------|----------------|------------------|------|--------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 75379 | Centro de Cumandá | 5.01 | 7.57 | A | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | 2.01 | 7.81 | B | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | -0.77 | 8.03 | C | 23.57 |

Fuente: Los Autores

7.10. ANEXO 10. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN EL ALIMENTADOR 1500140T02

Mediante el análisis realizado, se establece el tipo y la ubicación de fallas más recurrente. Las causas más comunes para que se produzcan las fallas en el alimentador 2 de la subestación 14 corresponden a Perturbaciones en la Red, y de Origen Climático y asociadas a los cambios de impedancia que se producen en el alimentador [24].

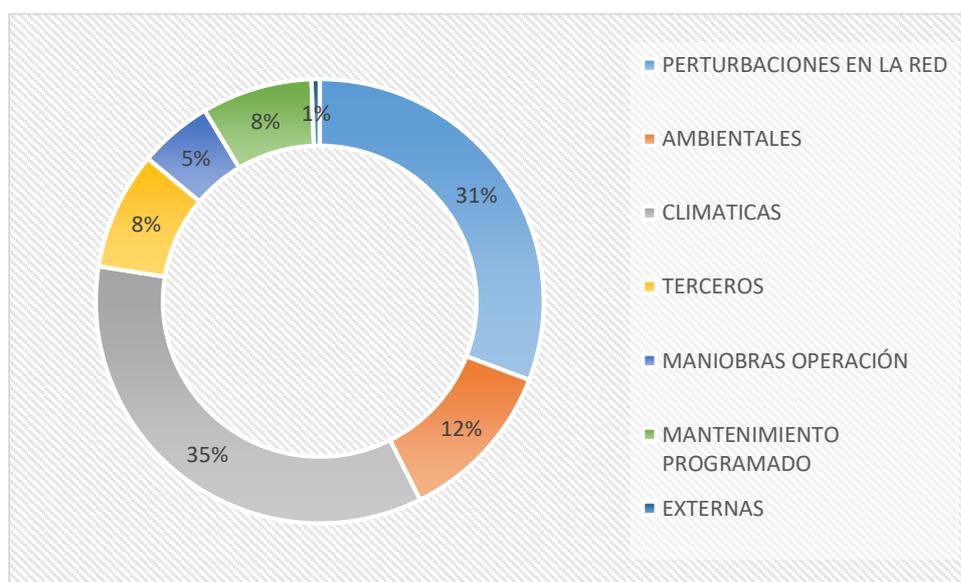


Figura 3.50: Influencia de Fallas por tipo

Fuente: [24].

En cuanto a las fallas que han ocasionado los mayores tiempos, expresado en horas de interrupción al año, se tienen:

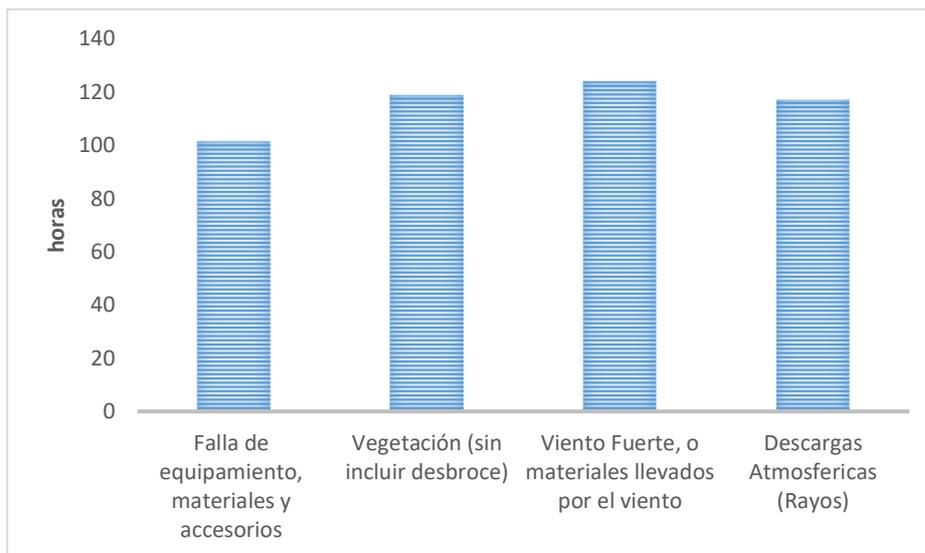


Figura 3.51: Descripción de fallas que ocasionan mayores tiempos de interrupción

Fuente: [24].

La ubicación de las fallas, en forma general considerando todas las interrupciones que se registraron en el período de análisis se determina que las interrupciones que originaron una mayor cantidad de carga desconectada se registraron en el troncal del alimentador.

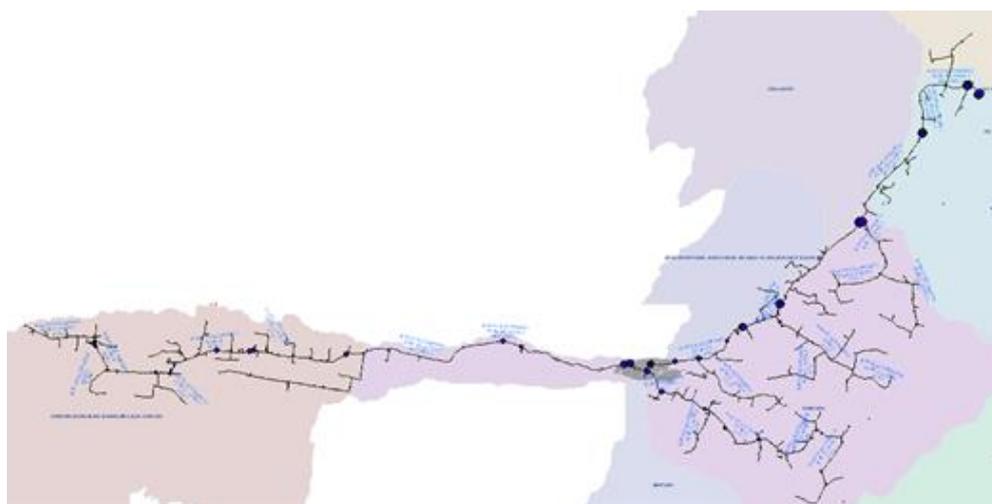


Figura 3.52: Ubicación de fallas que ocasionan las mayores desconexiones de carga.

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST).

Y los ramales monofásicos que presentan mayor número de fallas son los que precisamente tienen mayor carga.

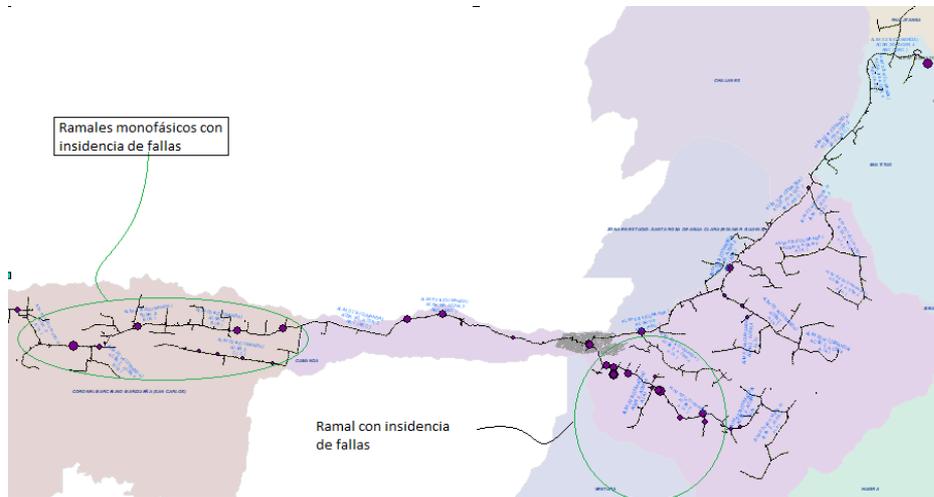


Figura 3.53: Ramales monofásicos con mayor número de fallas
Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST)

7.11. ANEXO 11. CAMBIO DEL RAMAL QUE SIRVE AL SECTOR DE SUNCAMAL DE MONOFÁSICO A TRIFÁSICO

Una vez que una parte importante de carga monofásica del alimentador 1500140T02 se ha transferido a CNEL Milagro, y el ramal monofásico que sirve a Suncamal se ha reconfigurado, conviene repotenciar la red entre los postes 13506 y 75159 y transformarla en trifásica, tal como se muestra a continuación.

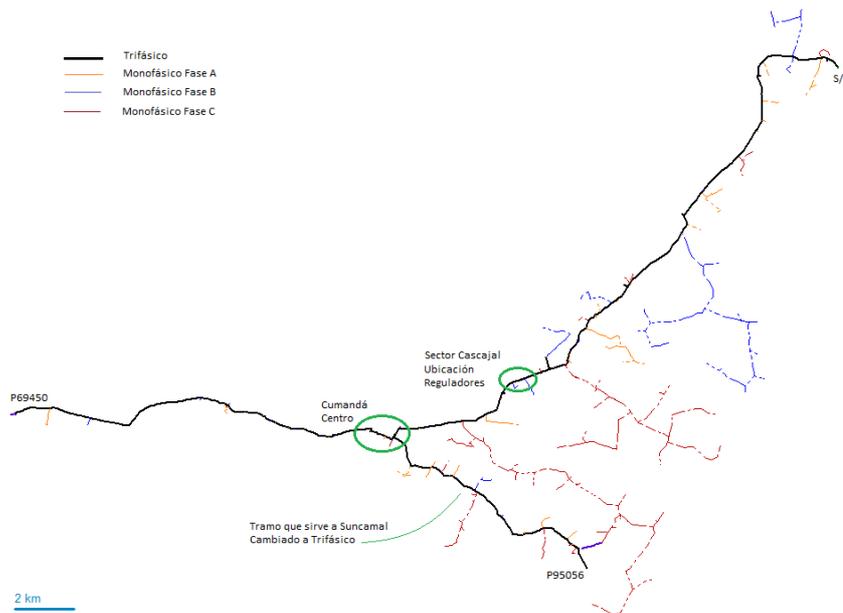


Figura 3.54: Repotenciación del tramo que sirve a Suncamal transformándolo a trifásico

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST).

Al hacer el cambio sugerido, se pueden balancear cargas de mejor manera en el alimentador y se obtienen los siguientes resultados.

Una vez que una parte importante de carga monofásica del alimentador 1500140T02 se ha transferido a CNEL Milagro, y el ramal monofásico que sirve a Suncamal se ha reconfigurado, conviene repotenciar la red entre los postes 13506 y 75159 y transformarla en trifásica, tal como se muestra a continuación.

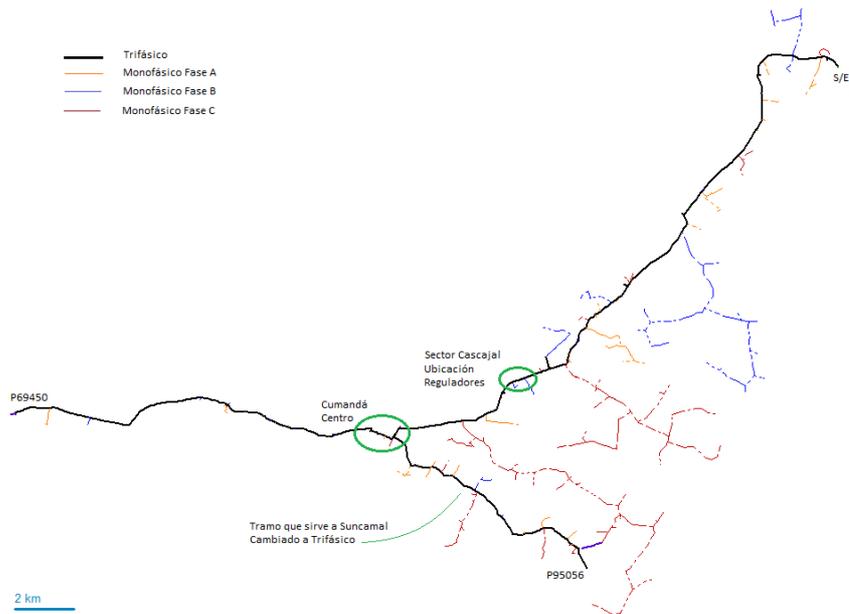


Figura 3.55: Repotenciación del tramo que sirve a Suncamal transformándolo a trifásico

Fuente: Los Autores (Captura de pantalla del programa CYMDIST).

Al hacer el cambio sugerido, se pueden balancear cargas de mejor manera en el alimentador y se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 68. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (Punto más alejado desde la subestación)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|------------------|--------------------|----------------|------------------|------|--------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 69450 | Punto más distante | 10.03 | 7.17 | A | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 7.61 | 7.36 | B | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 8.06 | 7.33 | C | 36.56 |

Fuente: Los Autores

Tabla 69. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector Suncamal).

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|------------------|-------------------|----------------|------------------|------|--------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 95056 | Suncamal | 8.87 | 7.26 | A | 31.68 |
| 95056 | Suncamal | 7.13 | 7.40 | B | 31.68 |
| 95056 | Suncamal | 7.48 | 7.37 | C | 31.68 |

Fuente: Los Autores

En el centro de Cumandá, los niveles de voltaje obtenidos son:

Tabla 70. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector Cumandá Centro)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 75379 | Centro de Cumandá | 8.72 | 7.27 | A | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | 6.73 | 7.43 | B | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | 6.98 | 7.41 | C | 23.57 |

Fuente: Los Autores

La caída de voltaje en el alimentador 1500140T02, no necesariamente refleja incumplimiento de la regulación 02/20 del ARCCRNEL, en la mencionada regulación se hace referencia al voltaje en el punto de servicio, no en las redes de la empresa distribuidora.

Para mejorar las condiciones del alimentador, se pueden considerar otras alternativas, las cuales son más costosas y tomarán más tiempo en implementar.

Tabla 71. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 69450 (Punto más alejado desde la subestación)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 69450 | Punto más distante | 6.01 | 7.48 | A | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 4.11 | 7.64 | B | 36.56 |
| 69450 | Punto más distante | 4.52 | 7.61 | C | 36.56 |

Fuente: Los Autores

Tabla 72. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 95056 (Sector Suncamal)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 95056 | Suncamal | 5.41 | 7.54 | A | 31.68 |
| 95056 | Suncamal | 3.63 | 7.68 | B | 31.68 |
| 95056 | Suncamal | 3.95 | 7.65 | C | 31.68 |

Fuente: Los Autores

En el centro de Cumandá, los niveles de voltaje obtenidos son:

Tabla 73. Niveles de voltaje obtenidos en el poste 75379 (Sector Cumandá Centro)

| CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | |
|-------------------------|-------------------|----------------|------------------|------|--------------------------------|
| Poste | Lugar de Medición | ΔV [%] | Voltaje F-N [kV] | FASE | Distancia desde la S/E 14 [km] |
| 75379 | Centro de Cumandá | 5.38 | 7.54 | A | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | 3.31 | 7.70 | B | 23.57 |
| 75379 | Centro de Cumandá | 3.55 | 7.68 | C | 23.57 |

Fuente: Los Autores

7.12. ANEXO 12. SIMULACIÓN EN EL PROGRAMA CYMDIST

Al realizar la carga de las dos bases de datos se crea otro archivo .mdb por default que es la base de datos del proyecto. En total se tienen 3 archivos .mdb: equipo, red y proyecto; que al final se guardan en una sola base con el nombre que se le asigne. Al término de este proceso la base de análisis queda activada con el ícono de color verde, tal como se indica en la Figura 2.22.

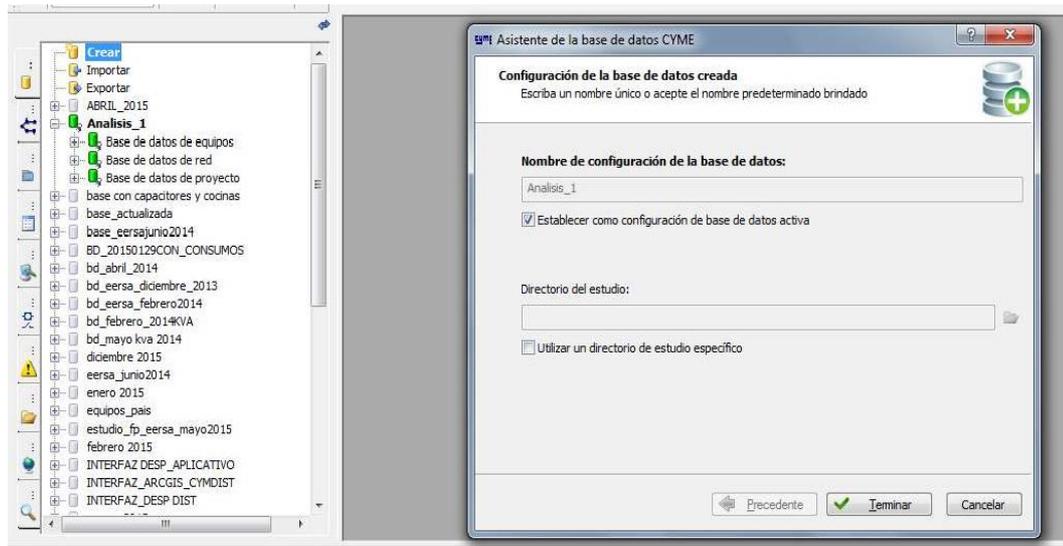


Figura 2.22: Activación base de análisis CYMDIST

Fuente: Los Autores.

El ícono Seleccionar Redes, permite seleccionar el alimentador 1500140T02 (02014) que van a ser objeto de este estudio como se muestra en la Figura.2.23.

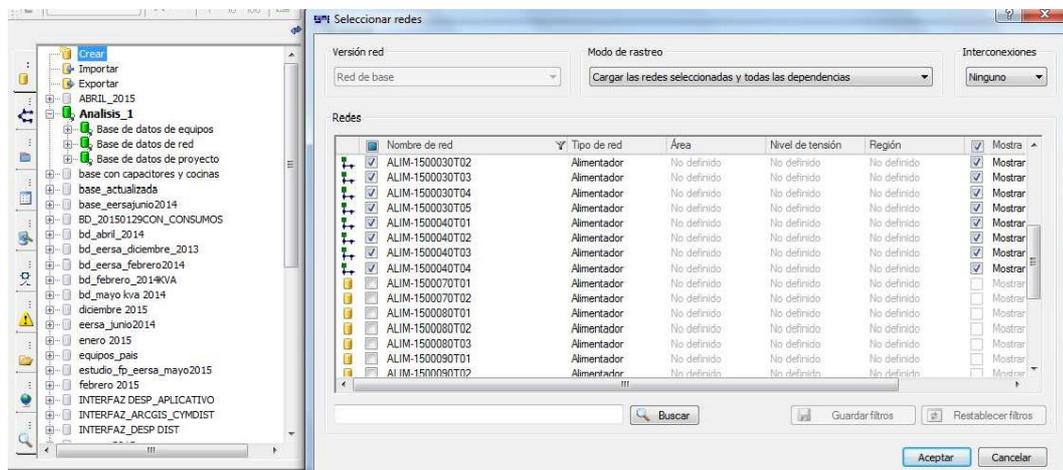


Figura 2.23: Selección de alimentadores CYMDIST

Fuente: Los Autores.

Una vez subida la base del alimentador al CYMDIST se procede a correr el flujo de carga, los flujos y simulaciones de los circuitos primarios se realizan en condiciones normales de funcionamiento y en el **ANEXO 1** se puede observar de mejor manera el flujo de carga.

Se requiere sustentar la validez de los estudios, mediante los registros de las operaciones realizadas por áreas operativas y de despacho.

Para la simulación de los sistemas de distribución en el programa CYMDIST, se utiliza el modelo de carga de potencia constante, el cual es un modelo en donde la potencia de la carga no varía con cambios de voltaje.

Los equivalentes de la fuente son obtenidos a partir del secundario del transformador de potencia de la subestación de distribución, considerando que el voltaje de servicio corresponda a la hora de demanda máxima, la demanda de la red ingresada al programa debe ser el valor máximo por fase como se puede apreciar en la Figura 2.24.

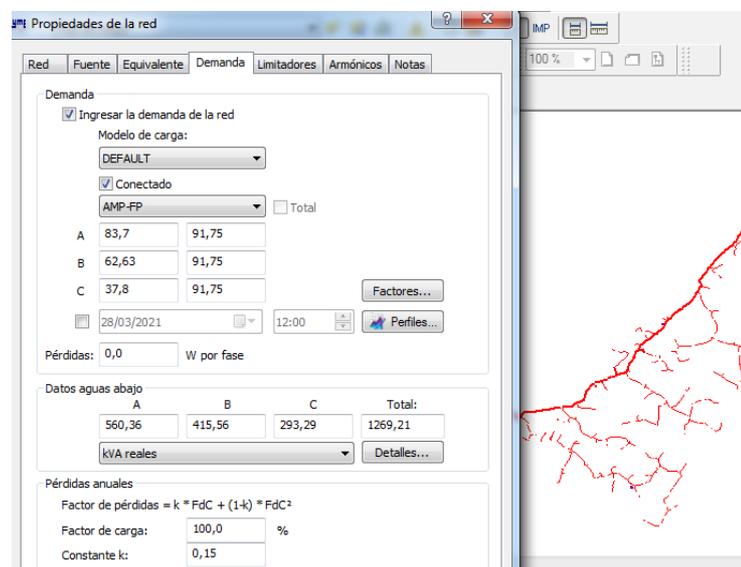


Figura 2.24: Parámetros de demanda por fase CYMDIST
Fuente: Los Autores.

Se utiliza la opción de los KVA conectados para la distribución de carga por fase. Para evaluar la distribución de cargas, en el estado actual de los alimentadores, se

lo realiza a partir de las lecturas obtenidas de los medidores ION, que son analizadores de carga de la marca Schneider y que se encuentran ubicadas en las cabeceras de los alimentadores, además de mediciones que se pueden recuperar de la memoria existente en los reconectores instalados estratégicamente a lo largo de los alimentadores.

Para la determinación de las pérdidas técnicas de energía de los circuitos primarios de la red de distribución, en los cuales se deben simular las condiciones críticas de operación del sistema, se realiza la simulación con el método Caída de voltaje Desequilibrada, tal como se muestra en la Figura 2.25.

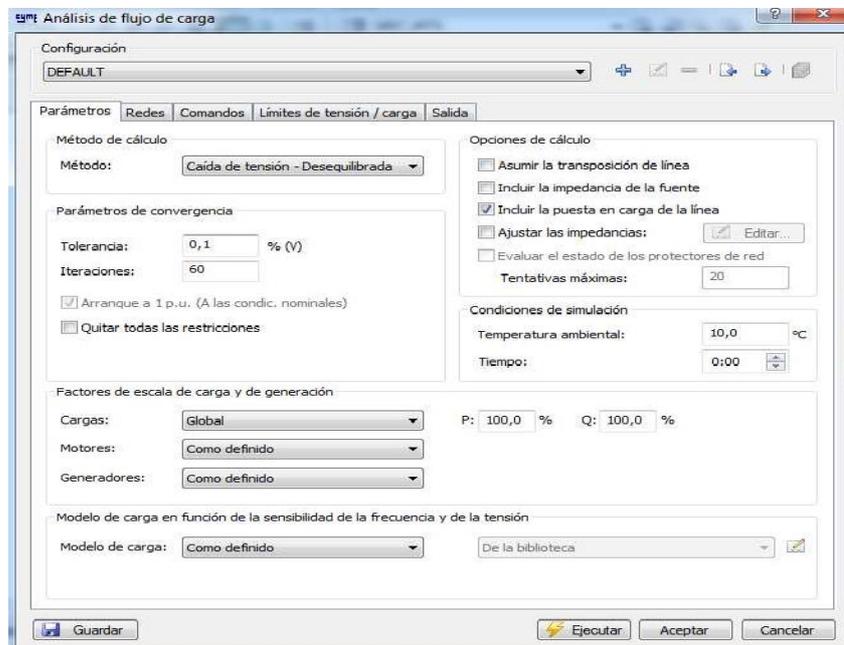


Figura 2.25: Ventana de análisis de flujo de carga CYMDIST

Fuente: Los Autores.

El programa CYMDIST tiene la opción de crear reportes, tal como se aprecia en la Figura 2.26, reporte que contiene potencia, voltajes, corrientes, porcentaje de cargabilidad en conductores, caída de voltaje, longitud de cada tramo desde la subestación, entre otros.

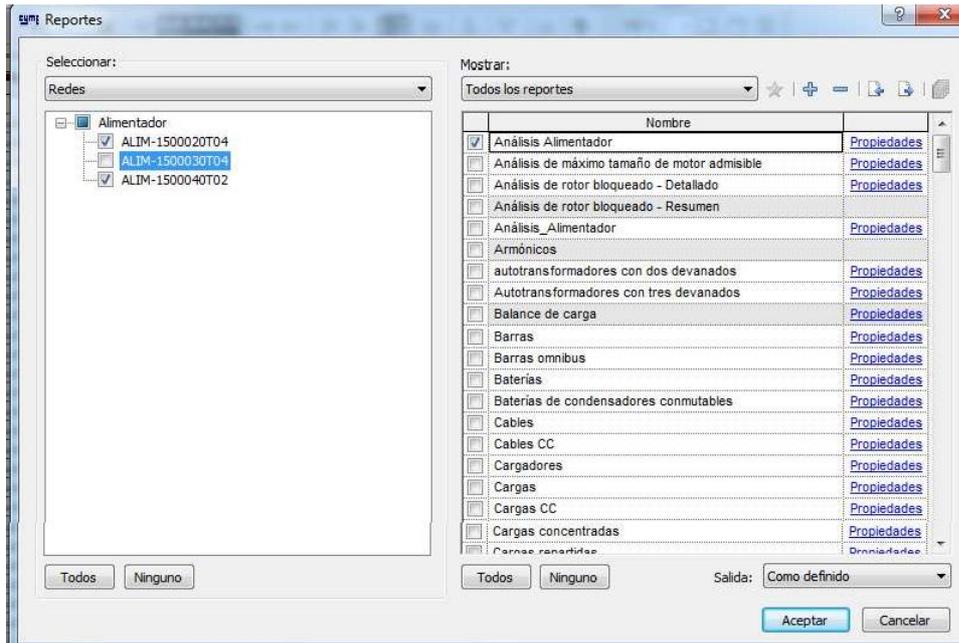


Figura 2.26: Ventana de opciones de reportes CYMDIST
Fuente: Los Autores.