

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**TEMA:**

ESTUDIO DE TRANSFERENCIAS DE CARGA PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS SUBESTACIONES LA ESPERANZA, CANANVALLE, Y CAYAMBE, MEDIANTE TELECOMANDO DE RECONECTADORES DESDE EL SISTEMA SCADA DE EMELNORTE.

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

**AUTOR:**

Anthony Jhosua Cisneros Romero

**DIRECTOR:**

MSc. Segundo Hernán Pérez Cruz MSc.

Ibarra, 2025



## AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004762934		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Cisneros Romero Anthony Jhosua		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Juan Montalvo y Obispo Mosquera S/N		
<b>EMAIL:</b>	ajcisnerosr@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062602669	<b>TELF MÓVIL:</b>	098462615

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“ESTUDIO DE TRANSFERENCIAS DE CARGA PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS SUBESTACIONES LA ESPERANZA, CANANVALLE, Y CAYAMBE, MEDIANTE TELECOMANDO DE RECONECTADORES DESDE EL SISTEMA SCADA DE EMELNORTE.”
<b>AUTOR (ES):</b>	Cisneros Romero Anthony Jhosua.
<b>FECHA DE APROBACIÓN:</b> DD/MM/AAAA	20/01/2025
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Eléctrico
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	MSc. Hernán Pérez

REPÚBLICA DEL ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE ELECTRICIDAD



## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de enero de 2025

### EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Anthony Jhosua Cisherós Romero'.

Cisherós Romero Anthony Jhosua

CI: 1004762934



**CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**

Yo, MSc. Hernán Pérez Cruz en calidad de director del señor estudiante Cisneros Romero Anthony Jhosua, certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "ESTUDIO DE TRANSFERENCIAS DE CARGA PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS SUBESTACIONES LA ESPERANZA, CANANVALLE, Y CAYAMBE, MEDIANTE TELECOMANDO DE RECONECTADORES DESDE EL SISTEMA SCADA DE EMELNORTE".

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

MSc. Hernán Pérez

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



## DEDICATORIAS

A mis padres y a Dios, sin ellos nada de esto sería posible.

**-Anthony.**



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, Anita y Leo, su apoyo incondicional día a día fue clave para llegar hasta este punto de mi vida.

Al MSc. Hernán Pérez por su gran predisposición y ayuda a lo largo del desarrollo de este trabajo, y por los conocimientos impartidos en el aula de clase.

Al personal de Emelnorte S.A., especialmente al Ing. Eduardo Ruano y al Ing. Diego Imbaquingo, por compartir sus conocimientos conmigo y guiarme para que sea posible culminar mi carrera.

A Mel, por su gran apoyo, por nunca dejarme solo.

A Dios, quien nunca me ha dejado solo y ha estado conmigo en los momentos más difíciles.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
CAPITULO I.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
TEMA.....	3
1.1 El problema.....	3
1.1.1 Formulación de la pregunta de investigación .....	4
1.2 Objetivos.....	4
<b>1.2.1 Objetivo general</b> .....	4
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	4
1.3 Alcance y delimitación .....	4
1.4 Justificación .....	5
CAPÍTULO II.....	7
2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Bases teóricas.....	8
2.2.1 Sistemas Radiales.....	8
2.2.2 Ventajas y desventajas de los sistemas radiales.....	9
2.2.3 Operación de los alimentadores: .....	9
2.2.4 Derivaciones.....	11
2.2.5 Interconexiones: .....	12
2.2.6 Interconexión entre alimentadores: .....	12
2.2.7 Subestación de barra simple:.....	14
2.2.8 Mantenimiento en subestaciones.....	15
2.2.9 Reconectores como interruptores para comando a distancia.....	15
2.2.10 Transferencias de carga.....	16
2.2.11 Regulación No. ARCERNNR 002/20:.....	18
CAPÍTULO III .....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1 Metodología.....	20
3.2 Descripción del lugar de estudio: .....	21
3.3 Delimitación de las subestaciones a ser analizadas:.....	22



3.4 Materiales .....	23
3.5 Condiciones actuales de operación de las subestaciones: .....	25
3.6 Procedimiento transferencia de cargas .....	30
3.6.1 Subestación La Esperanza .....	30
3.6.2 Subestación Cayambe (Transformador 1 “Mitsubishi”).....	32
3.6.3 Subestación Cayambe (Transformador 2 “chino”).....	34
3.6.4 Subestación Cananvalle .....	35
3.7 Enlaces para comando a distancia de reconectores .....	38
CAPITULO IV .....	41
4.1 Flujos de carga realizados en software CYME .....	41
4.1.1 Flujo de carga transferencia subestacion La Esperanza.....	41
4.1.2 Transferencia subestacion Cayambe (Transformador 1 Mitsubishi).....	47
4.1.3 Transferencia subestacion Cayambe (Transformador 2 chino). .....	54
4.1.4 Transferencia subestacion Cananvalle.....	61
4.2 Determinación de enlace para reconectores que permiten la transferencia automática de carga entre subestaciones. ....	71
Conclusiones.....	77
Recomendaciones .....	78
Referencias bibliográficas. ....	79





## INDICE DE FIGURAS

Fig 1. Sistema de alimentadores con equipos de control.....	11
Fig 2. Derivaciones primarias, secundarias y terciarias. ....	12
Fig 3. Interconexión de alimentadores entre diferentes subestaciones.....	14
Fig 4. Diagrama de actividades realizadas para el desarrollo del presente estudio.....	20
Fig 5. Subestación La Esperanza.....	22
Fig 6. Subestación Cananvalle.....	22
Fig 7. Subestación Cayambe. ....	23
Fig 8. Punto de interconexión 3514 entre alimentadores Z1 y Z2. ....	31
Fig 9. Punto de interconexión 733 entre alimentadores Z1 y N5.....	31
Fig 10. Punto de interconexión 7375 entre alimentadores Z3 y N2.....	31
Fig 11. Punto de interconexión 8025 entre alimentadores Z4 y N4.....	32
Fig 12. Punto de interconexión entre alimentadores C1 y C7.....	33
Fig 13. Punto de interconexión entre alimentadores C2 y N3.....	33
Fig 14. Punto de interconexión entre alimentadores C3 y C8.....	33
Fig 15. Punto de interconexión 18536 entre alimentadores C6 y N1.....	34
Fig 16. Punto de interconexión 201061 entre alimentadores C1 y C7.....	35
Fig 17. Punto de interconexión 23189 entre alimentadores C8 y C3.....	35
Fig 18. Punto de interconexión 18536 entre alimentadores N1 y C6.....	36
Fig 19. Punto de interconexión 7375 entre alimentadores N2 y Z3.....	36
Fig 20. Punto de interconexión 13538 entre alimentadores N3 y C2.....	37
Fig 21. Punto de interconexión 8025 entre alimentadores N4 y Z4.....	37
Fig 22. Punto de interconexión 733 entre alimentadores N5 y Z1.....	37
Fig 23. Muestra las distancias máximas consideradas al momento de realizar un enlace. .....	38
Fig 24. Ubicación de enlaces existentes en el software Google Earth Pro.....	39
Fig 25. Muestra los puntos de interconexión, nodos y enlaces existentes de la subestación Cayambe. ....	40
Fig 26. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion La Esperanza.....	41
Fig 27. Alimentadores Z1, Z2 y N5 antes de la transferencia de carga.....	42



Fig 28. Transferencia de los alimentadores Z1 y Z2 a N5 .....	42
Fig 29. Flujo de carga alimentador N5 después de la transferencia de carga.....	43
Fig 30. Alimentadores Z3 y N2 antes de la transferencia. ....	43
Fig 31. Transferencia del alimentador Z3 a N2.....	44
Fig 32. Flujo de carga alimentador N2 después de la transferencia de carga.....	44
Fig 33. Alimentadores Z4 y N4 antes de la transferencia. ....	45
Fig 34. Transferencia del alimentador Z4 a N4.....	45
Fig 35. Flujo de carga alimentador N4 después de la transferencia de carga.....	46
Fig 36. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion Cayambe Transformador 1. ....	47
Fig 37. Alimentadores C1 y C7 antes de la transferencia. ....	48
Fig 38. Transferencia de alimentador C1 a C7.....	48
Fig 39. Flujo de carga alimentador C7 después de la transferencia de carga.....	49
Fig 40. Alimentadores C2 y N3 antes de la transferencia. ....	49
Fig 41. Transferencia de alimentador C2 a N3.....	50
Fig 42. Flujo de carga alimentador N3 después de la transferencia de carga.....	50
Fig 43. Alimentadores C3 y C8 antes de la transferencia. ....	51
Fig 44. Transferencia de alimentador C3 a C8.....	51
Fig 45. Flujo de carga alimentador C8 después de la transferencia de carga. ....	52
Fig 46. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion Cayambe T2.....	54
Fig 47. Alimentadores C6 y N1 antes de la transferencia. ....	54
Fig 48. Transferencia de alimentador C6 a N1.....	55
Fig 49. Flujo de carga alimentador N1 después de la transferencia de carga.....	55
Fig 50. Alimentadores C7 y C1 antes de la transferencia. ....	56
Fig 51. Transferencia de alimentador C7 a C1 .....	56
Fig 52. Flujo de carga alimentador C1 después de la transferencia de carga.....	57
Fig 53. Alimentadores C8 y C3 antes de la transferencia. ....	57
Fig 54. Transferencia de alimentador C8 a C3.....	58
Fig 55. Flujo de carga alimentador C3 después de la transferencia de carga.....	58
Fig 56. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion Cananvalle. ....	61



Fig 57. Alimentadores N1 Y C6 antes de la transferencia. ....	61
Fig 58. Transferencia de alimentador N1 a C6.....	62
Fig 59. Flujo de carga alimentador C6 después de la transferencia de carga.....	62
Fig 60. Alimentadores N2 Y Z3 antes de la transferencia.....	63
Fig 61. Transferencia de alimentador N2 a Z3.....	63
Fig 62. Flujo de carga alimentador Z3 después de la transferencia de carga. ....	64
Fig 63. Alimentadores N3 Y C2 antes de la transferencia. ....	64
Fig 64. Transferencia de alimentador N3 a C2.....	65
Fig 65. Flujo de carga alimentador C2 después de la transferencia de carga.....	65
Fig 66. Alimentadores N4 Y Z4 antes de la transferencia.....	66
Fig 67. Transferencia de alimentador N4 a Z4.....	66
Fig 68. Flujo de carga alimentador Z4 después de la transferencia de carga. ....	67
Fig 69. Alimentadores N5 Y Z1 antes de la transferencia.....	67
Fig 70. Transferencia de alimentador N5 a Z1.....	68
Fig 71. Flujo de carga alimentador Z1 después de la transferencia de carga. ....	68
Fig 72. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 3514.....	71
Fig 73. Línea de vista favorable para conexión de reconfigurador poste 3514.....	72
Fig 74. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 733.....	72
Fig 75. Enlace existente reconfigurador poste 7375.....	73
Fig 76. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 8025.....	73
Fig 77. Línea de vista favorable para conexión de reconfigurador poste 8025.....	74
Fig 78. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 201061.....	74
Fig 79. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 13538.....	75
Fig 80. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 23189.....	75
Fig 82. Enlace existente reconfigurador poste 18536.....	76



**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los sistemas radiales. .... 9

Tabla 2. Horario de análisis para cada una de las subestaciones..... 25

Tabla 3. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga Subestación La Esperanza. .... 26

Tabla 4. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga Subestación Cayambe Transformador 1..... 27

Tabla 5. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga Subestación Cayambe Transformador 2..... 28

Tabla 6. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga Subestación Cananvalle..... 29

Tabla 7. Procedimiento transferencia de carga Subestacion La Esperanza..... 30

Tabla 8. Procedimiento transferencia de carga Subestacion Cayambe T1..... 32

Tabla 9 Procedimiento transferencia de carga Subestacion Cayambe T2..... 34

Tabla 10. Procedimiento transferencia de carga Subestacion Cananvalle. .... 35

Tabla 11. Simbología de colores utilizados para identificar los enlaces existentes. .... 39

Tabla 12. Niveles de demanda en los alimentadores y transformador involucrados después de transferencia..... 46

Tabla 13. Niveles de demanda en los alimentadores y transformadores involucrados después de transferencia..... 52

Tabla 14. Niveles de demanda en los alimentadores y transformadores involucrados después de transferencia..... 59

Tabla 15. Niveles de demanda en los alimentadores y transformadores involucrados después de transferencia..... 69



## RESUMEN

El presente estudio se enfoca en establecer un procedimiento de transferencia de carga entre las subestaciones La Esperanza, Cananvalle y Cayambe, pertenecientes al sistema eléctrico de EMELNORTE, con el propósito de garantizar la continuidad del servicio eléctrico durante actividades de mantenimiento. La solución propuesta consiste en implementar comandos a distancia para la operación remota de reconectores a través del Sistema SCADA, gestionado desde el Centro de Control Local de EMELNORTE. Para alcanzar este objetivo, se realizó un análisis detallado de las condiciones actuales de operación y se identificaron puntos estratégicos en los alimentadores de las subestaciones para optimizar las transferencias de carga. Adicionalmente, se llevaron a cabo de flujos de carga en CYME, evaluando las condiciones operativas de los alimentadores primarios y el transformador de potencia tras las transferencias. También se determinó la viabilidad de los mecanismos de comunicación necesarios para garantizar la operación remota de los reconectores y la integración eficiente con el sistema SCADA. Los resultados de este análisis muestran un proceso de transferencia de carga, cuyo principal objetivo es minimizar interrupciones y aumentar la confiabilidad del servicio.

**Palabras clave:** subestación eléctrica, transferencia de carga, reconectores, flujo de carga, SCADA.



## ABSTRACT

This study focuses on establishing a load transfer procedure between the La Esperanza, Cananvalle and Cayambe substations, belonging to the EMELNORTE electrical system, in order to guarantee the continuity of the electrical service during maintenance activities. The proposed solution consists of implementing remote commands for the remote operation of reclosers through the SCADA System, managed from the EMELNORTE Local Control Center. To achieve this objective, a detailed analysis of the current operating conditions was carried out and strategic points were identified in the substation feeders to optimize load transfers. In addition, load flows were carried out in CYME, evaluating the operating conditions of the primary feeders and the power transformer after the transfers. The viability of the communication mechanisms necessary to guarantee the remote operation of the reclosers and the efficient integration with the SCADA system is also calculated. The results of this analysis show a load transfer process, whose main objective is to minimize interruptions and increase service reliability.

**Keywords:** electrical substation, load transfer, reclosers, load flow, SCADA.



## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### TEMA

Estudio de transferencias de carga para el mantenimiento de las subestaciones La Esperanza, Cananvalle, y Cayambe, mediante telecomando de reconectores desde el sistema SCADA de EMELNORTE.

#### 1.1 El problema

La continuidad del servicio de los abonados de EmelNorte es primordial, dentro del suministro de energía eléctrica, como un indicador esencial de la calidad de servicio técnico, que conlleva a establecer procedimientos necesarios para evitar los cortes de energía eléctrica que afectan los índices de interrupción de las empresas de distribución. Cuando se realizan mantenimientos en las subestaciones de distribución, es necesario aislar el transformador de potencia para poder realizar los trabajos de limpieza de contactos, pruebas de apertura y cierre de disyuntores asociados a los alimentadores primarios, lo que conlleva a desconectar los alimentadores por un tiempo determinado, dejando sin servicio eléctrico a sus abonados. Los índices de interrupción competen: el tiempo total de interrupción TTIk en horas y la Frecuencia Media de Interrupción en número de veces. Por lo que es necesario evitar los cortes a los usuarios que se sirven de la energía eléctrica desde una determinada subestación, es por esta razón que para realizar el mantenimiento de una subestación, EMELNORTE realiza transferencias de carga hacia subestaciones aledañas como lo son las subestaciones La Esperanza, Cananvalle y Cayambe; sin embargo existen ciertos procedimientos como la conexión y desconexión de seccionadores que son realizados con los grupos de mantenimiento que requieren de ciertos tiempos y maniobras en los puntos de interconexión que pueden ser mayores a tres minutos, por lo que se debe plantear alternativas de comando a distancia que permitan reducir los tiempos de operación, es decir, ser más eficientes y reducir los índices de interrupción. En este sentido, las transferencias de carga entre subestaciones evitan los cortes de energía a los abonados cuando se realizan o se programan mantenimientos de las subestaciones de distribución.



### 1.1.1 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuál es el procedimiento para realizar la transferencia de carga entre las subestaciones, mediante accionamientos de telecomando de reconectores desde el centro de control local SCADA de EmelNorte?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Realizar el estudio de transferencias de carga en las subestaciones La Esperanza, Cananvalle, y Cayambe para evitar interrupciones de servicio eléctrico; mediante el comando a distancia de reconectores, desde el Centro de Control Local EmelNorte.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las condiciones actuales de operación y puntos estratégicos de los alimentadores de las subestaciones para establecer las mejores condiciones que permitan realizar transferencias de carga entre las subestaciones indicadas.
2. Realizar estudios de flujos de carga para establecer las condiciones de operación de los alimentadores primarios luego de realizar las transferencias de carga.
3. Determinar los mecanismos de comunicación que permita la operación de los reconectores desde el Centro de Control Local de EmelNorte para realizar las transferencias entre alimentadores de las subestaciones de distribución

## 1.3 Alcance y delimitación

Para realizar la transferencia de carga de alimentadores entre las subestaciones, se requiere conocer los puntos de interconexión estratégicos que permitirán realizar la interconexión entre alimentadores, en base a la experiencia de los técnicos, jefes departamentales, jefes zonales y los jefes de grupo los cuales ya han venido realizando las transferencia de carga en sitio; se debe determinar los niveles de voltaje, y cargabilidad de los equipos antes y después de las transferencia de carga con el fin de que los parámetros eléctricos se encuentren dentro de los límites que establece la Regulación No. ARCERNR 02/20; una vez establecido la factibilidad de las transferencias de carga se debe considerar la instalación de reconectores en los puntos de interconexión, estableciendo los mecanismos de comunicación necesarios para realizar el comando a distancia desde el Centro de Control Local de EMELNORTE. Los reconectores se los





utilizará como interruptores con el propósito de remplazar el accionamiento manual de los grupos de mantenimiento, por comandos a distancia desde el Centro de Control Local de EmelNorte ubicado en el edificio de la Borrero 8-73 y Chica Narvárez en la ciudad de Ibarra, para este propósito se determinará la comunicación, ya sea mediante fibra óptica o servicio de banda ancha inalámbrica utilizando tecnología celular que dispone EMELNORTE, para la comunicación se utilizarán Switches que permiten la creación de una red WAN que proporcionan enlaces de alta velocidad y la interconexión con las redes de comunicación entre los reconectores, subestaciones, y el Centro de Control Local, mediante ruteadores y concentradores de datos RTU disponibles dentro de su red existente; la transferencia de carga se realizará mediante el telecomando de reconectores, desde el Centro de Control Local de EmelNorte, los mismos que funcionarán únicamente como interruptores.

#### 1.4 Justificación

La implementación de transferencias de carga mediante el comando de reconectores a distancia desde el Centro de Control Local es muy importante para disminuir el tiempo de desconexión de los alimentadores a comparación de cuando este se lo realiza con los grupos de mantenimiento ya que la operación es de forma inmediata, sin la necesidad de utilizar pértigas, pues los seccionadores de red son remplazados por interruptores automáticos que se encuentran dentro de los reconectores, esto hace que no exista contratiempos y se evite generar conexiones y desconexiones mayores a tres minutos, en el momento de realizar transferencias de carga. Al momento de disminuir los tiempos de interrupción realizando transferencias de carga mediante el comando a distancia de los reconectores, permite que las interrupciones no sean registradas dentro de los índices de interrupción FMIk y TTIk, esto de acuerdo a la Regulación ARCERNN 02/20 de Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, por lo que los índices no se verán afectados por transferencias de carga, permitiendo que la empresa sea más eficiente en la operación de sus redes eléctricas. Los usuarios que se sirven desde las subestaciones La Esperanza, Cananvalle, y Cayambe, serán beneficiadas con esta implementación, especialmente los abonados industriales como florícolas y



empresas de lácteos, principalmente Ecuajugos, que realizan procesos los cuales requieren un servicio de suministro de energía de forma continua. Para el desarrollo de este trabajo de fin de carrera se tiene el convenio de cooperación interinstitucional macro entre la Empresa Eléctrica Regional Norte EmelNorte y la Universidad Técnica de Norte, de esta manera se cuenta con la ayuda del personal técnico del Departamento de Estudios Eléctricos y del Centro de Control Local de EMELNORTE, quienes con su experiencia en el análisis y operación de redes aportarán para realizar este trabajo de integración curricular.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

La energía es imprescindible para el crecimiento de la sociedad y el desarrollo económico, el consumo de energía ha aumentado de forma constante, en la medida en que el nivel de vida de nuestra sociedad, cantidad de población, dependencia de los equipos eléctricos y electrónicos se ha incrementado. [4]

La calidad del servicio y regulaciones en el sector eléctrico, han motivado a que las empresas eléctricas de distribución realicen inversiones tecnológicas para mejorar su gestión y mejorar la prestación de servicio, siendo así la utilización de reconectores para transferencias de carga una de las opciones para mejorar la calidad del servicio técnico, este es un método de operación que permiten restaurar el servicio eléctrico, reducir los tiempos de interrupción y disminuir la cantidad de abonados sin suministro de energía eléctrica. [2]

En las empresas de distribución eléctrica, dentro de sus múltiples procesos que se realizan para dar el servicio de electricidad, está la operación del sistema eléctrico, este proceso permite dar continuidad del servicio y notificar a las áreas de mantenimiento, logística, planeamiento y comercialización, de fallos, mejoras a realizar, compras de equipamiento, inversiones a mediano y largo plazo; generando mejora en la calidad del servicio eléctrico. [10]

EMELNORTE, es una empresa que brinda el servicio público de energía eléctrica dentro de su área de concesión, que comprende: los cantones de Pedro Moncayo y Cayambe, las provincias de Imbabura y Carchi, cantón Sucumbíos y los sectores de Alto Tambo y Durango. EMELNORTE actualmente cuenta con 17 Subestaciones de Distribución con una capacidad de 202,5 MVA OA, todas a un voltaje nominal de 69/13,8 kV. [3]

La importancia de una subestación eléctrica en el sistema eléctrico de potencia de una empresa se tiene en cuenta cuando se presenta parálisis total de la empresa debido a una falla o salida de servicio de la subestación; por esta razón es necesario tomar medidas para ayudar a mitigar cualquier efecto de una falla y/o contingencia que se pueda llegar a generar. [9]



La confiabilidad de un sistema eléctrico en una distribuidora representa un componente crítico en el sistema eléctrico, la falla en una de estas representa la interrupción de servicio de varios usuarios en actividades industriales y comerciales, esto representaría pérdidas económicas para la empresa Distribuidora y a la sociedad a la que sirve. [7]

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos. A la central de control del SCADA estarán conectadas todas las subestaciones, centrales de generación y departamentos de la empresa, esta concentrará la información y permitirá el acceso a ella desde diferentes puntos de trabajo, esto basado en el sistema jerárquico. [3]

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Sistemas Radiales.**

Este sistema se caracteriza por tener una sola fuente de energía, misma que se distribuye a través de las líneas de transmisión de manera unidireccional. [15]

Algunas características de los sistemas radiales son las siguientes [17]:

- Un solo punto de origen de la energía eléctrica.
- Las líneas de alimentación se ramifican hacia los consumidores finales.
- Las subestaciones se ubican en los extremos de las líneas de transmisión.
- Los centros de consumo son alimentados desde la subestación más cercana.

En zonas rurales se utilizan redes radiales puras, mientras tanto en las zonas urbanas las redes radiales presentan puntos de transferencia de carga, los cuales en caso de fallas permiten pasar parte de la carga de un alimentador a otro.



Para la operación normal de un sistema eléctrico de distribución radial se analiza y controla diferentes variables eléctricas, siendo una de las más relevantes el nivel de voltaje en los nodos del circuito y las pérdidas de energía. [16]

**2.2.2 Ventajas y desventajas de los sistemas radiales.**

*Tabla 1. Ventajas y desventajas de los sistemas radiales.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicidad en el diseño.</li> <li>- Facilidad de mantenimiento.</li> <li>- Menos equipamiento requerido</li> <li>- Sistema más económico para áreas en donde se requiere poca carga.</li> <li>- Requiere menor cantidad de cableado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se produce una falla en cualquier punto de la línea, todo el sistema queda sin suministro eléctrico.</li> <li>- Dificultad en la expansión.</li> <li>- Mayor vulnerabilidad a interrupciones.</li> <li>- El mantenimiento de los interruptores se complica debido a que hay que dejar fuera parte de la red.</li> </ul>

**2.2.3 Operación de los alimentadores:**

Los alimentadores se refieren a las líneas o conductores que salen de la subestación para llevar la energía eléctrica, ya sea a los consumidores finales o a otras partes del sistema de distribución, convirtiéndose así en parte integral de la red eléctrica.

Hay diferentes formas por las cuales los alimentadores pueden ser operados:

- Operación por medio de seccionadores:

Implica el uso de dispositivos de seccionamiento para abrir o cerrar tramos específicos del sistema de distribución. Los seccionadores actúan como interruptores que aislaran el tramo seleccionado del sistema eléctrico, ya sea para facilitar el mantenimiento o



reparación, proporcionando un entorno seguro para realizar los trabajos programados. [19]

Los seccionadores son operados manualmente, es decir, el personal puede abrir o cerrar secciones del alimentador según sea necesario, siendo muy útil para evitar accidentes, pues es un sistema que puede verificarse visualmente.

➤ Operación por medio de disyuntores:

Los disyuntores son equipos diseñados para interrumpir el flujo de corriente eléctrica en un circuito, cuando se presenta una anomalía, como una sobrecarga o un cortocircuito, actúa como un interruptor automático que puede abrir o cerrar el circuito. El disyuntor está diseñado para proteger el circuito frente a corrientes eléctricas superiores a la capacidad nominal del circuito. [19]

La operación de un alimentador mediante disyuntores implica el control y la protección del circuito, permitiendo la apertura y cierre del mismo según sus condiciones operativas.

Antes de instalarse, el disyuntor se elegirá de acuerdo al alimentador, en función de la carga prevista.

➤ Operación por medio de relés de protección.

El relé protección es un dispositivo capaz de detectar las fallas en el sistema eléctrico y accionar los interruptores para poder aislar los elementos en condición de falla. [19]

La función principal del relé es medir parámetros eléctricos y de esta forma determinar si el sistema presenta condiciones de falla o, por el contrario, son normal. Una vez que el relé detecta una falla, funcionará de manera automática y cerrará el circuito, de manera que este circuito en falla se desconectará del sistema y el interruptor se quedará abierto. [20]

En el caso del alimentador, el relé de protección está monitoreando de forma continua las variables eléctricas, como son la corriente, el voltaje y su frecuencia. [20]



Antes de la instalación del relé, este debe configurarse según sean las características del alimentador y los requerimientos que este tenga referente a la protección, por ejemplo, los tiempos de disparo adecuados.

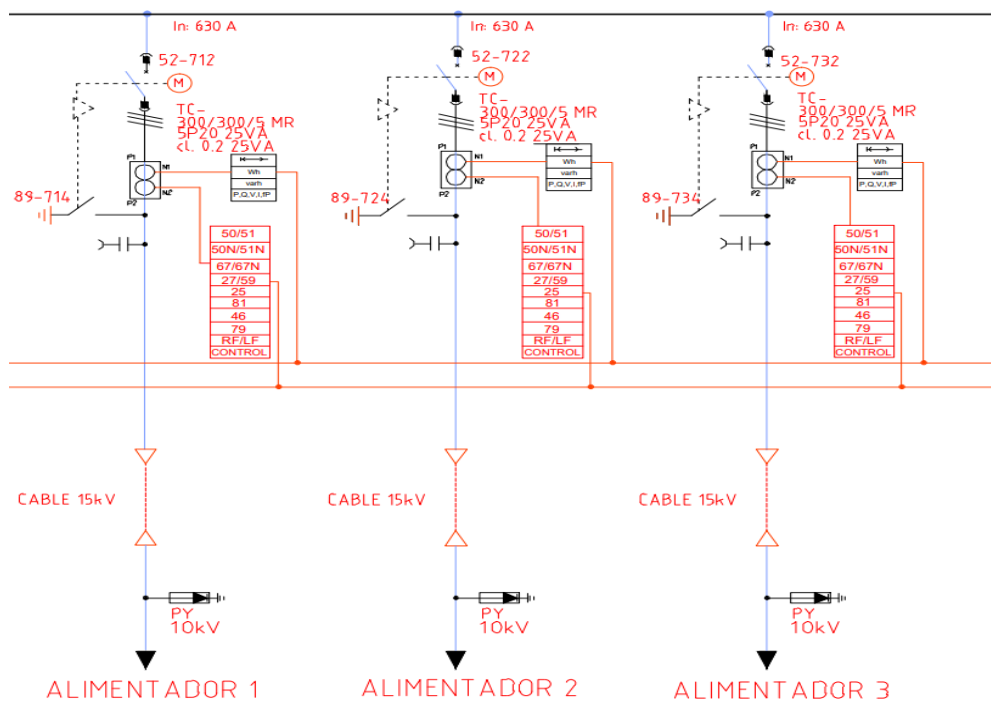


Fig 1. Sistema de alimentadores con equipos de control.

### 2.2.4 Derivaciones

Son aquellos tramos monofásicos o trifásicos del alimentador primario, los cuales son energizados desde la troncal principal, en donde estarán conectados los transformadores de distribución y acometidas en medio voltaje. La troncal, es el tramo trifásico de mayor capacidad del alimentador primario, encargado de distribuir energía, desde la salida de la subestación de distribución hacia las derivaciones. [21]

Estas derivaciones pueden ser de tres tipos [21]:

- Primarias: Empiezan en la troncal principal y distribuyen la energía a lo largo de su recorrido, hasta las derivaciones secundarias.
- Secundarias: Tienen su inicio en las derivaciones primarias, las cuales distribuirán la energía a lo largo de su recorrido, hasta llegar a las derivaciones terciarias.



- Terciarias: Inician en la derivación secundaria y distribuyen la energía a lo largo su recorrido, ya no existe otra derivación a partir de esta.

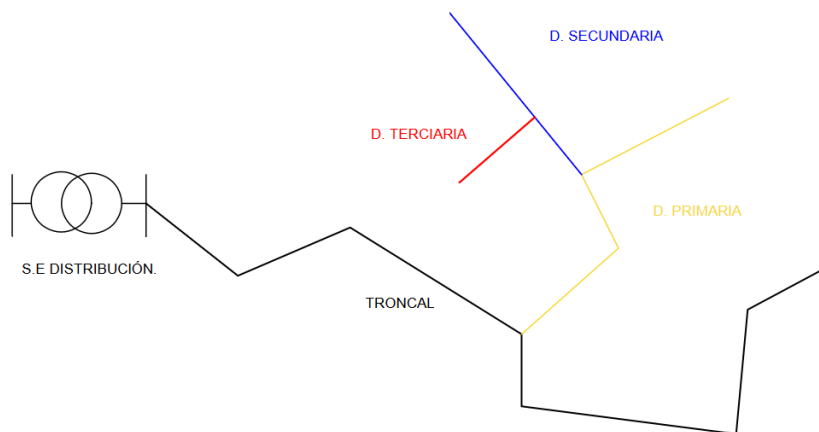


Fig 2. Derivaciones primarias, secundarias y terciarias.

### 2.2.5 Interconexiones:

Las interconexiones en electricidad se refieren a las conexiones y enlaces, los cuales son establecidos entre diferentes partes del sistema eléctrico, para poder transferir energía eléctrica entre ella.

Las interconexiones son fundamentales debido a que facilitan la operación eficiente y confiable de la red eléctrica, facilitando la gestión de carga y la mejora en la estabilidad del sistema eléctrico.

### 2.2.6 Interconexión entre alimentadores:

La interconexión de alimentadores se realiza para redistribuir la carga, facilitar el mantenimiento y mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico en una red de distribución [22].

Para realizar una interconexión entre alimentadores, se debe planificar y considerar cuidadosamente diferentes aspectos, entre los cuales tenemos los siguientes [2]:





➤ Capacidad de carga:

Se debe evaluar la capacidad de carga de los alimentadores que se pretende interconectar para asegurarnos que no sean excedidos los límites de corriente y de voltaje. Cada alimentador tiene una corriente nominal o capacidad de corriente designada, que indica la cantidad máxima de corriente que puede transportar de manera continua sin exceder sus límites.

➤ Protección y coordinación:

Configurar adecuadamente los dispositivos de protección, de manera que se garantice la coordinación entre los alimentadores, este aspecto es fundamental en el caso en el que se requiera aislar fallas y minimizar impactos en el sistema.

➤ Voltaje y frecuencia:

Los sistemas eléctricos operan a niveles específicos de voltaje y frecuencia, por lo tanto, se requiere una planificación cuidadosa para garantizar que estos parámetros eléctricos sean correctos y se mantengan dentro de rangos aceptables.

➤ Calidad de energía:

Es importante evaluar la calidad de energía después de la interconexión para asegurarse que se cumplan las normativas locales.

**Entre las características principales de la interconexión de alimentadores tenemos:**

➤ **Reducción de pérdidas de energía:**

La interconexión permitirá distribuir la carga de manera equitativa entre los alimentadores, lo que minimizará pérdidas de energía asociadas con la transmisión de electricidad.

➤ **Flexibilidad operativa.**

Al interconectar los alimentadores se facilita la incorporación de nuevas cargas o la gestión ante eventos inesperados, como son las fallas en el sistema.



➤ **Reducción de desbalance de cargas.**

Cuando realizamos la interconexión, se distribuirán de manera más uniforme la carga entre alimentadores, evitando situaciones en donde algunos alimentadores se encuentran sobrecargados, mientras otros tienen una capacidad que no está siendo utilizada.

➤ **Mejora de respuesta ante fallas**

La capacidad de transferir carga entre alimentadores y aislar rápidamente áreas afectadas contribuye a minimizar el impacto de eventos no planificados.

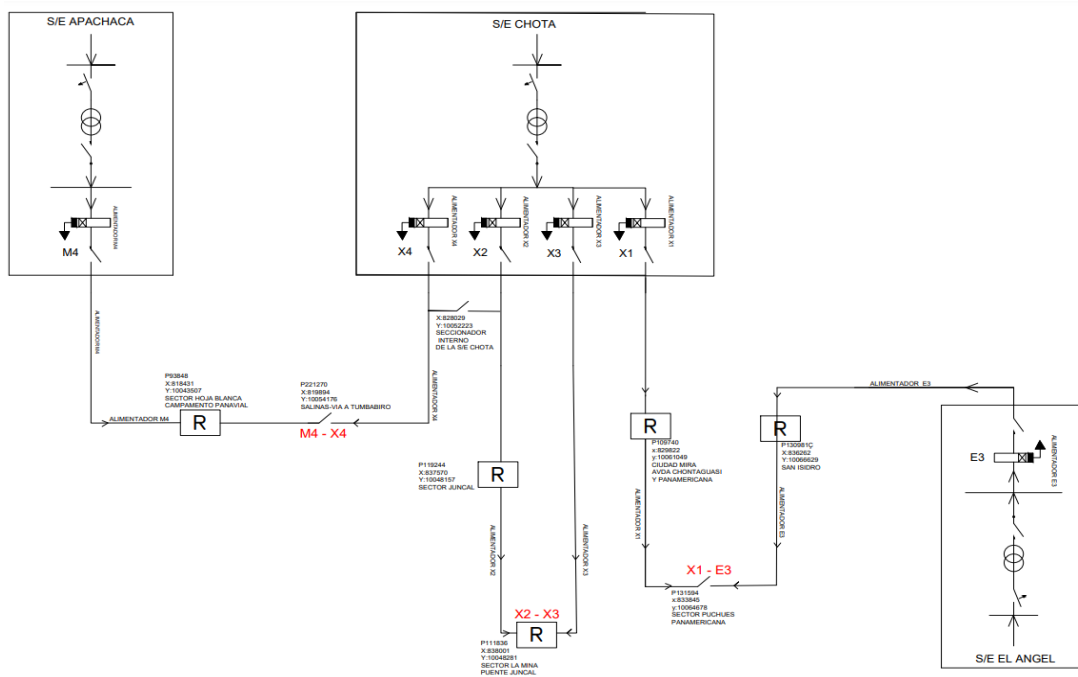


Fig 3. Interconexión de alimentadores entre diferentes subestaciones.

**2.2.7 Subestación de barra simple:**

Este tipo de subestación se caracteriza por tener una barra colectora, tanto en alta como en baja tensión, siendo allí donde convergen todos los alimentadores, actuando como el punto central de conexión para todos los circuitos de la subestación. para soportar alimentadores o circuitos de carga, dependiendo de varios factores, como la capacidad nominal de la subestación y la demanda de la carga. [23]



La principal ventaja de una subestación de barra simple se enfoca en que una falla en la barra principal produce la pérdida de todos los elementos de la subestación. Así mismo tenemos una gran ventaja que es su fácil ampliación y que requiere menor espacio para su construcción en comparación de otros diseños de subestaciones. [23]

### **2.2.8 Mantenimiento en subestaciones**

El mantenimiento de una subestación se define como un proceso fundamental para la continuidad del funcionamiento de la subestación eléctrica, siendo esencial para prevenir fallos, garantizar la vida útil de los equipos y lo más importante mantener la calidad del suministro eléctrico. El mantenimiento es una metodología general que debe ser aplicada y ajustada de acuerdo a cada equipo, para permitirle seguir con sus funciones.

#### ➤ Mantenimiento preventivo

El objetivo de este mantenimiento está enfocado en alargar el funcionamiento del equipo mediante la optimización de su rendimiento, sin que sea necesario interrumpir las operaciones del mismo por daños que requiera un mantenimiento correctivo. [24]

Se realiza mediante una planificación programa sobre la instalación para verificar que existen las condiciones que garanticen el proceso, por lo tanto, se deberá revisar y adecuar el equipo en caso de ser necesario. [6]

### **2.2.9 Reconectores como interruptores para comando a distancia.**

Los reconectores pueden funcionar como interruptores controlados a distancia en un sistema eléctrico. En este contexto, el término "telemando" se refiere a la capacidad de operar y controlar remotamente los dispositivos, como los reconectores, utilizando tecnologías de comunicación y sistemas de control a distancia.[25]

Esto significa que se pueden abrir o cerrar los reconectores desde una ubicación remota, como un centro de control. Además de la capacidad de operación remota, los reconectores con comando a distancia suelen ofrecer funciones de monitoreo remoto. Esto permite supervisar el estado del reconnector, recibir notificaciones de eventos y diagnosticar problemas potenciales a distancia. [25]



La capacidad de telecomando en los reconectores aporta flexibilidad y eficiencia a la gestión de la red eléctrica. Permite tomar decisiones rápidas y responder a eventos en tiempo real, mejorando la confiabilidad y la operación del sistema eléctrico.

### **2.2.10 Transferencias de carga**

La transferencia de carga en subestaciones eléctricas se refiere al proceso de cambiar la alimentación eléctrica de una fuente a otra para redistribuir la carga entre diferentes líneas o fuentes de suministro. Este procedimiento es comúnmente utilizado en situaciones donde es necesario equilibrar la carga, realizar mantenimiento en una fuente específica o responder a eventos de emergencia. [26]

Existen diferentes situaciones en las que es necesario realizar una transferencia de carga, ya sea un mantenimiento programado, un evento de emergencia, un desbalance de carga, entre otros.

Algunos de los criterios más importantes a considerar para poder realizar una transferencia de carga son los siguientes [14]:

- Los alimentadores deben tener un mismo nivel de voltaje y las subestaciones una misma secuencia de fases.
- Alimentadores con un punto de interconexión, preferiblemente de una red trifásica.
- Los alimentadores pueden ser de diferentes subestaciones, de esta manera se asegura disponibilidad del servicio en caso de ocurrir una falla en una de las fuentes.

#### ➤ Transferencias por telecomando

En este tipo de transferencia se incluyen los sistemas de telecomunicaciones, para realizar de forma remota y automatizada la redistribución de carga en el caso de las subestaciones eléctricas. [27]

Generalmente se tendrá una ubicación remota como un centro de control, para la transmisión de señales y procedimientos. [27]



Adicional a esto se tendrán protocolos de comunicación los cuales garantizan la operabilidad y confiabilidad en la transmisión de datos desde el centro de control y las subestaciones involucradas. [27]

➤ Enlaces de fibra óptica:

Este tipo de enlace permitirá una conexión óptima de los reconectores con el centro de control debido a que la fibra óptica permite la transmisión de datos a gran velocidad, siendo clave en el proceso de comunicación pues reduce la posibilidad de errores. [28]

Para poder enlazar el reconector por medio de fibra óptica, es necesario el uso de equipos y dispositivos de comunicaciones que proporcionen una interfaz adecuada, siguiendo protocolos de comunicación.

➤ Radio enlaces

Este tipo de enlace se caracteriza por ser inalámbrico, es decir utiliza ondas de radio para establecer conexiones de datos entre los reconectores y el centro de control del sistema eléctrico. [28]

Las tecnologías inalámbricas permiten un rango de cobertura en que el usuario puede tener movilidad sin perder conexión de la red, facilidad de implementar una red inalámbrica, reducción de costo en el mantenimiento e implementación, facilidad en la escalabilidad de la red según la necesidad del usuario. [28]

La implementación de radioenlaces para comunicación de reconectores es fundamental para mejorar la eficiencia operativa y la confiabilidad del sistema eléctrico al permitir una supervisión y un control efectivos de estos dispositivos desde ubicaciones centralizadas. Estos enlaces inalámbricos son especialmente valiosos en entornos eléctricos donde la comunicación por cable puede ser costosa o impráctica.



### 2.2.11 Regulación No. ARCERNNR 002/20:

Denominada como "Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica". En el caso de este trabajo de integración curricular la empresa eléctrica de distribución y comercialización es Emelnorte S.A.

#### Calidad de servicio técnico.

La evaluación de la calidad del servicio técnico se efectúa considerando índices e indicadores, en este caso, frecuencia de interrupciones a nivel global y por consumidor y duración de interrupciones a nivel global y por consumidor, como fue mencionado anteriormente.

Serán evaluados los límites para la calidad de servicio técnico tanto en índices globales como individuales. En el caso de índices globales, los índices a calcularse son:

- Frecuencia media de interrupción (FMIK)
- Tiempo total de interrupción (TTIK)

#### Registro y clasificación de las interrupciones

La regulación No. ARCERNNR 002/20 clasifica a las interrupciones considerando dos aspectos: duración y origen.

##### Por su duración:

- Breves (igual o menor a 3 minutos)
- Largas (mayor a 3 minutos)

##### Por su causa:

- Programadas (mantenimientos, ampliaciones, mejoras, etc.)
- No programadas (climáticas, ambientales, fallas en la red eléctrica, tercero, etc.)



## Interrupciones para considerar

Se consideran todas las interrupciones largas, es decir, superiores a 3 minutos, en las cuales se incluye interrupciones internas, externas, programadas y no programadas. Sin embargo, se presentan excepciones en el caso de:

- Interrupciones debido a suspensiones generales del servicio.
- Interrupciones por eventos de fuerza mayor
- Interrupciones individuales causadas por fallas en instalaciones o solicitud expresa.
- Interrupciones producidas en bajo voltaje.



### CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se muestra de manera clara toda la información relacionada al desarrollo del presente trabajo de integración curricular, es decir, se mencionan los tipos de investigación y métodos a ser utilizados. Posteriormente, abarca paso a paso cada uno de los procedimientos, y muestra los materiales utilizados, en este caso los softwares CYME, ArcGIS y Google Earth. En el diagrama se representan en orden cronológico los pasos seguidos para el respectivo cumplimiento de lo anteriormente mencionado.

#### 3.1 Metodología.

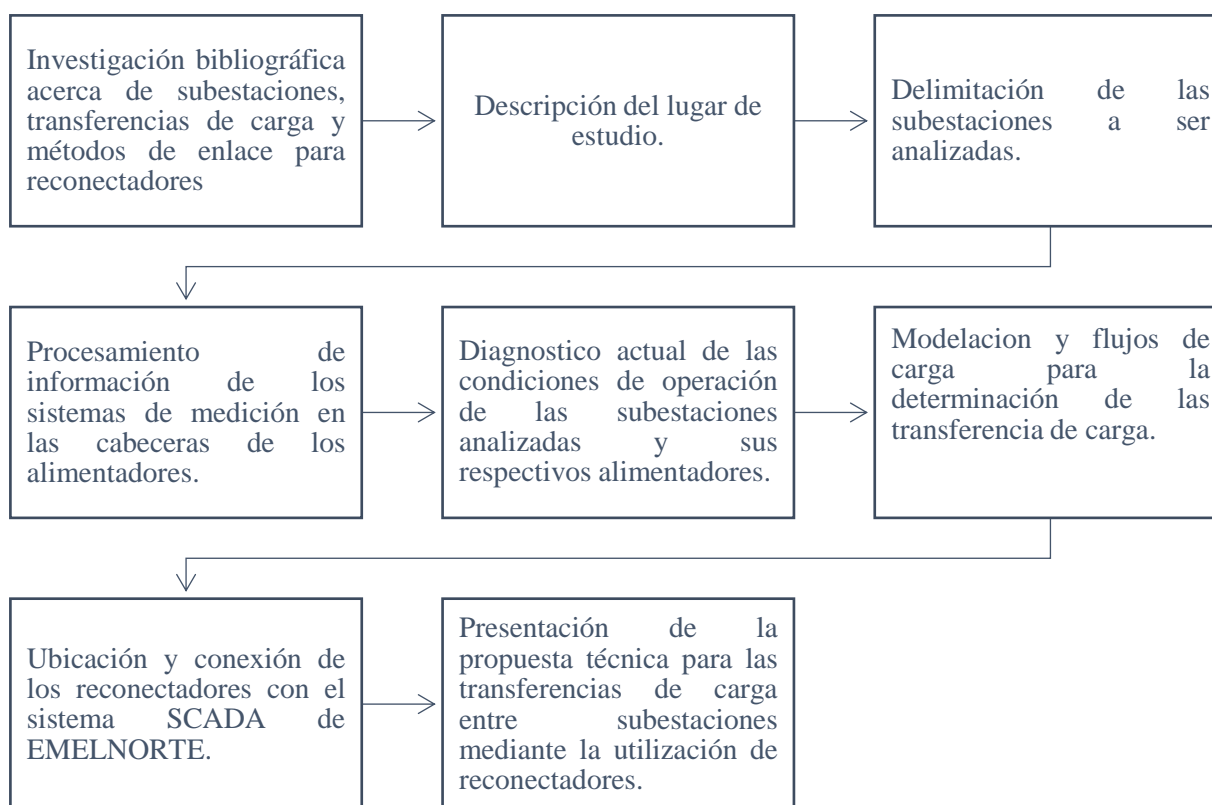


Fig 4. Diagrama de actividades realizadas para el desarrollo del presente estudio.





El esquema lógico de la investigación se encuentra dividido en partes según la cronología a seguir, da inicio en el proceso de búsqueda bibliográfica, todo esto en documentos como son trabajos de grado, artículos científicos, etc. Seguidamente, se describió el lugar de estudio, delimitando y haciendo enfoque en las subestaciones “La Esperanza”, “Cananvalle” y “Cayambe”. Posterior a esto se realizó el análisis y procesamiento de información de las mediciones ION en cabecera, mismas que nos permiten saber el estado actual y condiciones de operación de las subestaciones anteriormente mencionadas. El siguiente paso realizado fue identificar puntos de conexión entre los alimentadores de las subestaciones para así determinar un proceso de transferencia de carga entre ellas y seguido a esto, haciendo uso del software CYME se realizaron los flujos de carga. Como siguiente paso y ya con los puntos de conexiones identificadas se determina el reemplazo de seccionadores por reconectores, mismos que permiten realizar las transferencias automáticas de carga mediante su enlace hacia el centro de control SCADA de EMELNORTE S.A.

### **3.2 Descripción del lugar de estudio:**

EMELNORTE actualmente está compuesto de 17 subestaciones de distribución con una capacidad instalada de 202,5 MVA OA, todas ellas cuentan con un voltaje nominal de 69/13.8 kV.

Entrando más a detalle, la Empresa Eléctrica Regional Norte, posee un total de 273.048 abonados beneficiarios del servicio de energía eléctrica.

El territorio abarcado posee una extensión de 11.979 km, contemplando a las provincias de Imbabura y Carchi en el norte del país, además cubre los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo en lo que se refiere a la provincia de Pichincha. Adicional a esto se considera parte de la concesión de EmelNorte al Cantón Sucumbíos y los sectores de Alto Tambo y Durango, por lo que cubriría Esmeraldas también.



### 3.3 Delimitación de las subestaciones a ser analizadas:

- Subestación La Esperanza.

Se encuentra ubicada en el sector La Esperanza, parroquia de Tabacundo, cantón Pedro Moncayo. Beneficia alrededor de 13500 usuario, en su mayoría del sector industrial. Su nivel de voltaje de operación es de 69/13,8 kV, con una potencia nominal de 10 MVA.

Coordenadas:

**X:** 806539,18      **Y:** 10003173,6



Fig 5. Subestación La Esperanza.

- Subestación Cananvalle.

Se encuentra ubicada en el sector de la comunidad Luis Freire, cantón Pedro Moncayo. su nivel de voltaje de operación es de 69/13,8 kV, con una potencia nominal de 20 MVA.

**Coordenadas:**

**X:** 813000,701 **Y:** 10003519,4



Fig 6. Subestación Cananvalle.



➤ Subestación Cayambe.

Se encuentra ubicada en el cantón Cayambe, perteneciente a la provincia de Pichincha, su nivel de voltaje de operación es de 69/13,8 kV, con una potencia nominal de 20 MVA (dos transformadores de 10 MVA respectivamente)

Coordenadas:

X: 813000,701 Y: 10003519,4



Fig 7. Subestación Cayambe.

### 3.4 Materiales

#### Cymdist:

CYMDIST es un paquete de software utilizado para el análisis de sistemas de distribución eléctrica, permite realizar análisis detallados como flujos de carga, lo que es fundamental para el presente trabajo pues nos permite observar el comportamiento de los alimentadores luego de que reciben una transferencia de carga.

#### ArcGIS:

ArcGIS, un software de Sistemas de Información Geográfica, tiene un entorno especializado para la gestión de redes de servicios públicos, incluyendo redes eléctricas.



Permite un modelado detallado de los sistemas eléctricos, incluyendo todos los componentes como cables, transformadores, subestaciones y circuitos.

### **Google Earth:**

Software de visualización geográfica, permite explorar imágenes de satélite de casi cualquier lugar del mundo. En el presente trabajo fue utilizado para medir distancias, ubicar puntos de interconexión, nodos de comunicación, reconectores, entre otros para así poder analizar el tipo de enlace.

### **Mediciones ION otorgadas por EMELNORTE S.A.**

Los medidores ION (Intelligent Operational Network) son dispositivos avanzados de monitoreo y gestión de energía diseñados para proporcionar una medición precisa y detallada de la energía eléctrica y otros parámetros críticos de la red eléctrica. Entre las principales mediciones que estos dispositivos suelen ofrecer tenemos energía activa (kWh), energía reactiva (kVARh), energía aparente (kVAh). Además, parámetros eléctricos como voltaje (V), corriente (A) y frecuencia (Hz). En lo referente a calidad de la energía tenemos mediciones del factor de potencia (PF). Cabe aclarar que estos medidores están instalados en la cabecera de las subestaciones La Esperanza, Cananvalle y Cayambe, obteniendo así sus datos para ser analizados.



### 3.5 Condiciones actuales de operación de las subestaciones:

Para determinar las condiciones actuales de operación, se hace uso de las mediciones ION en cabecera de cada una de las subestaciones haciendo enfoque en la demanda de cada una de ellas, tanto del transformador general, así como de sus alimentadores. Además, se toma como referencia los informes de transferencias de carga anteriores que fueron otorgados por el departamento de Estudios Eléctricos de EMELNORTE S.A. y de acuerdo a ello, se decide tomar como referencia el día y hora para realizar el análisis como se muestra a continuación.

*Tabla 2. Horario de análisis para cada una de las subestaciones.*

Subestación	Día	Mes	Año	Horario
La Esperanza	Domingo	Febrero	2024	02h00 a 06h00
Cananvalle				
Cayambe				

Es importante aclarar que el mes de análisis es febrero, puesto que ese mes se cursaba cuando se realizó parte de este trabajo de integración curricular.

#### **Subestación La Esperanza:**

En el caso de la subestación La Esperanza se encuentra factible realizar transferencias de carga de sus alimentadores hacia la subestación Cananvalle, por esto es procedente determinar la demanda máxima coincidente de los domingos del mes de febrero de 2024 en el horario de 02h00 a 06h00 de la mañana de ambas subestaciones. Se encuentra dicha demanda, teniendo como resultado el día domingo 4 de febrero de 2024 a las 06:00 am, tanto de los alimentadores como de los transformadores.

Cabe recalcar que por parte de la subestación Cananvalle intervienen los alimentadores N2, N4 y N5, los que actuarán como receptores de la carga de los 4 alimentadores de la subestación La Esperanza (Z1, Z2, Z3 y Z4).





*Tabla 3. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga Subestación La Esperanza.*

LA ESPERANZA – CANANVALLE							
Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
Z1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1592,67	1512,44	492,98	70,80	63,06	76,74
Z2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1900,78	1748,91	558,65	99,44	54,80	88,35
Z3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	821,04	781,60	301,87	28,86	36,23	45,84
Z4	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	372,18	360,61	90,68	14,06	11,25	21,57
Transformador ZG1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	4692,06	4419,55	1437,60	214,66	166,01	234,01
N2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1031,53	1003,21	240,05	40,39	59,83	36,43
N4	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1908,50	1876,22	349,50	92,11	78,95	82,38
N5	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	170,73	160,94	56,99	11,93	5,08	5,69
Transformador NG1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	6776,99	6497,94	1924,66	293,92	313,47	289,69

### Subestación Cayambe:

La subestación Cayambe cuenta con dos transformadores, es por esto que se debe realizar dos análisis, el primero que sería para el transformador 1 (Mitsubishi) y el segundo para el transformador 2 (Chino).

En el caso del transformador 1, se encuentra factible realizar la transferencia de carga al transformador 2 de la misma subestación, es decir pasar la carga a los alimentadores C7 y C8, adicional a esto, interviene la subestación Cananvalle, específicamente su alimentador N3. Entonces se procede a identificar la demanda máxima coincidente para las subestaciones mencionadas, transformadores y alimentadores, teniendo como resultado el día domingo 4 de febrero de 2024 a las 6:00.



*Tabla 4. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga Subestación Cayambe Transformador 1.*

CAYAMBE T1 - CANANVALLE							
Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
C1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1211,49	1143,32	397,60	52,87	53,77	53,41
C2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	3919,46	3585,70	1577,59	192,67	181,10	157,04
C3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	352,89	360,85	163,54	18,12	17,75	18,09
T1 (Mitsubishi)	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	5646,12	5223,03	2192,76	265,44	253,80	230,41
C7	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1336,98	1258,18	452,23	55,54	57,22	61,30
C8	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	3067,49	2915,60	953,28	118,73	145,63	134,63
T2 (chino)	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	4840,44	4584,77	1552,34	192,38	223,55	213,73
N3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1353,99	1246,81	527,98	60,07	60,38	58,70
T Cananvalle	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	6776,99	6497,94	1924,66	293,92	313,47	289,69

En el caso del transformador 2, prácticamente se realiza el proceso inverso, es decir, la carga de los alimentadores del transformador 2, se transfieren al transformador 1, específicamente a los alimentadores C1 y C3, adicional a esto interviene el alimentador N1 de la subestacion Cananvalle, entonces se procede a identificar la demanda máxima coincidente para las subestaciones mencionadas, transformadores y alimentadores, teniendo como resultado el día domingo 4 de febrero de 2024 a las 6:00.



*Tabla 5. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga  
Subestación Cayambe Transformador 2.*

CAYAMBE T2 – CANANVALLE							
Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
C1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1211,49	1143,32	397,60	52,87	53,77	53,41
C3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	352,89	360,85	163,54	18,12	17,75	18,09
T1 (Mitsubishi)	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	5646,12	5223,03	2192,76	265,44	253,80	230,41
C6	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	426,42	403,87	136,83	18,16	19,67	17,55
C7	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1336,98	1258,18	452,23	55,54	57,22	61,30
C8	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	3067,49	2915,60	953,28	118,73	145,63	134,63
T2 (chino)	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	4840,44	4584,77	1552,34	192,38	223,55	213,73
N1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2328	2203,69	750,56	90,73	109,66	107,71
T Cananvalle	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	6776,99	6497,94	1924,66	293,92	313,47	289,69

### Subestación Cananvalle:

En el caso de la subestación Cananvalle no existe un informe de transferencias de carga realizado debido a que la subestación es nueva con aproximadamente 2 años de operación, por ende, se procede a hacer un análisis propio para así determinar a donde será factible realizar una transferencia de carga en caso de mantenimiento. Se determinan las





subestaciones y los alimentadores a intervenir, entre los cuales se encuentra la subestacion Cayambe con el alimentador C3 y C6, la subestación La Esperanza con los alimentadores Z2, Z3 y Z4. Finalmente se procede a hacer el mismo análisis de demanda máxima coincidente teniendo como resultado el día domingo 4 de febrero de 2024 a las 06:00 am, tanto de los alimentadores como de los transformadores de potencia.

*Tabla 6. Niveles de cargabilidad máxima coincidente para transferencia de carga Subestación Cananvalle.*

CANANVALLE							
Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
N1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2328,00	2203,69	750,56	90,73	109,66	107,71
N2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1031,53	1003,21	240,05	40,39	59,83	36,43
N3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1353,99	1246,81	527,98	60,07	60,38	58,70
N4	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1908,50	1876,22	349,50	92,11	78,95	82,38
N5	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	170,73	160,94	56,99	11,93	5,08	5,69
T Cananvalle	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	6776,99	6497,94	1924,66	293,92	313,47	289,69
Z2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1900,78	1748,91	558,65	99,44	54,80	88,35
Z3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	821,04	781,60	301,87	28,86	36,23	45,84
Z4	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	372,18	360,61	90,68	14,06	11,25	21,57
T La Esperanza	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	4692,06	4419,55	1437,60	214,66	166,01	234,01
C2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	3919,46	3585,70	1577,59	192,67	181,10	157,04
T1 Cayambe	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	5646,12	5223,03	2192,76	265,44	253,80	230,41



C6	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	426,42	403,87	136,83	18,16	19,67	17,55
T2 Cayambe	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	4840,44	4584,77	1552,34	192,38	223,55	213,73

### 3.6 Procedimiento transferencia de cargas

En el punto 3.5 fueron mostrados los alimentadores que intervienen en la transferencia de carga de cada subestación. Ahora se muestra el proceso u orden de cómo los alimentadores serán transferidos hacia sus alimentadores receptores.

#### 3.6.1 Subestación La Esperanza

*Tabla 7. Procedimiento transferencia de carga Subestacion La Esperanza.*

Alimentador a transferir	Procedimiento	Alimentador receptor.
Z2	Abrir en cabecera los alimentadores Z1 y Z2, transferir toda la carga del alimentador Z2 al alimentador Z1 a través del cierre del seccionador ubicado en el poste <a href="#">3514</a> .	Z1
Z1	Abrir en cabecera de los alimentadores Z1 Subestacion La Esperanza y N5 de Cananvalle, transferir toda la carga de Z1 mediante el cierre del seccionador ubicado en el poste <a href="#">733</a> .	N5
Z3	Abrir en cabecera el alimentador Z3, transferir toda la carga de Z3 a N2 a través del cierre del reconectador ubicado en el poste <a href="#">7375</a> .	N2
Z4	Abrir en cabecera el alimentador Z4 y N4, transferir toda la carga de Z4 a N4 través del cierre del seccionador ubicado en el poste <a href="#">8025</a> , posteriormente cerrar el alimentador N4 en cabecera.	N4



**Ubicación de los postes de interconexión.**

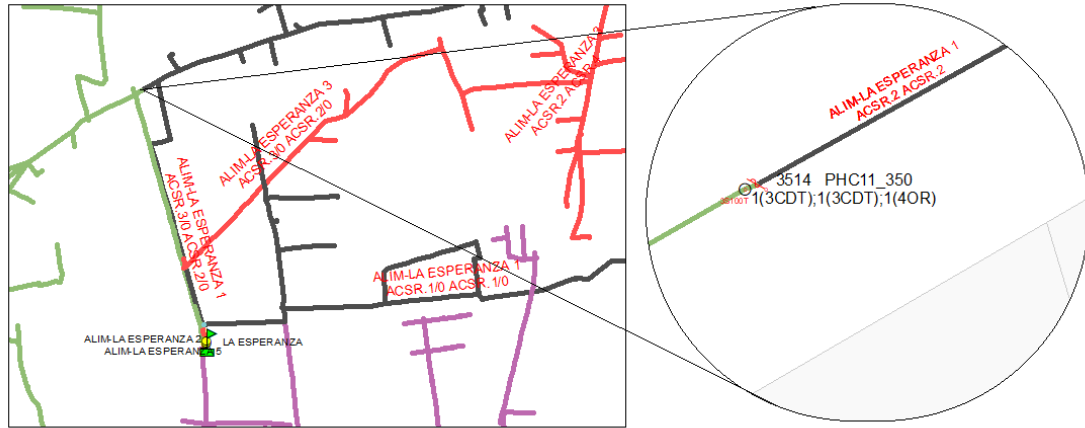


Fig 8. Punto de interconexión 3514 entre alimentadores Z1 y Z2.

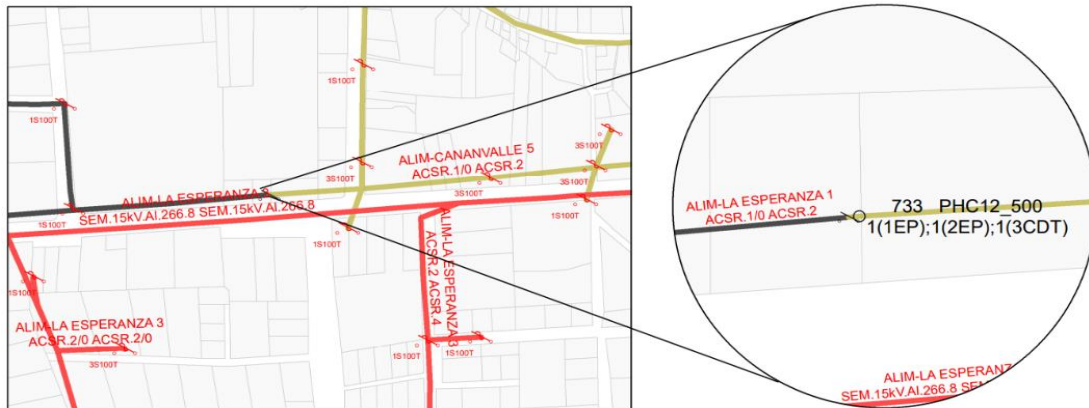


Fig 9. Punto de interconexión 733 entre alimentadores Z1 y N5.

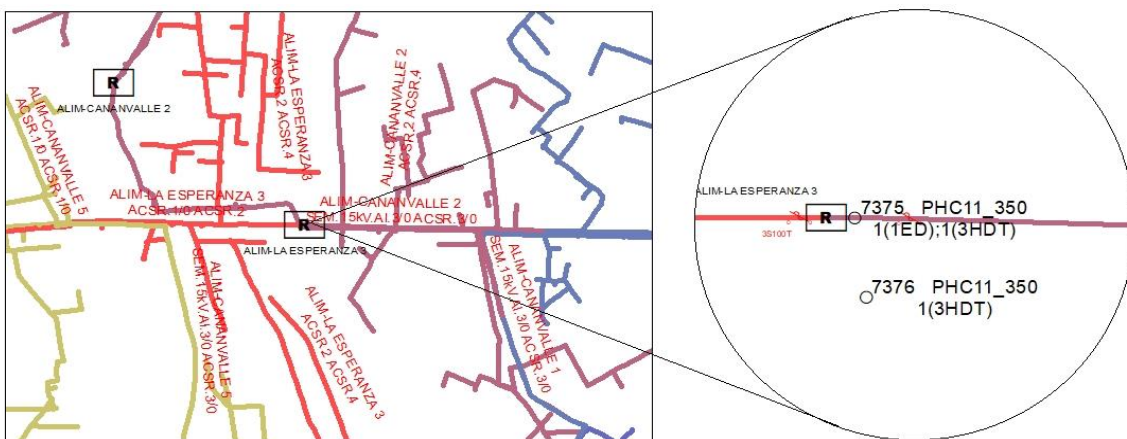


Fig 10. Punto de interconexión 7375 entre alimentadores Z3 y N2.

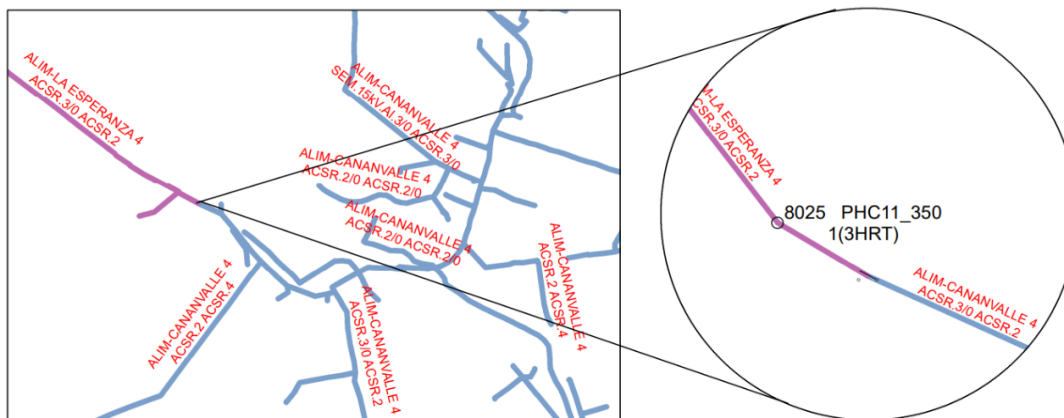


Fig 11. Punto de interconexión 8025 entre alimentadores Z4 y N4.

**3.6.2 Subestación Cayambe (Transformador 1 “Mitsubishi”)**

Tabla 8. Procedimiento transferencia de carga Subestacion Cayambe T1.

Alimentador a transferir	Procedimiento	Alimentador receptor.
C1	Abrir en cabecera el alimentador C1 y C7, transferir toda la carga de C1 a C7 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 201061, posteriormente cerra el alimentador C7 en cabecera.	C7
C2	Abrir en cabecera el alimentador C2 y N3, transferir toda la carga de C2 a N3 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 13538, posteriormente cerra el alimentador N3 en cabecera.	N3
C3	Abrir en cabecera el alimentador C3 y C8, transferir toda la carga de C3 a C8 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 23189, posteriormente cerra el alimentador C8 en cabecera.	C8

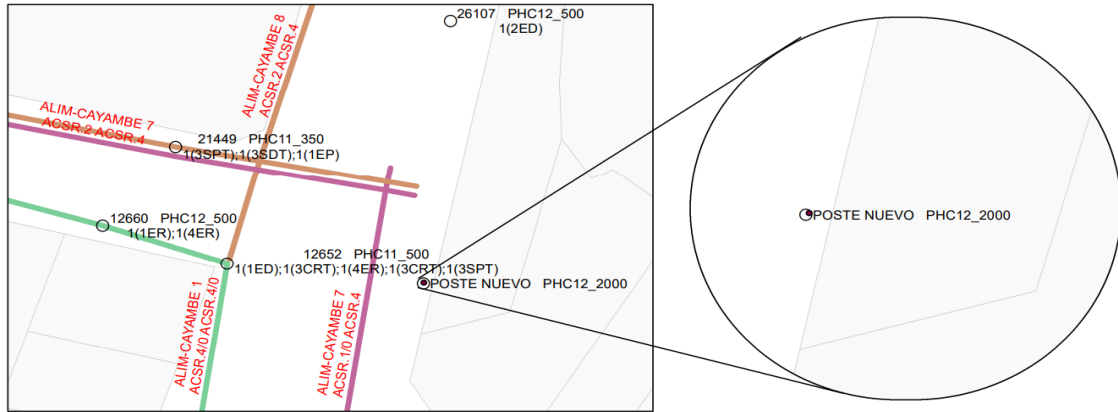


Fig 12. Punto de interconexión 201061 entre alimentadores C1 y C7.

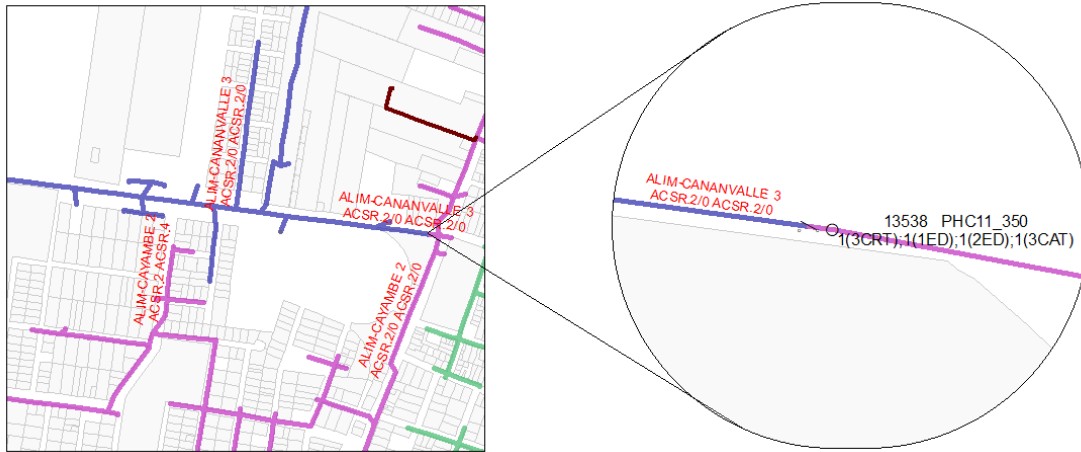


Fig 13. Punto de interconexión 13538 entre alimentadores C2 y N3.

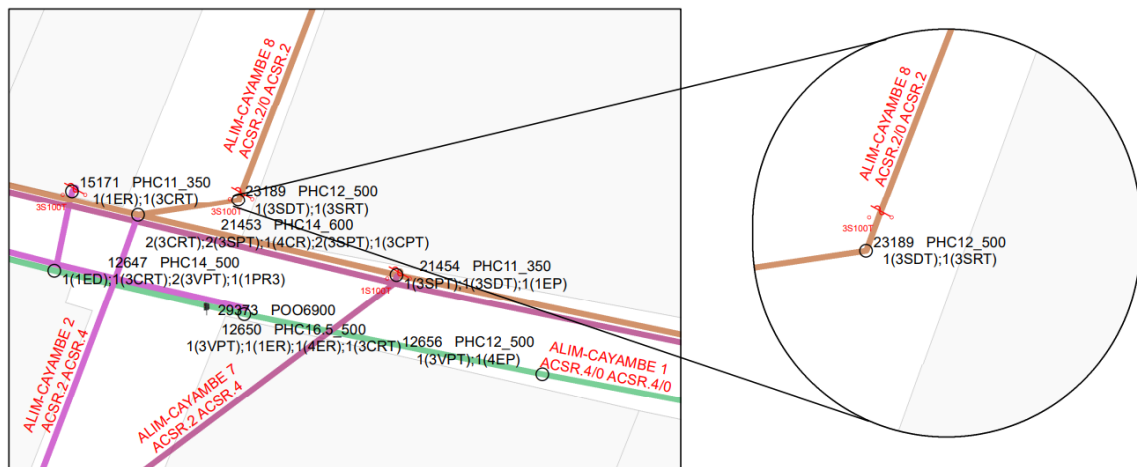


Fig 14. Punto de interconexión 23189 entre alimentadores C3 y C8.



**3.6.3 Subestación Cayambe (Transformador 2 “chino”)**

*Tabla 9 Procedimiento transferencia de carga Subestacion Cayambe T2.*

Alimentador a transferir	Procedimiento	Alimentador receptor.
C6	Abrir en cabecera el alimentador C6 y N1, transferir toda la carga de C6 a N1 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 18536, posteriormente cerra el alimentador N1 en cabecera.	N1
C7	Abrir en cabecera el alimentador C1 y C7, transferir toda la carga de C7 a C1 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 201061, posteriormente cerra el alimentador C1 en cabecera.	C1
C8	Abrir en cabecera el alimentador C3 y C8, transferir toda la carga de C8 a C3 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 23189, posteriormente cerra el alimentador C3 en cabecera.	C3

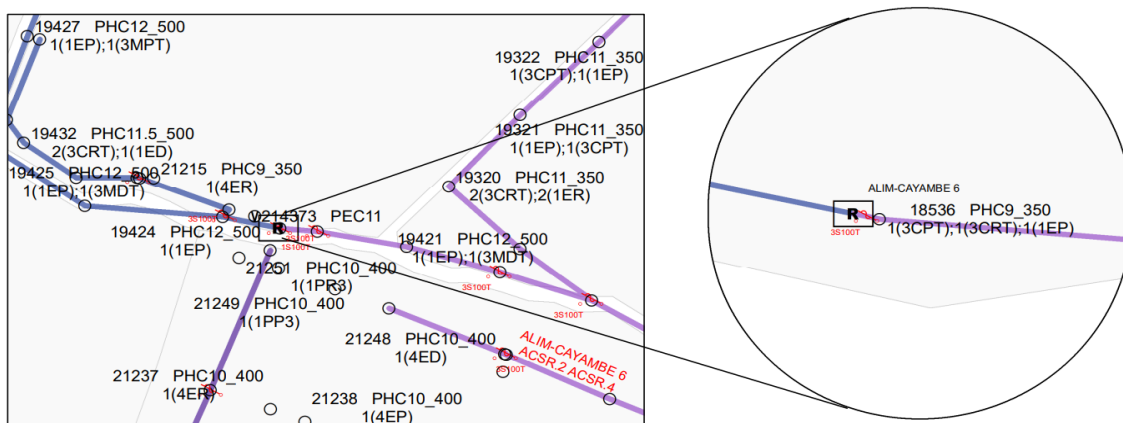


Fig 15. Punto de interconexión 18536 entre alimentadores C6 y N1.



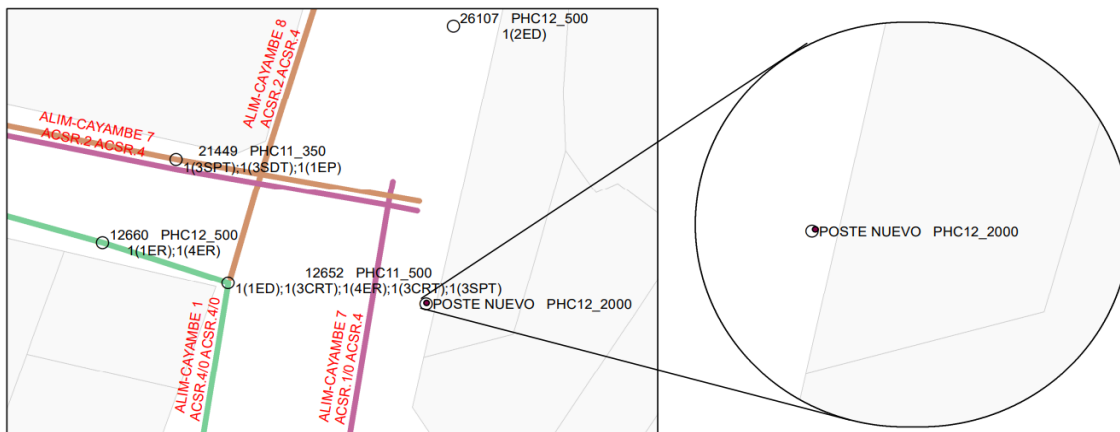


Fig 16. Punto de interconexión 201061 entre alimentadores C1 y C7.

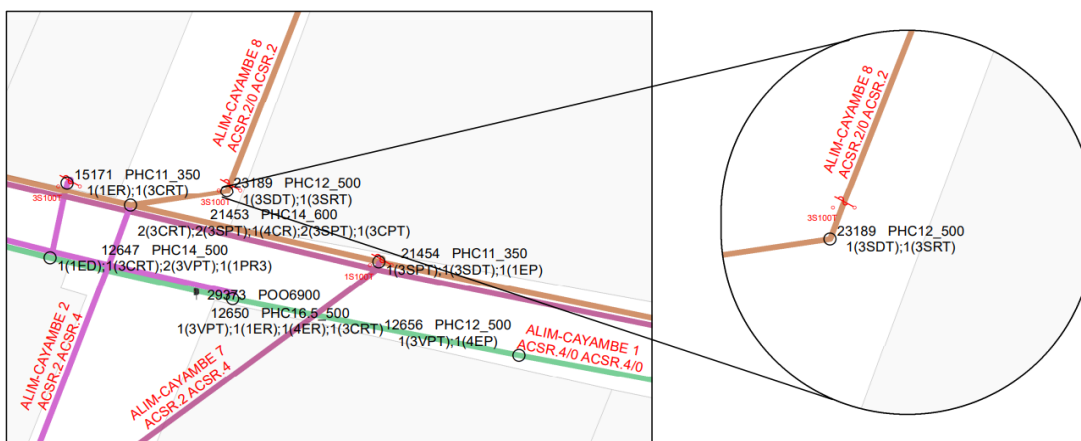


Fig 17. Punto de interconexión 23189 entre alimentadores C8 y C3.

### 3.6.4 Subestación Cananvalle

Tabla 10. Procedimiento transferencia de carga Subestacion Cananvalle.

Alimentador a transferir	Procedimiento	Alimentador receptor.
N1	Abrir en cabecera el alimentador C6 y N1, transferir toda la carga de N1 a C6 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 18536, posteriormente cerrar el alimentador C6 en cabecera.	C6
N2	Abrir en cabecera el alimentador Z3 y N2, transferir toda la carga de N2 a Z3 a través del cierre del seccionador ubicado en el poste 7375, posteriormente cerrar el alimentador Z3 en cabecera.	Z3



N3	Abrir en cabecera el alimentador C2 y N3, transferir toda la carga de C2 a N3 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 13538, posteriormente cerra el alimentador C2 en cabecera.	C2
N4	Abrir en cabecera el alimentador Z4 y N4, transferir toda la carga de N4 a Z4 través del cierre del seccionador ubicado en el poste 8025, posteriormente cerra el alimentador Z4 en cabecera.	Z4
N5	Abrir en cabecera el alimentador N5 y Z1, transferir toda la carga de N5 mediante el cierre del seccionador ubicado en el poste 733, posteriormente cerra el alimentador Z1 en cabecera.	Z1

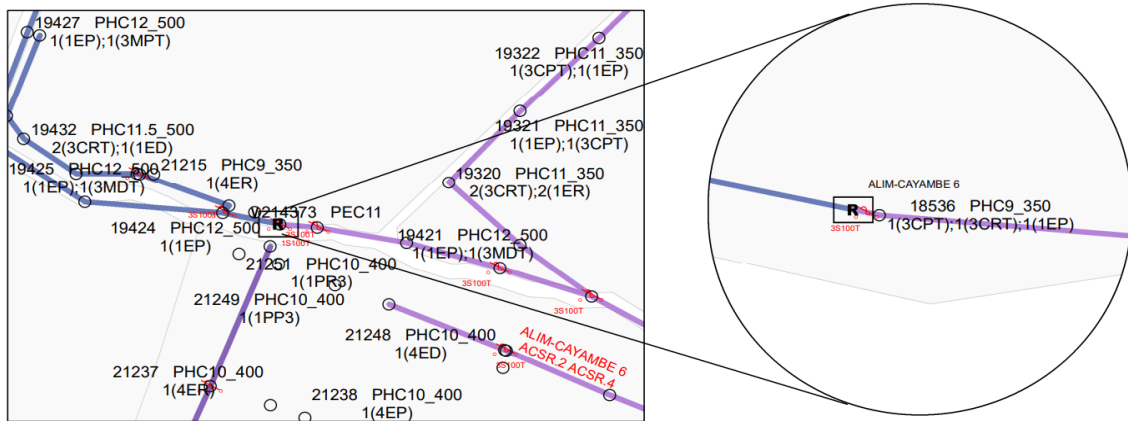


Fig 18. Punto de interconexión 18536 entre alimentadores N1 y C6.

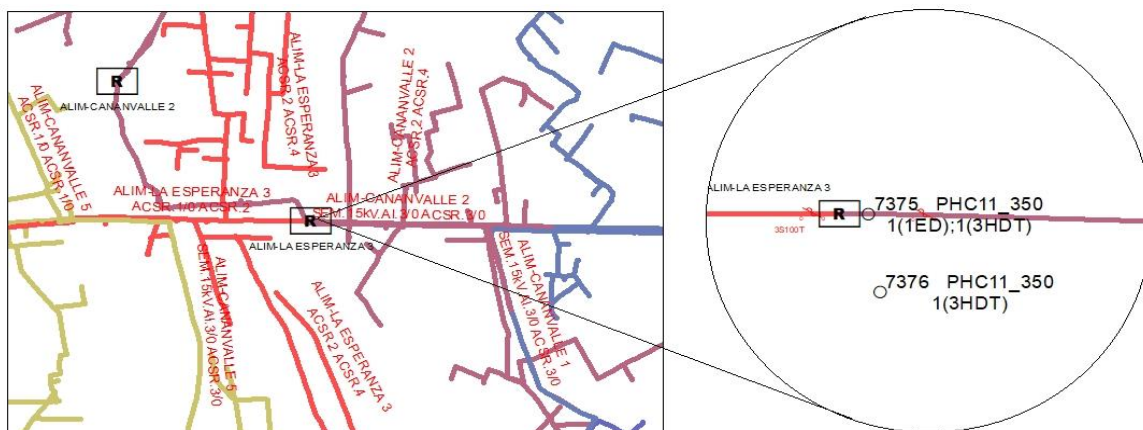


Fig 19. Punto de interconexión 7375 entre alimentadores N2 y Z3.



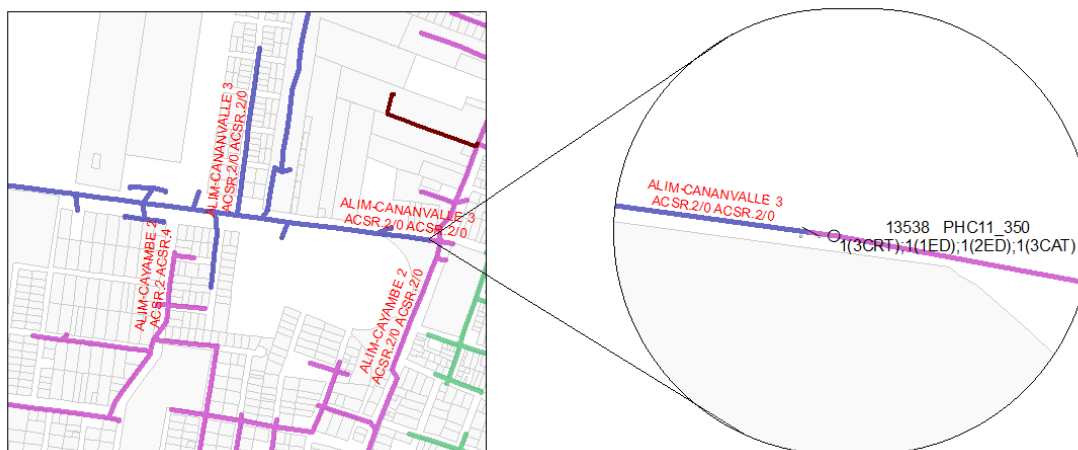


Fig 20. Punto de interconexión 13538 entre alimentadores N3 y C2.

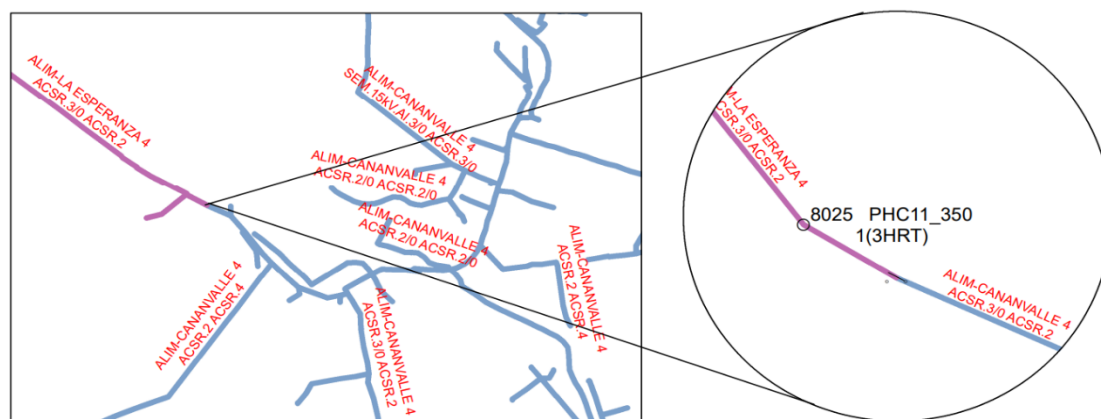


Fig 21. Punto de interconexión 8025 entre alimentadores N4 y Z4.

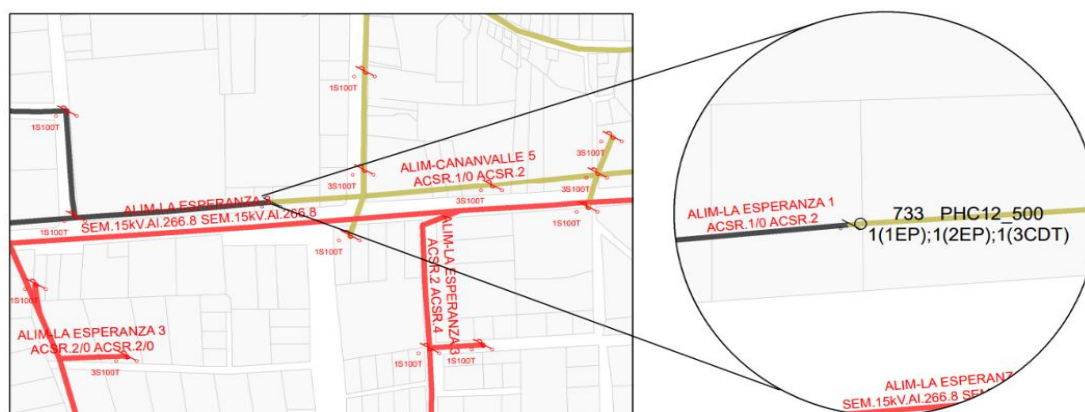


Fig 22. Punto de interconexión 733 entre alimentadores N5 y Z1.



### 3.7 Enlaces para comando a distancia de reconectores

Se realiza el análisis técnico para determinar la mejor forma de comunicación de los reconectores con el sistema SCADA, es importante recalcar que en la mayoría de puntos de interconexión existen seccionadores, es por esto que se sugiere eliminarlos y reemplazarlos por reconectores configurados como interruptores.

El departamento de SCADA de Emelnorte S.A. trabaja actualmente con 3 tipos de enlaces:

- Fibra Óptica (Enlace FO Monomodo 100 Mbps / 100Base-FX FULL DUPLEX)
- Cable Ethernet (Enlace RJ-45 100 Mbps / 100Base-TX FULL DUPLEX)
- Radio Enlace o Enlace Inalámbrico (Enlace Inalámbrico 5.8 GHz Banda Ancha).  
(Se consideran dos tipos de radio enlaces, punto a punto PtP y punto a multipunto PtMP).

Uno de los principales parámetros para determinar el tipo de enlace a usar es la distancia o el rango de cobertura de cada uno de ellos, se detalla la siguiente figura:

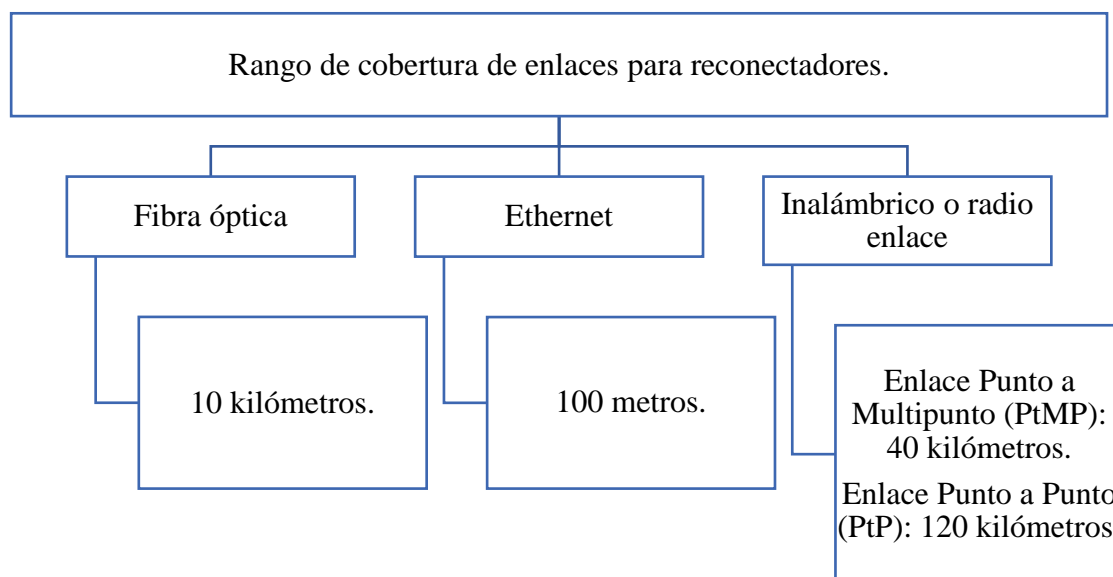


Fig 23. Muestra las distancias máximas consideradas al momento de realizar un enlace.



Con la información otorgada por parte del Departamento de Control SCADA de EMELNORTE y haciendo uso del software Google Earth podemos constatar los enlaces de comunicación existentes como se muestra continuación:

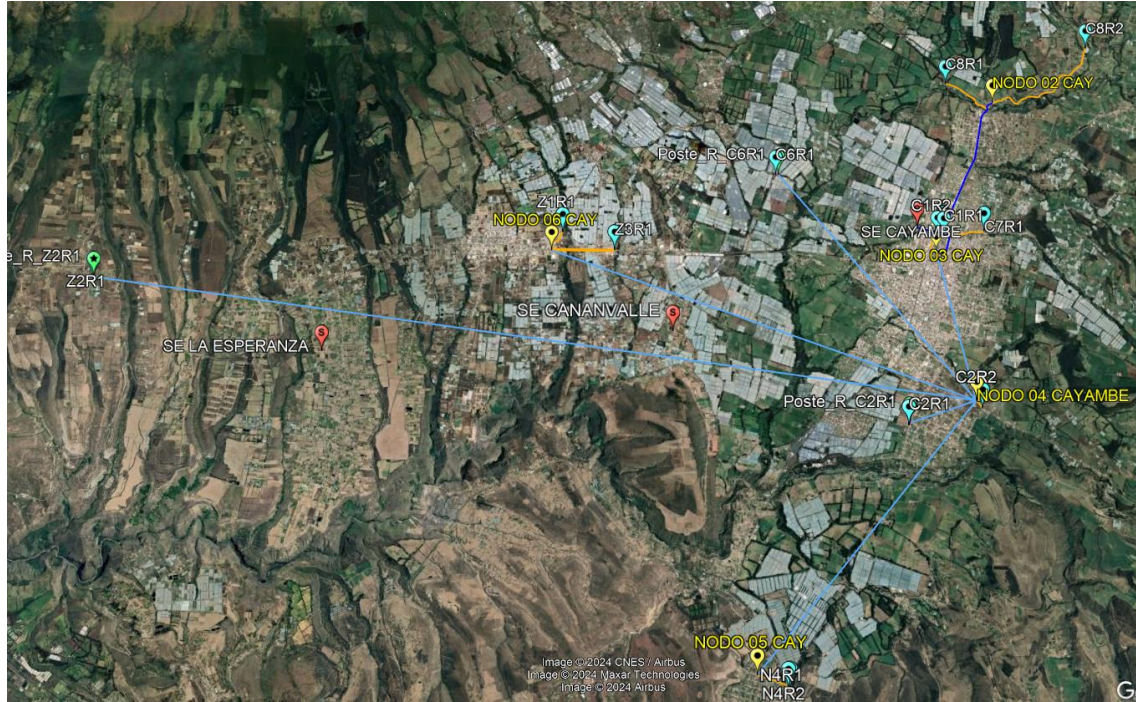


Fig 24. Ubicación de enlaces existentes en el software Google Earth Pro.

Se puede observar en la figura 24 como los enlaces predominantes son fibra óptica e inalámbrico haciendo uso del siguiente código de colores;

Tabla 11. Simbología de colores utilizados para identificar los enlaces existentes.

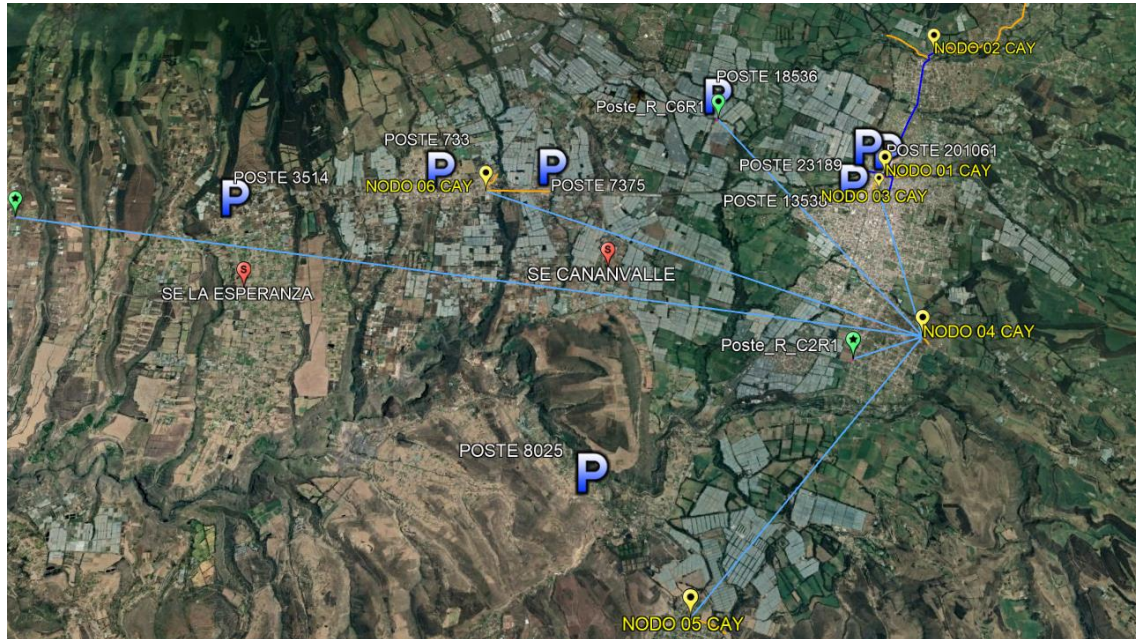
Tipo de enlace	Color
Radio enlace	
Fibra óptica	
Ethernet	

Casi no se encuentra enlace mediante cable Ethernet debido a su poca distancia de cobertura.





Se procede a ubicar los postes que sirven como punto de interconexión en el presente estudio, se simbolizan con el ícono “P”. Se puede observar que el poste 18536 y el poste 7375 ya están enlazados al sistema SCADA, sin embargo, para los 6 puntos restantes si es necesario determinar su forma de comunicación.



*Fig 25. Muestra los puntos de interconexión, nodos y enlaces existentes de la subestación Cayambe.*



## CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se presentan los flujos de carga realizados en software CYME para así poder observar las condiciones de operación de los alimentadores y transformador de potencia de cada subestación luego de realizar las transferencias de carga.

Como siguiente punto se presenta la propuesta, que consiste en realizar el reemplazo de seccionadores por reconectores en los puntos de interconexión que permitirán la transferencia automática de carga entre subestaciones y como estos reconectores podrán ser enlazados al sistema SCADA de EMELNORTE S.A.

### 4.1 Flujos de carga realizados en software CYME

#### 4.1.1 Flujo de carga transferencia subestacion La Esperanza.

Se procede a cargar los alimentadores en el software; y, el programa entrega colores para cada uno de los alimentadores a ser analizados, como se muestra a continuación:

Color	Red
	ALIM-1300010T01 (LA ESPERANZA 1)
	ALIM-1300010T02 (LA ESPERANZA 2)
	ALIM-1300010T03 (LA ESPERANZA 3)
	ALIM-1300010T04 (LA ESPERANZA 4)
	ALIM-1300170T02 (CANANVALLE 2)
	ALIM-1300170T04 (CANANVALLE 4)
	ALIM-1300170T05 (CANANVALLE 5)

*Fig 26. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion La Esperanza.*



Según el proceso descrito en el capítulo 3 se empieza transfiriendo los alimentadores Z1 y Z2 al alimentador N5 de Cananvalle, por ende, se han cargado los 3 alimentadores mencionados en el software.



Fig 27. Alimentadores Z1, Z2 y N5 antes de la transferencia de carga.

Al realizar la transferencia de carga en el software, los alimentadores Z1 y Z2, cambian de color ya que se incorpora al alimentador N5 de la subestación Cananvalle, como muestra la figura 28.



Fig 28. Transferencia de los alimentadores Z1 y Z2 a N5



Como paso final, luego de que los alimentadores hayan sido transferidos se realiza el flujo de carga en donde obtendremos las condiciones finales del alimentador N5. Se presentan valores como potencia activa, reactiva y aparente, además de las corrientes del alimentador en cada fase A, B y C.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	159,2	3611	3430	1127
0,940	13,1	7,5	184,4	1380,9	1299,7	466,8
0,960	13,2	7,6	122,9	940,4	895,4	287,3
0,950	13,0	7,6	170,5	1290,3	1235,1	373,3

Fig 29. Flujo de carga alimentador N5 después de la transferencia de carga.

Continuando con la transferencia de carga el siguiente alimentador a transferir es Z3, mismo que su carga pasa al alimentador N2 de Cananvalle.

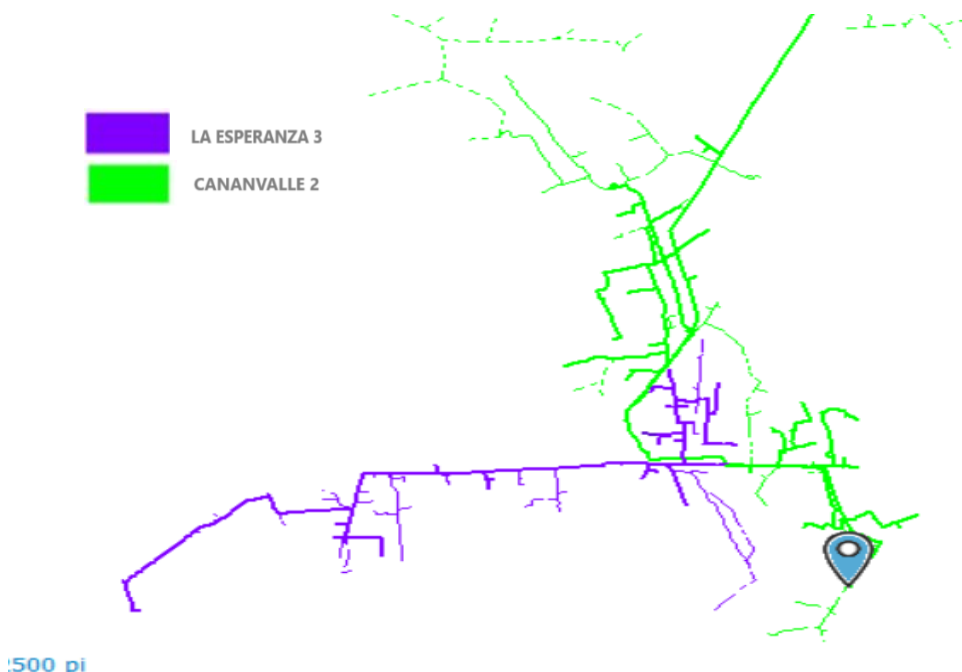


Fig 30. Alimentadores Z3 y N2 antes de la transferencia.



Al realizar la transferencia de carga en el software, el alimentador Z3, cambia de color ya que se incorpora al alimentador N2 de la subestación Cananvalle, como muestra la figura 28.

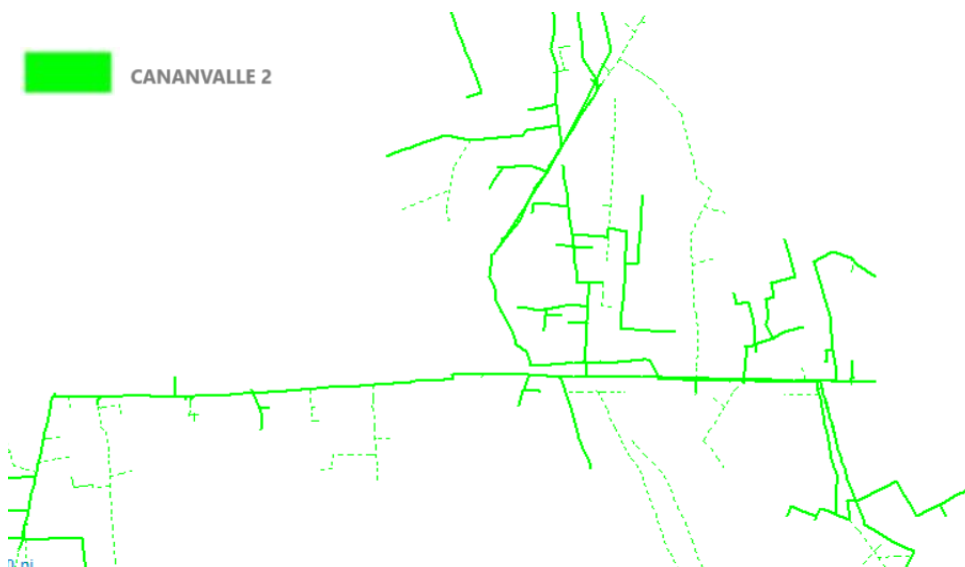


Fig 31. Transferencia del alimentador Z3 a N2

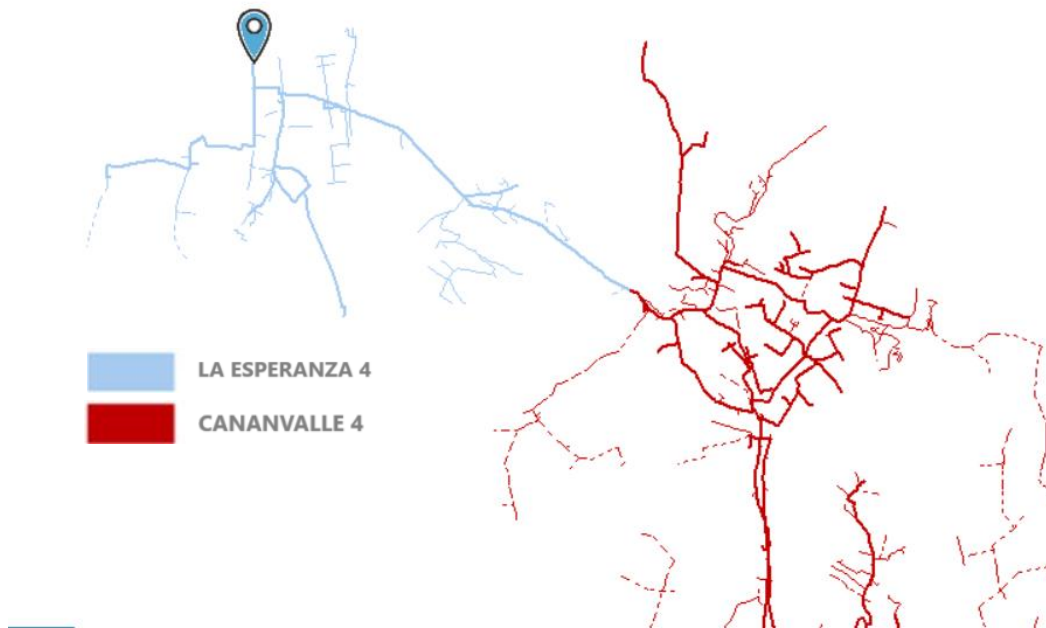
A continuación, el flujo de carga para observar las condiciones finales de N2 luego de la transferencia de carga.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	82,4	1874	1786	567
0,940	13,1	7,5	68,8	515,5	489,1	162,7
0,960	13,2	7,6	96,5	738,0	712,4	192,6
0,950	13,0	7,6	82,1	621,5	584,5	211,2

Fig 32. Flujo de carga alimentador N2 después de la transferencia de carga.

Por último, para completar la transferencia de toda la subestación se transfiere el alimentador Z4 a N4 de Cananvalle.





*Fig 33. Alimentadores Z4 y N4 antes de la transferencia.*

La figura 34 evidencia la transferencia de carga del alimentador Z4 a N4 de Cananvalle, representado esto de color café.



*Fig 34. Transferencia del alimentador Z4 a N4*



A continuación, el flujo de carga para observar las condiciones finales de N4 luego de la transferencia de carga.

Cuadro de flujo de carga

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	100,6	2284	2229	500
0,940	13,1	7,5	106,0	793,6	776,6	163,4
0,960	13,2	7,6	91,0	695,9	679,6	149,7
0,950	13,0	7,6	105,0	794,7	772,4	187,0

Fig 35. Flujo de carga alimentador N4 después de la transferencia de carga.

Una vez terminada la simulación de transferencia de carga de la subestación completa se procede a tabular las condiciones finales; tanto de los alimentadores como del transformador de la subestación que ha recibido la carga. En este caso, toda la carga de la subestacion La Esperanza fue recibida por la subestación Cananvalle.

Tabla 12. Niveles de demanda en los alimentadores y transformador involucrados después de transferencia.

SUBESTACIÓN CANANVALLE DESPUES DE LA TRANSFERENCIA DE CARGA							
Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
N2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1874	1786	567	68,8	96,5	82,1
N4	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2284	2229	500	106	91	105
N5	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	3611	3430	1127	184,4	122,9	170,5
T Cananvalle	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	11463,66	10901,50	3368,84	507,08	478,81	522,19

Actualmente el relé de protección de corriente para los alimentadores de la subestación Cananvalle se encuentra seteado en 270 amperios. Como se muestra en la tabla 12, en ningún alimentador se sobrepasa esta corriente por lo que no es necesario modificar los ajustes en los relés de protección de dichos alimentadores.



Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios. En vista que, con la demanda esperada se supera esta corriente, es necesario realizar un ajusté en dicho relé.

En lo referente a la demanda total luego de la transferencia, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación Cananvalle cuenta con un transformador de 20 MVA. Se puede observar en la tabla 12 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 11,47 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga.

Es importante recalcar que, en la transferencia de esta subestación, específicamente en los postes 3514, 733 y 8025, que son parte del proceso, existen seccionadores. Se propone que dichos seccionadores sean reemplazados por reconectores para así poder automatizar la transferencia de carga mediante comando a distancia desde el departamento SCADA de EMELNORTE S.A.

#### 4.1.2 Transferencia subestacion Cayambe (Transformador 1 Mitsubishi).

Se sigue el mismo procedimiento, se cargan los alimentadores en nuestro software, teniendo el código de colores de la siguiente forma:

Color	Red
	ALIM-1300020T01 (CAYAMBE 1)
	ALIM-1300020T02 (CAYAMBE 2)
	ALIM-1300020T03 (CAYAMBE 3)
	ALIM-1300020T22 (CAYAMBE 7)
	ALIM-1300020T23 (CAYAMBE 8)
	ALIM-1300170T03 (CANANVALLE 3)

*Fig 36. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion Cayambe Transformador 1.*



El primer alimentador que transfiere su carga será C1, cuyo receptor será C7, ambos alimentadores se muestran en la siguiente figura.



*Fig 37. Alimentadores C1 y C7 antes de la transferencia.*

Una vez realizada la transferencia podremos evidenciar como ambos alimentadores se muestran de un solo color, en este caso azul, mismo que representa al alimentador C7.



*Fig 38. Transferencia de alimentador C1 a C7*



Se presenta el flujo de carga que muestra las condiciones del alimentador C7 después de recibir la carga del alimentador C1.

Cuadro de flujo de carga

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,967	13,3	7,7	110,3	2548	2400	856
0,960	13,3	7,6	108,0	826,2	778,3	277,2
0,970	13,4	7,7	109,8	848,3	801,0	279,3
0,970	13,3	7,7	113,0	873,3	820,3	299,6

Fig 39. Flujo de carga alimentador C7 después de la transferencia de carga.

La transferencia del siguiente alimentador, es decir C2, se realiza hacia el alimentador N3, se muestran de la siguiente manera:



Fig 40. Alimentadores C2 y N3 antes de la transferencia.

En la figura 41 se muestra un solo color, en este caso rojo, lo que significa que el alimentador N3 ya ha recibido la carga de C2.



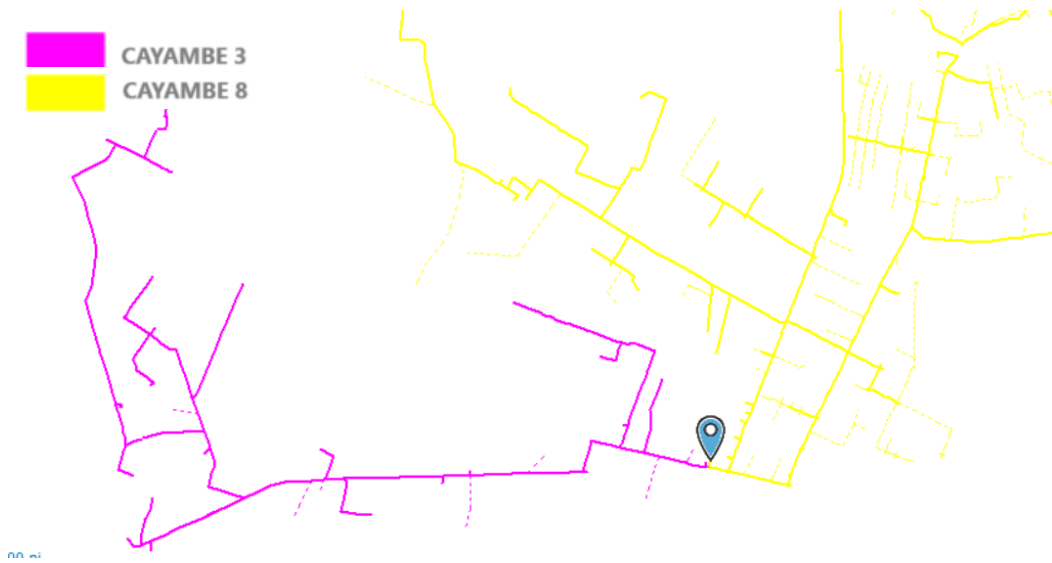
Fig 41. Transferencia de alimentador C2 a N3

Se presenta el cuadro de flujo de carga en donde podemos observar las condiciones del alimentador N3 luego de recibir la transferencia de carga de C2.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	243,1	5521	5007	2325
0,940	13,1	7,5	247,8	1855,5	1698,0	748,2
0,960	13,2	7,6	253,0	1935,4	1751,5	823,6
0,950	13,0	7,6	228,6	1730,4	1557,7	753,6

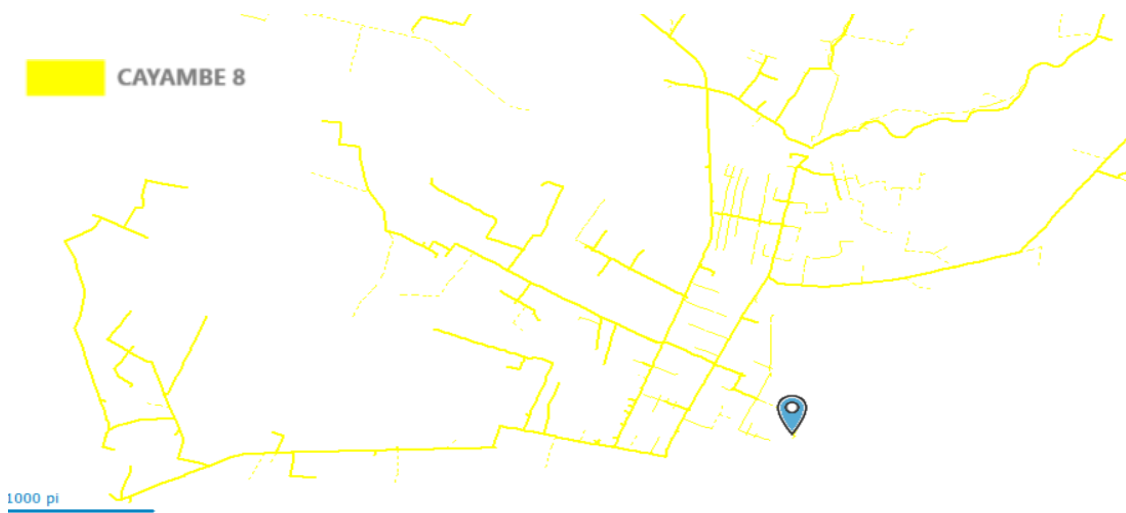
Fig 42. Flujo de carga alimentador N3 después de la transferencia de carga.

Se finaliza la transferencia de carga del Transformador 1 de la subestacion Cayambe pasando la carga de su alimentador C3, cuyo receptor será C8.



*Fig 43. Alimentadores C3 y C8 antes de la transferencia.*

En la figura 44 se puede observar como la carga de C3 pasó a C8, ambos alimentadores ya se presentan de un solo color.



*Fig 44. Transferencia de alimentador C3 a C8*

Por último, tendremos el cuadro de flujo de carga en donde podremos observar las condiciones del alimentador C8 al haber recibido la carga de C3.





Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,967	13,3	7,7	150,3	3474	3271	1169
0,960	13,3	7,6	137,0	1047,8	989,2	345,5
0,970	13,4	7,7	162,2	1253,5	1187,9	400,0
0,970	13,3	7,7	151,8	1173,2	1094,0	423,7

Fig 45. Flujo de carga alimentador C8 después de la transferencia de carga.

En el caso del transformador 1 "Mitsubishi" de la subestación Cayambe su transferencia se realiza a dos subestaciones diferentes, tanto al Transformador Cayambe 2 "Chino" y a la subestación Cananvalle, por ende, en la siguiente tabla se presentan las condiciones de estas subestaciones receptoras al finalizar la transferencia de carga.

Tabla 13. Niveles de demanda en los alimentadores y transformadores involucrados después de transferencia.

Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
C7	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2548	2400	856	108	109	113
C8	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	3474	3271	1169	137	162,2	151,8
T Cayambe "chino"	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	6404,82	6088,94	2113,48	263,37	295,07	285,23
N3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	5521	5007	2325	247,8	253	228,6
T Cananvalle	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	10696,45	10083,64	3502,25	486,59	494,57	446,73

Actualmente el relé de protección de corriente para los alimentadores del transformador 2 "Chino" de la subestación Cayambe se encuentra seteado en 240





amperios. Como se muestra en la tabla 13, en ningún alimentador de dicha subestación se sobrepasa esta corriente por lo que no es necesario modificar los ajustes en los relés de protección de los alimentadores.

Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios, no se supera esta corriente por tanto tampoco es necesario modificar el relé de protección.

En lo referente a la demanda total luego de la transferencia, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación Cayambe cuenta con un segundo transformador de 10 MVA. Se puede observar en la tabla 13 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 6,44 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga.

En el caso de la subestación Cananvalle el relé de protección de corriente para los alimentadores se encuentra seteado en 270 amperios. Como se muestra en la tabla 14, en el alimentador N3, quien recibe la carga de C2, no sobrepasa esta corriente por lo que no es necesario modificar los ajustes en los relés de protección.

Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios. En vista que, con la demanda esperada se supera esta corriente, es necesario realizar un ajusté en dicho relé.

En lo referente a la demanda total luego de la transferencia, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación Cananvalle cuenta con un transformador de 20 MVA. Se puede observar en la tabla 13 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 10,69 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga.

Es importante recalcar que, en la transferencia de esta subestación, específicamente en los postes 201061, 13538 y 23189, que son parte del proceso, existen seccionadores. Se propone que dichos seccionadores sean reemplazados por reconectores para así poder automatizar la transferencia de carga mediante comando a distancia desde el departamento SCADA de EMELNORTE S.A.



### 4.1.3 Transferencia subestacion Cayambe (Transformador 2 chino).

Se muestran los colores con los que se pueden identificar los alimentadores que serán transferidos así mismo como sus receptores:



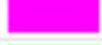




Color	Red
	ALIM-1300020T01 (CAYAMBE 1)
	ALIM-1300020T02 (CAYAMBE 2)
	ALIM-1300020T03 (CAYAMBE 3)
	ALIM-1300020T21 (CAYAMBE 6)
	ALIM-1300020T22 (CAYAMBE 7)
	ALIM-1300020T23 (CAYAMBE 8)
	ALIM-1300170T01 (CANANVALLE 1)

Fig 46. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion Cayambe T2.

Se empieza con la transferencia de carga del transformador 2 de Cayambe transfiriendo el alimentador C6 a N1 de Cananvalle.



Fig 47. Alimentadores C6 y N1 antes de la transferencia.



Con el proceso correcto podemos observar que en la figura 48 se muestra un solo color, lo que representa que el alimentador N1 ha receptado toda la carga en este caso de C6.

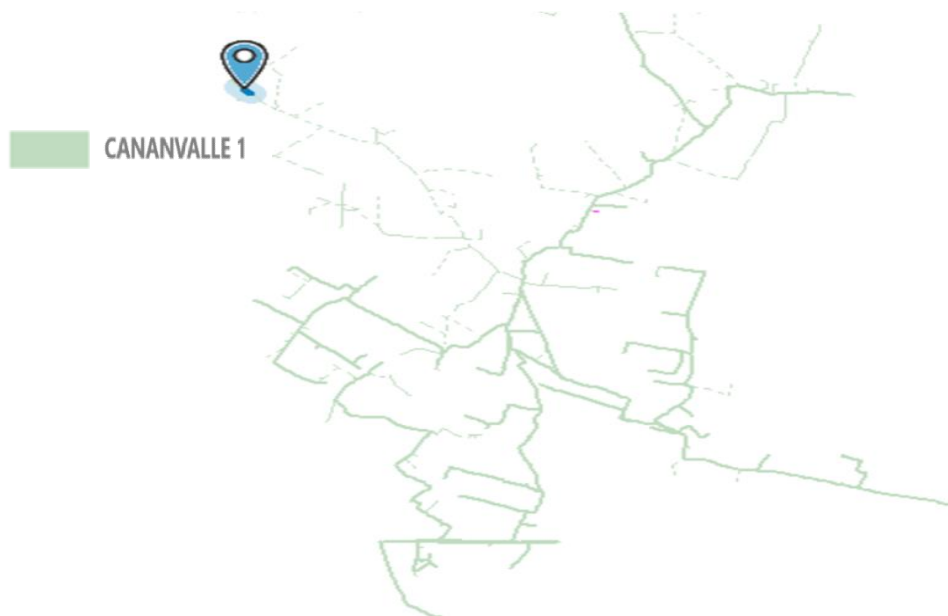


Fig 48. Transferencia de alimentador C6 a N1

Luego de la transferencia se pueden observar las condiciones del alimentador N1 en el siguiente cuadro de flujo de carga:

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	122,7	2787	2627	931
0,940	13,1	7,5	110,1	824,9	769,0	298,5
0,960	13,2	7,6	131,2	1003,8	961,4	288,5
0,950	13,0	7,6	126,9	960,4	896,8	343,7

Fig 49. Flujo de carga alimentador N1 después de la transferencia de carga.



El siguiente alimentador a transferir es C7, en este caso se realiza el proceso inverso que se mostró anteriormente, es decir transferir su carga a C1.



*Fig 50. Alimentadores C7 y C1 antes de la transferencia.*

Se puede observar en la figura 51 como la carga de C7 ha pasado a C1, esto se identifica porque ambos alimentadores tomaron un solo color en este caso celeste que representa a C1.



*Fig 51. Transferencia de alimentador C7 a C1*



Finalmente se puede observar el cuadro de flujo de carga en donde se muestran las condiciones de C1 luego de haber recibido la carga de C7.

Cuadro de flujo de carga

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	KVAR
0,950	13,1	7,6	112,2	2547	2398	858
0,960	13,2	7,6	108,4	829,4	781,3	278,4
0,950	13,0	7,6	112,0	847,4	799,8	279,8
0,940	13,1	7,5	116,2	870,2	816,9	299,9

Fig 52. Flujo de carga alimentador C1 después de la transferencia de carga.

Por último, se concluye transfiriendo el alimentador C8, de esta forma todo el transformador 2 de Cayambe queda sin carga, en este caso el alimentador receptor será el C3.

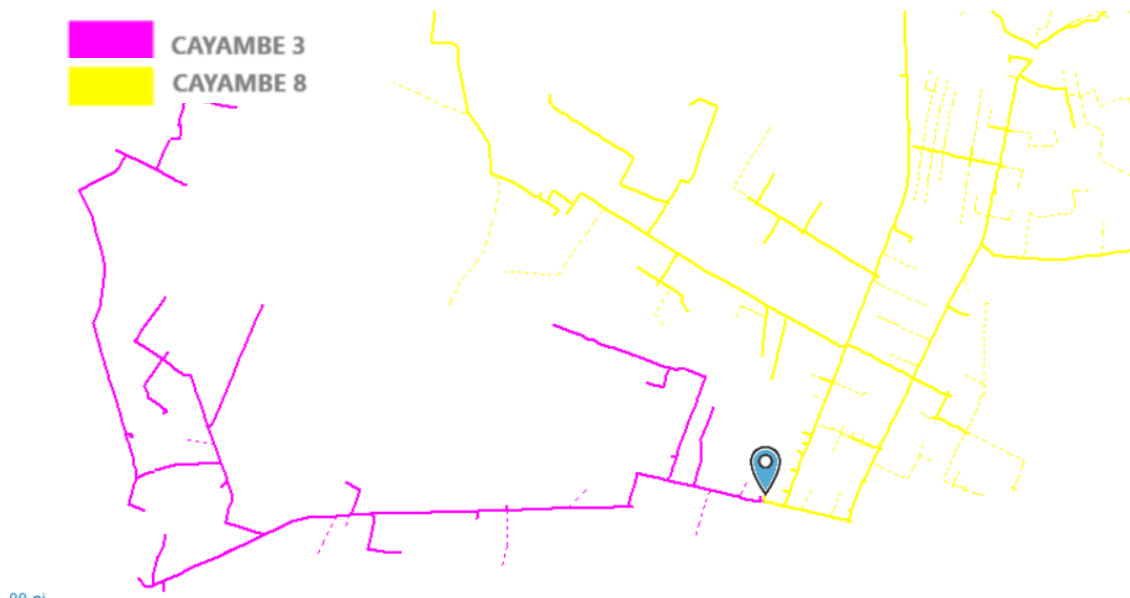


Fig 53. Alimentadores C8 y C3 antes de la transferencia.



Siguiendo el procedimiento se puede observar que la figura 54 muestra un solo color, lo que representa que la carga de C8 fue pasada a C3.

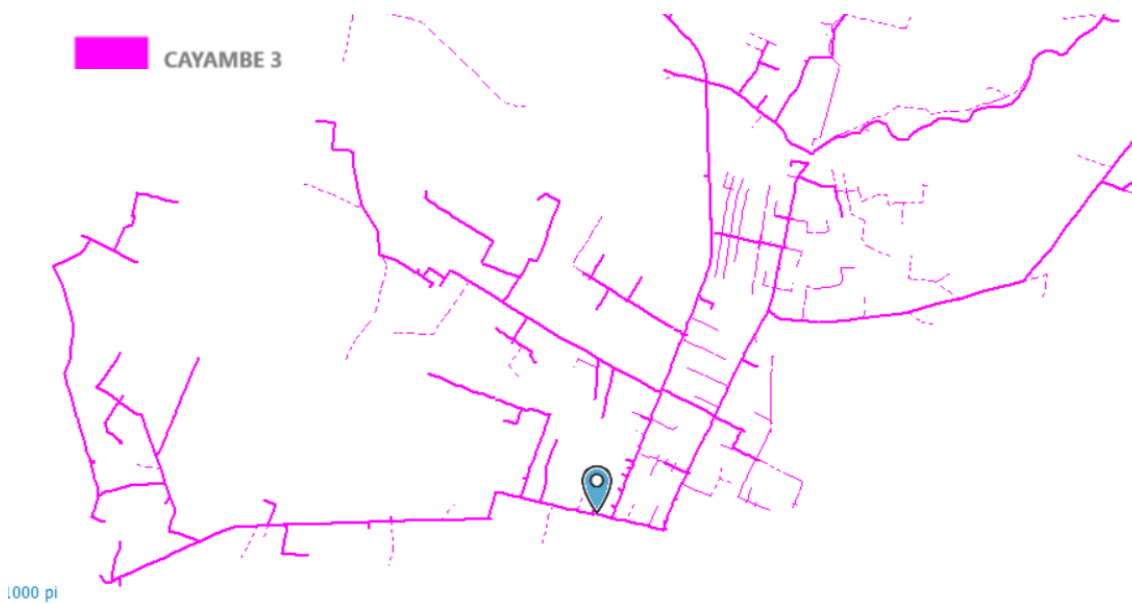


Fig 54. Transferencia de alimentador C8 a C3

En la figura 55 podemos observar el cuadro de flujo de carga en donde se muestran las condiciones del alimentador C3 luego de haber recibido la carga de C8.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	153,0	3475	3271	1174
0,940	13,1	7,5	140,3	1050,4	991,4	347,2
0,960	13,2	7,6	164,1	1255,0	1188,9	402,0
0,950	13,0	7,6	154,6	1170,5	1090,6	425,1

Fig 55. Flujo de carga alimentador C3 después de la transferencia de carga.



*Tabla 14. Niveles de demanda en los alimentadores y transformadores involucrados después de transferencia.*

Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
C1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2547	2398	858	108,4	112	116,2
C3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	3475	3271	1174	140,3	164,1	154,6
T Cayambe "Mitsubishi"	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	10050,59	9396,81	3598,27	439,71	456,65	426,33
N1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2787	2627	931	110,1	131,2	126,9
T Cananvalle	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	7203,41	6901,81	2061,49	312,08	333,14	307,24

Actualmente el relé de protección de corriente para los alimentadores del transformador 1 de la subestación Cayambe se encuentra seteado en 240 amperios. Como se muestra en la tabla 14, en ningún alimentador de dicha subestación se sobrepasa esta corriente por lo que no es necesario modificar los ajustes en los relés de protección de los alimentadores.

Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios. Este valor es superado por ende será necesario modificar el ajuste del relé.

En lo referente a la capacidad del transformador, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación Cayambe cuenta con un primer transformador de 10 MVA. Se puede observar en la tabla 14 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 10,05 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga pues el excedente no supera ni siquiera el 1% de la capacidad del transformador.





En el caso de la subestación Cananvalle el relé de protección de corriente para los alimentadores se encuentra seteado en 270 amperios. Como se muestra en la tabla 15, en el alimentador N1, quien recibe la carga de C6, no sobrepasa esta corriente por lo que no es necesario modificar los ajustes en los relés de protección.

Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios. En vista que, con la demanda esperada no supera esta corriente no es necesario realizar un ajusté en dicho relé.

En lo referente a la demanda total luego de la transferencia, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación Cananvalle cuenta con un transformador de 20 MVA. Se puede observar en la tabla 14 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 7,23 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga.

Es importante recalcar que, en la transferencia de esta subestación, específicamente en los postes 201061 y 23189, que son parte del proceso, existen seccionadores. Se propone que dichos seccionadores sean reemplazados por reconectadores para así poder automatizar la transferencia de carga mediante comando a distancia desde el departamento SCADA de EMELNORTE S.A.



#### 4.1.4 Transferencia subestacion Cananvalle

Los alimentadores que interfieren en la transferencia de carga de la subestación Cananvalle fueron cargados en el software y se representan de la siguiente manera:

Color	Red
	ALIM-13000 10T01 (LA ESPERANZA 1)
	ALIM-13000 10T03 (LA ESPERANZA 2)
	ALIM-13000 10T04 (LA ESPERANZA 4)
	ALIM-13000 20T02 (CAYAMBE 2)
	ALIM-13000 20T21 (CAYAMBE 6)
	ALIM-1300 170T01 (CANANVALLE 1)
	ALIM-1300 170T02 (CANANVALLE 2)
	ALIM-1300 170T03 (CANANVALLE 3)
	ALIM-1300 170T04 (CANANVALLE 4)
	ALIM-1300 170T05 (CANANVALLE 5)

Fig 56. Código de colores para alimentadores que intervienen en la transferencia de carga Subestacion Cananvalle.

Se empieza con la transferencia, en este caso N1 de Cananvalle transfiere su carga a C6 de Cayambe, los alimentadores se pueden observar de la siguiente manera:



Fig 57. Alimentadores N1 Y C6 antes de la transferencia.



Luego del procedimiento correcto se puede evidenciar como la carga de N1 pasó a C6 y ahora se representan ambos alimentadores con un único color.



Fig 58. Transferencia de alimentador N1 a C6

La figura 59 muestra el cuadro de flujo de carga en donde se pueden evidenciar las condiciones del alimentador C6 luego de haber recibido la carga de N1.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,967	13,3	7,7	119,0	2752	2601	898
0,960	13,3	7,6	107,1	819,3	767,6	286,3
0,970	13,4	7,7	127,7	987,3	947,1	278,9
0,970	13,3	7,7	122,5	946,8	886,2	333,2

Fig 59. Flujo de carga alimentador C6 después de la transferencia de carga.



El siguiente alimentador a transferir es C2, el alimentador que recibe la carga de dicho alimentador es Z3 perteneciente a la subestación La Esperanza.



Fig 60. Alimentadores N2 Y Z3 antes de la transferencia.

Luego de realizar el procedimiento de forma correcta se puede ver como la carga del alimentador N2 ha pasado a Z3 y ahora ambos alimentadores se representan por un solo color.

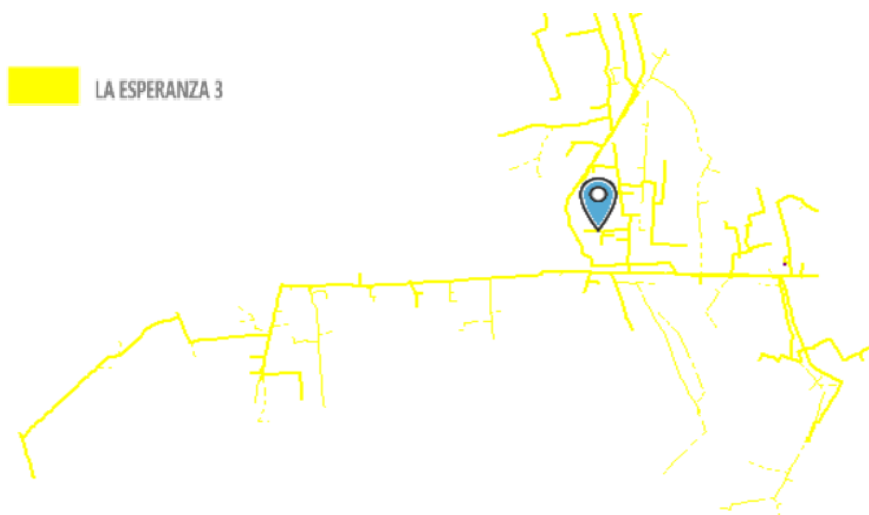


Fig 61. Transferencia de alimentador N2 a Z3



Se procede a obtener el siguiente cuadro de flujo de carga en donde se pueden observar las condiciones del alimentador Z3 luego de haber recibido la carga de N2.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	84,3	1916	1818	605
0,940	13,1	7,5	71,4	534,6	506,4	171,4
0,960	13,2	7,6	98,4	752,5	722,3	211,0
0,950	13,0	7,6	83,2	630,0	589,2	222,9

Fig 62. Flujo de carga alimentador Z3 después de la transferencia de carga.

Se continua con la transferencia de carga. En este caso el alimentador N3 será transferido hacía la subestacion Cayambe, alimentador C2, los alimentadores se muestran de la siguiente manera:



Fig 63. Alimentadores N3 Y C2 antes de la transferencia.



Una vez realizado el proceso de transferencia de carga se puede evidenciar un solo color para ambos alimentadores como se muestra en la figura 64.



Fig 64. Transferencia de alimentador N3 a C2.

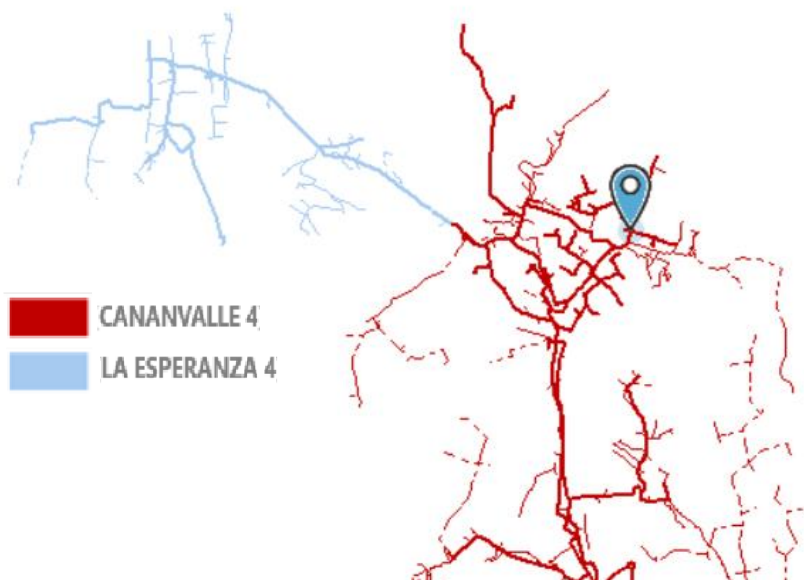
Posteriormente se obtiene el cuadro de flujo de carga en donde se observan las condiciones del alimentador C2 luego de haber recibido la carga de N3.

Cuadro de flujo de carga						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	240,1	5352	4929	2086
0,940	13,1	7,5	255,2	1870,5	1734,2	701,0
0,960	13,2	7,6	245,3	1817,5	1673,5	709,0
0,950	13,0	7,6	219,9	1664,4	1520,9	676,2

Fig 65. Flujo de carga alimentador C2 después de la transferencia de carga.

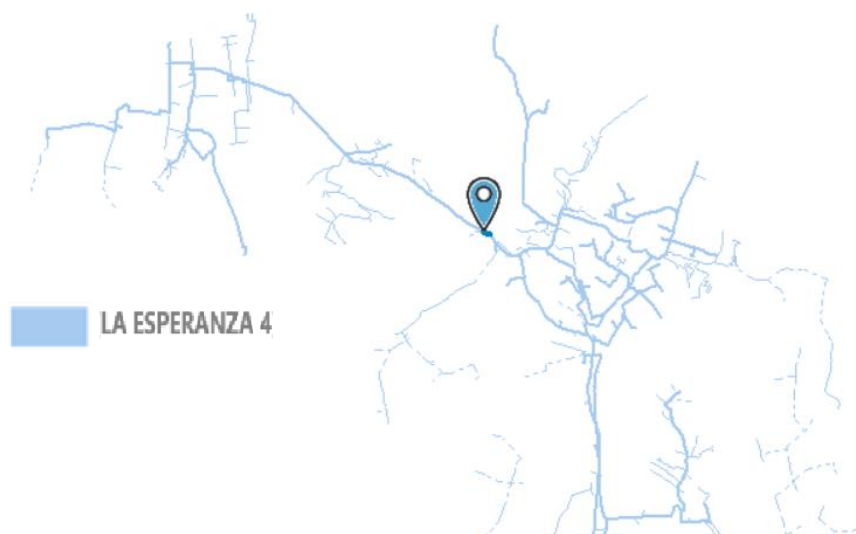


Se continua con la transferencia del cuarto alimentador de la subestacion Cananvalle, N4, su carga será recibida por el alimentador Z4 de la subestación La Esperanza.



*Fig 66. Alimentadores N4 Y Z4 antes de la transferencia.*

Se puede visualizar en la figura 67 que se ha transferido la carga de N4 a Z4, se muestran ambos alimentadores de un solo color.



*Fig 67. Transferencia de alimentador N4 a Z4.*





Se procede a obtener el cuadro de flujo de carga en donde se pueden observar las condiciones del alimentador Z4 luego de recibir carga de N4.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	103,5	2349	2284	548
0,940	13,1	7,5	110,6	828,4	808,2	182,0
0,960	13,2	7,6	92,7	708,9	689,3	165,4
0,950	13,0	7,6	107,3	812,0	786,9	200,3

Fig 68. Flujo de carga alimentador Z4 después de la transferencia de carga.

Finalmente se transfiere el alimentador N5 de la subestación Cananvalle, cuyo receptor será el alimentador Z1, ambos alimentadores se muestran en la siguiente imagen.

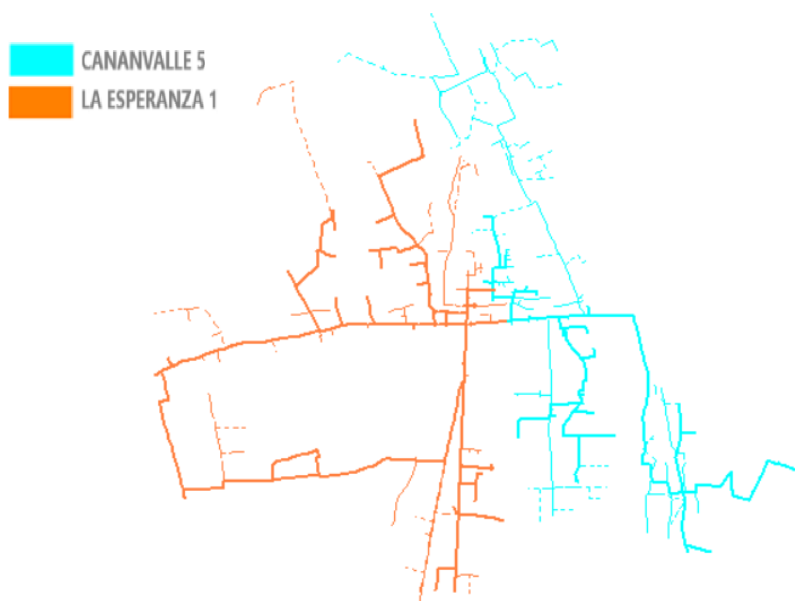


Fig 69. Alimentadores N5 Y Z1 antes de la transferencia.



Se realiza el procedimiento de transferencia de carga y ambos alimentadores ahora se representan con un mismo color como se evidencia en la figura 70.

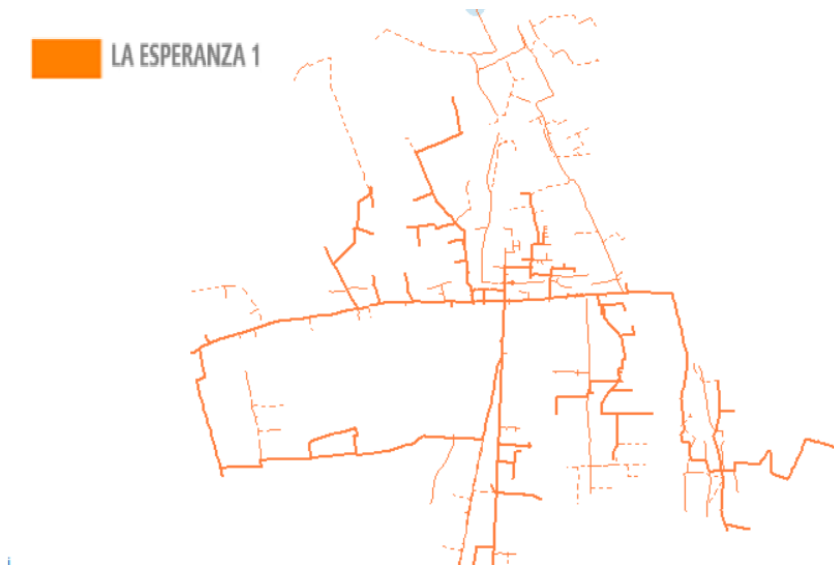


Fig 70. Transferencia de alimentador N5 a Z1.

Se procede a obtener el cuadro de flujo de carga y así observar las condiciones del alimentador Z1 luego de haber recibido carga de N5.

Cuadro de flujo de carga

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,950	13,1	7,6	78,1	1772	1681	561
0,940	13,1	7,5	83,5	625,5	592,4	200,6
0,960	13,2	7,6	68,3	522,0	490,0	180,2
0,950	13,0	7,6	82,6	625,1	598,6	179,8

Fig 71. Flujo de carga alimentador Z1 después de la transferencia de carga.



*Tabla 15. Niveles de demanda en los alimentadores y transformadores involucrados después de transferencia.*

Alimentador	Fecha	kVA Tot.	kW Tot.	kVAR Tot.	Ia	Ib	Ic
Z1	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1772	1681	561	83,5	68,3	82,6
Z3	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	1916	1818	605	71,4	98,4	83,2
Z4	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2349	2284	548	110,6	92,7	107,3
T La Esperanza	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	7802,81	7459,92	2084,13	359,09	309,88	358,51
C2	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	5352	4929	2086	255,2	245,3	219,9
T1 Cayambe "Mitsubishi"	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	7018,63	6469,84	2720,74	325,51	314,18	289,11
C6	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	2752	2601	898	107,1	127,7	122,5
T2 Cayambe "chino"	Domingo, 4 de febrero de 2024 06:00	7168,44	6788,46	2302,90	283,11	333,21	321,44

Actualmente el relé de protección de corriente para los alimentadores del transformador 1 de la subestación La Esperanza se encuentra seteado en 240 amperios. Como se muestra en la tabla 15, en ningún alimentador de dicha subestación se sobrepasa esta corriente por lo que no es necesario modificar los ajustes en los relés de protección de los alimentadores.

Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios. Este valor tampoco es superado por ende no será necesario modificar el ajuste del relé.

En lo referente a la demanda total luego de la transferencia, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación La Esperanza cuenta con un transformador de 10 MVA. Se puede observar en la tabla 15 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 7,80 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga.



En el caso de la subestación Cayambe el relé de protección de corriente para los alimentadores se encuentra seteado en 240 amperios. Como se muestra en la tabla 15, en el alimentador C2, quien recibe la carga de N3, sobrepasa esta corriente por lo que es necesario modificar los ajustes en los relés de protección.

Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios. En vista que, con la demanda esperada no supera esta corriente no es necesario realizar un ajusté en dicho relé.

En lo referente a la capacidad del transformador, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación Cayambe cuenta con un primer transformador de 10 MVA. Se puede observar en la tabla 15 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 7.01 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga.

Finalmente, ahora analizando la subestación Cayambe, pero el transformador 2 “chino” el relé de protección de corriente para los alimentadores se encuentra seteado en 240 amperios. Como se muestra en la tabla 15, en el alimentador C6, quien recibe la carga de N1, no sobrepasa esta corriente por lo que no es necesario modificar los ajustes en los relés de protección.

Por otra parte, en lo referente al transformador, su relé de protección se encuentra seteado a 420 amperios. En vista que, con la demanda esperada no supera esta corriente no es necesario realizar un ajusté en dicho relé.

En lo referente a la capacidad del transformador, como se mencionó en el punto 3.3, la subestación Cayambe cuenta con un segundo transformador de 10 MVA. Se puede observar en la tabla 15 que luego de la transferencia de carga, el transformador alcanza una demanda de 7.16 MVA, por tanto, es factible realizar dicha transferencia de carga.

Es importante recalcar que, en la transferencia de esta subestación, específicamente en los postes 13538, 8025 y 733, que son parte del proceso, existen seccionadores. Se propone que dichos seccionadores sean reemplazados por reconectores para así poder automatizar la transferencia de carga mediante comando a distancia desde el departamento SCADA de EMELNORTE S.A.



## 4.2 Determinación de enlace para reconectores que permiten la transferencia automática de carga entre subestaciones.

A lo largo del desarrollo del presente trabajo se han identificado los puntos de interconexión que intervienen y hacen posible la transferencia de carga de las subestaciones estudiadas.

De manera exacta se han encontrado 8 puntos de interconexión, de los cuales 2 ya se encuentran enlazados al sistema SCADA de Emelnorte S.A., es por esto que para los 6 puntos de conexión restantes se requiere realizar el análisis para determinar cómo estos pueden ser enlazados y así tener automatizado el proceso de transferencia de carga entre subestaciones.

A continuación, se muestra el listado de los puntos de interconexión utilizados y como se propone que sean enlazados. La propuesta fue revisada y aprobada por personal del sistema SCADA.

### ➤ Poste 3514

Se han analizado varias formas posibles de comunicación, sin embargo, se toma como la más viable enlazar el reconector ubicado en el poste 3514 mediante antena punto a punto (PtP) desde el nodo 04 Cayambe. La distancia a la que se encuentra separado dicho poste desde el nodo 04 es de 12.55 kilómetros. En la siguiente figura se evidencia la forma de comunicación mencionada.

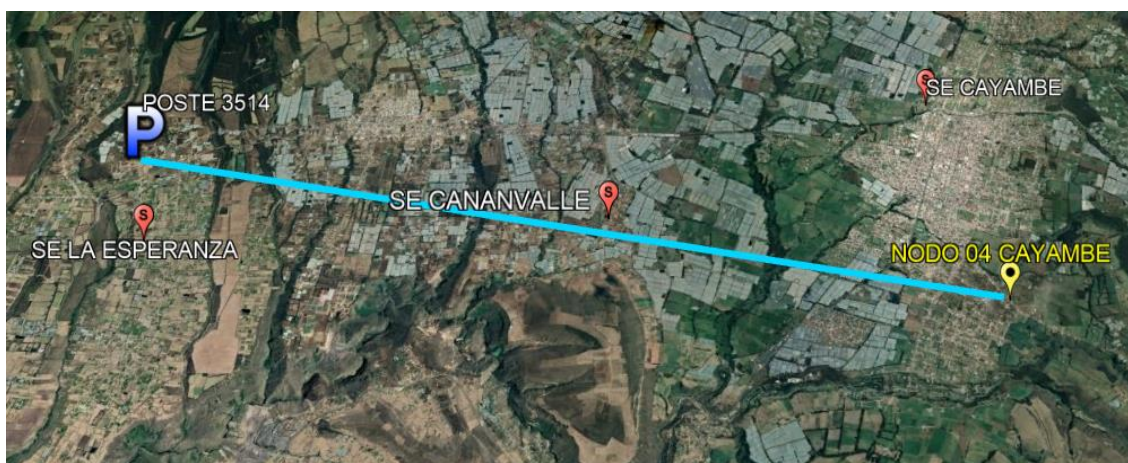


Fig 72. Enlace de comunicación para reconector poste 3514.





Para corroborar el enlace de comunicación que fue descrito anteriormente se presenta la línea de vista entre el nodo 04 y el reconfigurador ubicado en el poste 3514. Como se puede observar en la figura 73 dicha línea de vista es favorable, al igual que la velocidad de transferencia de datos.

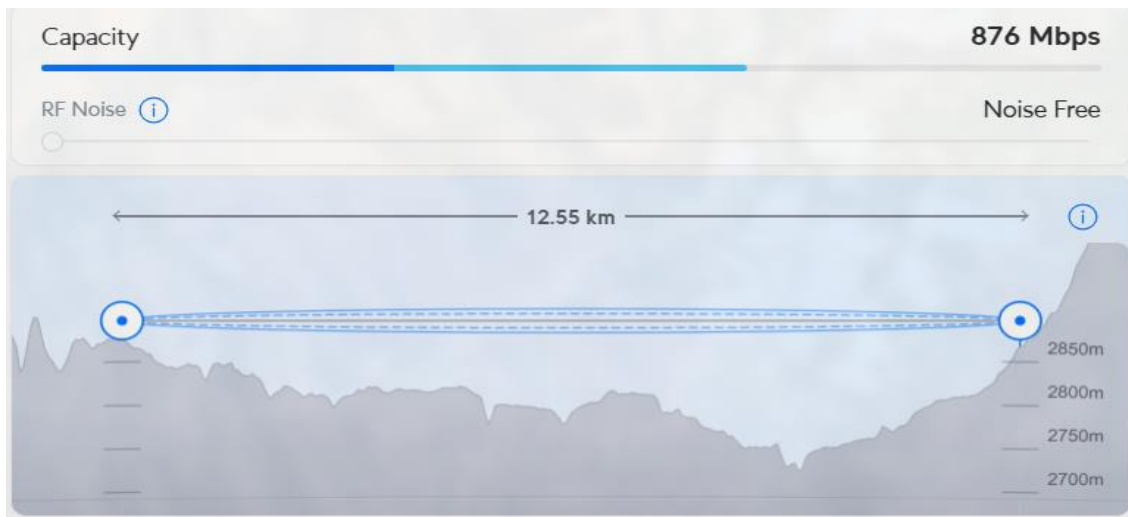


Fig 73. Línea de vista favorable para conexión de reconfigurador poste 3514.

➤ **Poste 733**

En el caso del poste 733, se determina que forma más viable de comunicación es mediante fibra óptica desde el nodo 06 de Cayambe. Ambos puntos se encuentran a una distancia de 0.86 kilómetros, por lo que es factible realizar esta forma de enlace.



Fig 74. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 733.



### ➤ Poste 7375

En el caso de este punto de conexión, como se describió anteriormente, ya se encuentra enlazado al sistema SCADA de EMELNORTE, su forma de enlace está dada por fibra óptica desde el nodo 06 de Cayambe. La distancia entre el nodo 06 de Cayambe y el poste 7375 es de 1,17 kilómetros.



*Fig 75. Enlace existente reconector poste 7375*

### ➤ Poste 8025

Se han analizado varias formas posibles de comunicación, sin embargo, se toma como la más viable enlazar el reconector ubicado en el poste 8025 mediante antena punto a punto (PtP) desde el nodo 05 Cayambe. La distancia a la que se encuentra separado dicho poste desde el nodo 05 es de 2.54 kilómetros. En la siguiente figura se evidencia la forma de comunicación mencionada.



*Fig 76. Enlace de comunicación para reconector poste 8025.*





Para corroborar el enlace de comunicación que fue descrito anteriormente se presenta la línea de vista entre el nodo 05 y el reconfigurador ubicado en el poste 8025. Como se puede observar en la figura 73 dicha línea de vista es favorable, al igual que la velocidad de transferencia de datos.

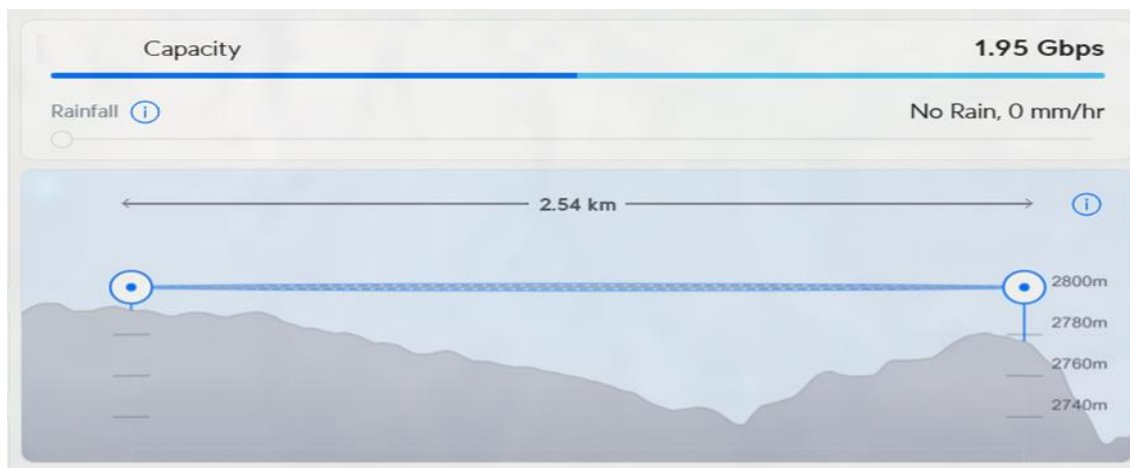


Fig 77. Línea de vista favorable para conexión de reconfigurador poste 8025.

#### ➤ Poste 201061

Se encuentra que la mejor forma de comunicación para el reconfigurador ubicado en el poste 201061 es enlazar con cable ethernet desde el nodo 01 de Cayambe. Ambos puntos se encuentran separados apenas 15,86 metros por ende se ha elegido esta opción de comunicación.

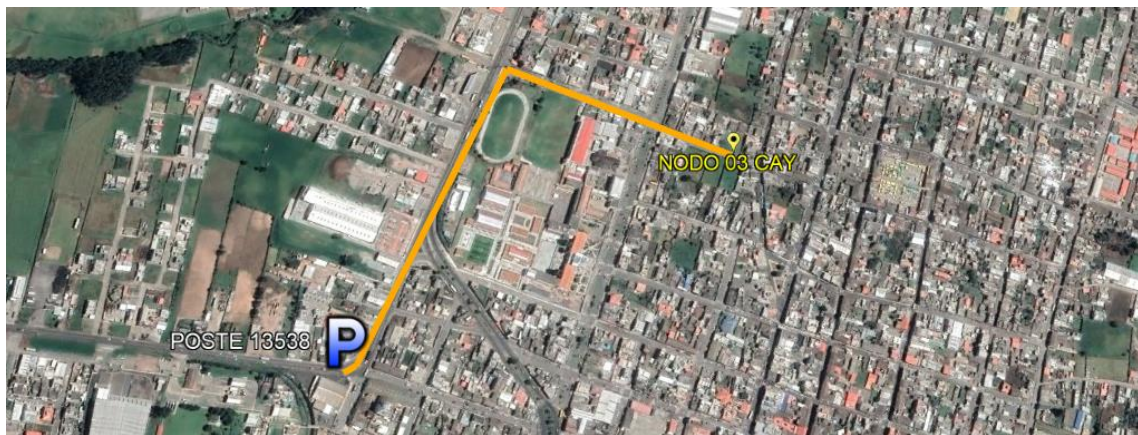


Fig 78. Enlace de comunicación para reconfigurador poste 201061.



### ➤ Poste 13538

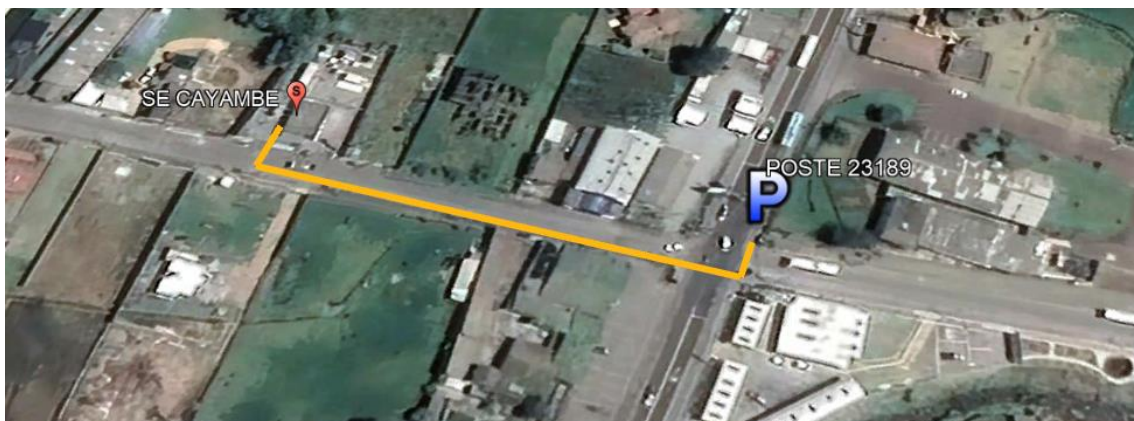
Se han analizado varias formas posibles de comunicación, sin embargo, se toma como la más viable enlazar el reconector ubicado en el poste 13538 mediante fibra óptica desde el nodo 03 Cayambe. La distancia a la que se encuentra separado dicho poste desde el nodo 03 es de 0.83 kilómetros. En la siguiente figura se evidencia la forma de comunicación mencionada.



*Fig 79. Enlace de comunicación para reconector poste 13538.*

### ➤ Poste 23189

Se encuentra que la mejor forma de comunicación para el reconector ubicado en el poste 23189 es enlazar con fibra óptica desde la subestación Cayambe. Ambos puntos se encuentran separados por una distancia de 123.98 metros, por ende, se encuentra factible este enlace.



*Fig 80. Enlace de comunicación para reconector poste 23189.*



### ➤ Poste 18536

En el caso de este punto de conexión, como se describió anteriormente, ya se encuentra enlazado al sistema SCADA de EMELNORTE, su forma de enlace está dada por antena PtP desde el nodo 02 de Cayambe. La distancia entre el nodo 02 de Cayambe y el poste 18536 es de 4,47 kilómetros.



*Fig 81. Enlace existente reconector poste 18536*





## Conclusiones

- Se desarrolló el estudio de transferencias de carga en las subestaciones La Esperanza, Cananvalle y Cayambe, y se encontró que las condiciones técnicas y operativas son adecuadas para realizar dicho procedimiento entre estas subestaciones.
- Se elaboró una propuesta de comunicación para cada reconector que interfiere en el proceso de transferencia de carga hacia el sistema SCADA, la cual fue revisada y aprobada por el personal de ingeniería y comunicaciones del Centro de Control de EMELNORTE.



## Recomendaciones

- Se recomienda utilizar la metodología empleada en este trabajo de grado para analizar transferencias de carga en otras zonas del sistema de subtransmisión de EMELNORTE, así como también en periodos de demanda mínima, media y máxima para determinar en estas condiciones la operación de alimentadores y transformadores que actúan como receptores.



### Referencias bibliográficas.

- [1] J. Rojas, P. Vargas, “Diseño e implementación de los circuitos de control para cuatro habías de 69kV de la subestación de Velacruz”, tesis. Universidad de Cuenca, Cuenca,2018.
- [2] J. Ruiz. “Estudio de un sistema de transferencia automática de carga a través de reconectores en el sistema de distribución de Emelnorte”. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. 2017.
- [3] C. Solano, “Estudio de factibilidad para la implementación del sistema de automatización de subestaciones en la Emelnorte mediante tecnología inteligente”, tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Quito,2013.
- [4] A. Cadena, “Determinación del centro de carga de las subestaciones del área de concesión de Emelnorte, acorde a su plan de expansión 2020-2030”, tesis. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2022.
- [5] J. Serna. Manual de mantenimiento preventivo - predictivo - correctivo para trabajos con tensión en subestaciones y líneas. V.1, 2018.
- [6] L. Jaramillo, “Manual de verificación y mantenimiento Subestación Eléctrica CC Santo Domingo”, tesis. Universidad de Cuenca, Cuenca, 2018.
- [7] A. León, “Análisis de confiabilidad de las subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A”, tesis. Universidad del Azuay, Cuenca, 2021.
- [8] L. Gutiérrez, “Caracterización de las Subestaciones Eléctricas de Transmisión y Distribución que Hagan Parte del SIN, del STR o del SDL Dentro de la Región Central”. Semillero de investigación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020.
- [9] J. Carrillo, “Pruebas a equipos seccionadores en subestaciones eléctricas”, tesis. Universidad Antonio Nariño, Cúcuta, 2021.
- [10] W. Pasache, “Consideraciones técnicas para la implementación de un SCADA en empresa de distribución eléctrica”, tesis, Universidad de Piura, Piura, 2023.
- [11] F. Ballesteros, “Red tele controlada de automatización de reconectores y cámaras de transformación como parte de un sistema de Smart Grids”, tesis. Universidad Técnica de Ambato, Ambato,2019.
- [12] L. Jaramillo, "Manual de verificación y mantenimiento Subestación Eléctrica CC Santo Domingo", tesis. Universidad Técnica de Cuenca, Cuenca, 2018.
- [13]. C. Magallán, "Análisis para el control y monitoreo SCADA de las variables eléctricas en los reconectores automáticos de la alimentadora Libertad 13.8 KV de la subestación la Libertad 69/13.8 KV en redes de distribución", tesis. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2019.



- [14] P. Robles, "Estudio eléctrico para transferencias automáticas en alimentadores primarios de medio voltaje de CNEL EP unidad de negocio El Oro, estudio de caso al alimentador más crítico ante falla", tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2018.
- [15] J. Morocho, "Detección de fallas en redes de distribución radial basado en el método de diagnóstico de fallas en ramales y ratán das", tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. (2022)
- [16] C. Salomón, R. Castillo, A. Cruz, "Efecto de la variación de carga en el perfil de voltaje de los sistemas de distribución radiales", Transversalidad científica y tecnológica. (2020)
- [17] J. Valle, "Análisis de los parámetros eléctricos de la red subterránea de distribución a 13.8kVA., lo que permitirá encontrar puntos críticos del alimentador doce de noviembre del cantón Ambato, año 2015", tesis. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga. (2016)
- [18] C. Salomón, "Análisis de la reconfiguración de sistemas eléctricos de distribución", tesis. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas. (2020)
- [19] X. Pulla, "Estudio eléctrico para transferencias automáticas en alimentadores primarios de medio voltaje de CNEL EP Unidad de Negocio El Oro, estudio de caso al alimentador más crítico ante falla", tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. (2020)
- [20] A. Calderón, "Análisis de calibración de los relés para mejorar el sistema de protección de configuración en anillo de la Mina", tesis. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. (2021)
- [21] R. Navas, "Estudio de coordinación de protecciones de los alimentadores primarios de la subestación San Agustín y creación de un manual de procedimientos empleando la metodología aplicada en EmelNorte", tesis. Escuela Politécnica Nacional, Quito. (2017)
- [22]. T. Guamán, J. Velecela "Análisis técnico de la interconexión entre el alimentador 124 de la S/E Azogues 1 y el alimentador 221 de la S/E Azogues 2 pertenecientes a la Empresa Eléctrica Azogues C.A.", tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. (2018).
- [23] Gómez. J, "Dimensionamiento de una subestación de barra simple con bus flexible a 115 kV en la Ciudad de Querétaro", tesis. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, 2019.





- [24] Philco. L, " Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los equipos de subestaciones mediante inspección termográfica.", tesis. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil", Guayaquil, 2021.
- [25] Guardiola. R, "Reconectores. Redes Aéreas", Empresa Distribuidora de Energía Air-E, especificación técnica, Colombia, 2020.
- [26] Rosero. D, " Análisis de la distribución de carga y estudios eléctricos de los alimentadores de la nueva subestación el rosal de EMELNORTE S. A. ", tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [27] Ródenas. A, "Diseño de una subestación de distribución de 110/25 kv", tesis, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2018.
- [28] Heredia. K, " Diseño de una Red Híbrida para Comunicación de los Equipos de Seccionamiento y Maniobra de la Red de Distribución de la Empresa Eléctrica de Azogues", tesis, Universidad del Azuay, Cuenca, 2022.
- [29] Cruz. J, " Automatización del sistema Scada de subestación eléctrica de 115 kV utilizando el protocolo IEC 61850 y DNP 3.0 para enviar los datos a centro de control", tesis, Tecnológico Nacional de México, Sonora, 2022.