



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales No Renovables

Maestría en Conversión de Energía y Sostenibilidad

**Mejoramiento del nivel de voltaje en los alimentadores primarios Paquisha
y Los Encuentros de la EERSSA mediante la ubicación óptima de
reguladores**

Trabajo de Titulación, previo a la
obtención del título de Magísteres en
Conversión de Energía y Sostenibilidad.

AUTORES:

Ing. Silvia Mercedes González Hidalgo

Ing. Franco Xavier Pineda Delgado

DIRECTOR:

Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, Mg. Sc.

Loja-Ecuador

2024

Certificación

Loja, 17 de octubre de 2024.

Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del trabajo de titulación denominado : **Mejoramiento del nivel de voltaje en los alimentadores primarios Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA mediante la ubicación óptima de reguladores.**, previo a la obtención de título de **Magísteres en Conversión de Energía y Sostenibilidad**, de autoría de los estudiantes **Silvia Mercedes González Hidalgo** con cédula de identidad **1104340524** y **Franco Xavier Pineda Delgado** con cédula de identidad **1104329295**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Silvia Mercedes González Hidalgo**, declaro ser autora del presente trabajo de o de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1104340524

Fecha: actualizada: 17 de octubre de 2024.

Correo electrónico: silvia.gonzalez@unl.edu.ec

Teléfono: 0984327754

Yo, **Franco Xavier Pineda Delgado**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1104329295

Fecha: 17 de octubre de 2024.

Correo electrónico: franco.pineda@unl.edu.ec

Teléfono: 0984941371

Carta de autorización por parte de los autores, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Nosotros, **Silvia Mercedes González Hidalgo y Franco Xavier Pineda Delgado**, declaramos ser autores del Trabajo de Titulación denominado: **Mejoramiento del nivel de voltaje en los alimentadores primarios Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA mediante la ubicación óptima de reguladores**, como requisito para optar por el título de **Magíster en Conversión de la Energía y Sostenibilidad**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribimos, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de octubre de dos mil veinticuatro.

Firma:

Cédula de Identidad: 1104340524

Dirección: Colinas del Pucará, Jorge Luis Borges y Mario Benedetti.

Correo electrónico: silvia.gonzalez@unl.edu.ec

Teléfono: 0984327754

Firma:

Cédula de Identidad: 1104329295

Dirección: Calle Quito 152-17 y Avenida Universitaria.

Correo electrónico: franco.pineda@unl.edu.ec

Teléfono: 0984941371

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, MSc

Dedicatoria

Dedico esta investigación mis hijos, Ignacio y Sebastián, por su inmenso amor y comprensión ante el tiempo que les resté para cumplir con esta meta académica; a mi esposo, por su apoyo durante las horas de estudio. A mis padres y hermanos, por su amor entrañable, constante motivación, y los momentos de alegría que siempre me han brindado. A Dios, por poner en mi camino oportunidades valiosas y personas increíbles que me guiaron y ayudaron a concluir esta maestría. A todos ellos, gracias por ser mi inspiración y fortaleza en este proceso.

Silvia Mercedes González Hidalgo

A Dios por la oportunidad de seguir mejorando y adquirir nuevos conocimientos para ponerlos al servicio de la comunidad.

A mis padres, Franco Eddy Pineda Ochoa y Sandra Elizabeth Delgado Vallejo, por brindarme su apoyo incondicional y recordatorio que el éxito llega con esfuerzo, el aprendizaje continuo y la confianza en los dones brindados por Dios.

Franco Xavier Pineda Delgado

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al personal docente de la Maestría en Conversión de Energía y Sostenibilidad, por los valiosos conocimientos impartidos a lo largo de este programa. Agradezco especialmente al Director del Trabajo de Titulación por su generoso tiempo, orientación y guía para la realización de este trabajo. A mi compañero de tesis, a mis amigos de oficina, por sus ideas, sugerencias y su constante apoyo desinteresado. Finalmente, a mi familia, mi pilar incondicional, por ser mi sostén diario en todo momento y circunstancia. Su apoyo ha sido vital para alcanzar esta meta.

Silvia Mercedes González Hidalgo

Al plantel docente de la Maestría de Conversión de Energía y Sostenibilidad por su transferencia de conocimiento y catedra invaluable.

Al Ing. Iván Coronel, director del Trabajo de Titulación por brindarnos su tiempo y conocimiento para poder llevar a cabo este trabajo con éxito.

A mi colega y compañera de la investigación Ing. Silvia González Hidalgo por su compromiso y dedicación para la ejecución y desarrollo del presente trabajo.

A nuestros amigos, colegas y compañeros de EERSSA, que compartieron con nosotros el curso de la presente maestría.

Franco Xavier Pineda Delgado

4.4.2.1	INSTALACIÓN DE REGULADORES DE VOLTAJE TIPO SUBESTACIÓN.....	12
4.4.2.2	REGULACIÓN CON REGULADOR DE VOLTAJE POR FASES.	12
4.4.2.3	USO DEL CAMBIADOR DE DERIVACIÓN BAJO CARGA DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA. ...	13
4.4.3	REPOTENCIACIONES.....	13
4.4.3.1	TOPOLOGÍA.....	13
4.4.3.2	CAMBIO DE LÍNEAS MONOFÁSICAS A TRIFÁSICAS.	15
4.5	CAPÍTULO V: MODELACIÓN	15
4.5.1	SIMULACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS	15
4.5.2	SOFTWARE CYME	16
4.5.2.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.	16
4.5.2.2	FLUJO DE CARGA.	16
5.	Metodología.....	17
5.1	ÁREA DE TRABAJO	17
5.1.1	ALIMENTADOR PAQUISHA.....	17
5.1.2	ALIMENTADOR LOS ENCUENTROS.....	18
5.1.3	EQUIPOS Y MATERIALES.....	18
5.2	PROCEDIMIENTO	19
5.2.1	PRIMER OBJETIVO	19
5.2.1.1	PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.	19
5.2.1.2	MODELADO DE LA RED.	20
5.2.1.3	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA.	21
5.2.1.4	ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA	21
5.2.2	SEGUNDO OBJETIVO	21
5.2.2.1	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS.....	22
5.2.2.2	DETERMINACIÓN DE UBICACIONES PARA REGULADORES DE VOLTAJE.	22
5.2.2.3	OTRAS SOLUCIONES TÉCNICAS.	22
5.2.3	TERCER OBJETIVO.....	22
5.3	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	22
5.3.1	PRIMER OBJETIVO	23
5.3.1.1	MODELADO DE LA RED Y DATOS DE DEMANDA.....	23
5.3.1.2	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA.	23
5.3.1.3	ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA.	23
5.3.1.4	EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO REGULATORIO	24
5.3.2	SEGUNDO OBJETIVO	24

5.3.2.1	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS.....	24
5.3.2.2	IMPLEMENTACIÓN DE REGULADORES.....	24
5.3.2.3	APLICACIÓN DE OTRAS SOLUCIONES TÉCNICAS.....	24
5.3.3	TERCER OBJETIVO.....	25
6.	Resultados	26
6.1	CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS	26
6.2	ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS ALIMENTADORES	26
6.2.1	ALIMENTADOR LOS ENCUENTROS.....	26
6.2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DEL ALIMENTADOR LOS ENCUENTROS.....	28
6.2.1	ALIMENTADOR PAQUISHA.....	28
6.2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DEL ALIMENTADOR PAQUISHA	30
6.3	ANÁLISIS DE LOS ALIMENTADORES CON PROYECCIÓN DE LA DEMANDA A 5 Y 10 AÑOS	30
6.3.1	ANÁLISIS CON PROYECCIÓN A 5 Y 10 AÑOS DEL ALIMENTADOR LOS ENCUENTROS.....	30
6.3.2	ANÁLISIS CON PROYECCIÓN A 5 Y 10 AÑOS DEL ALIMENTADOR PAQUISHA.....	32
6.4	IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES TÉCNICAS	33
6.4.1	ACCIONES CORRECTIVAS EN EL ALIMENTADOR LOS ENCUENTROS	34
6.4.1.1	PARA SITUACIÓN ACTUAL.	34
6.4.1.2	PARA PROYECCIÓN DE DEMANDA A 5 AÑOS.	35
6.4.1.3	PARA PROYECCIÓN DE DEMANDA A 10 AÑOS.	36
6.4.2	ACCIONES CORRECTIVAS EN EL ALIMENTADOR PAQUISHA	37
6.4.2.1	PARA SITUACIÓN ACTUAL.	37
6.4.2.2	PARA PROYECCIÓN DE DEMANDA A 5 AÑOS.	39
6.4.2.3	PARA PROYECCIÓN DE DEMANDA A 10 AÑOS	40
6.5	PLAN DE MEJORAS TÉCNICO Y OPERATIVO	41
6.5.1	ALIMENTADOR LOS ENCUENTROS.....	41
6.5.2	ALIMENTADOR PRIMARIO PAQUISHA A 22 KV:	42
7.	Discusión.....	44
8.	Conclusiones	46
9.	Recomendaciones	48
10.	Bibliografía.....	50
11.	Anexos.....	51

Índice de tablas

Tabla 1. Alimentadores primarios en 22 kv de eerssa.....	6
Tabla 2. Rango de límites para el nivel de voltaje en ecuador.	8
Tabla 3. Rangos admisibles +/- para el nivel de medio voltaje en ecuador.	8
Tabla 4. Selección de puntos para evaluar la calidad de producto (nivel de voltaje)	9
Tabla 5. Caídas de voltaje medidas en el alimentador: paquisha 2021-2024	11
Tabla 6. Caídas de voltaje actual en diversos sectores del ap los encuentros	28
Tabla 7. Caídas de voltaje actual en diversos sectores del ap paquisha	30
Tabla 8. Caída de voltaje en ap los encuentros proyección a 5 años	30
Tabla 9. Caída de voltaje en ap los encuentros proyección a 10 años	30
Tabla 10. Caída de voltaje en ap paquisha proyección a 5 años	32
Tabla 11. Caída de voltaje en ap paquisha proyección a 10 años	32
Tabla 12. Acciones correctivas para mejorar la caída de voltaje año 2024.	34

Índice de figuras

Figura 1. Topología radial para distribución.....	13
Figura 2. Topología en anillo para distribución.	14
Figura 3. Topología mallada para distribución.	14
Figura 4. Topología y trazado de la red de mv del alimentador paquisha.	17
Figura 5. Topología y trazado de la red de mv del alimentador los encuentros.	18
Figura 6. Tendencias del crecimiento de la proyección de la demanda.....	20
Figura 7. Identificación de caída de voltaje en el ap los encuentros año 2024.	27
Figura 8. Perfil de voltaje por fase del ap los encuentros año 2024.	27
Figura 9. Identificación de caída de voltaje en el ap paquisha año 2024.	29
Figura 10. Perfil de voltaje por fase del ap paquisha año 2024.	29
Figura 11. Perfil de voltaje por fase del ap los encuentros proyección a 5 años	31
Figura 12. Perfil de voltaje por fase del ap los encuentros proyección a 10 años	31
Figura 13. Perfil de voltaje por fase del ap paquisha proyección a 5 años	33
Figura 14. Perfil de voltaje por fase del ap paquisha proyección a 10 años	33
Figura 15. Perfil de voltaje por fase del ap los encuentros posterior acciones correctivas año 2024.	35
Figura 16. Perfil de voltaje por fase del ap los encuentros posterior acciones correctivas proyección a 5 años.	36
Figura 17. Perfil de voltaje por fase del ap los encuentros posterior acciones correctivas proyección a 10 años.	37
Figura 18. Perfil de voltaje por fase del ap paquisha posterior acciones correctivas año 2024.	39
Figura 19. Perfil de voltaje por fase del ap paquisha posterior acciones correctivas proyección a 5 años.	40
Figura 20. Perfil de voltaje por fase del ap paquisha posterior acciones correctivas proyección a 10 años.	41
Figura 21. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el padmi con demanda actual (2024)-ap los encuentros.	51
Figura 22. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector muchine con demanda actual (2024) -ap los encuentros.	51
Figura 23. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la floresta con demanda actual (2024) -ap los encuentros.	52
Figura 24. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector paquisha alto con demanda actual (2024) -ap los encuentros.	52
Figura 25. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el padmi con demanda proyectada a 5 años.	53
Figura 26. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector muchine con demanda proyectada a 5 años.	53
Figura 27. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la floresta con demanda proyectada a 5 años.	54
Figura 28. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector paquisha alto con demanda proyectada a 5 años.	54

Figura 29. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el padmi con demanda proyectada a 10 años.	55
Figura 30. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector muchime con demanda proyectada a 10 años.	55
Figura 31. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la floresta con demanda proyectada a 10 años.	56
Figura 32. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector paquisha alto con demanda proyectada a 10 años.	56
Figura 33. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el padmi posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	57
Figura 34. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector muchime posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	57
Figura 35. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la floresta posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	58
Figura 36. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector paquisha alto posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	58
Figura 37. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el padmi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.	59
Figura 38. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector muchime posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.	59
Figura 39. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la floresta posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.	60
Figura 40. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector paquisha alto posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.	60
Figura 41. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el padmi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.	61
Figura 42. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector muchime posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.	61
Figura 43. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la floresta posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.	62
Figura 44. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector paquisha alto posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.	62
Figura 45. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la florida con demanda actual (2024)-ap paquisha.	63
Figura 46. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el dorado con demanda actual (2024) -ap paquisha.	63
Figura 47. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector santa rosa con demanda actual (2024) -ap paquisha.	64

Figura 48. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la pangui con demanda actual (2024) -ap paquisha.	64
Figura 49. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector guayzimi con demanda actual (2024) -ap paquisha.	65
Figura 50. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector sarenza con demanda actual (2024) -ap paquisha.	65
Figura 51. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la florida con demanda proyectada a 5 años.	66
Figura 52. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el dorado con demanda proyectada a 5 años.	66
Figura 53. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector santa rosa con demanda proyectada a 5 años.	67
Figura 54. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la pangui con demanda proyectada a 5 años.	67
Figura 55. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector guayzimi con demanda proyectada a 5 años.	68
Figura 56. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector sarenza con demanda proyectada a 5 años.	68
Figura 57. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la florida con demanda proyectada a 10 años.	69
Figura 58. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el dorado con demanda proyectada a 10 años.	69
Figura 59. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector santa rosa con demanda proyectada a 10 años.	70
Figura 60. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la pangui con demanda proyectada a 10 años.	70
Figura 61. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector guayzimi con demanda proyectada a 10 años.	71
Figura 62. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector sarenza con demanda proyectada a 10 años.	71
Figura 63. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la florida posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	72
Figura 64. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el dorado posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	72
Figura 65. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector santa rosa posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	73
Figura 66. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la pangui posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).	73

Figura 67. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector guayzimi posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).....	74
Figura 68. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector sarenza posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).....	74
Figura 69. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la florida posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.....	75
Figura 70. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el dorado posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.....	75
Figura 71. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector santa rosa posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.....	76
Figura 72. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la pangui posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.....	76
Figura 73. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector guayzimi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.....	77
Figura 74. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector sarenza posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.	77
Figura 75. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la florida posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.....	78
Figura 76. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector el dorado posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.....	78
Figura 77. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector santa rosa posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.....	79
Figura 78. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector la pangui posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.....	79
Figura 79. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector guayzimi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.....	80
Figura 80. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector sarenza posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.	80

Índice de anexos

Anexo 1. Caída de voltaje por sectores en el alimentador primario (ap) los encuentros de 22kv con demanda actual (2024).	51
Anexo 2. Caída de voltaje por sectores en el ap los encuentros de 22kv con proyección de demanda a 5 años.	53
Anexo 3. Caída de voltaje por sectores en el ap los encuentros de 22kv con proyección de demanda a 10 años.	55
Anexo 4. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el ap los encuentros según condiciones de demanda actual (2024).	57
Anexo 5. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el ap los encuentros según condiciones de demanda con proyección a 5 años.....	59
Anexo 6. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el ap los encuentros según condiciones de demanda con proyección a 10 años.....	61
Anexo 7. Caída de voltaje por sectores en el alimentador primario (ap) paquisha de 22 kv con demanda actual (2024).	63
Anexo 8. Caída de voltaje por sectores en el ap paquisha de 22 kv con proyección de demanda a 5 años.	66
Anexo 9. Caída de voltaje por sectores en el ap paquisha de 22 kv con proyección de demanda a 10 años.	69
Anexo 10. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el ap paquisha según condiciones de demanda actual (2024).	72
Anexo 11. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el ap paquisha según condiciones de demanda con proyección a 5 años.....	75
Anexo 12. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el ap paquisha según condiciones de demanda con proyección a 10 años.....	78
Anexo 13. Certificación de traducción del resumen.	81

1. Título

Mejoramiento del nivel de voltaje en los alimentadores primarios Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA mediante la ubicación óptima de reguladores.

2. Resumen

La presente tesis trata el mejoramiento del nivel de voltaje en los alimentadores primarios Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA mediante la ubicación óptima de reguladores de voltaje. El objetivo principal del estudio es reducir las caídas de voltaje y garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos en la regulación ARCERNNR 002/20 para el nivel de medio voltaje, mejorando con ello la calidad del servicio eléctrico en las áreas abastecidas por estos alimentadores.

Para lograr este objetivo, se utilizaron simulaciones realizadas con el software Cymdist, que, basado en la distribución de carga derivada de la demanda máxima actual y proyectada a 10 años, permitió identificar los puntos críticos con mayores caídas de voltaje. Este software proporcionó un análisis detallado de las redes eléctricas de la EERSSA, facilitando la evaluación y diagnóstico de los alimentadores.

Los resultados indicaron que el alimentador Los Encuentros cumplía con los requisitos de la regulación ARCERNNR 002/20 en un 60% de su longitud total, con caídas de voltaje entre el 6% y el 10%. Por otro lado, el alimentador Paquisha mostraba un cumplimiento en solo un 10% de su longitud, presentando caídas de voltaje que superaban el 20% en algunas zonas. Tras la implementación de reguladores de voltaje y otras soluciones técnicas, se logró reducir las caídas de voltaje a niveles permitidos por la regulación, manteniéndose todas por debajo del 6%, incluso con la proyección de demanda a 5 y 10 años.

Finalmente, se concluye que la instalación de reguladores de voltaje, junto con mejoras adicionales como la repotenciación de redes y el balance de cargas entre fases, resultó ser efectiva para cumplir con los requisitos normativos, reduciendo significativamente los porcentajes de caída de voltaje y garantizando un servicio eléctrico de calidad conforme a la regulación vigente.

Palabras clave

Mejoramiento del voltaje, reguladores de voltaje, caídas de voltaje, calidad del servicio, Cymdist, repotenciación de redes, alimentadores primarios.

Abstract

This thesis deals with the improvement of the voltage level in the primary feeders Paquisha and Los Encuentros of the EERSSA through the optimal location of voltage regulators. The main objective of the study is to reduce voltage drops and ensure compliance with the standards established in the ARCERNNR 002/20 regulation for the medium voltage level, thereby improving the quality of the electrical service in the areas supplied by these feeders.

To achieve this objective, simulations carried out with the Cymdist software were used, which, based on the load distribution derived from the current and projected maximum demand over 10 years, made it possible to identify the critical points with the greatest voltage drops. This software provided a detailed analysis of EERSSA's power grids, facilitating the evaluation and diagnosis of the feeders.

The results indicated that the Los Encuentros feeder met the requirements of the ARCERNNR 002/20 regulation for 60% of its total length, with voltage drops between 6% and 10%. On the other hand, the Paquisha feeder showed compliance in only 10% of its length, presenting voltage drops

that exceeded 20% in some areas. After the implementation of voltage regulators and other technical solutions, it was possible to reduce the voltage drops to levels allowed by the regulation, all of them remaining below 6%, even with the 5 and 10-year demand projection.

Finally, it is concluded that the installation of voltage regulators, together with additional improvements such as the repowering of networks and the balancing of loads between phases, proved to be effective in complying with regulatory requirements, significantly reducing the percentages of voltage drop and guaranteeing a quality electrical service in accordance with current regulations.

Key words

Voltage improvement, voltage regulators, voltage drops, quality of service, Cymdist, network repowering, primary feeders.

3. Introducción

La LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA tiene como uno de sus objetivos, proveer a los consumidores o usuarios finales un servicio público de energía eléctrica de calidad, confiable y seguro (Asamblea Nacional del Ecuador, 2020).

Dentro de su estructura institucional el estado, a través de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables-ARCERNNR ejerce la función de controlar a las empresas eléctricas, en lo referente al cumplimiento de la normativa, regulaciones y de las obligaciones constantes en los títulos habilitantes pertinentes, y otros aspectos que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable defina.

Actualmente está en vigencia la regulación No. ARCERNNR 002/20 (Codificada) denominada «Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, la cual establece los límites de calidad del producto referente al nivel de voltaje y su evaluación del cumplimiento por las empresas eléctricas de distribución. Una alternativa para mejorar los problemas de bajo o alto voltaje en la red y con ello procurar el cumplimiento de los límites establecidos para la calidad de producto, es considerar la ubicación óptima de reguladores de voltaje en los alimentadores primarios de distribución.

En la literatura especializada, se ha abordado el tema de la ubicación de reguladores de voltaje, sólo con el objetivo de mejorar el perfil de tensión (Worldwide, E. (2015). En este trabajo se propone una metodología para la ubicación de reguladores de tensión, que permite mejorar el perfil de tensión y reducir pérdidas técnicas en un sistema de distribución, cumpliendo los límites de regulación vigente y una adecuada gestión de la energía.

Actualmente se ha identificado los alimentadores con las mayores caídas de voltaje a nivel de redes de MV, sin embargo, no se ha determinado la ubicación óptima de reguladores de voltaje considerando la demanda proyectada con la finalidad de evitar el incumplimiento a los límites para la calidad de producto establecidos en la regulación ARCERNNR 002/20.

Inicialmente se describe la topología actual, demanda y perfiles de voltaje de los alimentadores primarios. Seguidamente se describe la metodología para la solución del problema de optimización y por último se presentan los resultados de haber aplicado la metodología a dos casos de pruebas considerando proyecciones de demanda a 10 años.

El objetivo principal de esta investigación es determinar la ubicación óptima de los reguladores de voltaje en los alimentadores primarios de EERSSA de 22 kV Paquisha y Los Encuentros, con el fin de mejorar la calidad del producto y cumplir con los límites establecidos actualmente en la regulación vigente.

4. Marco teórico

4.1 Capítulo I: Sistemas Eléctricos de Potencia y Sistema Eléctrico de la EERSSA

4.1.1 Sistema eléctrico de la EERSSA

El Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) de la EERSSA recibe potencia y energía del Sistema Nacional Interconectado (SNI) a través de cuatro puntos de entrega. Tres de estos puntos están conectados a voltajes de 138 kV y 69 kV mediante autotransformadores trifásicos ubicados en las subestaciones de Loja, Yanacocha y Cumbaratza. El cuarto punto está aislado y opera a 230 kV, correspondiendo a la subestación Bomboiza, donde se lleva a cabo la comercialización de energía a los consumidores mineros Lundin Gold y Ecuacorriente S.A. Estas subestaciones eléctricas son parte de CELEC EP TRANSELECTRIC (EERSSA, 2021).

4.1.2 Subestaciones

Las subestaciones, que suman un total de 22 en el sistema de subtransmisión, tienen una capacidad instalada combinada de 147,6 MVA. Actualmente, las subestaciones Obrapía (01), San Cayetano (02), Catamayo (05) y Cumbaratza (23) juegan un papel crucial, ya que reciben directamente energía del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y actúan como puntos de enlace para las demás subestaciones. Estas subestaciones se clasifican según su función en elevación, interconexión y distribución.

4.1.3 Subtransmisión

Longitud de líneas de subtransmisión: 542,75 km

Número de subestaciones: 22

Número de transformadores potencia: 25

Capacidad en transformadores potencia: 147,6 MVA

4.1.4 Distribución Primaria

Longitud de alimentadores primarios: 8,558 km

Número de alimentadores primarios: 77

Número de transformadores distribución: 19,410

Capacidad en transformadores distribución: 375,70 MVA

(3) Plan Estratégico EERSSA 2022-2025.

4.1.5 Distribución Primaria en la región Oriental

El sistema eléctrico de la región cuenta con diversas infraestructuras clave que garantizan el suministro de energía eléctrica a las comunidades locales. Entre estas infraestructuras se destacan las subestaciones eléctricas de Cumbaratza, Yantzaza, El Pangui y Bomboiza, nodos fundamentales que facilitan la distribución eficiente de la energía.

Estas subestaciones actúan como puntos centrales de conexión y distribución de energía en la región, siendo el punto de partida de alimentadores primarios para la distribución hacia diversas localidades, asegurando que la electricidad llegue a los hogares, empresas y servicios públicos de manera adecuada, la gran mayoría de estos alimentadores son radiales, contando con puntos limitados para mallado o transferencia de carga. Todos los alimentadores son constantemente analizados por personal de la EERSSA para identificar posibles mejoras y optimizaciones que garanticen un suministro eléctrico confiable y eficiente para la comunidad.

En la **Tabla 1** se detallan los alimentadores que forman parte de las subestaciones de la zona Oriental.

Tabla 1. Alimentadores primarios en 22 kV de EERSSA

Subestación Reductora de Distribución 69/22 kV	Alimentador Primario	Tipo	Potencia Instalada (kW)
17 (E.E. Sur / Yanzatza)	1721 (Yantzaza 3)	U (Urbano)	10906
	1723 (Hospital Yantzaza)	R (Rural)	2805
	1724 (Paquisha)	R (Rural)	12283
	1725 (La Saquea)	R (Rural)	2161
	2511 (El Ingenio)	R (Rural)	4158,5
	2512 (Amaluza 2)	U (Urbano)	2893,5
24 (E.E. Sur / El Pangui)	2421 (El Pangui)	R (Rural)	5166
	2422 (El Pangui 2)	U (Urbano)	1020
	2423 (Los Encuentros)	R (Rural)	9042,5
23 (E.E. Sur / Cumbaratza)	2325 (Hospital Zamora)	U (Urbano)	0
	2326 (Zamora 3)	R (Rural)	290
	2327 (Yantzaza 2)	R (Rural)	1185,5
03 (E.E. Sur / Móvil)	321 (Bomboiza)	U (Urbano)	14132,5

Fuente: (ArcGIS EERSSA, 2024)

4.2 Capítulo II: Ente Regulador y Normativa Vigente

4.2.1 Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables-ARCERNNR

La Agencia De Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables-ARCERNNR ex Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, es el organismo técnico administrativo encargado del ejercicio de la potestad estatal de regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses del consumidor o usuario final.

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad es una institución de derecho público, con personalidad jurídica, autonomía administrativa, técnica, económica y patrimonio propio; está adscrita al Ministerio de Electricidad y Minas.

Entre las Atribuciones y deberes de la ARCERNNR constan las siguientes:

- a. Regular aspectos técnico-económicos y operativos de las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general;
- b. Dictar las regulaciones a las cuales deberán ajustarse las empresas eléctricas; el Operador Nacional de Electricidad (CENACE) y los consumidores o usuarios finales; sean estos públicos o privados, observando las políticas de eficiencia energética, para lo cual están obligados a proporcionar la información que le sea requerida;
- c. Controlar a las empresas eléctricas, en lo referente al cumplimiento de la normativa y de las obligaciones constantes en los títulos habilitantes pertinentes, y otros aspectos que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable defina; (Art.14, LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA).

4.2.2 Regulación No. ARCERNNR 002/20 (Codificada)

En sesión de Directorio Extraordinario de 06 de enero de 2023, mediante Resolución No. ARCERNNR 003/2023, el Directorio de la ARCERNNR aprobó y expidió las reformas y la codificación de la Regulación Nro. ARCERNNR 002/20 denominada «Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica»; y, En ejercicio de las atribuciones y deberes otorgadas a la ARCERNNR (artículo 15 numerales 1 y 2) y a su Directorio (artículo 17 numeral 2) por la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica; el Directorio de la ARCERNNR, Resuelve Expedir la Regulación No. ARCERNNR 002/20 (Codificada) denominada «Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica».

El objetivo de esta regulación es establecer los indicadores, índices y límites de calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica; y, definir los procedimientos de medición, registro y evaluación a ser cumplidos por las empresas eléctricas de distribución y consumidores, según corresponda.

La presente regulación es de cumplimiento obligatorio para las empresas eléctricas de distribución, para el CENACE cuando corresponda, y para los consumidores regulados y no regulados conectados a la red de distribución.

En la presente regulación existe la descripción de los atributos de calidad para las empresas distribuidoras la cual evalúa la calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica desde el criterio de calidad del producto la misma que considera los siguientes parámetros:

- a. Nivel de voltaje
- b. Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)
- c. Distorsión armónica de voltaje
- d. Desequilibrio de voltaje

Para el presente estudio nos enfocaremos en el análisis del nivel de voltaje con base en el índice y límites establecidos en la regulación.

La calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k = Variación de voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en un punto k.

V_k = Voltaje de suministro en un punto k, que se determina como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

V_N = Voltaje nominal en un punto k.

Los rangos de voltaje admitidos se describen en la **Tabla 2**:

Tabla 2. Rango de límites para el nivel de voltaje en Ecuador.

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 6,0 %
Bajo Voltaje	± 8,0 %

Fuente: Regulación ARCERNR 002/20 (Codificada)

El criterio de Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición por parte de la distribuidora se da cuando el 95% o más de los registros de las variaciones de voltaje, en todas y cada una de las fases, en el período de evaluación de al menos siete (7) días continuos, se encuentran dentro del rango admisible (ver **Tabla 3**).

Tabla 3. Rangos admisibles +/- para el nivel de medio voltaje en Ecuador.

Nivel de Voltaje	Medio Voltaje	
	Rango admisible	
kV	-6%	+6%
13,8	12,97	14,63
22	20,68	23,32

4.2.3 Medición de la calidad de producto, parámetro nivel de voltaje

En aplicación de las disposiciones dadas por la agencia de regulación respecto de la implementación de las campañas de medición, las distribuidoras deberán realizar las siguientes acciones:

- Establecer un plan anual para las campañas de medición, que determine la cantidad y los puntos de la red donde se realizarán las mediciones;
- Disponer e instalar los equipos de medida y/o analizadores de red necesarios que permitan evaluar la calidad de producto;
- Medir (en todas las fases), registrar y almacenar los datos medidos;
- Retirar el equipamiento de medición;

- e. Calcular los índices relacionados con la calidad de producto; y,
- f. Verificar el cumplimiento de los límites establecidos.

La cantidad de mediciones, ubicación y periodicidad de las mediciones dependerá del componente y nivel de voltaje a evaluar con base a la **Tabla 4**:

Tabla 4. Selección de puntos para evaluar la calidad de producto (Nivel de Voltaje)

Grupo	Descripción	Cantidad	Tipo de selección
1	Barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	Todas las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	Anual
2	Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	Todos los consumidores servidos en alto voltaje	Anual
4	Medio Voltaje	0,5% del total de consumidores servidos en medio voltaje (No menos de 5)	Mensual

Fuente: Regulación ARCERNNR 002/20 (Codificada)

La distribuidora podrá utilizar los equipos de medida que registren mediciones en intervalos de 15 minutos, siempre y cuando estos equipos tengan la capacidad de registrar todas las variables necesarias para determinar los índices de calidad de producto. Para todos los grupos antes citados se evaluará el cumplimiento de los límites establecidos para el parámetro nivel de voltaje.

4.2.4 Régimen de sanciones por incumplimiento de la calidad de producto

La ARCERNNR en función del informe mensual que entregue la distribuidora y de las acciones de control pertinentes, según lo establecido en la presente regulación para la calidad de producto, determinará el cumplimiento o no de los índices para la calidad de producto para los puntos seleccionados en ese mes para los consumidores de BV, MV, barras de salida de subestaciones y transformadores de distribución.

En caso existan incumplimientos en uno o varios índices, según corresponda, la ARCERNNR iniciará el procedimiento de imposición de sanción a la distribuidora por cada índice incumplido, mismo que, de ser el caso, se establecerá a la distribuidora una sanción de 20 SBU. El procedimiento de imposición de sanción se regirá conforme la regulación expedida para el efecto, No. ARCONEL 002/17 denominada “Procedimiento para la imposición de sanciones”.

4.3 Capítulo III: Identificación y análisis de caídas de voltaje

4.3.1 Caída de Voltaje

La caída de voltaje es un fenómeno frecuente en los circuitos eléctricos que puede ocasionar inconvenientes y afectar el desempeño de los dispositivos conectados. Este fenómeno se define como la diferencia de potencial entre los extremos de cualquier conductor,

semiconductor o aislante, medida en voltios, que representa la reducción de la tensión eléctrica a lo largo del circuito debido a la resistencia encontrada por los electrones al pasar por los componentes de éste. Esta pérdida de energía se disipa en forma de calor a medida que la corriente fluye a través del circuito.

En los circuitos de corriente alterna, la caída de voltaje depende de la carga, el factor de potencia y la impedancia de los conductores o circuitos de fuerza. La ecuación para calcular la caída de tensión en estos circuitos es:

$$V\% = I \times Z \quad (2)$$

donde:

V% es la caída de voltaje,

I es la corriente de carga, y

Z es la impedancia.

Es importante destacar que esta ecuación corresponde a la Ley de Ohm aplicada a circuitos de corriente alterna, que a menudo involucran combinaciones de resistencias, capacitancias e inductancias.

La caída excesiva de voltaje en cualquier sistema eléctrico puede tener consecuencias negativas significativas. Puede poner en riesgo máquinas y herramientas en plantas industriales, aumentar la corriente y, por lo tanto, el calentamiento en los conductores, lo cual puede dañar su aislamiento y la instalación en general. Este aumento de corriente también resulta en un mayor consumo eléctrico, lo que se traduce en costos financieros adicionales. Es por ello que, la gestión adecuada de la caída de voltaje es fundamental para evitar estos problemas y cumplir con las normativas y estándares establecidos.

La caída de voltaje en los sistemas eléctricos es un fenómeno que indudablemente se presenta en cualquier sistema eléctrico residencial o industrial. No se puede evitar, pero sí se puede controlar a fin de evitar riesgos y cumplir con normas y estándares establecidos (Ruiz, 2020).

4.3.2 Caída de Voltaje en los alimentadores primarios Los Encuentros y Paquisha

Los alimentadores objeto de estudio presentan las siguientes características:

Alimentador Paquisha: 340 km aprox. 12283 kVA y 4693 Clientes.

Alimentador Los Encuentros: 338 km aprox. 9042.5 kVA_3727 Clientes.

En cumplimiento con la Regulación Nro. ARCERNR 002/20, que establece los estándares para la calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica,

- a. Controles electrónicos con características avanzadas que admiten tecnología de red inteligente y comunicaciones SCADA.
- b. Control multifásico.
- c. Cambiadores de derivación, lo que mejora la calidad de la energía al proporcionar una recuperación más rápida de grandes oscilaciones de voltaje.

4.4.2 Métodos de regulación

A continuación, se describen algunos métodos para regular voltaje, aunque no todos pueden implementarse en sistemas eléctricos de distribución radial (Mendoza, 2017).

4.4.2.1 Instalación de reguladores de voltaje tipo subestación.

Como se conoce, las subestaciones de transformación alimentan diferentes tipos de carga: industrial, comercial, residencial, con ciclos de carga diferentes, longitudes y calibres de conductores diferentes, etc. Cuando esto ocurre es muy difícil proporcionar el nivel adecuado de voltaje a cada alimentador (Mendoza, 2017).

La regulación individual desde la cabecera de cada uno de alimentadores primarios en la subestación es independiente según cada una de sus necesidades, lo que permite alimentar desde una misma subestación alimentadores con diferentes tipos de carga, calibres de conductores, longitudes y distancia al primer consumidor.

4.4.2.2 Regulación con regulador de voltaje por fases.

Los equipos reguladores de voltaje son instalados mediante un análisis que muestra su ubicación óptima en cualquier lugar del alimentador. En este punto el equipo toma la sobretensión o la subtensión y lo transforma al valor apropiado.

Pueden ser monofásicos o trifásicos; los reguladores monofásicos brindan la ventaja de regular la calidad de voltaje sobre cada fase, realizando una corrección sobre la necesidad de cada una en particular. En el regulador trifásico el muestreo se realiza sobre una fase y la corrección es la misma para las tres fases; sin embargo, permiten ajustar de manera simultánea y coordinada el voltaje en las tres fases del sistema eléctrico, lo cual garantiza un equilibrio adecuado entre las fases y una estabilidad general del sistema.

Además, al utilizar un único regulador trifásico en lugar de varios reguladores monofásicos, se simplifica la instalación y el mantenimiento, lo que reduce la complejidad del sistema eléctrico, disminuyendo los puntos de falla potenciales y facilitando las labores de mantenimiento y reparación.

4.4.2.3 Uso del Cambiador de derivación bajo carga del transformador de potencia.

El mecanismo de cambiador de derivación bajo carga (LTC por sus siglas en inglés: Load Tap Changing), es aplicado a transformadores de potencia en la subestación de transformación, para mantener constante el nivel de voltaje en el lado del secundario, ante una variación del voltaje en el primario, o tener un voltaje de salida constante a lo largo de todo el alimentador, ante variación de la carga.

Los cambiadores de derivación bajo carga de los transformadores son en realidad una combinación de un transformador y un regulador de voltaje del tipo de pasos; el cambio de derivación se efectúa por medio de un interruptor en aceite, el cual proporciona la regulación de voltaje $\pm 10\%$, $\pm 7,5\%$ y $\pm 5\%$, los cuales son porcentajes de regulación típicos para estos equipos (Mendoza, 2017).

4.4.3 Repotenciones.

4.4.3.1 Topología.

Los circuitos de distribución típicamente inician en la subestación, desde donde salen los alimentadores primarios que alimentan a los transformadores de distribución. Este recorrido puede ser realizado de varias maneras o topologías.

De acuerdo con Castro (2016) en forma general se establecen tres tipos fundamentales de topologías en sistemas de distribución:

- a. Radial: es la transferencia de potencia desde la fuente hacia la carga en una sola trayectoria, por lo que cualquier falla en uno de sus nodos interrumpe la alimentación a la carga (ver **Figura 1**).

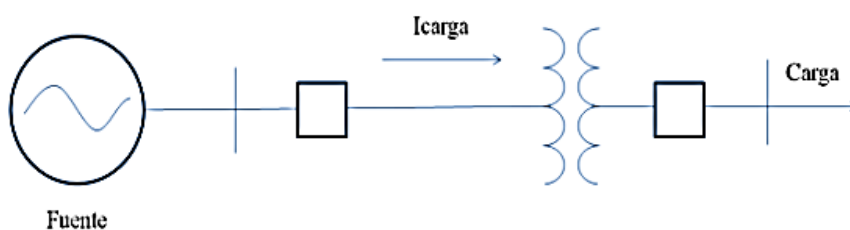


Figura 1. Topología radial para distribución.

Fuente: (Castro, 2016)

- b. Anillo: permite transferencia de potencia entre fuentes y cargas por dos trayectorias (ver **Figura 2**).

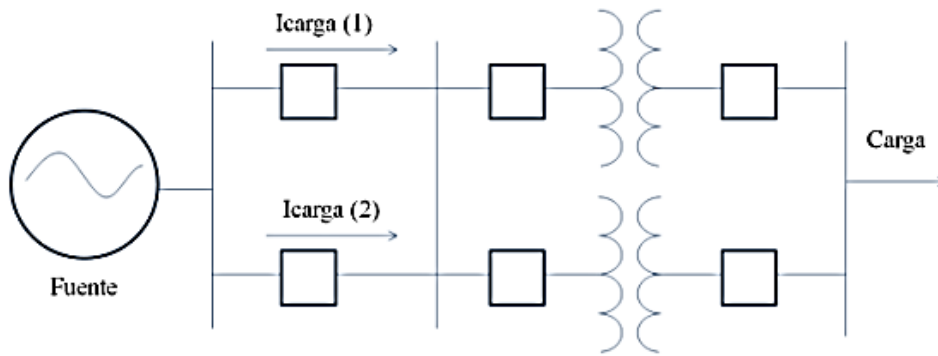


Figura 2. Topología en anillo para distribución.

Fuente: (Castro, 2016)

- c. Mallada: permite la transferencia de potencia entre fuentes y cargas por distintas trayectorias aumentando la confiabilidad del sistema. (ver **Figura 3**).

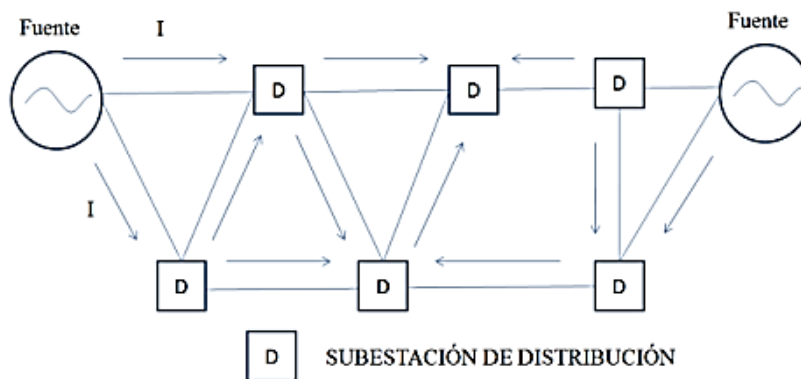


Figura 3. Topología mallada para distribución.

Fuente: (Castro, 2016)

Las caídas de voltaje se presentan en cualquier topología, debido a la impedancia asociada a los materiales de cada uno de los elementos que conforman la red y varían principalmente debido al aumento en la carga (Castro, 2016).

Reconfiguración de Red.

La reconfiguración es un proceso que altera la estructura topológica de una red eléctrica cambiando con la finalidad de encontrar la estructura radial del sistema que minimiza algún objetivo previamente definido, como es el caso de la caída de voltaje; es decir, son opciones o trayectorias de posibles alternativas para el flujo de la energía, la cual se realiza con la finalidad de mejorar el funcionamiento de la red (Figuroa, 2013).

Para realizar reconfiguraciones en un sistema de distribución se deben tomar en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- a. Sobrecargas en los alimentadores.
- b. Caídas de Voltajes.

- c. Pérdidas.
- d. Maniobras.
- e. Crecimiento de la demanda.
- f. Confiabilidad del sistema reconfigurado
- g. Nivel de complejidad de la reconfiguración (Castro, 2016).

4.4.3.2 Cambio de líneas monofásicas a trifásicas.

En el sistema eléctrico, el suministro de energía enfrenta desafíos de estabilidad de voltaje debido a las variaciones en la corriente de carga, en la transmisión y en la generación. Con el fin de cumplir con la responsabilidad de proporcionar un suministro de energía confiable y de calidad, las empresas eléctricas buscan soluciones que les permitan ofrecer a sus clientes energía eléctrica en condiciones óptimas. Esto implica garantizar tanto la continuidad del suministro como los niveles de voltaje dentro de los parámetros establecidos por el ente regulador.

Una de las opciones más convenientes es el cambio de líneas monofásicas a trifásicas. En una topología radial los alimentadores tienen muchas derivaciones en una sola fase, incrementando el desbalance en cabecera además de las caídas de voltaje a lo largo de todo el alimentador y de los tramos monofásicos. Sin embargo, si se agregan 2 conductores más se contará con un sistema trifásico el cual no sólo nos permitirá dividir la carga existente entre las tres fases, sino que también reduce la caída de voltaje (Mendoza, 2017).

4.5 Capítulo V: Modelación

4.5.1 Simulación de Sistemas Eléctricos

La gestión y planificación de los sistemas eléctricos demanda de análisis y evaluación del rendimiento y la identificación de soluciones frente al crecimiento del sistema, así como al incumplimiento de los estándares reguladores del sector. Para realizar este proceso es necesario contar con herramientas avanzadas, las cuales simplifican y optimizan estas tareas, permitiendo un modelado preciso de los componentes del sistema y la simulación de una amplia gama de fenómenos eléctricos.

Estas herramientas de análisis no solo facilitan la evaluación del desempeño de cada sistema eléctrico de manera individualizada, sino que también permiten anticipar posibles problemas antes de que impacten en la operatividad de la red.

La evolución tecnológica ha impulsado el desarrollo de herramientas más sofisticadas, como sistemas de gestión de energía y herramientas de optimización de la red, que integran datos en tiempo real y algoritmos avanzados para maximizar la eficiencia y la confiabilidad del sistema eléctrico.

4.5.2 Software CYME

El software CYME es una herramienta enfocada y poderosa que se utiliza para modelar todo el sistema de distribución y abordar las necesidades de la simulación en cuanto a los análisis de capacidad, contingencia, calidad de energía y optimización (CYME International T&D Inc., 2013).

4.5.2.1 Análisis del sistema de distribución.

CYMDIST es el paquete base para el análisis del sistema de distribución del software CYME. Agrupa todas las herramientas de modelado y análisis necesarias para realizar los diversos tipos de simulaciones involucradas en la planificación del sistema de distribución eléctrica. Los motores de cálculo admiten modelos de distribución balanceados o desbalanceados que se construyen con cualquier combinación de fases y funcionan en configuraciones de tipo radial, anillado o mallado (CYME International T&D Inc., 2013).

El paquete CYMDIST comprende los siguientes análisis:

- a. Flujo de carga desbalanceado
- b. Distribución y estimación de carga
- c. Análisis de fallas
- d. Caídas de tensión
- e. Balance de carga
- f. Dimensionamiento y ubicación óptima del condensador, entre otros.

4.5.2.2 Flujo de carga.

El desempeño de régimen permanente del sistema de energía bajo diversas condiciones de operación se simula utilizando el análisis de flujo de carga de CYMDIST. Es la herramienta básica de análisis para la planificación, el diseño y la operación de cualquier sistema de energía eléctrica.

- a. Caída de tensión balanceada y desbalanceada: presenta una técnica iterativa diseñada y optimizada específicamente para los sistemas radiales o ligeramente mallados; e incluye un algoritmo completo para redes trifásicas desbalanceadas que calcula las tensiones de fase.
- b. Flujo de carga desbalanceada Newton-Raphson – Toma en cuenta las redes secundarias subterráneas (sistemas mallados en zonas urbanas), instalaciones de baja tensión y sistemas de subtransmisión conectados a los sistemas de distribución.

Los resultados del análisis integral incluyen la tensión, la corriente, el factor de potencia, las pérdidas, las condiciones anormales y los factores desequilibrados. Los resultados se pueden ver para todo el sistema o para ubicaciones individuales.

5. Metodología

5.1 Área de trabajo

Las subestaciones Yantzaza y El Pangui se encuentran ubicados en la provincia de Zamora Chinchipe, área de concesión Oriental de la EERSSA. Desde estas subestaciones se derivan los alimentadores primarios Paquisha y Los Encuentros, respectivamente. El recorrido es como a continuación se indica:

5.1.1 Alimentador Paquisha

Este alimentador actualmente tiene una potencia nominal instalada de 12,563 kVA y una demanda máxima de 2,288 kW y provee energía eléctrica a los cantones de Paquisha y Guayzimi, que incluyen poblaciones como Nuevo Quito, La Pangui, Las Orquídeas, Miazzi, Nuevo Paraíso, entre otras con un total de 4,757 clientes. La configuración del alimentador es predominantemente radial, con aproximadamente un 40% de redes trifásicas y un 60% de redes monofásicas. Opera a un nivel de voltaje de 22,000/12,700 V y el calibre de conductores existentes se encuentra en el rango de 4/0 a 2 AWG (ver **Figura 4**).

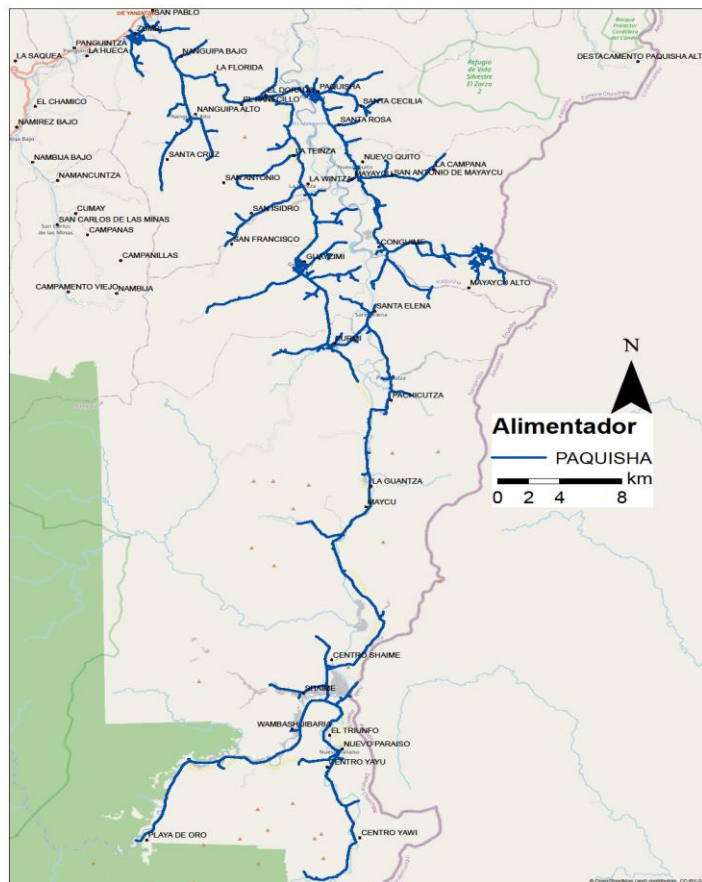


Figura 4. Topología y trazado de la red de MV del alimentador Paquisha.

Fuente: GEOPORTAL EERSSA

5.1.2 Alimentador Los Encuentros

Este alimentador actualmente tiene una potencia nominal instalada de 9,290 kVA y una demanda máxima de 1,109 kW provee energía eléctrica al cantón Los Encuentros y a parte del cantón Yantzaza que incluyen poblaciones como: Pachicutza, Shakai, El Pincho, El Zarza, Bellavista, Chicaña, San Vicente, entre otros con un total de 3,772 clientes. La configuración del alimentador es predominantemente radial, con aproximadamente un 60% de redes trifásicas y un 40% de redes monofásicas. Opera a un nivel de voltaje de 22,000/12,700 V y el calibre de conductores existentes se encuentra en el rango de 4/0 a 2 AWG (ver Figura 5).

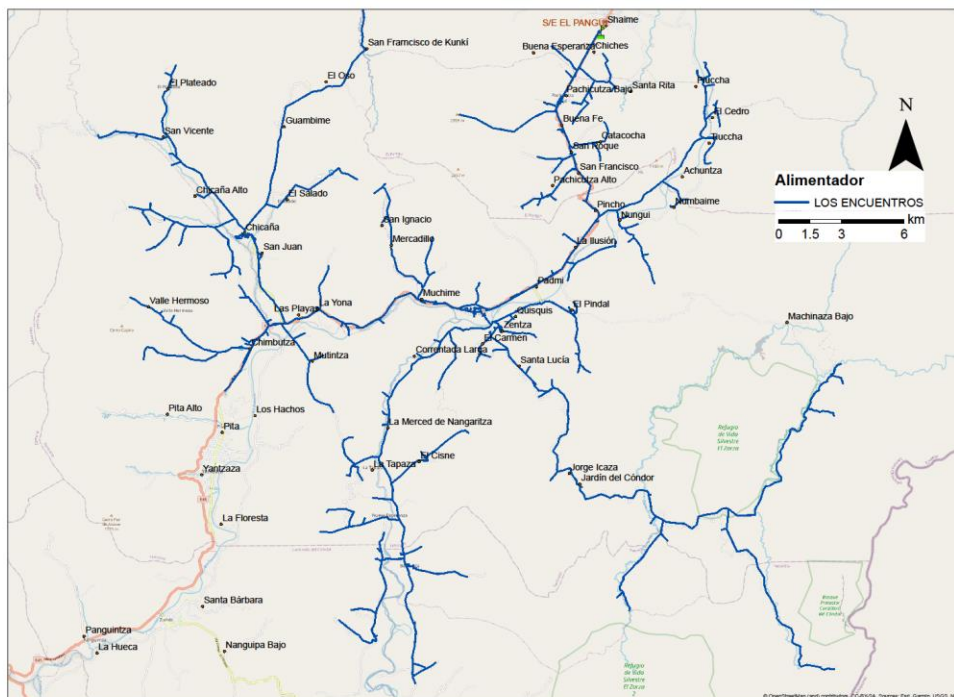


Figura 5. Topología y trazado de la red de MV del alimentador Los Encuentros.

Fuente: GEOPORTAL EERSSA

5.1.3 Equipos y materiales

Equipos y/o software: SCADA, Pc, CYME y ArcGis

Materiales:

- Regulación vigente de calidad de servicio técnico
- Base de datos de alimentadores primarios en 22 kV Los Encuentros y Paquisha
- Históricas de Mediciones SCADA en cabecera y reconectores.
- Tratamiento de datos y proyecciones de la Demanda
- Resultados de simulaciones en casos actual y proyectado
- Módulo Ubicación óptima de reguladores de tensión de CYME.

5.2 Procedimiento

Con el propósito de cumplir con los objetivos planteados en esta tesis, se detallan a continuación los procedimientos y actividades llevadas a cabo, los cuales se encuentran desagregados según los objetivos específicos.

5.2.1 Primer objetivo

Determinar los niveles de voltaje de operación de los alimentadores Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA durante los períodos de demanda máxima y evaluar si cumplen con los límites establecidos en la regulación ARCERNR 002/20 para el nivel de voltaje en MV.

5.2.1.1 Proyección de la demanda.

Para el presente trabajo la proyección de la demanda eléctrica a largo plazo (10 años) es fundamental para determinar la carga a servir a futuro en cada alimentador, con la finalidad de dimensionar adecuadamente los reguladores de voltaje a instalar y determinar la ubicación óptima de los mismos con la finalidad de cumplir con los límites de voltaje establecidos en la regulación vigente.

Para determinar la tasa media de crecimiento de la demanda de potencia se emplea la fórmula de interés compuesto despejando la tasa de interés/crecimiento:

$$i = \sqrt[n]{\frac{M}{P}} - 1 \quad (3)$$

Donde:

i = Tasa de crecimiento.

n = Periodo en años.

M = Valor futuro de demanda en kW.

P = Valor presente de demanda en kW.

Para obtener la tasa de crecimiento de la demanda se ha empleado los datos publicados en el Plan Maestro de Electricidad 2018-2027, Capítulo 3: Estudio de la Demanda Eléctrica, Anexo 3.6 Previsión de la demanda anual de potencia de la Empresa Eléctrica Sur (E.E.Sur) (pag.117).

$$i = \sqrt[9]{\frac{91}{65}} - 1 = 0.03809$$

$$i = 0.03809 \times 100 = 3.81\%$$

Con la tasa obtenida se procede a calcular la demanda proyectada para 15 años a partir de la demanda máxima del primer semestre del año 2024.

Además, estas proyecciones se utilizan para analizar el alcance y la composición de proyectos de ampliación del suministro y generación eléctricas. Para llevar a cabo este cálculo, se consideran variables como el consumo histórico, datos macroeconómicos y demográficos.

Para este caso se emplea la metodología de series temporales con datos históricos de los años de la demanda máxima de cada alimentador obtenidos del SCADA de EERSSA.

El Coeficiente de determinación (R^2): Mide la proporción de la varianza en los datos que se explican por el modelo. Un valor cercano a 1 indica una buena predicción, en el presente trabajo se obtuvo un valor de 0,9276. Como resultado se determinó que en ambos alimentadores se presenta una tasa de crecimiento del 3,81% de la demanda proyectada a 10 años. (Ver **Figura 6**)

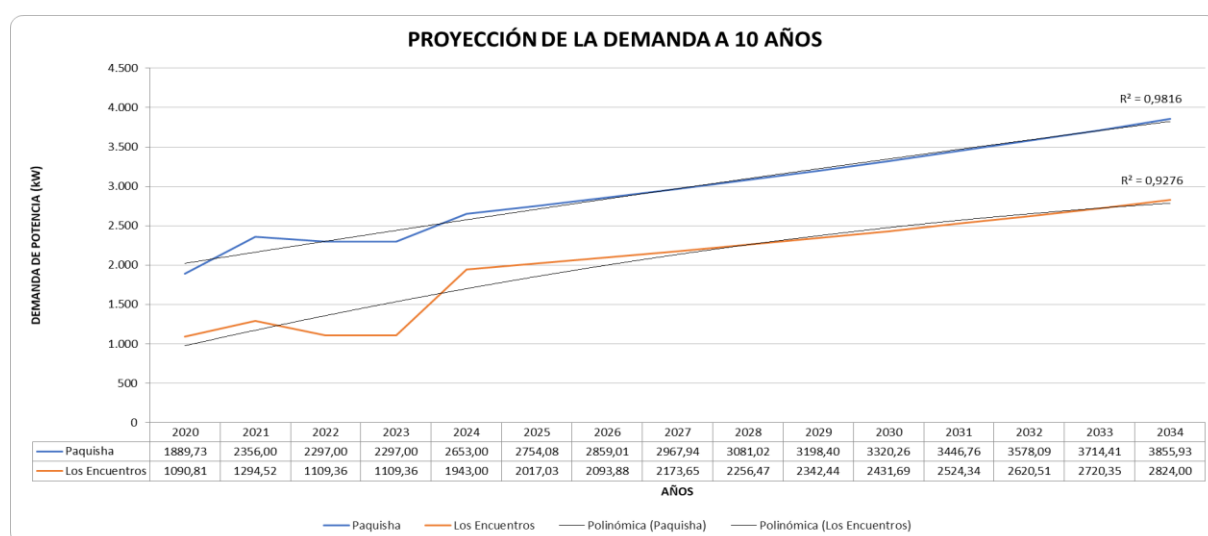


Figura 6. Tendencias del crecimiento de la proyección de la demanda.

5.2.1.2 Modelado de la red.

Para cumplir con el objetivo, se realizó un modelado detallado de la red de distribución utilizando el software Cymdist, el cual incluyó los siguientes pasos:

- **Definición de componentes:** Para la simulación se tomó directamente las bases de datos de los alimentadores Paquisha y Los Encuentros que dispone la EERSSA, en las cuales se encuentran todos los componentes relevantes de la red de distribución, incluyendo transformadores, líneas de alimentación, seccionadores y cargas conectadas.
- **Asignación de cargas:** Se asignó la capacidad conectada en kVA para cada carga en los alimentadores. Esta capacidad representa la demanda máxima esperada en cada punto de la red durante los períodos críticos.

5.2.1.3 Análisis de distribución de carga.

El análisis de distribución de carga en Cymdist se realizó utilizando el método de capacidad conectada en kVA. Los pasos son:

- **Configuración del método:** En la pestaña de "Análisis de distribución de carga," se seleccionó el método de capacidad conectada en kVA, ya que este método permite modelar las cargas en términos de su potencia aparente y simular cómo se distribuye la carga a través de la red.
- **Cálculo de la distribución de carga:** Mediante el programa se realizó el cálculo de la distribución de la carga a lo largo de los alimentadores Paquisha y Los Encuentros, considerando las impedancias de las líneas y transformadores, así como las características de cada carga conectada, con lo cual se evaluó el impacto de las cargas en los alimentadores Paquisha y Los Encuentros.

5.2.1.4 Análisis de flujo de carga

Para evaluar los niveles de voltaje y cumplir con los requisitos de la regulación ARCERNNR 002/20, se realizaron múltiples corridas de análisis de distribución de carga en Cymdist para los diferentes escenarios de demanda (2024, 2029 y 2034), empleando la pestaña de "Análisis de Flujo de Carga", y se empleó el método de Caída de Tensión Desequilibrada. Este método permite evaluar el impacto de las caídas de tensión en condiciones de carga desequilibrada; una vez aplicado se identificaron si los niveles de voltaje cumplían o no con los límites regulatorios en todas las condiciones operativas.

Finalmente, se revisaron los resultados proporcionados por el software, los cuales nos muestran los detalles del flujo de potencia, incluyendo la potencia activa y reactiva en cada nodo de la red, así como la corriente en cada tramo y las caídas de voltaje necesarias para el análisis del presente trabajo. En cada corrida, se analizaron las caídas de voltaje en función de la demanda proyectada, se identificaron las caídas de voltaje en cada tramo y se compararon con los límites permitidos por la regulación ARCERNNR 002/20.

5.2.2 Segundo objetivo

Identificar los puntos críticos y las zonas más afectadas por las caídas de voltaje en los alimentadores Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA, con el fin de proponer ubicaciones óptimas de reguladores de voltaje u otras soluciones técnicas aplicables que mejoren la calidad del voltaje y cumplan con los valores permitidos por la regulación ARCERNNR 002/20.

5.2.2.1 Identificación de puntos críticos.

Se realizó un análisis de perfil de voltaje para cada escenario de demanda, identificando los puntos donde el voltaje caía por debajo de los niveles permitidos. Además, se localizaron las zonas más afectadas por las caídas de voltaje y se determinaron los puntos críticos en los alimentadores.

5.2.2.2 Determinación de ubicaciones para reguladores de voltaje.

Con base en los puntos críticos identificados, se propusieron ubicaciones óptimas para la instalación de reguladores de voltaje. Posterior a ello, nuevamente se realizaron simulaciones con la inclusión de reguladores de voltaje para evaluar su impacto en la mejora del voltaje a lo largo de cada alimentador y el cumplimiento de los límites regulatorios.

5.2.2.3 Otras soluciones técnicas.

En el caso de no cumplir con los límites establecidos, se consideraron otras soluciones técnicas como:

- **Repotenciación del Alimentador:** Se evaluó el cambio de conductores de las fases y neutro a uno más robusto.
- **Cambio de Derivaciones:** Se consideró el ajuste de derivaciones desde una fase a otra para equilibrar mejor la carga.
- **Construcción de Tramos de Alimentador:** Se evaluó la construcción de nuevos tramos de alimentador para reducir las caídas de voltaje.

Se realizaron simulaciones adicionales con las soluciones técnicas propuestas para verificar su efectividad en la mejora del voltaje y cumplimiento de la regulación.

5.2.3 Tercer objetivo

Elaborar un plan de mejoras técnico y operativo enfocado en la mejora de la infraestructura mediante la instalación de reguladores de voltaje para mejorar el nivel de voltaje en los alimentadores Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA.

Finalmente, para cumplir con el tercer objetivo de la tesis que hace referencia a un plan de mejora de la infraestructura eléctrica con la finalidad de cumplir con los niveles de voltaje en la red de MV. Se consideró la aplicación del criterio instalación de equipos de regulación y repotenciación de la red de MV según corresponda en función de los resultados de flujo de carga obtenidos para condiciones actuales y proyectadas a 5 años y 10 años.

Estas propuestas serán consideradas en función de las políticas de la EERSSA para la presentación de proyecto de costos de calidad los cuales se los realiza anualmente en coordinación y aprobación por parte de la ARCERNNR.

5.3 Procesamiento y análisis de datos

5.3.1 *Primer objetivo*

5.3.1.1 **Modelado de la red y datos de demanda.**

Las demandas para los años 2024, 2029 y 2034 se calcularon mediante proyecciones que partieron del análisis de los datos entregados por el sistema SCADA de la EERSSA. Estas proyecciones reflejaron el crecimiento esperado de carga y fueron ingresadas en Cymdist para la simulación empleando el método de capacidad conectada en kVA para representar la demanda máxima esperada en cada año.

Para el modelado de la red, se emplearon las bases de datos de los alimentadores Los Encuentros y Paquisha que incluyeron todos los componentes de la red como transformadores, líneas de alimentación, interruptores y cargas.

5.3.1.2 **Análisis de distribución de carga.**

Para el análisis se empleó el método de capacidad conectada en kVA para modelar las cargas y calcular cómo se distribuye la carga a través de la red.

Para ello el software calculó la distribución de potencia activa (P) y reactiva (Q) en cada nodo de la red, para la potencia aparente se emplea la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

Donde,

S = Potencia Aparente

P = Potencia Activa

Q = Potencia Reactiva

Asimismo, Cymdist determinó las corrientes en cada tramo de línea (I) y los voltajes en cada nodo (V), considerando las impedancias de las líneas (Z).

5.3.1.3 **Análisis de flujo de carga.**

Se utilizó el método de caída de tensión desequilibrada para evaluar el impacto de las caídas de tensión en condiciones de carga desequilibrada. Los parámetros por defecto del programa se emplearon para garantizar una evaluación estándar.

Para evaluar las caídas de tensión (ΔV) en cada tramo de línea, el software emplea la siguiente fórmula:

$$\Delta V = I \cdot Z \quad (6)$$

Para evaluar los niveles de voltaje en cada nodo se consideraron las caídas de tensión y las demandas proyectadas. El voltaje en cada nodo (V_{nodo}) es ajustado en función de la caída de tensión y el voltaje de suministro inicial ($V_{inicial}$):

$$V_{nodo} = V_{inicial} - \Delta V \quad (7)$$

En donde,

V_{nodo} = Voltaje en cada nodo

$V_{inicial}$ = Voltaje suministrado inicial

ΔV = Caída de voltaje

5.3.1.4 Evaluación del cumplimiento regulatorio

Se compararon los niveles de voltaje obtenidos con los límites establecidos en la Regulación ARCERNNR 002/20, que especifica los rangos permitidos para voltajes en Media Tensión, se verificó si los niveles de voltaje durante los períodos de demanda máxima se mantuvieron dentro de los límites permitidos. Se identificaron los nodos y tramos con incumplimientos y se evaluó la magnitud de las caídas de voltaje.

5.3.2 Segundo objetivo

5.3.2.1 Identificación de puntos críticos.

Se realizó un análisis de perfil de voltaje para identificar los puntos en los que el voltaje caía por debajo de los límites permitidos por la regulación ARCERNNR 002/20. Estos puntos críticos se localizaron cuando se observó que el voltaje comenzaba a incumplir los niveles máximos de caída de tensión permitidos.

Además, se identificaron las zonas más afectadas por las caídas de voltaje y se determinaron las ubicaciones críticas para la instalación de reguladores de voltaje y otras soluciones técnicas.

5.3.2.2 Implementación de reguladores.

Se colocaron reguladores de voltaje en las ubicaciones críticas identificadas y se realizó nuevamente el análisis de distribución de carga y flujo de potencia para evaluar la mejora en los niveles de voltaje.

Se verificó si los niveles de voltaje ajustados cumplían con los requisitos regulatorios y se analizó el impacto de los reguladores en la reducción de las caídas de voltaje.

5.3.2.3 Aplicación de otras soluciones técnicas.

Con los resultados obtenidos luego de la instalación de los reguladores, se consideró el cambio de conductores de las fases y neutro a uno más robusto para mejorar la capacidad de la red., se evaluó también el ajuste de derivaciones desde una fase a otra para balancear mejor la carga. Se propuso, además, la construcción de nuevos tramos de alimentador para reducir las caídas de voltaje.

Finalmente, se realizaron simulaciones adicionales con las soluciones técnicas propuestas para verificar su efectividad en la mejora de la calidad del voltaje y el cumplimiento de la normativa.

5.3.3 Tercer objetivo

Se optará por un cronograma de implementación por etapas de las mejoras según corresponda desde la adquisición de equipos y montaje hasta actividades propias de mantenimiento como balanceo de cargas y repotenciación de tramos de las redes de distribución.

6. Resultados

6.1 Contextualización de los resultados

Tras realizar todas las simulaciones en el software Cymdist, utilizando los datos de demanda actual y las proyecciones a 5 y 10 años, este capítulo presenta el análisis de las caídas de voltaje en los alimentadores Los Encuentros y Paquisha. Los resultados incluyen tanto el estado actual de estos alimentadores como las proyecciones futuras, mostrando cómo la demanda creciente afecta los niveles de voltaje. Además, se analizan los efectos de las soluciones técnicas implementadas, tales como la instalación de reguladores de voltaje, la repotenciación de conductores y el balanceo de cargas, para mitigar estas caídas y garantizar el cumplimiento con los requisitos establecidos por la regulación ARCERNR 002/20.

El objetivo principal de esta sección es proporcionar una comparación detallada entre el estado actual de los alimentadores y las proyecciones futuras, evaluando así la efectividad de las acciones correctivas propuestas. Este análisis permitirá entender cómo las soluciones implementadas contribuyen a mantener los niveles de voltaje dentro de los límites normativos, incluso ante el crecimiento sostenido de la demanda eléctrica, asegurando un servicio eléctrico confiable y de calidad en las áreas servidas por estos alimentadores.

6.2 Análisis del estado actual de los alimentadores

6.2.1 Alimentador Los Encuentros

El alimentador Los Encuentros suministra energía eléctrica al cantón homónimo y abastece diversas poblaciones, incluidas Bellavista, El Padmi, Chicaña, San Vicente, San Roque, y Pachicutza, entre otras. Este alimentador presenta una característica distintiva: cuenta con reguladores de voltaje instalados estratégicamente en el nodo MTA_S_787469, los cuales estabilizan el voltaje aguas abajo, especialmente durante situaciones de transferencia de carga o cuando el alimentador opera en modo mallado con el alimentador Yantzaza 1.

Tras el análisis del flujo de carga, se determinó que aproximadamente el 60% de la longitud total del alimentador se encuentra dentro de los límites de voltaje permitidos por la normativa vigente, como se observa en la **Figura 7**, con su perfil de voltaje representado en la **Figura 8**.

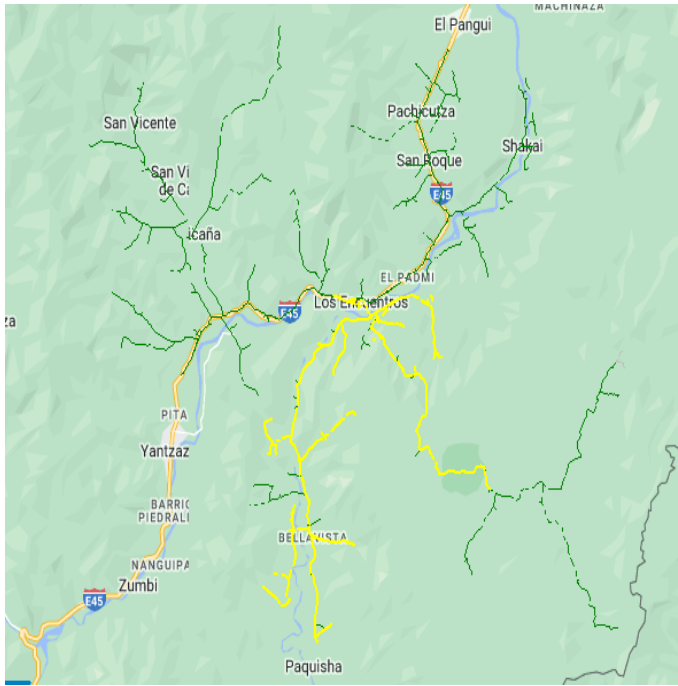


Figura 7. Identificación de caída de voltaje en el AP Los Encuentros año 2024.

Leyenda:

Color	Mayor que (%)	Menor o igual a
Verde	94,0	100,0
Amarillo	90,0	94,0
Naranja	85,0	90,0
Rojo	70,0	85,0



Figura 8. Perfil de voltaje por fase del AP Los Encuentros año 2024.

6.2.2 Descripción de los puntos críticos del alimentador Los Encuentros

La **Tabla 6**. proporciona un resumen detallado de las caídas de voltaje registradas en diversos puntos a lo largo del alimentador, lo que permite identificar con precisión las áreas más afectadas. Los gráficos y datos de respaldo correspondientes se encuentran detallados en el Anexo 1, donde se sustentan los valores indicados.

Tabla 6. Caídas de voltaje actual en diversos sectores del AP Los Encuentros

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
El Padmi	11,9	5,94	SI
Muchime	11,8	7,44	NO
Punto de Transferencia hacia Paquisha	11,7	7,99	NO
El Zarza	12,5	1,92	SI

Las secciones del alimentador que abastecen a las poblaciones de Muchime y Paquisha (Punto de Transferencia hacia Paquisha) son las más críticas en términos de caídas de voltaje, presentando un máximo de caída del 7,44 y 7,99%, respectivamente, este último valor destaca como el más elevado en el análisis del alimentador Los Encuentros.

6.2.1 Alimentador Paquisha

El alimentador Paquisha suministra energía eléctrica a los cantones Centinela del Cóndor, Paquisha y Nangaritza, recorriendo diversas poblaciones, incluidas Zumbi, Paquisha, Nuevo Quito, La Panguí, Guayzimi, Las Orquídeas, Miazi, Shaime y Nuevo Paraíso. Tras realizar un análisis de flujo de carga, se determinó que aproximadamente solo el 10% de la longitud del alimentador cumple con los límites de voltaje establecidos por la normativa vigente, como se observa en la **Figura 9**. El perfil de voltaje correspondiente a este análisis se presenta en la **Figura 10**, destacando las áreas críticas que requieren atención para mejorar el nivel de voltaje del sistema eléctrico.

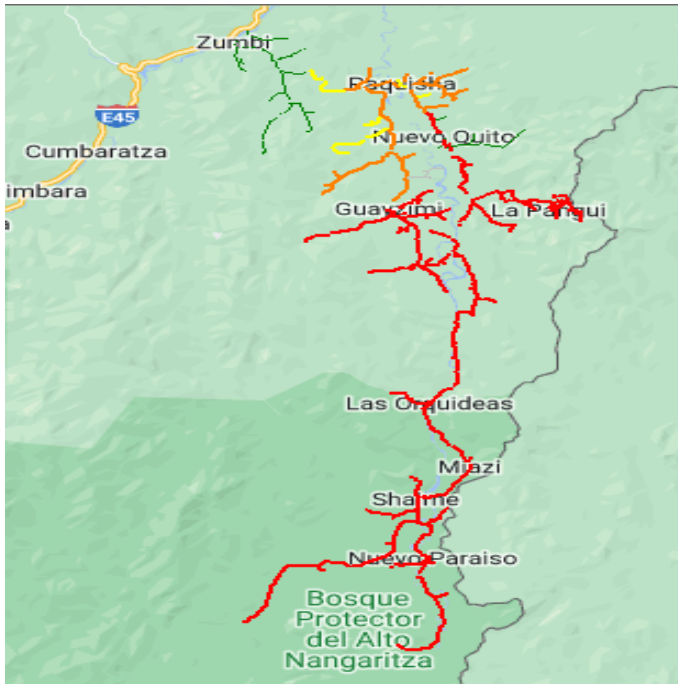


Figura 9. Identificación de caída de voltaje en el AP Paquisha año 2024.

Leyenda:

Color	Mayor que (%)	Menor o igual a
Verde	94,0	100,0
Amarillo	90,0	94,0
Naranja	85,0	90,0
Rojo	70,0	85,0

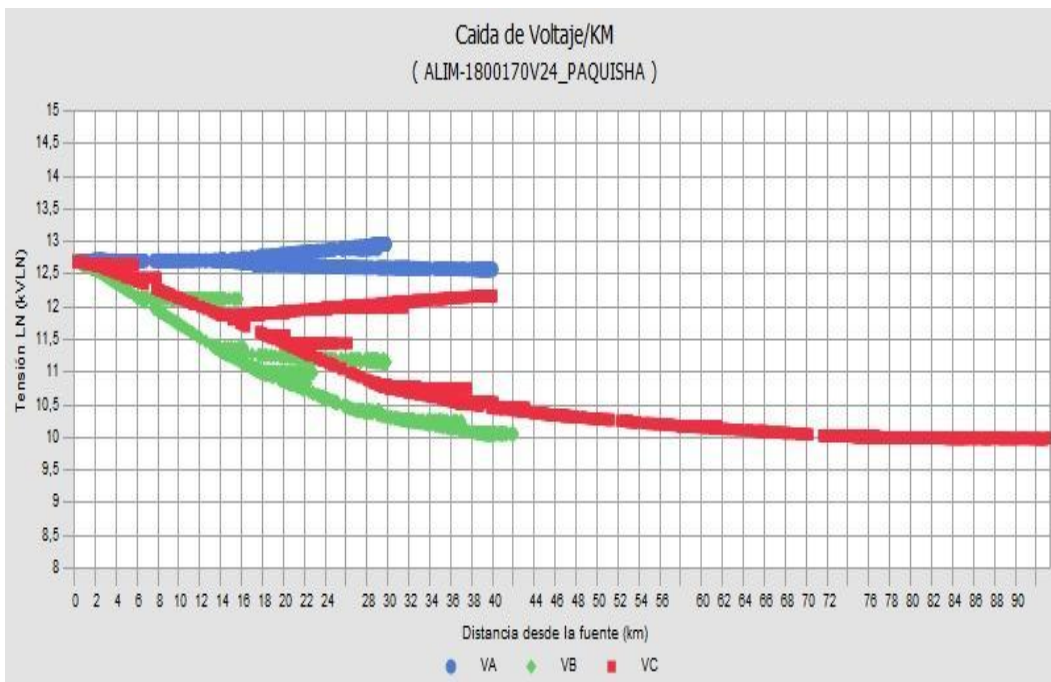


Figura 10. Perfil de voltaje por fase del AP Paquisha año 2024.

6.2.2 Descripción de los Puntos Críticos del alimentador Paquisha

La **Tabla 7.** proporciona el detalle de las caídas de voltaje registradas en diversos puntos a lo largo del alimentador, lo que permite identificar con precisión las áreas más afectadas. Los gráficos y datos de respaldo correspondientes se encuentran detallados en el Anexo 2, donde se sustentan los valores indicados.

Tabla 7. Caídas de voltaje actual en diversos sectores del AP Paquisha

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
La Florida	11,9	5,99	SI
El Dorado	11,5	9,67	NO
Paquisha - Salida a Nuevo Quito	10,8	14,92	NO
La Pangui	10,1	20,75	NO
Guayzimi	10,8	14,96	NO
Sarentza	10	21,43	NO

Las secciones del alimentador que abastecen a las poblaciones de La Pangui y Sarentza (Alto Nangaritzta) son las más críticas en términos de caídas de voltaje, presentando un máximo de caída del 20,75 y 21,43%, respectivamente, aunque cabe recalcar que en general, gran parte del alimentador presenta caídas de voltaje superiores al 10%.

6.3 Análisis de los alimentadores con proyección de la Demanda a 5 y 10 Años

6.3.1 Análisis con Proyección a 5 y 10 Años del alimentador Los Encuentros

La **Tabla 8.** presenta un análisis detallado de las caídas de voltaje registradas en distintos puntos a lo largo del alimentador, considerando un incremento de demanda anual del 3,81% durante un período de 5 años. De manera complementaria, en la **Tabla 9.** se muestra las proyecciones de caídas de voltaje a 10 años bajo el mismo escenario de crecimiento de demanda. Los gráficos y datos de respaldo correspondientes a estas proyecciones se encuentran detallados en los Anexos 3 y 4, los cuales sustentan los valores indicados.

Tabla 8. Caída de Voltaje en AP Los Encuentros proyección a 5 años

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
El Padmi	11,8	7,3	NO
Muchime	11,6	9,01	NO
Punto de Transferencia hacia Paquisha	11,5	9,69	NO
El Zarza	12,4	2,36	SI

Tabla 9. Caída de Voltaje en AP Los Encuentros proyección a 10 años

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
El Padmi	11,6	8,76	NO
Muchime	11,3	10,96	NO
Punto de Transferencia hacia Paquisha	11,2	11,78	NO
El Zarza	12,3	2,79	SI

Los perfiles de voltaje asociados se ilustran en la **Figura 11**, para la proyección a 5 años, y en la **Figura 12**, para la proyección a 10 años, proporcionando una visualización clara de cómo se deteriora el nivel de voltaje en el tiempo si no se implementan medidas correctivas.

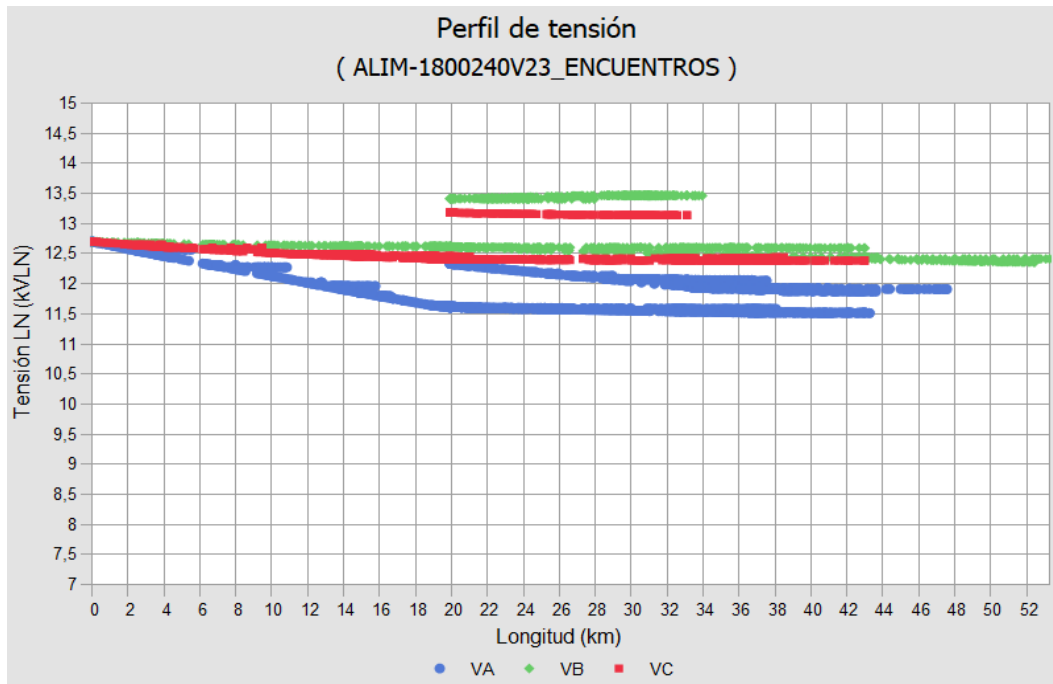


Figura 11. Perfil de voltaje por fase del AP Los Encuentros proyección a 5 años

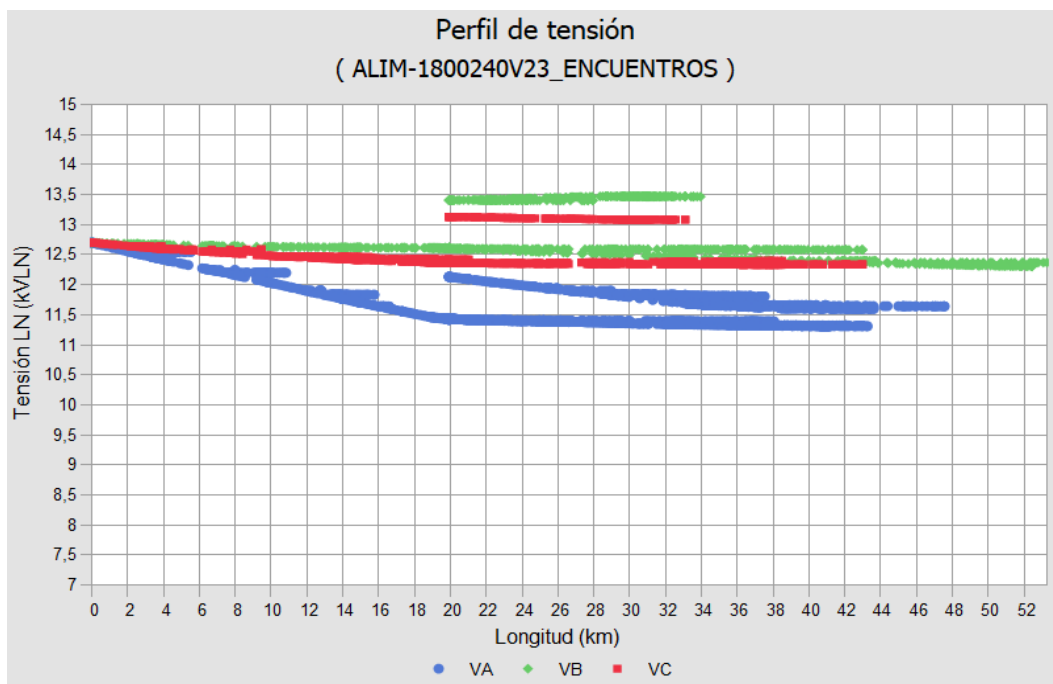


Figura 12. Perfil de voltaje por fase del AP Los Encuentros proyección a 10 años

6.3.2 Análisis con proyección a 5 y 10 Años del alimentador Paquisha

La **Tabla 10.** presenta un análisis detallado de las caídas de voltaje registradas en distintos puntos a lo largo del alimentador, considerando un incremento de demanda anual del 3.81% durante un período de 5 años. De manera complementaria, la **Tabla 11.** muestra las proyecciones de caídas de voltaje a 10 años bajo el mismo escenario de crecimiento de demanda. Los gráficos y datos de respaldo correspondientes a estas proyecciones se encuentran detallados en los Anexos 5 y 6, los cuales sustentan los valores indicados.

Tabla 10. Caída de Voltaje en AP Paquisha proyección a 5 años

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
La Florida	11,8	6,9	NO
El Dorado	11,3	11,08	NO
Paquisha - Salida a Nuevo Quito	10,6	16,65	NO
La Pangui	9,8	22,47	NO
Guayzimi	10,5	17,13	NO
Sarentza	9,4	25,67	NO

Tabla 11. Caída de Voltaje en AP Paquisha proyección a 10 años

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
La Florida	11,7	8,27	NO
El Dorado	11	13,27	NO
Paquisha - Salida a Nuevo Quito	10,2	19,78	NO
La Pangui	9,3	26,63	NO
Guayzimi	10,1	20,2	NO
Sarentza	8,9	30,19	NO

Los perfiles de voltaje asociados se ilustran en la **Figura 13.** para la proyección a 5 años, y en la **Figura 14.** para la proyección a 10 años, proporcionando una visualización clara de cómo se deteriora el nivel de voltaje en el tiempo si no se implementan medidas correctivas.

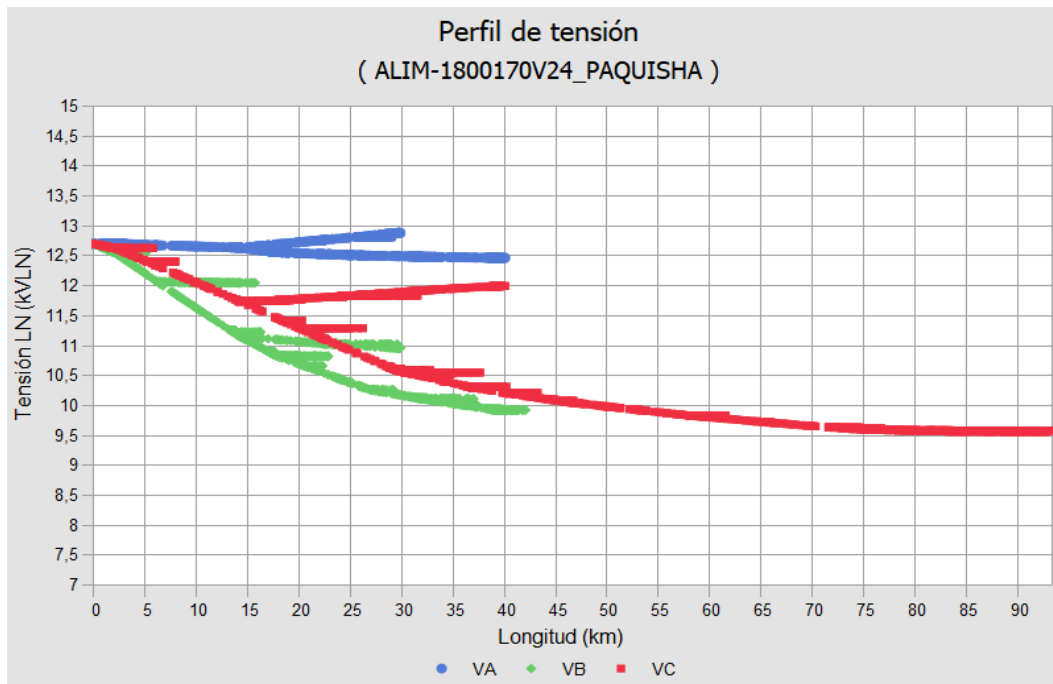


Figura 13. Perfil de voltaje por fase del AP Paquisha proyección a 5 años

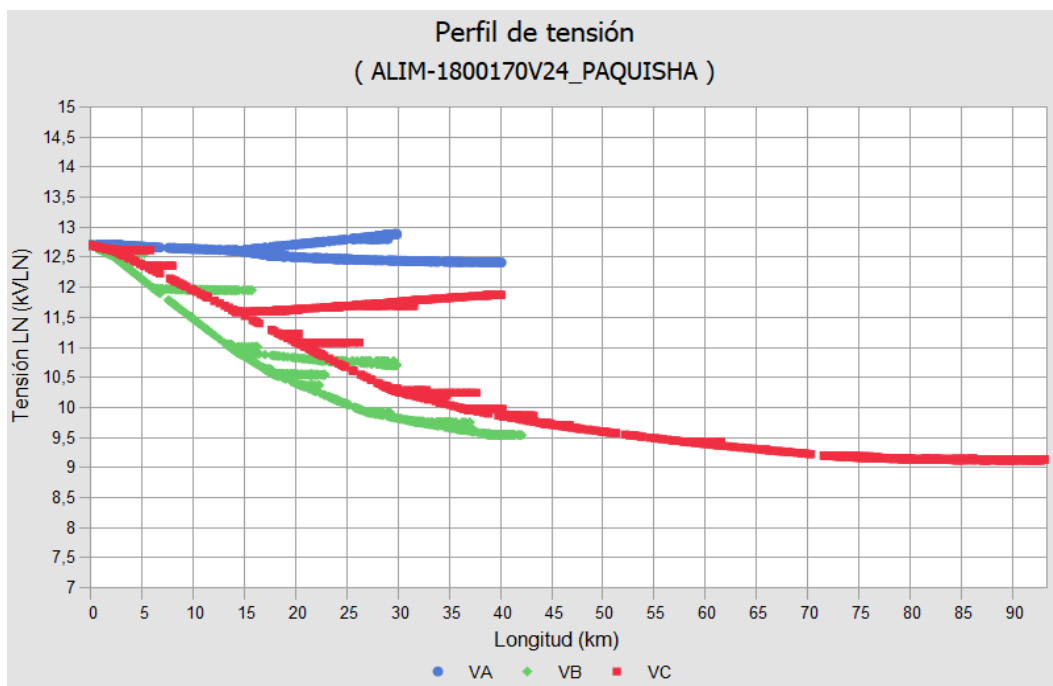


Figura 14. Perfil de voltaje por fase del AP Paquisha proyección a 10 años

6.4 Implementación de soluciones técnicas

Las soluciones implementadas se centraron en la ubicación estratégica de reguladores de voltaje, basándose en el análisis del perfil de voltaje de cada alimentador para identificar con precisión los puntos donde comenzaba el incumplimiento de los límites normativos de voltaje y luego mejorar el nivel del voltaje aguas abajo, especialmente en los puntos críticos de cada alimentador. Además, se implementaron otras soluciones técnicas, como el cambio de calibre

de los conductores en los tramos principales y el balanceo de cargas monofásicas. Este último fue particularmente relevante debido al alto número de conexiones monofásicas distribuidas a lo largo de ambos alimentadores, con un énfasis especial en el alimentador Paquisha.

6.4.1 Acciones correctivas en el alimentador Los Encuentros

6.4.1.1 Para situación actual.

En la Tabla 12 se detallan las acciones implementadas para mejorar las caídas de voltaje con las condiciones actuales de demanda con el fin de optimizar el perfil de voltaje en toda la red para dar cumplimiento a la regulación.

Tabla 12. Acciones correctivas para mejorar la caída de voltaje año 2024.

Acción Correctiva	Descripción	Ubicación
Instalación de Reguladores de Voltaje	Instalación de un conjunto de reguladores para mejorar el nivel del voltaje.	Tramo 259553_MTA-1, Los Encuentros (Derivación hacia Bellavista)
Construcción de Tramo Trifásico	Construcción de un tramo trifásico directo de 400 metros.	Entre los tramos 96944_MTA-1 y 52127_MTA-1, Los Encuentros
Cambio de Fase de Conexión	Cambio de la fase A a la B.	Tramo 285950_MTA-1, Los Encuentros

Los resultados obtenidos tras la implementación de las medidas se presentan en la **Tabla 13**, con las figuras de apoyo correspondientes detalladas en el Anexo 7. Además, el nuevo perfil de voltaje resultante se ilustra en la Figura 15.

Tabla 13. Caída de Voltaje por sector en AP Los Encuentros posterior acciones correctivas año 2024.

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
El Padmi	12,1	4,86	SI
Muchime	12	5,9	SI
Punto de Transferencia hacia Paquisha	12,2	3,74	SI
El Zarza	12,7	-0,22	SI

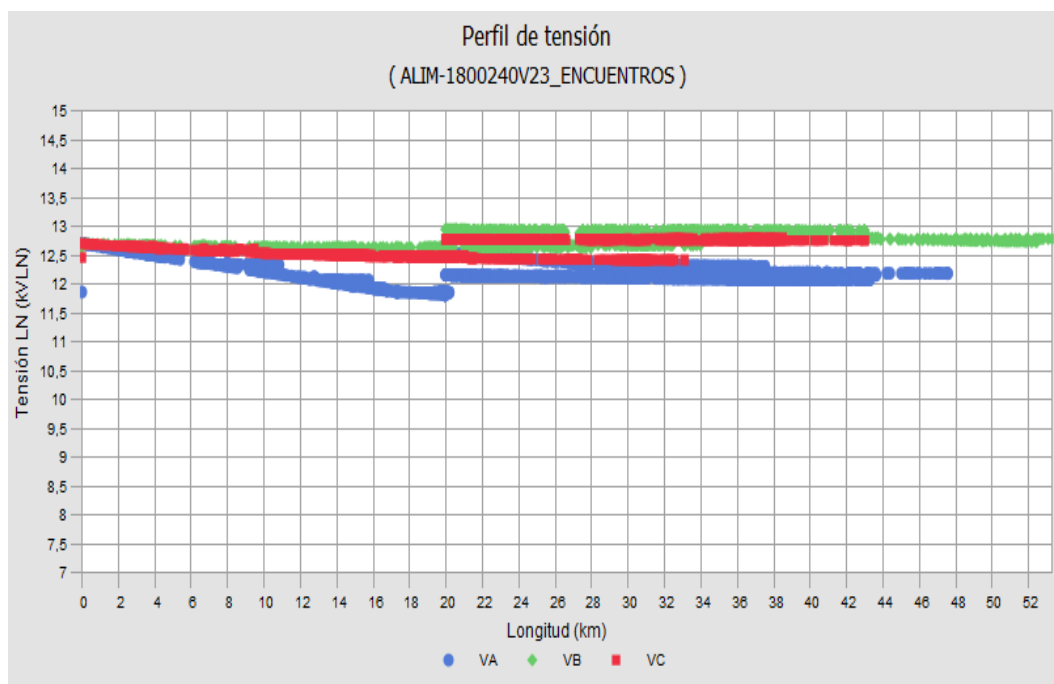


Figura 15. Perfil de voltaje por fase del AP Los Encuentros posterior acciones correctivas año 2024.

6.4.1.2 Para proyección de demanda a 5 años.

En la **Tabla 14** se detallan las acciones implementadas para mejorar las caídas de voltaje con las condiciones de demanda proyectada a 5 años.

Tabla 14. Acciones correctivas para mejorar la caída de voltaje proyección a 5 años.

Acción Correctiva	Descripción	Ubicación
Cambio de Conductor Principal	Cambio del conductor del tramo principal del alimentador de 2/0 AWG a 4/0 AWG para reducir caídas de voltaje.	Desde el tramo 498633_MTA-1 hasta Pachicutza (4200 m)
Cambio de Fase de Conexión	Cambio de la fase A a la fase B.	Tramo 199812_MTA-1 Tramo 571943_MTA-1 Tramo 551447_MTA-1
Cambio de Fase de Conexión	Cambio de la fase A a la fase C.	Tramo 623256_MTA-1 Tramo 781067_MTA-1 Tramo 267336_MTA-1

Los resultados obtenidos tras la implementación de las medidas se presentan en la **Tabla 15**, con las figuras de apoyo correspondientes detalladas en el Anexo 8. Además, el nuevo perfil de voltaje resultante se ilustra en la **Figura 16**.

Tabla 15. Caída de Voltaje por sector en AP Los Encuentros posterior acciones correctivas proyección a 5 años.

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
El Padmi	12,11	4,88	SI
Muchime	12,01	5,79	SI
Punto de Transferencia hacia Paquisha	12,2	3,74	SI
El Zarza	12,5	1,85	SI

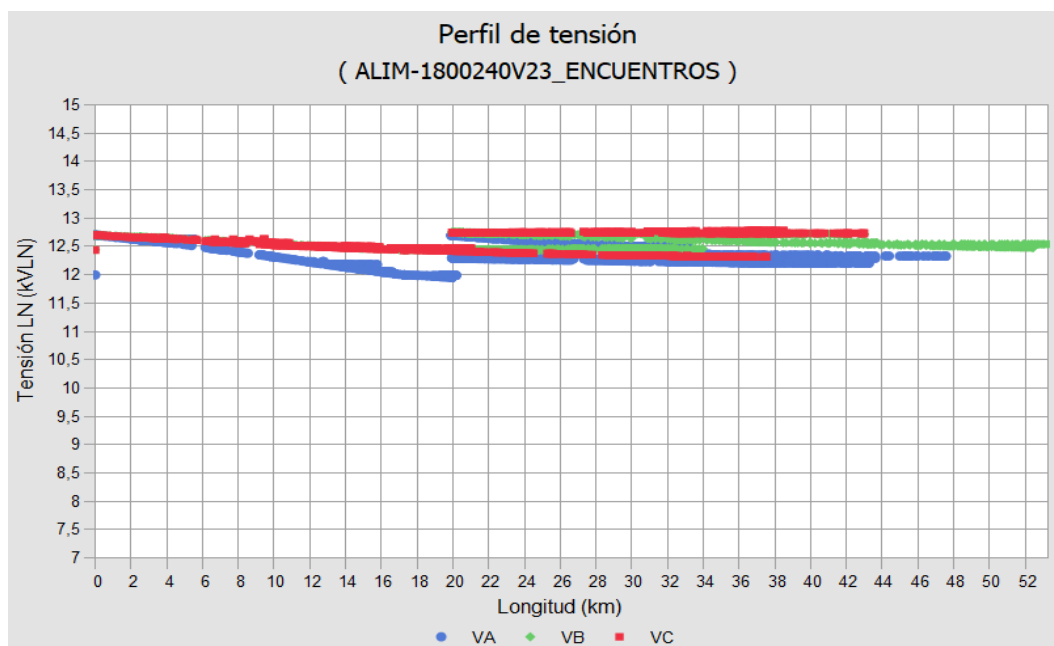


Figura 16. Perfil de voltaje por fase del AP Los Encuentros posterior acciones correctivas proyección a 5 años.

6.4.1.3 Para proyección de demanda a 10 años.

En la **Tabla 16** se detallan las acciones implementadas para mejorar las caídas de voltaje con las condiciones de demanda proyectada a 10 años.

Tabla 16. Acciones correctivas para mejorar la caída de voltaje proyección a 10 años.

Acción Correctiva	Descripción	Ubicación
Cambio de Fase de Conexión	Cambio de la fase A a la fase B.	Tramo 52754_MTA-1
		Tramo 51935_MTA-1
		Tramo 274347_MTA-1
		Tramo 199811_MTA-1
		Tramo 320797_MTA-1
Cambio de Fase de Conexión	Cambio de la fase A a la fase C.	Tramo 363333_MTA-1
		Tramo 52420_MTA-1
		Tramo 623233_MTA-1
		Tramo 320794_MTA-1

Los resultados obtenidos tras la implementación de las medidas se presentan en la **Tabla 17**, con las figuras de apoyo correspondientes detalladas en el Anexo 9. Además, el nuevo perfil de voltaje resultante se ilustra en la **Figura 17**.

Tabla 17. Caída de Voltaje por sector en AP Los Encuentros posterior acciones correctivas proyección a 10 años.

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
El Padmi	12,1	4,97	SI
Muchime	11,9	6,00	SI
Punto de Transferencia hacia Paquisha	12,2	3,91	SI
El Zarza	12,2	3,98	SI

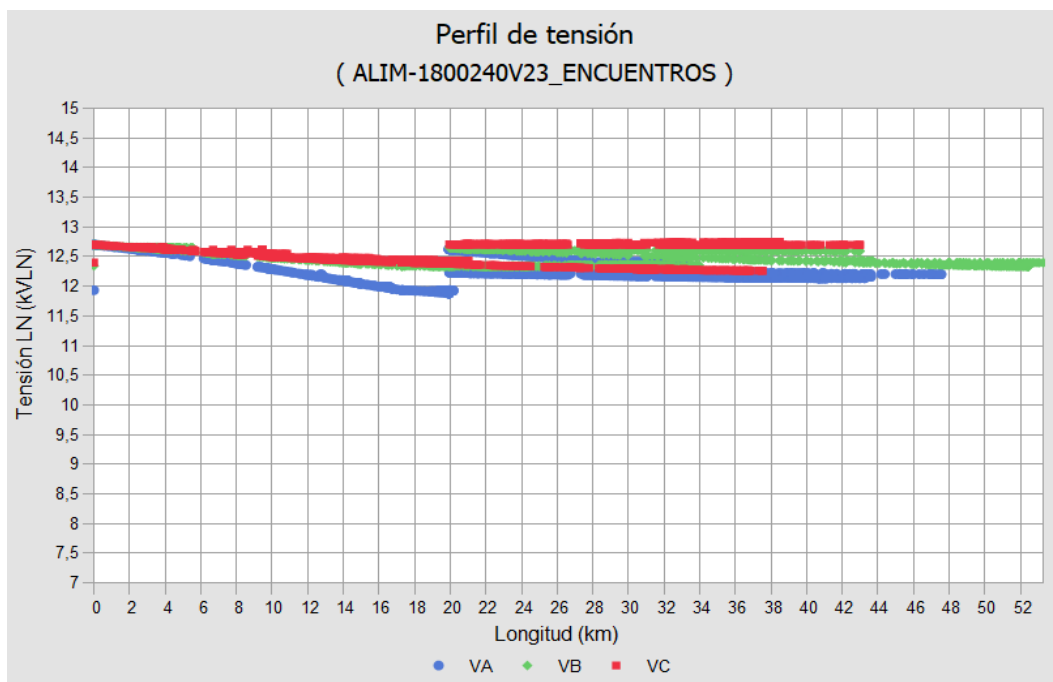


Figura 17. Perfil de voltaje por fase del AP Los Encuentros posterior acciones correctivas proyección a 10 años.

6.4.2 Acciones Correctivas en el alimentador Paquisha

6.4.2.1 Para situación actual.

Para el alimentador Paquisha, se identificó que el incumplimiento de la Regulación ARCERNR 002/20 comenzaba aproximadamente a 20 km desde la subestación, en el sector La Florida. Como resultado, se implementaron diversas acciones correctivas, incluyendo la instalación de reguladores de voltaje y la repotenciación de conductores en tramos críticos. Además, se planificaron trabajos de mantenimiento hasta el año 2029 para asegurar la continuidad y eficiencia del servicio. En la **Tabla 18** se detallan las acciones implementadas para mejorar las caídas de voltaje.

Tabla 18. Acciones correctivas para mejorar la caída de voltaje año 2024.

Acción Correctiva	Descripción	Ubicación
Instalación de Reguladores de Voltaje	Instalación de reguladores de voltaje para corregir las caídas de voltaje a partir del punto crítico identificado.	Tramo 514806_MTA-1 (300 m desde el tramo 430912_MTA, sector La Florida)
Instalación de Regulador Monofásico	Colocación de un regulador monofásico para mejorar el voltaje en la línea que abastece al Alto Nangaritza.	Tramo 425891_MTA
Repotenciación del Conductor	Actualización del conductor de calibre No. 2 AWG a un calibre superior para manejar la creciente demanda.	Tramo 611035_MTA (Zumbi a El Dorado, 1443 m)

Mantenimiento de Fases (Varios Tramos)	Cambios de fase en varios tramos para optimizar el balance de cargas y mejorar la estabilidad del sistema.	Ver listado de tramos abajo
---	--	-----------------------------

Listado de Tramos para Mantenimiento de Fases:

- **579619_MTA-1:** Cambio de fase de C a A
- **575441_MTA:** Cambio de fase de C a A
- **652083_MTA-1:** Cambio de fase de B a A
- **658155_MTA-1:** Cambio de fase de B a A
- **411096_MTA:** Cambio de fase de B a A
- **193155_MTA-1:** Cambio de fase de B a A
- **653990_MTA-1:** Cambio de fase de C a A
- **722836_MTA-1:** Cambio de fase de C a B
- **48228_MTA-1:** Cambio de fase de C a B
- **338460_MTA-1:** Cambio de fase de C a B
- **70059_MTA-1:** Cambio de fase de C a A

Los resultados obtenidos tras la implementación de las medidas se presentan en la **Tabla 19**, con las figuras de apoyo correspondientes detalladas en el Anexo 10. Además, el nuevo perfil de voltaje resultante se ilustra en la Figura 18.

Tabla 19. Caída de Voltaje por sector en AP Los Encuentros posterior acciones correctivas año 2024.

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
La Florida	13,3	-5,06	SI
El Dorado	13	-2,27	SI
Paquisha - Salida a Nuevo Quito	12,5	1,57	SI
La Pangui	11,9	6,00	SI
Guayzimi	12	5,86	SI
Sarentza	12,2	4,18	SI

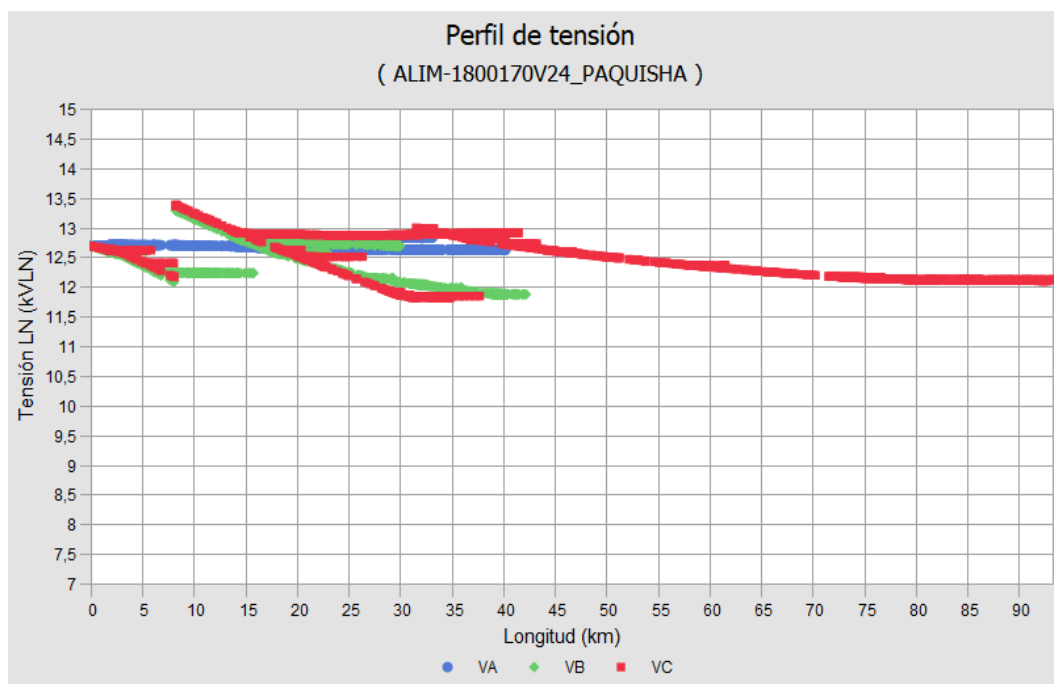


Figura 18. Perfil de voltaje por fase del AP Paquisha posterior acciones correctivas año 2024.

6.4.2.2 Para proyección de demanda a 5 años.

En la **Tabla 20** se detallan las acciones implementadas para mejorar las caídas de voltaje con las condiciones de demanda proyectada a 5 años.

Tabla 20. Acciones correctivas para mejorar la caída de voltaje proyección a 5 años.

Acción Correctiva	Descripción	Ubicación
Instalación de un Nuevo Juego de Reguladores	Colocación de un nuevo juego de reguladores para corregir la caída de voltaje en un tramo crítico.	Tramo 114110_MTA-1, Sector La Wintza
Reubicación de Regulador Existente	Traslado del regulador instalado en el tramo 425898_MTA al tramo 523852_MTA para abordar el punto de inicio del incumplimiento.	Desde el tramo 425898_MTA al tramo 523852_MTA

Los resultados obtenidos tras la implementación de las medidas se presentan en la **Tabla 21**, con las figuras de apoyo correspondientes detalladas en el Anexo 11. Además, el nuevo perfil de voltaje resultante se ilustra en la Figura 19.

Tabla 21. Caída de Voltaje por sector en AP Paquisha posterior acciones correctivas proyección a 5 años.

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
La Florida	13,4	-5,69	SI
El Dorado	13,2	-3,54	SI
Paquisha - Salida a Nuevo Quito	12,5	1,57	SI
La Pangui	12,3	3,16	SI
Guayzimi	12,6	1	SI
Sarentza	12,2	4,16	SI

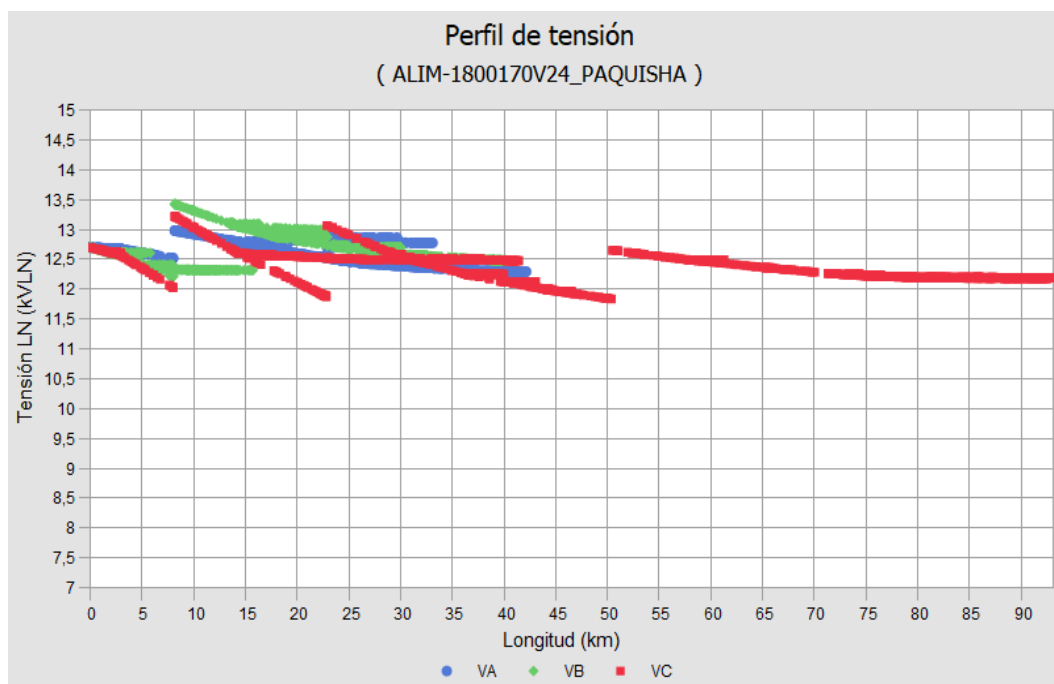


Figura 19. Perfil de voltaje por fase del AP Paquisha posterior acciones correctivas proyección a 5 años.

6.4.2.3 Para proyección de demanda a 10 años

En la **Tabla 22** se detallan las acciones implementadas para mejorar las caídas de voltaje con las condiciones de demanda proyectada a 10 años.

Tabla 22. Acciones correctivas para mejorar la caída de voltaje proyección a 10 años.

Acción Correctiva	Descripción	Ubicación
Repotenciación de Conductor	Cambio del conductor existente de calibre #2 AWG a 4/0 AWG para aumentar la capacidad del alimentador.	Desde el sector cercano a Zumbi hasta El Dorado (8600 m)

Los resultados obtenidos tras la implementación de las medidas se presentan en la Tabla 23, con las figuras de apoyo correspondientes detalladas en el **Anexo 12**. Además, el nuevo perfil de voltaje resultante se ilustra en la Figura 20.

Tabla 23. Caída de Voltaje por sector en AP Paquisha posterior acciones correctivas proyección a 10 años.

Ubicación	Voltaje (V)	Porcentaje de Caída (%)	Cumplimiento con Regulación 002/20
La Florida	13,4	-5,65	SI
El Dorado	13,4	-5,20	SI
Paquisha - Salida a Nuevo Quito	12,9	-1,58	SI
La Pangui	12,5	1,42	SI
Guayzimi	12,7	0,21	SI
Sarentza	12,1	5,12	SI

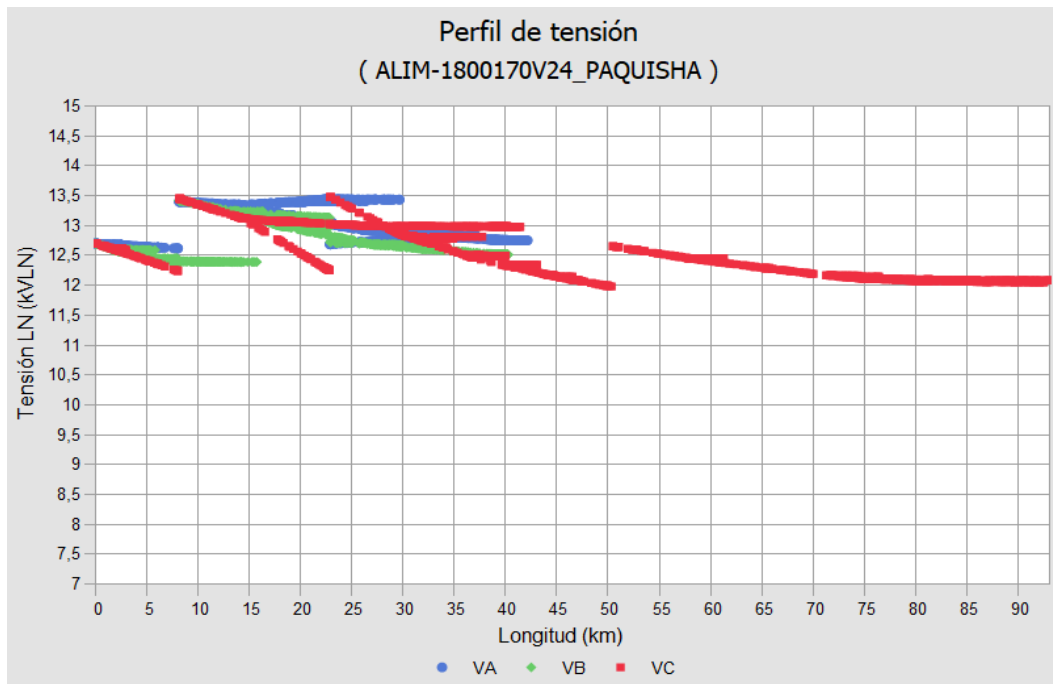


Figura 20. Perfil de voltaje por fase del AP Paquisha posterior acciones correctivas proyección a 10 años.

6.5 Plan de mejoras técnico y operativo

Con base a los flujos de carga para condiciones actuales y proyectadas a mediano plazo (5 años) y largo plazo (10 años) se ha identificado las siguientes mejoras en secuencia cronológica que se debería implementar en los alimentadores para cumplir con los niveles de voltaje exigidos por la regulación ARCERNR 002/20 de calidad de servicio técnico:

6.5.1 Alimentador Los Encuentros

Fase 1: Año 0 a 5

Acciones a Implementar:

Adquisición e Instalación de Reguladores de Voltaje para mejorar el nivel de voltaje en el sector de Los Encuentros en el punto de derivación hacia Bellavista.

Construcción de Red de Distribución con Conductor 4/0 para fortalecer la infraestructura y reducir las caídas de voltaje aguas abajo, para ello se debe asegurar que la construcción cumpla con los estándares de calidad y eficiencia, considerando las cargas futuras y las condiciones operativas actuales.

Fase 2: Año 5 a 10

Acciones a Implementar:

Repotenciación Integral del Tramo en el Sector de Pachicutza para aumentar la capacidad de transporte de energía y mejorar el perfil de voltaje en el alimentador. Se debe realizar el cambio de conductor del calibre 2/0 AWG a 4/0 AWG, además será necesario la revisión y actualización del sistema de protección asociado al nuevo calibre.

Balaneo de Cargas para optimizar el flujo de energía y minimizar las caídas de voltaje por

desbalance de fases, por lo que se debe analizar las cargas conectadas para identificar desequilibrios con lo cual se podrá tomar las medidas correctivas necesarias para redistribuir las cargas de manera equitativa entre las fases.

Fase 3: Año 10 a 15

Acciones a Implementar:

Supervisión y Monitoreo de Nuevas Cargas Conectadas para asegurar que las nuevas conexiones no afecten negativamente el perfil de voltaje del alimentador, será necesaria la realización de estudios periódicos de carga para evaluar el impacto de nuevas conexiones.

- Ajuste de la infraestructura y regulación según los resultados del monitoreo.
- Balanceo de Cargas Continuo para mantener el equilibrio de fases y la eficiencia del sistema en el largo plazo.

6.5.2 Alimentador Primario Paquisha a 22 kV:

Fase 1: Año 0 a 5

Acciones a Implementar:

Adquisición e Instalación de Reguladores de Voltaje para mejorar el nivel de voltaje en los sectores críticos. Deberán instalarse en los siguientes sectores: La Florida y salida de Guayzimi al Alto Nangaritza.

Repotenciación de la Red de Distribución para fortalecer la infraestructura del alimentador y reducir las caídas de voltaje. Para ello se deberá realizar la repotenciación del tramo principal del alimentador desde la salida de Zumbi hacia el sector de Naguipa Bajo (primera etapa) con conductores de calibre 4/0 AWG. Con ello se podrán soportar mayores cargas y mejorar el perfil de voltaje, adicionalmente se deberán revisar los equipos de protección.

Fase 2: Año 5 a 10

Acciones a Implementar:

Instalación de un Nuevo Regulador y Reubicación de Regulador Existente para continuar mejorando el perfil de voltaje y optimizar la distribución de energía. El nuevo regulador deberá instalarse en el sector de La Wintza, además se deber realizar la reubicación del regulador monofásico instalado en la salida de Guayziumi hacia el Alto Nangaritza hacia un punto aguas abajo cerca del sector de Miazzi.

Repotenciación del tramo de inicio del alimentador desde Zumbi hacia El Dorado (segunda etapa) con conductores de calibre 4/0 AWG.

Plan de Balanceo de Cargas para garantizar un flujo de energía equilibrado y minimizar las caídas de voltaje por desbalance de fases.

Fase 3: Año 10 a 15

Acciones a Implementar:

Construcción de una Subestación, con lo cual se puede mejorar significativamente las condiciones técnicas y la infraestructura de distribución en el sector, con ello se atendería las crecientes demandas de energía en la zona servida principalmente por red monofásica. Sin embargo, será necesario el impacto en la red existente y planificación de la integración con la infraestructura actual, además de aspectos ambientales que deben primar en la zona.

Optimización de la Infraestructura de Distribución para actualizar la red de distribución para manejar eficientemente la demanda creciente y reducir las caídas de voltaje, se plantea la ejecución de estudios para el cambio de tramos monofásicos a trifásicos donde sea necesario.

Finalmente, es necesaria la implementación de tecnología avanzada para monitoreo y control de la red, mediante sistemas de adquisición de datos y control en tiempo real.

7. Discusión

Coincidiendo con Ruiz (2015) la caída de voltaje es un fenómeno común e inevitable que se presenta en los circuitos eléctricos independientemente de su tipo, siendo estos de potencia, distribución, industrial o residencial.

Al no poder evitar la caída de voltaje, es de suma importancia su control y supervisión en concordancia y aplicación de la regulación No. ARCERNNR 002/20 (Codificada), ya que en esta se establece el índice para la calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución y comercialización de energía eléctrica en el Ecuador.

El presente trabajo de titulación aporta con el diagnóstico de los niveles de caída de voltaje que existe actualmente y que se presentarían en los alimentadores primarios (A/P) Paquisha y Los Encuentros en 22 kV de EERSSA para los años 2024, 2029 y 2039, con la finalidad de determinar su cumplimiento o incumplimiento con respecto de la regulación vigente. Esta información es básica para identificar las zonas más afectadas y posibles mejoras técnicas a implementar.

Para ambos casos de estudio se consideró la proyección de la demanda con una tasa de crecimiento del 3,81% en función del Estudio de la Demanda Eléctrica realizado por el MEM para el Plan Maestro de Electricidad 2023-2032 en el cual se considera la determinación de los requerimientos de potencia anual de la Empresa Eléctrica Sur (E.E.Sur).

Posterior al diagnóstico del nivel de caídas de voltaje existente y proyectadas mediante el software CYMDIST se pudo determinar que ningún de los A/P en el presente estudio cumple con el límite inferior establecido para la caída de voltaje vigente en la regulación No. ARCERNNR 002/20 (Codificada), llegando a valores del 7,99% en el año 2024 y 11,79% para el año 2034 para el caso del A/P Los Encuentros; y para el caso del A/P Paquisha se obtuvo valores del 21,43% en el año 2024 y 31,19% para el año 2034, lo cual indudablemente causaría afectación a los clientes y multas para la empresa distribuidora por parte de la ARCERNNR durante una década.

Los resultados obtenidos se compararon con estudios similares. Por ejemplo, Huera (2021) concluye que la ubicación óptima de capacitores y reguladores de voltaje mediante herramientas como CymDist es esencial para mejorar los perfiles de voltaje y cumplir con las normativas de calidad de energía (Repositorio UTN). Estos estudios también utilizan simulaciones y análisis de distribución de carga para determinar las mejores ubicaciones para los reguladores y mejorar la confiabilidad del sistema.

Diversos estudios, como el de Shafiee et al. (2021), han demostrado que la implementación de reguladores en alimentadores de gran longitud puede generar efectos

adversos si no se gestiona adecuadamente debido a factores como caídas de tensión, sobrecompensación o subcompensación de la tensión, y mala coordinación entre dispositivos de control, lo que puede provocar inestabilidad y pérdidas en el sistema. Este hallazgo subraya la importancia de utilizar técnicas de optimización para garantizar una colocación precisa y eficiente de los reguladores, minimizando los efectos negativos y maximizando la eficiencia del sistema.

Aunque los resultados muestran mejoras significativas, existen excepciones y aspectos que requieren atención. En el alimentador Paquisha, la situación es crítica debido a las altas caídas de voltaje proyectadas para 2034, superando el 30% si no se implementan acciones correctivas urgentes. Esto subraya la necesidad de una planificación más agresiva y la posible construcción de una nueva subestación para manejar la creciente demanda y mejorar la calidad del servicio.

Las implicaciones teóricas de este estudio refuerzan la importancia de la ubicación estratégica de reguladores de voltaje en sistemas de distribución eléctrica para mantener la estabilidad y eficiencia. Prácticamente, las soluciones propuestas, como la repotenciación de conductores y el balanceo de cargas, son aplicables a otras redes de distribución con problemas similares.

Por otro lado, el plan de mejoras técnico y operativas enfocado en la mejora de la infraestructura eléctrica, será ejecutado en función de la aplicación de la Regulación Nro. ARCERNR 006/21 (Codificada) denominada, Régimen Económico y Tarifario para la prestación de los servicios públicos de Energía Eléctrica y de Alumbrado Público General, en la cual se establece el marco conceptual y metodológico para las empresas distribuidoras con la finalidad de que elaboren sus planes de expansión y mejoras por componente y etapa funcional, con la finalidad de que las empresas distribuidoras presten el servicio eléctrico garantizando la calidad y el equilibrio económico del sector eléctrico.

Finalmente, la mejora de los niveles de voltaje influye en el uso eficiente de la energía y su gestión adecuada.

8. Conclusiones

Los estudios realizados determinaron que los alimentadores Paquisha y Los Encuentros presentan caídas de voltaje que, en muchos tramos, no cumplen con los límites establecidos por la regulación ARCERNNR 002/20. En particular, el alimentador Paquisha muestra una vulnerabilidad significativa, con un cumplimiento del 6% de caída de voltaje permitida en solo un 10% de su longitud, por lo que se puede ver la urgencia de implementar medidas correctivas para asegurar el cumplimiento normativo y garantizar un servicio eléctrico de calidad.

Las simulaciones realizadas en el software Cymdist permitieron identificar con precisión los puntos críticos en los alimentadores Paquisha y Los Encuentros, donde las caídas de voltaje son más severas. Estas simulaciones permitieron analizar el comportamiento de los alimentadores bajo el escenario de demanda máxima. Este proceso permitió proponer ubicaciones óptimas para la instalación de reguladores de voltaje. Estas intervenciones, junto con la repotenciación de tramos específicos y el balanceo de cargas, son esenciales para mejorar el perfil de voltaje en las zonas más afectadas y garantizar la calidad del sistema eléctrico a mediano y largo plazo.

Con base en los resultados de las simulaciones, se implementaron varias soluciones técnicas clave para mejorar la calidad del voltaje. Entre las soluciones adoptadas se destacan la instalación de reguladores de voltaje en puntos estratégicos, la repotenciación de conductores en tramos críticos, y el balanceo de cargas para minimizar las caídas de voltaje y asegurar un flujo de energía estable. Estas acciones fueron diseñadas para mitigar los problemas identificados en las simulaciones y garantizar el cumplimiento con la regulación ARCERNNR 002/20, asegurando un servicio eléctrico confiable y eficiente.

El plan de mejoras desarrollado propone acciones concretas y secuenciales para los próximos 15 años, recalando la posibilidad de construcción de una subestación en el sector de Paquisha. Estas acciones no solo buscan solucionar los problemas actuales, sino también anticiparse a las demandas futuras proyectadas, asegurando la sostenibilidad y eficiencia del sistema de distribución eléctrica de la EERSSA.

La proyección de la demanda eléctrica con un crecimiento anual del 3,89% hasta 2034 indica que, sin intervención, las caídas de voltaje en los alimentadores Paquisha y Los Encuentros se incrementarán de manera preocupante, superando el 30% y 15%, respectivamente, es por ello que las soluciones propuestas en este trabajo son vitales para evitar este deterioro y asegurar la sostenibilidad de la red eléctrica, alineándose con los principios de conversión de energía y sostenibilidad.

Este trabajo de tesis aporta un enfoque metodológico para la evaluación y mejora de

sistemas de distribución eléctrica en zonas rurales y con variabilidad de demanda. Las estrategias y soluciones propuestas pueden servir de modelo para futuros estudios y planes de mejora en otras regiones, contribuyendo al avance del conocimiento en el sector eléctrico.

9. Recomendaciones

Se recomienda iniciar de manera inmediata la implementación de las medidas correctivas identificadas en los alimentadores Los Encuentros y Paquisha, especialmente en este último donde las caídas de voltaje son críticas. La adquisición e instalación de reguladores de voltaje en los puntos estratégicos y la repotenciación de los tramos más afectados deben ser priorizadas para evitar deterioros adicionales en la calidad del servicio eléctrico.

Se recomienda mantener un enfoque proactivo en la actualización y mantenimiento de la infraestructura de distribución. Esto incluye la repotenciación de conductores, la mejora de los sistemas de protección, y la planificación para futuras expansiones de la red, asegurando que se mantenga el cumplimiento con la Regulación ARCERNNR 002/20 y que se optimice la eficiencia del sistema.

Aunque este estudio se enfocó en los alimentadores Paquisha y Los Encuentros, es recomendable extender la metodología y las soluciones propuestas a otros alimentadores de la red de la EERSSA. Esto permitiría identificar si los problemas de caídas de voltaje son generalizados y aplicar las mejoras de manera más amplia, asegurando un servicio eléctrico uniforme y de calidad en toda la red.

Se sugiere considerar la elaboración de estudios para la construcción de una nueva subestación, para lo cual es crucial realizar estudios de impacto ambiental y social. Estos estudios deben ser complementados con consultas a las comunidades locales y la consideración de alternativas que minimicen el impacto negativo. La implementación de este tipo de evaluaciones garantizará que las mejoras técnicas también sean sostenibles desde el punto de vista ambiental y social.

Dado el crecimiento continuo de la demanda, se recomienda realizar revisiones periódicas de la planificación energética de la EERSSA. Estas revisiones deben considerar nuevas proyecciones de demanda, cambios en las normativas, y la incorporación de nuevas tecnologías que puedan mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema eléctrico.

Se recomienda establecer un programa continuo de monitoreo y validación de los resultados de las medidas implementadas. Este programa debería incluir la recolección y análisis de datos en tiempo real para ajustar las soluciones de manera dinámica según las necesidades de la red, lo cual puede ser realizado a través del SCADA de la EERSSA. La retroalimentación constante ayudará a identificar áreas que requieran mejoras adicionales y asegurar que las soluciones sigan siendo efectivas a lo largo del tiempo.

Dado el costo asociado con la implementación de las mejoras propuestas, es recomendable aprovechar las fuentes de financiamiento disponibles, tanto a nivel nacional

como internacional, para proyectos de infraestructura eléctrica, es decir, a través del Ministerio de Finanzas o entidades como BID y CAF. Esto podría incluir créditos que permitan implementar las mejoras sin comprometer la estabilidad financiera de la EERSSA.

10. Bibliografía

- Asamblea Nacional del Ecuador. (2020). *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía*. ANE.
- Castro, J. M. (2016). *Reconfiguración de redes de distribución para corregir la caída de voltaje aplicando la técnica de barrido progresivo-regresivo*. Universidad Autónoma de Puebla.
- CYME International T&D Inc. (2013). *CYME 7.0 Manual de Referencia*.
<https://www.cyme.com>
- EERSSA. (2023). *Plan estratégico 2022-2023*. <https://www.eerssa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/01/PLAN ESTRATEGICO.pdf>
- Figueroa, J. A. (2013). *Reconfiguración de redes eléctricas en sistemas de distribución de energía eléctrica utilizando teoría de grafos*. Universidad de los Andes.
- Grainger, J., & Civanlar, S. (1985). Volt/var Control on Distribution Systems with Lateral Branches Using Shunt Capacitors and Voltage Regulators Part I: The Overall Problem. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Cientific Research*, 104(5), 3291-3297. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1109/tpas.1985.318842>
- Mendoza, I. M. (2017). *studio para mejorar el nivel de tensión aplicando reguladores de tensión monofásico automático para la línea 10 kv alimentador 5006 del sistema eléctrico de la ciudad de juliaca 2016*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Microscopio.pro. (2022). *Qué es la caída de voltaje y cómo afecta a los circuitos eléctricos*.
<https://www.microscopio.pro/que-es-caida-de-voltaje/>
- Redondo, N. (2023). *Sistemas eléctricos de potencia*. Universidad de Salamanca.
https://stsproyectos.com/U/S/SIST_01.pdf
- Ruiz, L. (2020). *¿Caída de tensión?: concepto, causas y efectos en un sistema eléctrico industrial?* <https://solarama.mx/blog/que-es-la-caida-de-tension-electrica/>
- Stevenson, W. D. (1975). *Análisis de sistemas eléctricos de potencia*. Mc Graw Hill.
- Worldwide, E. (2015). *Reguladores de voltaje: aspectos básicos de los reguladores de voltaje de distribución de energía*. <https://www.eaton.com/ar/es-mx/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/voltage-regulators/voltage-regulators--fundamentals-of-voltage-regulators.html>

11. Anexos

Anexo 1. Caída de Voltaje por sectores en el alimentador primario (AP) Los Encuentros de 22kV con demanda actual (2024).

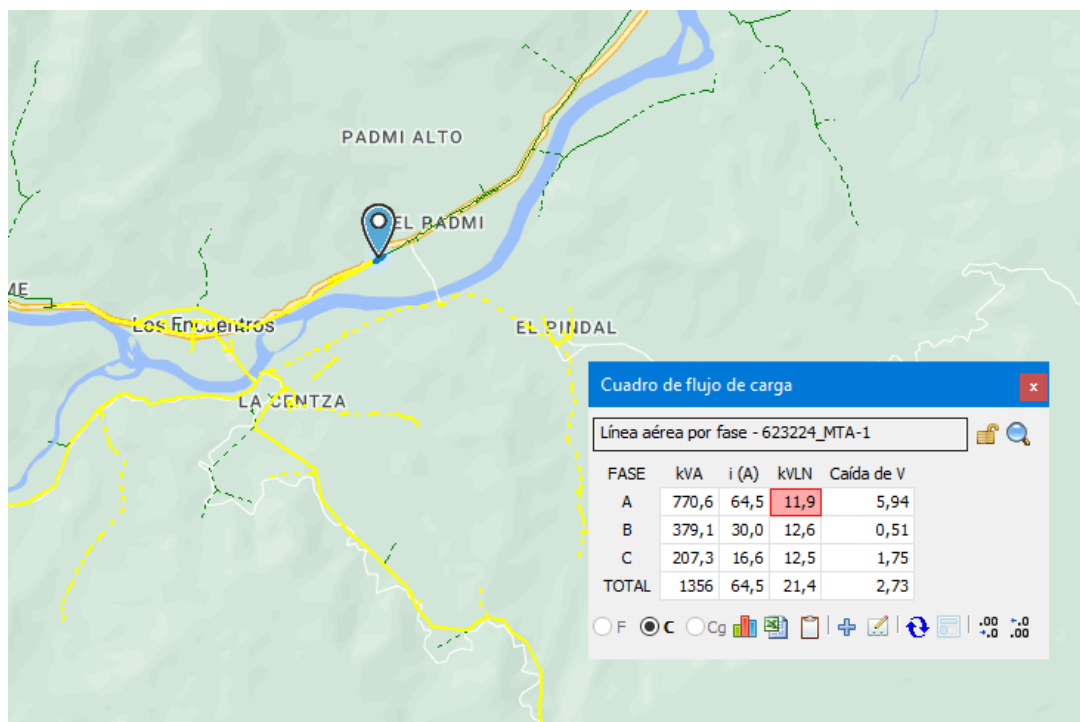


Figura 21. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Padmi con demanda actual (2024)-AP Los Encuentros.

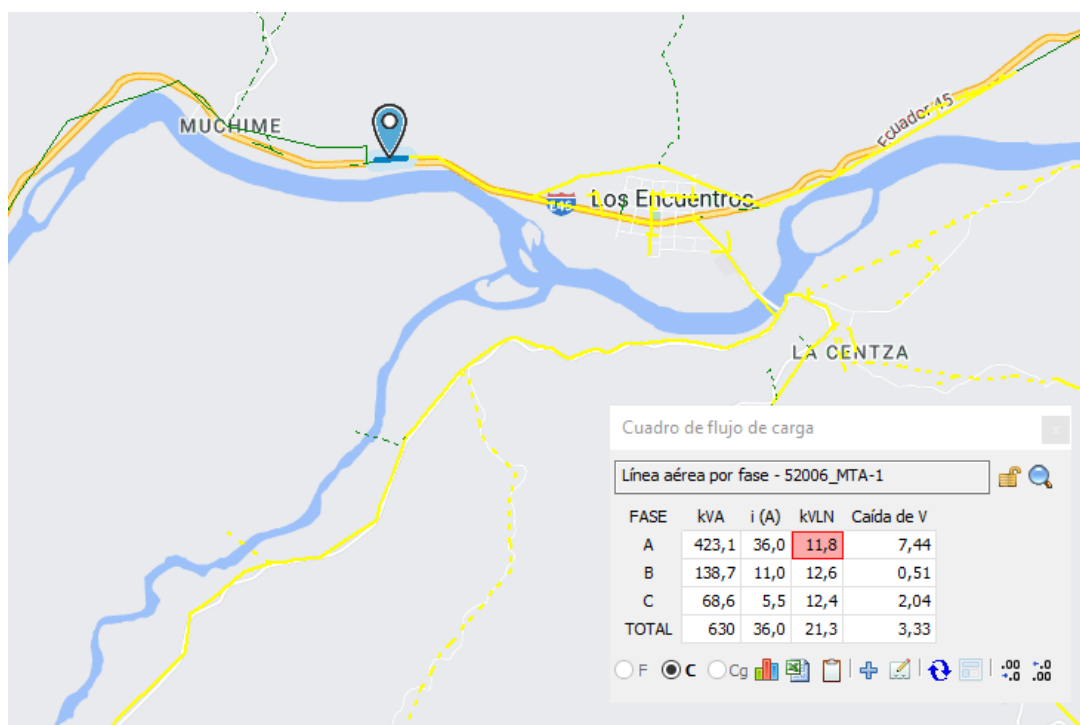


Figura 22. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Muchime con demanda actual (2024) -AP Los Encuentros.

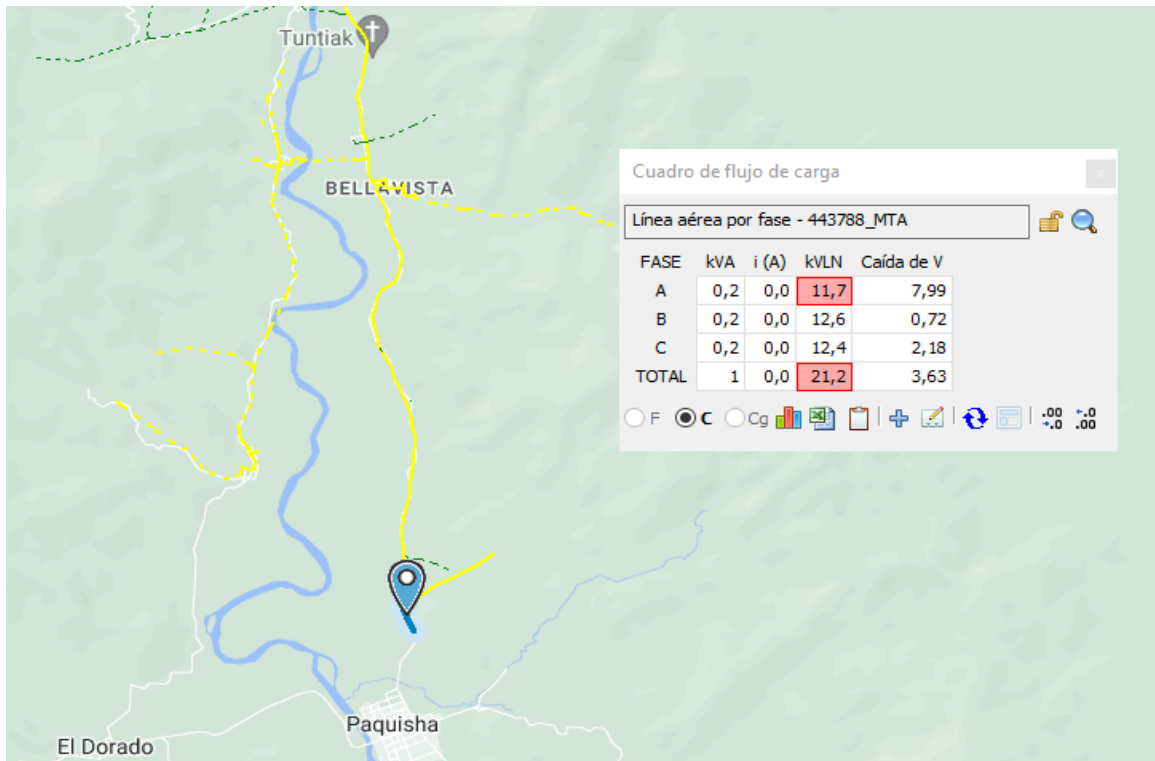


Figura 23. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Floresta con demanda actual (2024) -AP Los Encuentros.

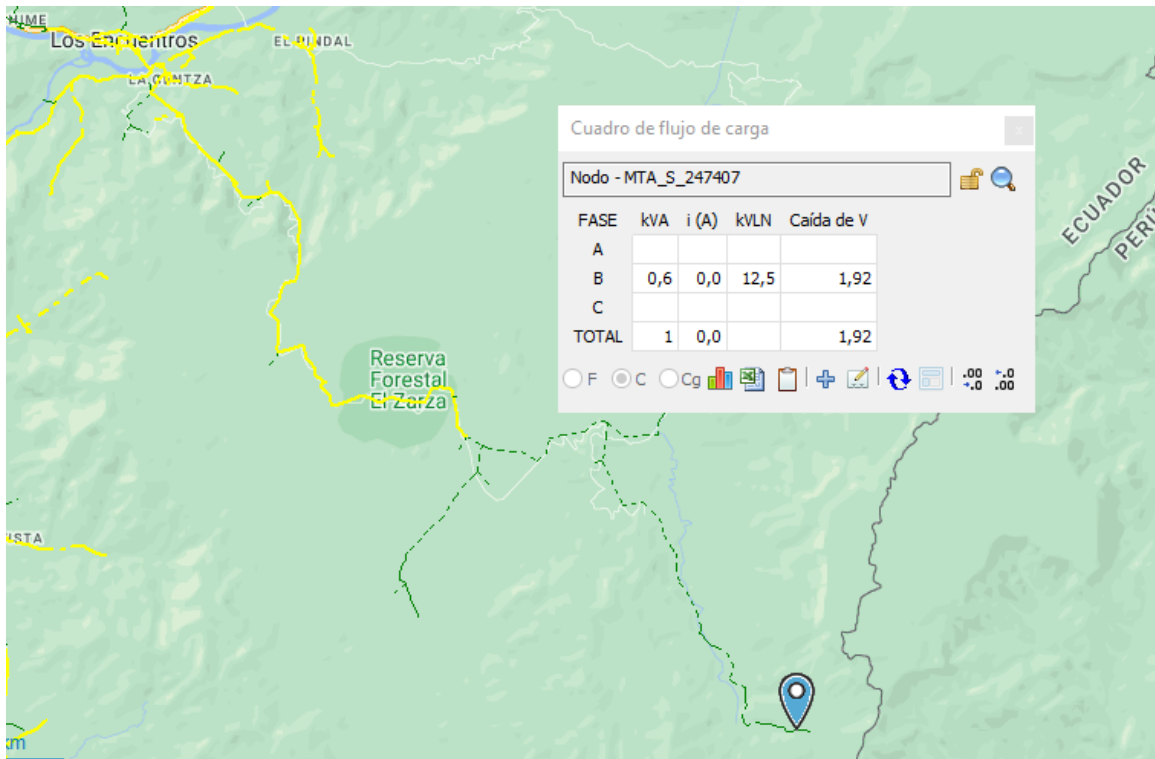


Figura 24. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Paquisha Alto con demanda actual (2024) -AP Los Encuentros.

Anexo 2. Caída de Voltaje por sectores en el AP Los Encuentros de 22kV con proyección de demanda a 5 años.

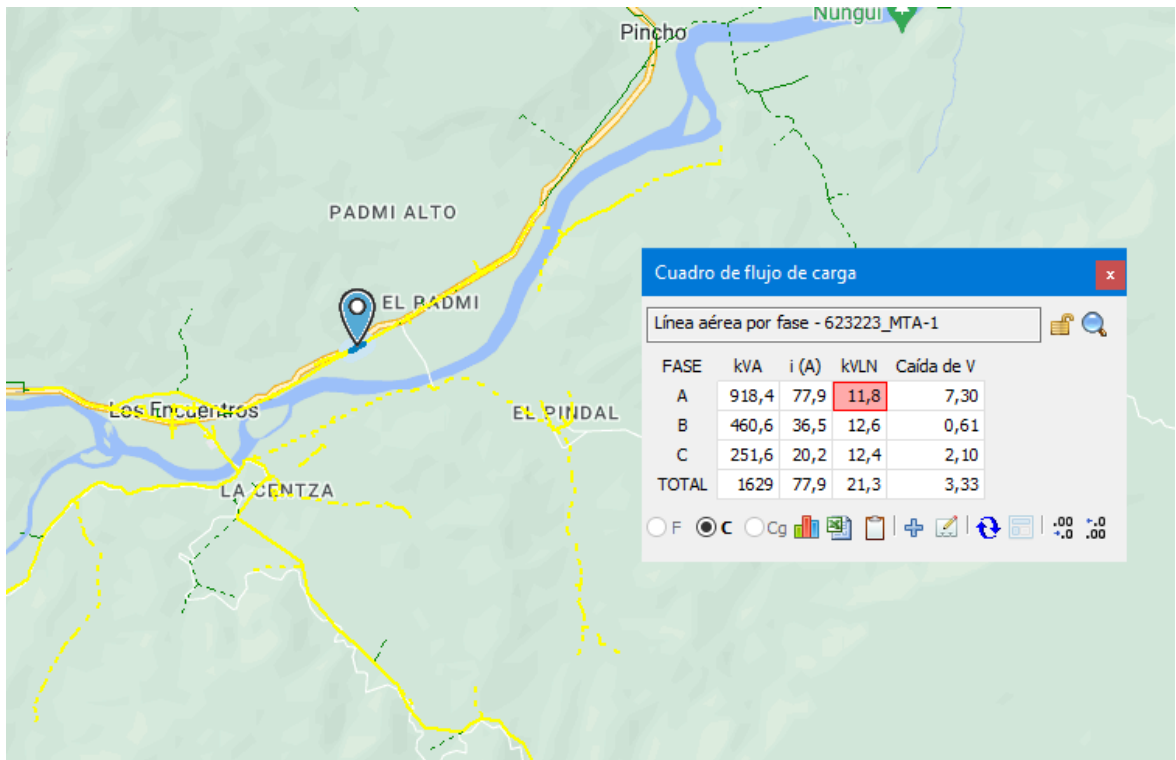


Figura 25. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Padmi con demanda proyectada a 5 años.

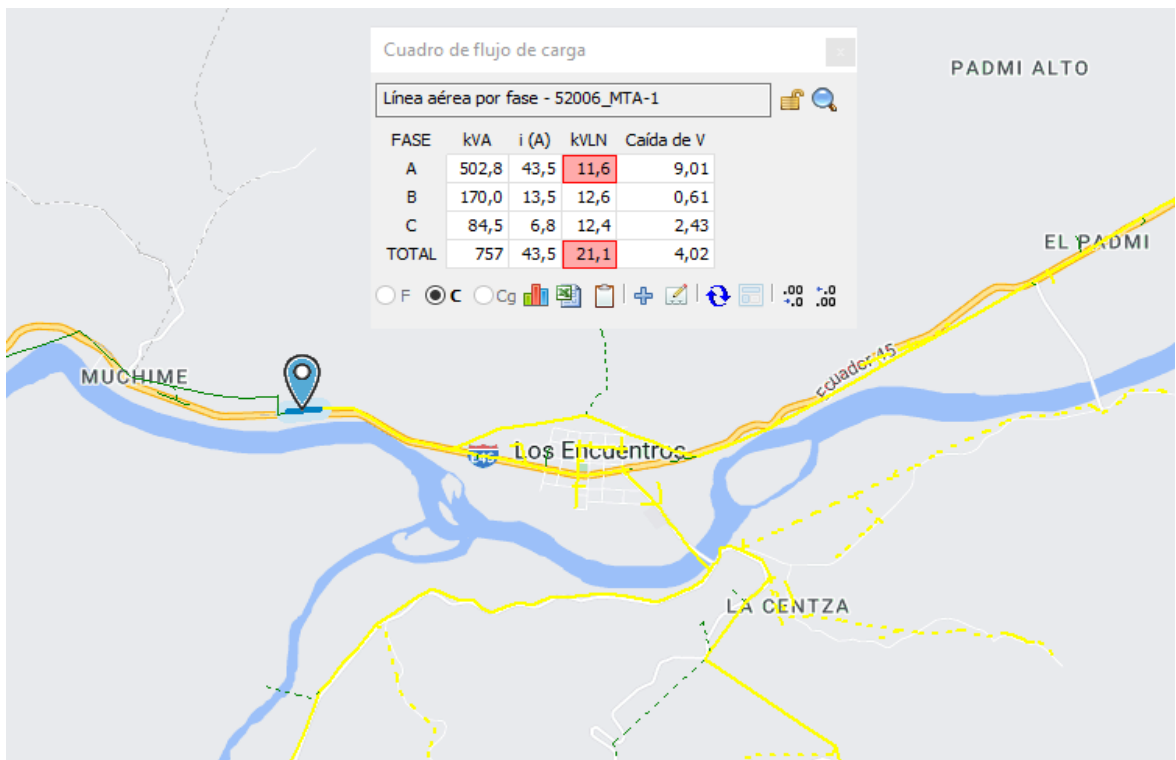


Figura 26. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Muchime con demanda proyectada a 5 años.

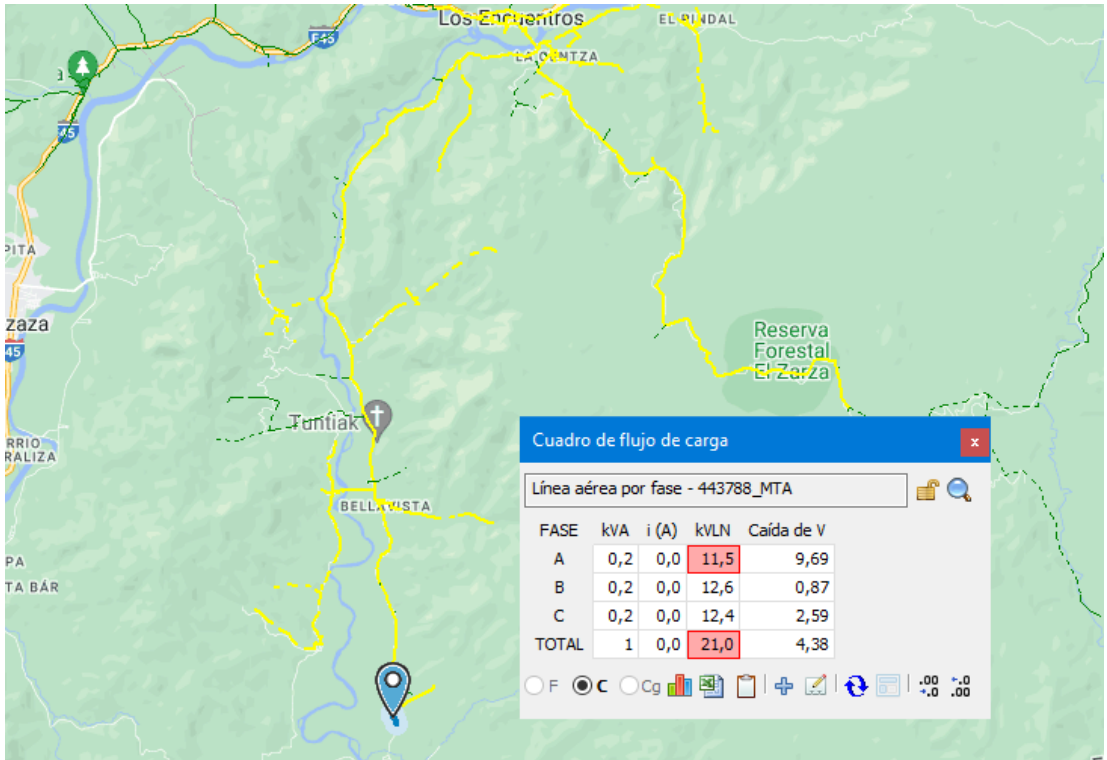


Figura 27. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Floresta con demanda proyectada a 5 años.

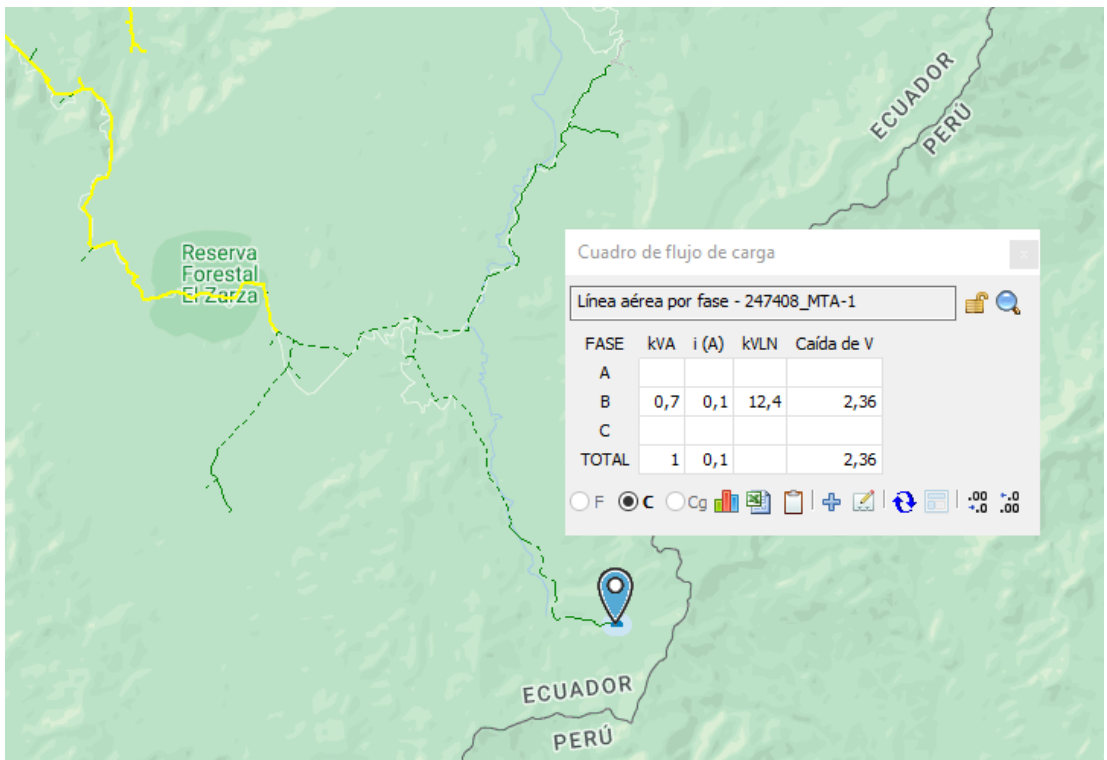


Figura 28. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Paquisha Alto con demanda proyectada a 5 años.

Anexo 3. Caída de Voltaje por sectores en el AP Los Encuentros de 22kV con proyección de demanda a 10 años.

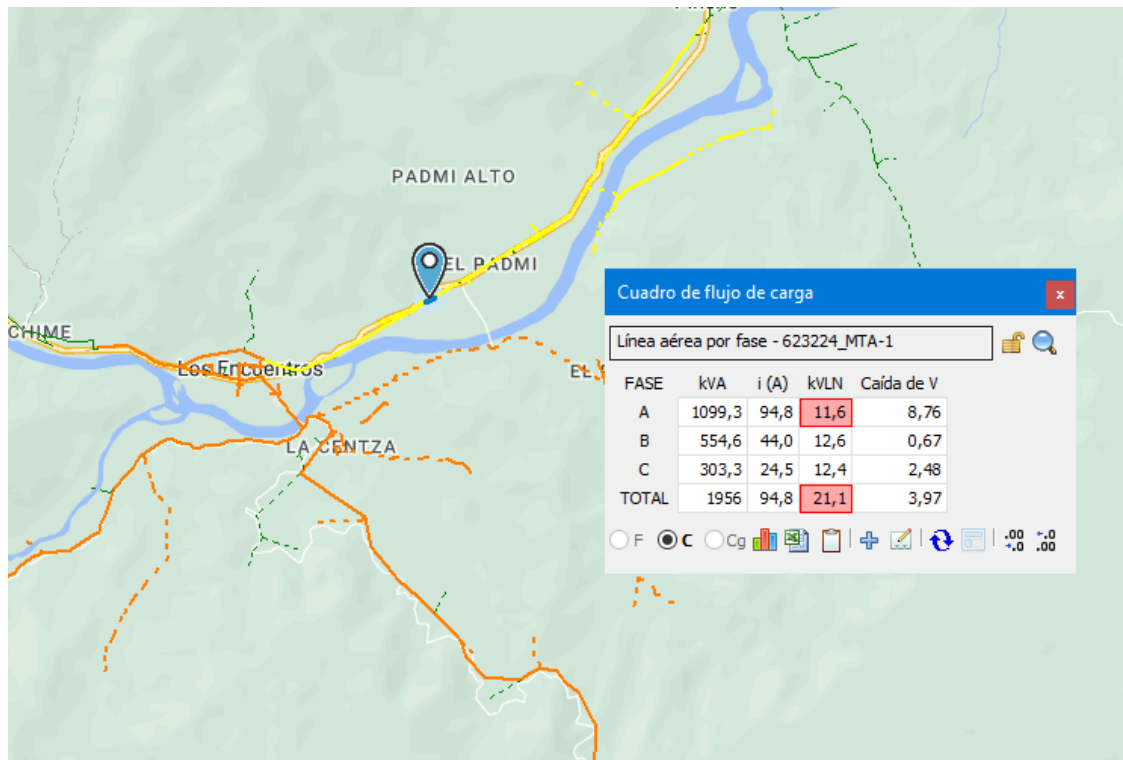


Figura 29. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Padmi con demanda proyectada a 10 años.

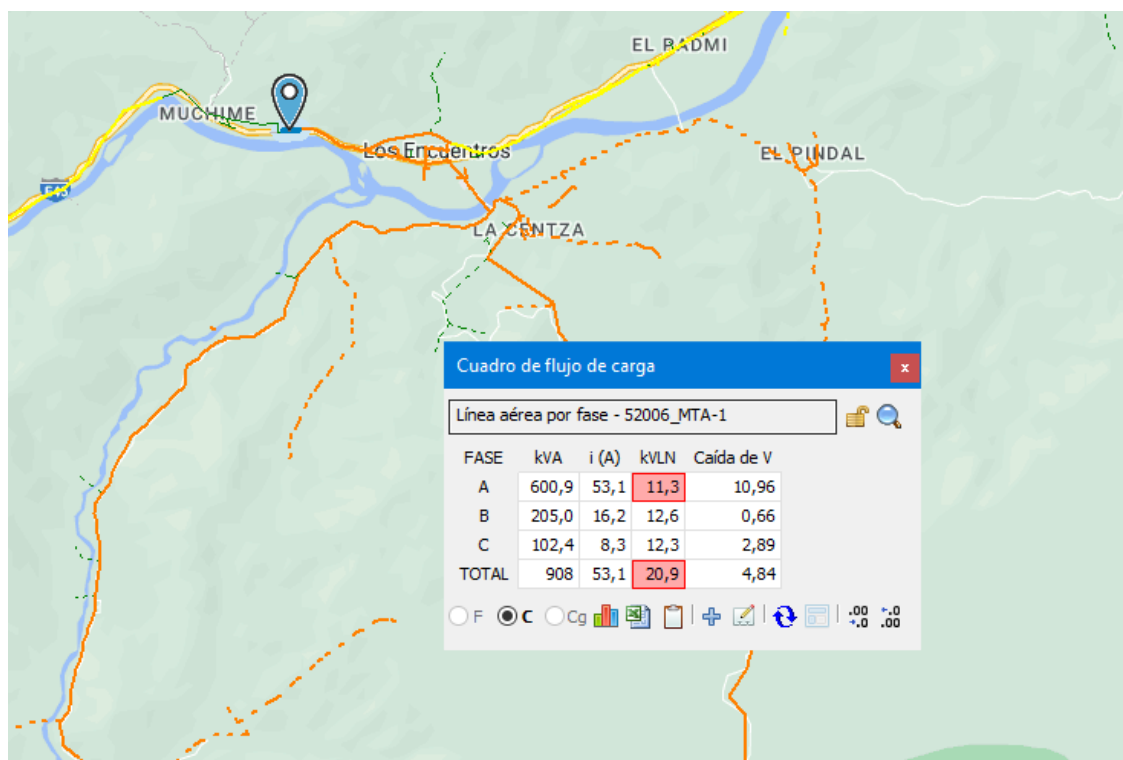


Figura 30. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Muchime con demanda proyectada a 10 años.

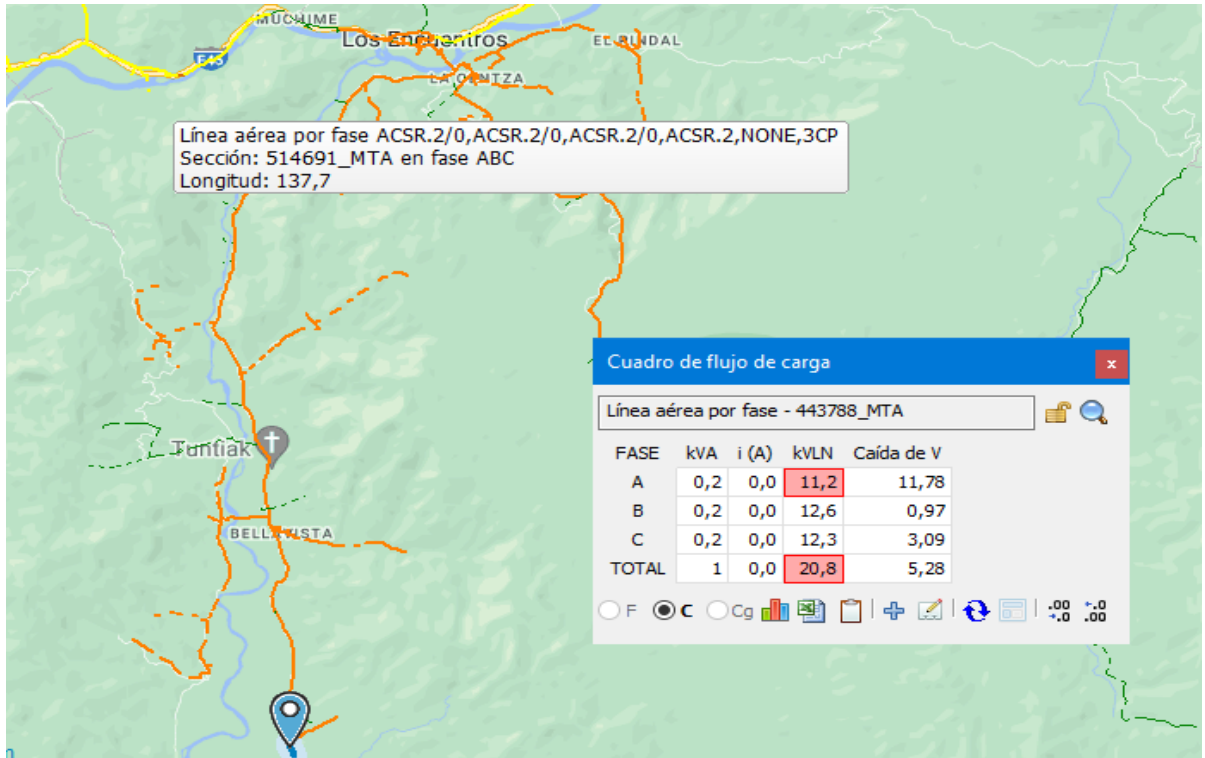


Figura 31. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Floresta con demanda proyectada a 10 años.

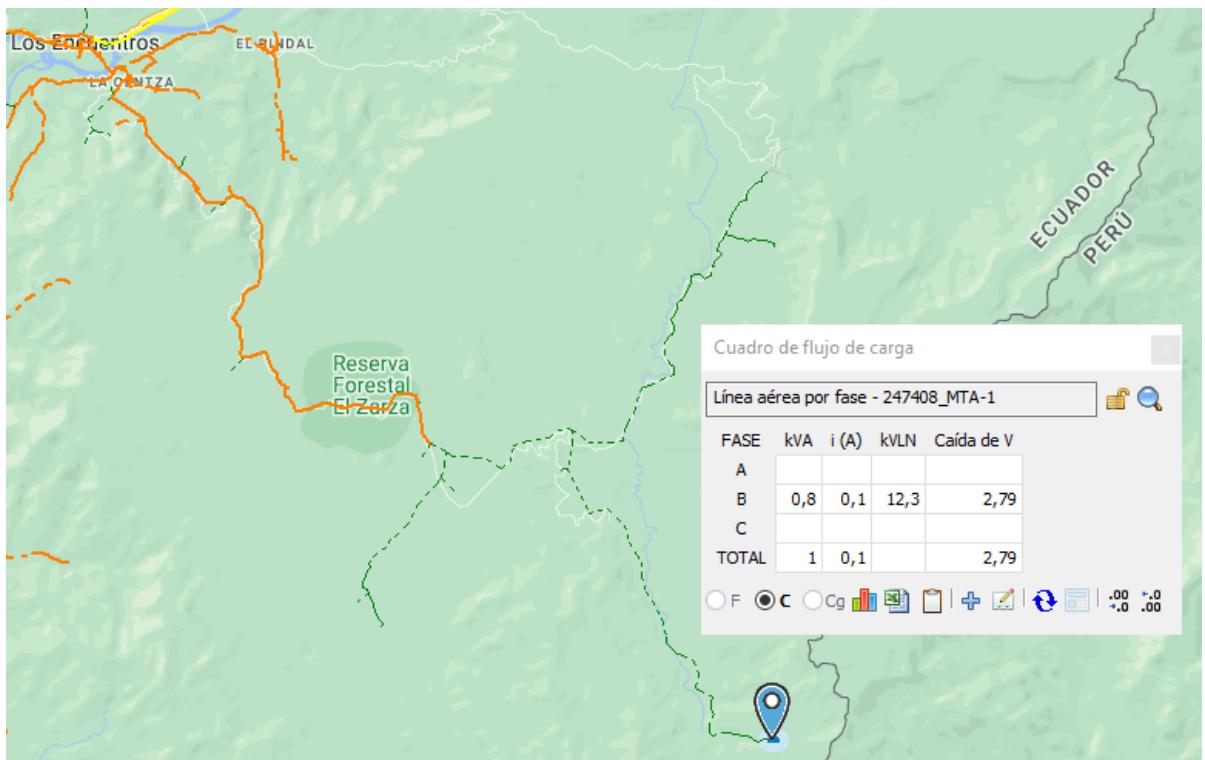


Figura 32. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Paquisha Alto con demanda proyectada a 10 años.

Anexo 4. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el AP Los Encuentros según condiciones de demanda actual (2024).

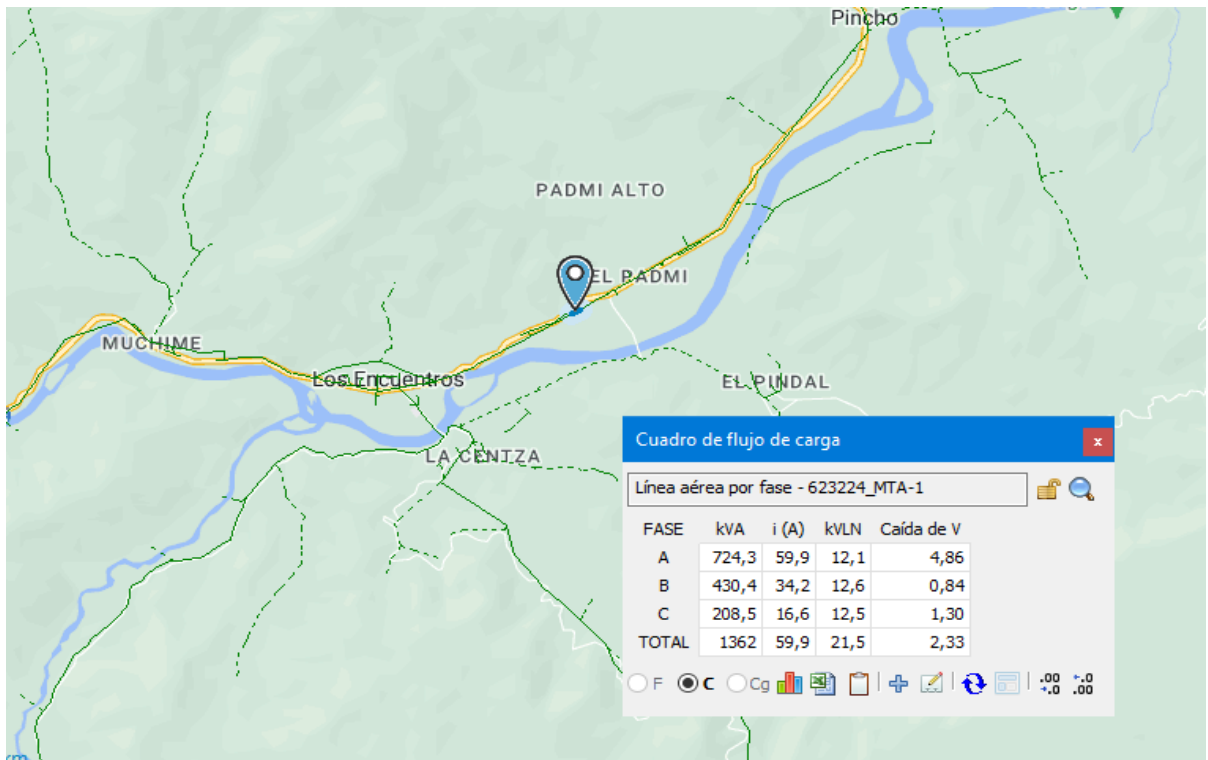


Figura 33. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Padmi posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

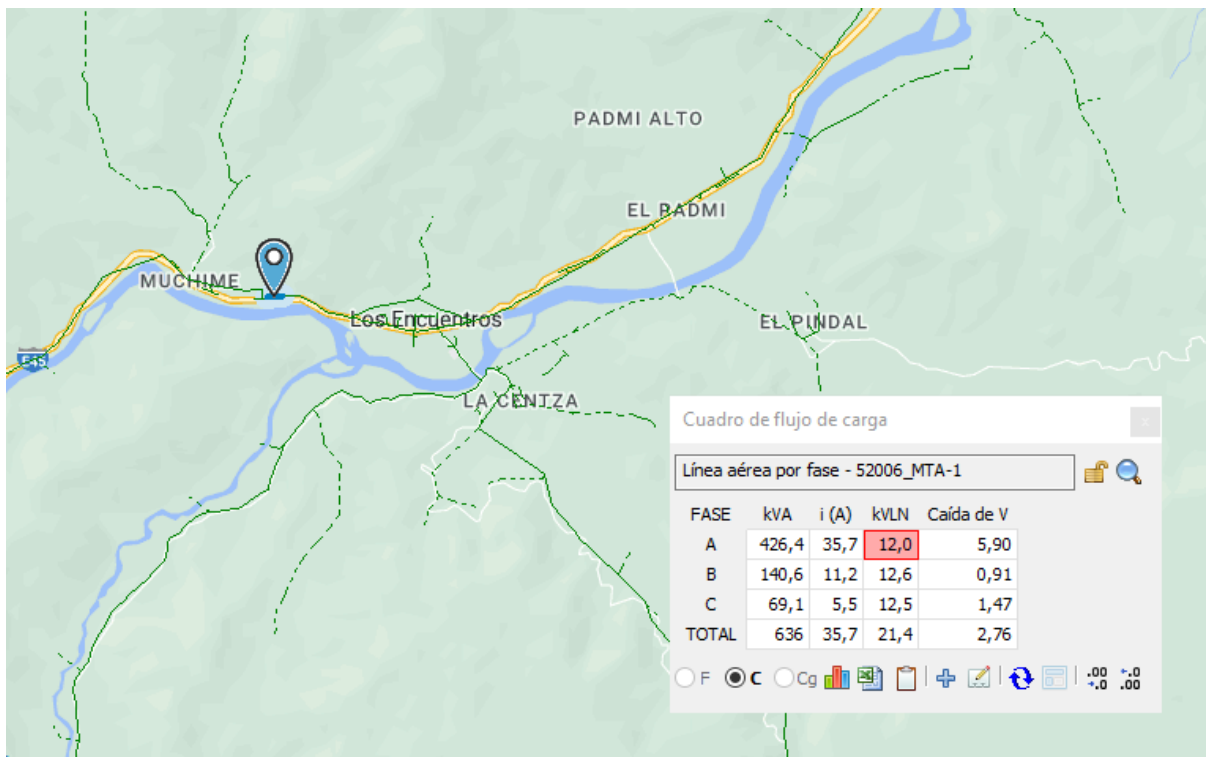


Figura 34. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Muchime posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

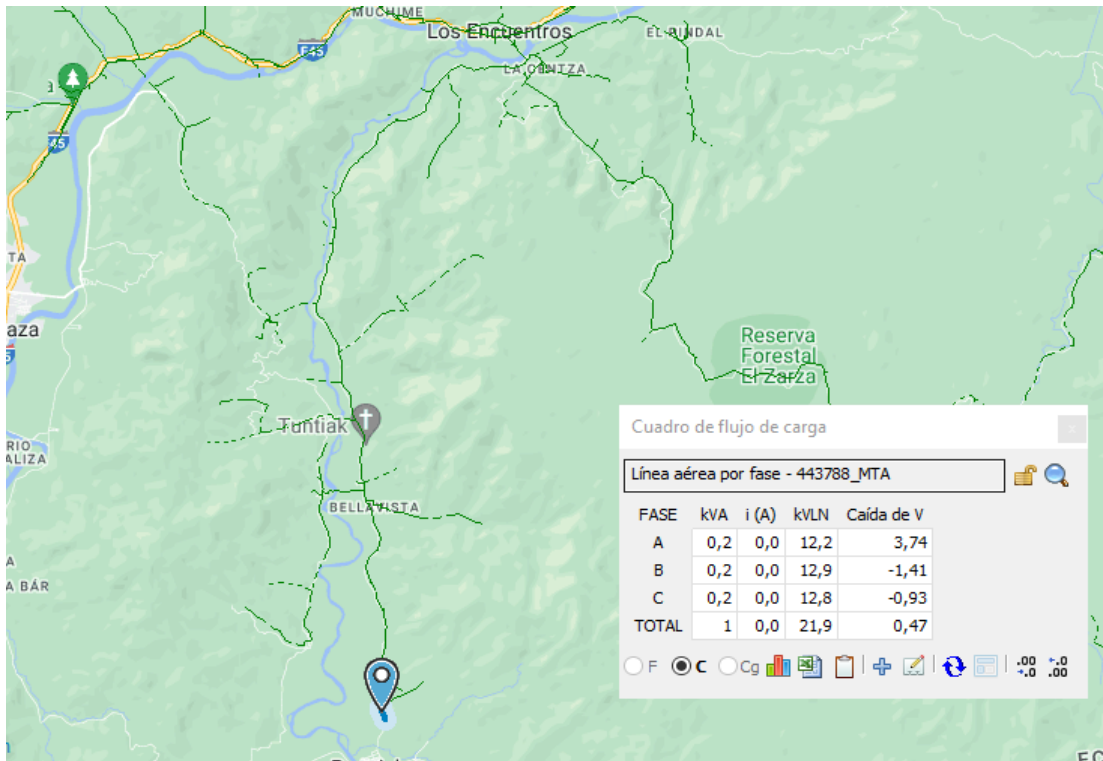


Figura 35. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Floresta posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

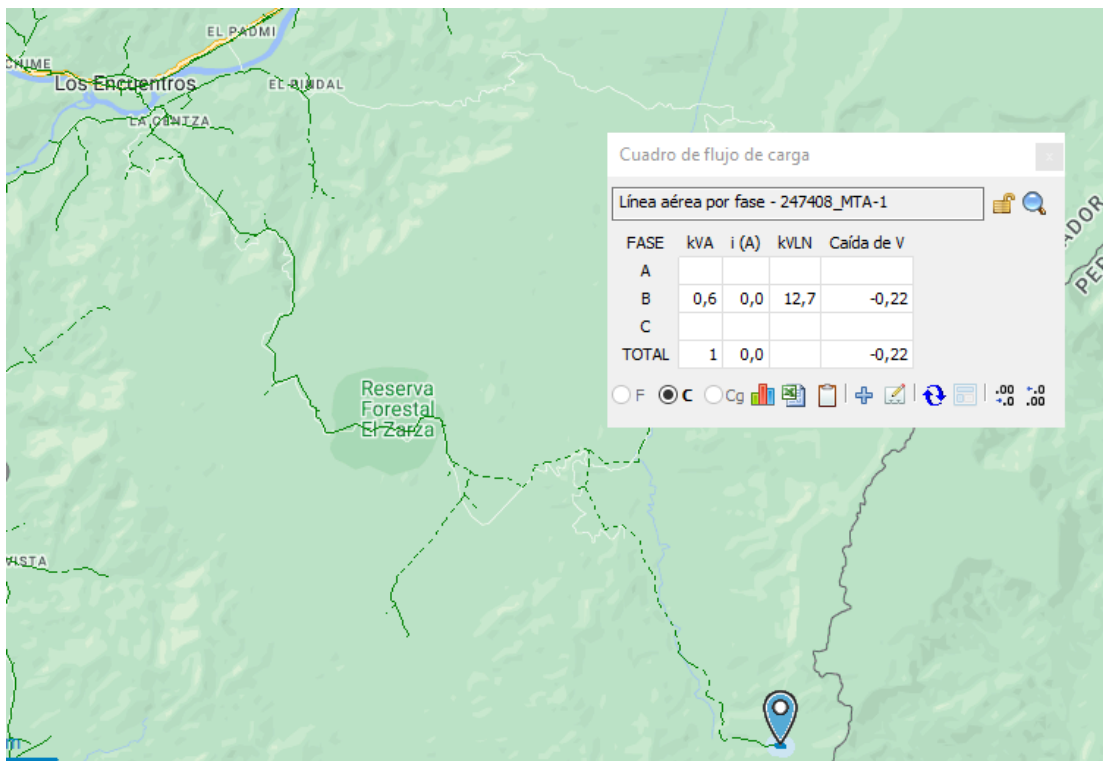


Figura 36. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Paquisha Alto posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

Anexo 5. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el AP Los Encuentros según condiciones de demanda con proyección a 5 años.

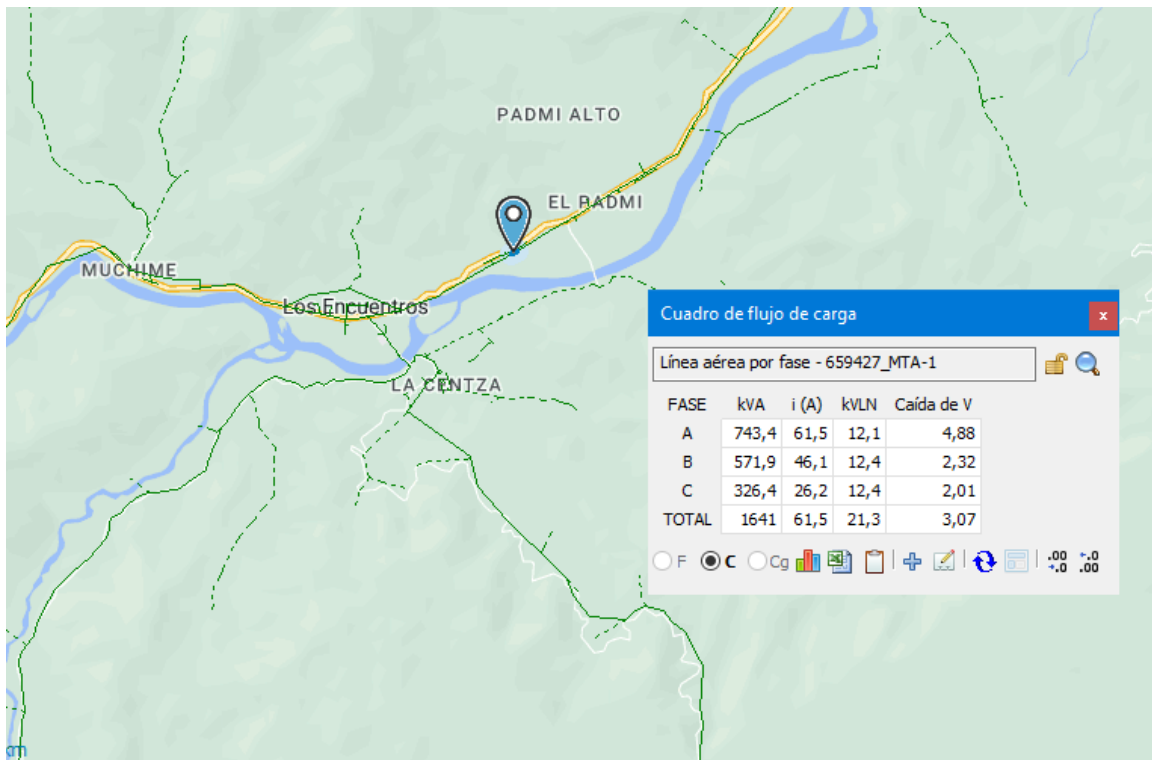


Figura 37. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Padmi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

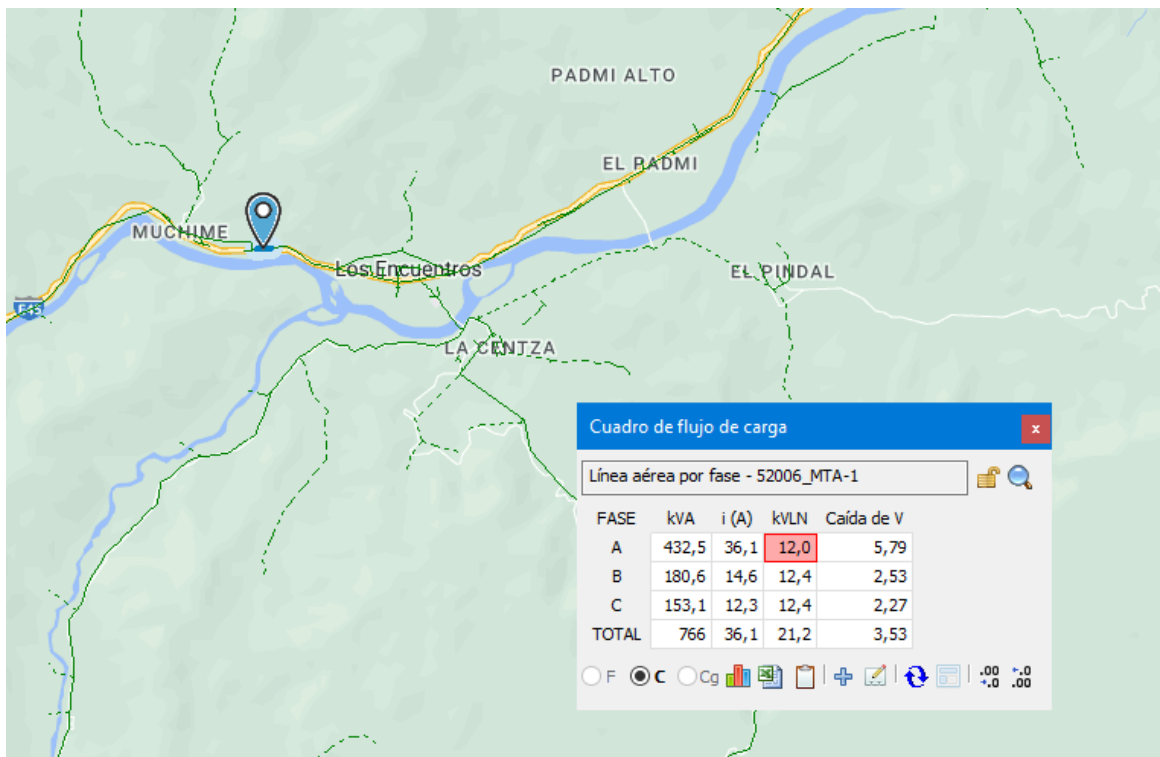


Figura 38. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Muchime posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

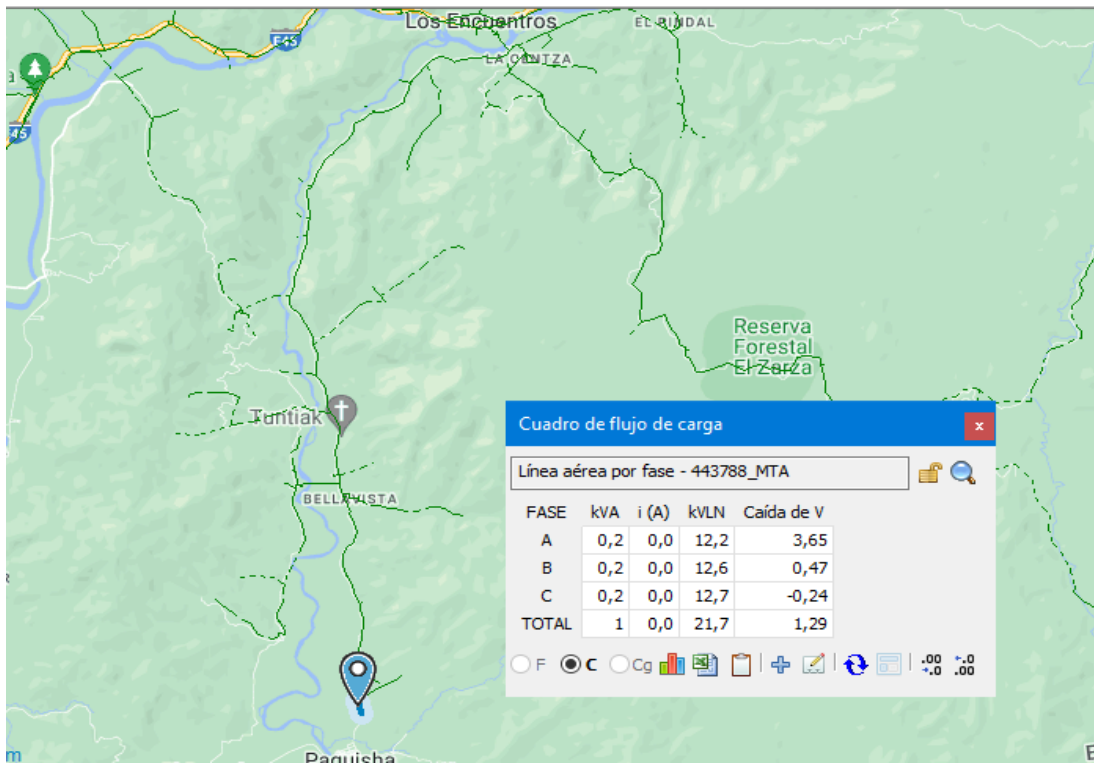


Figura 39. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Floresta posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

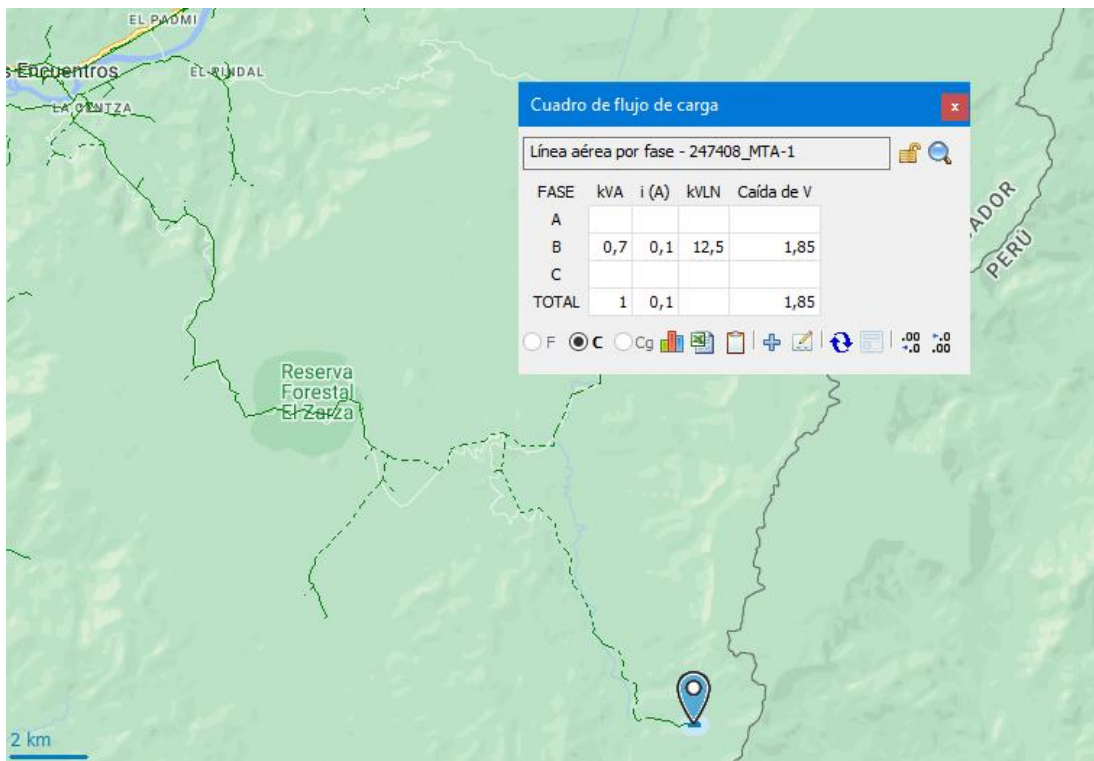


Figura 40. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Paquisha Alto posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

Anexo 6. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el AP Los Encuentros según condiciones de demanda con proyección a 10 años.

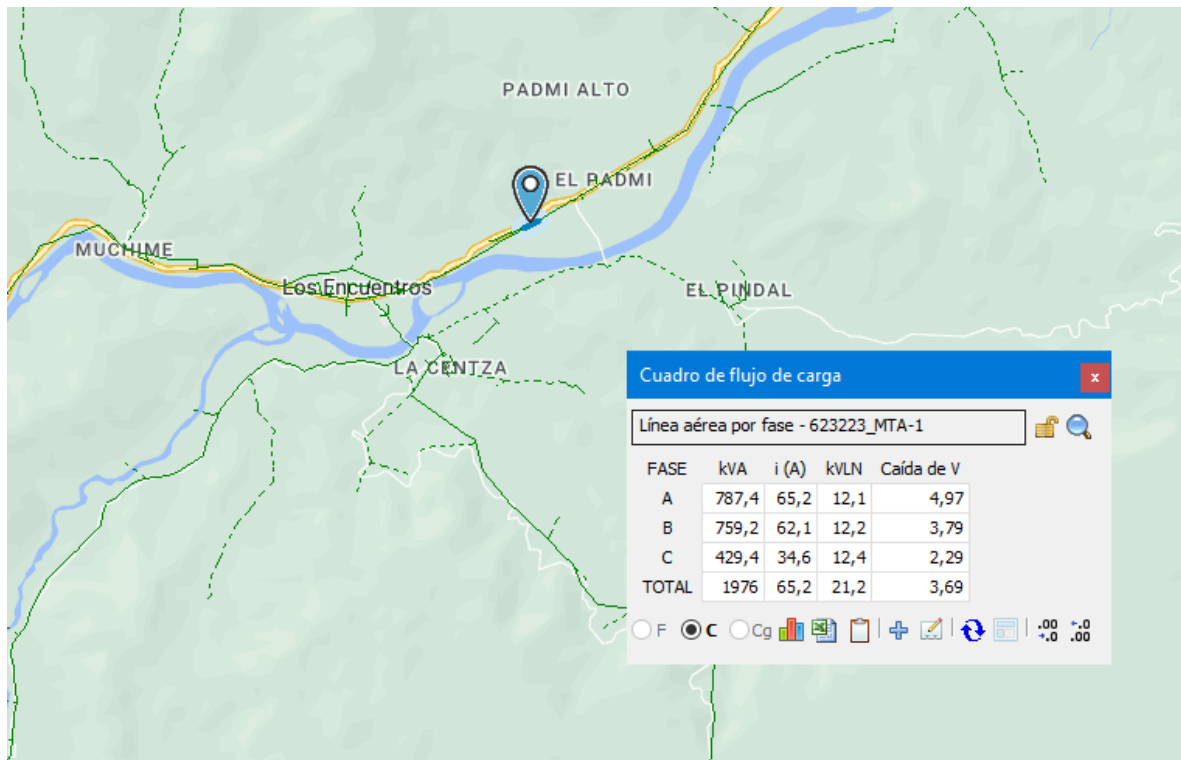


Figura 41. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Padmi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

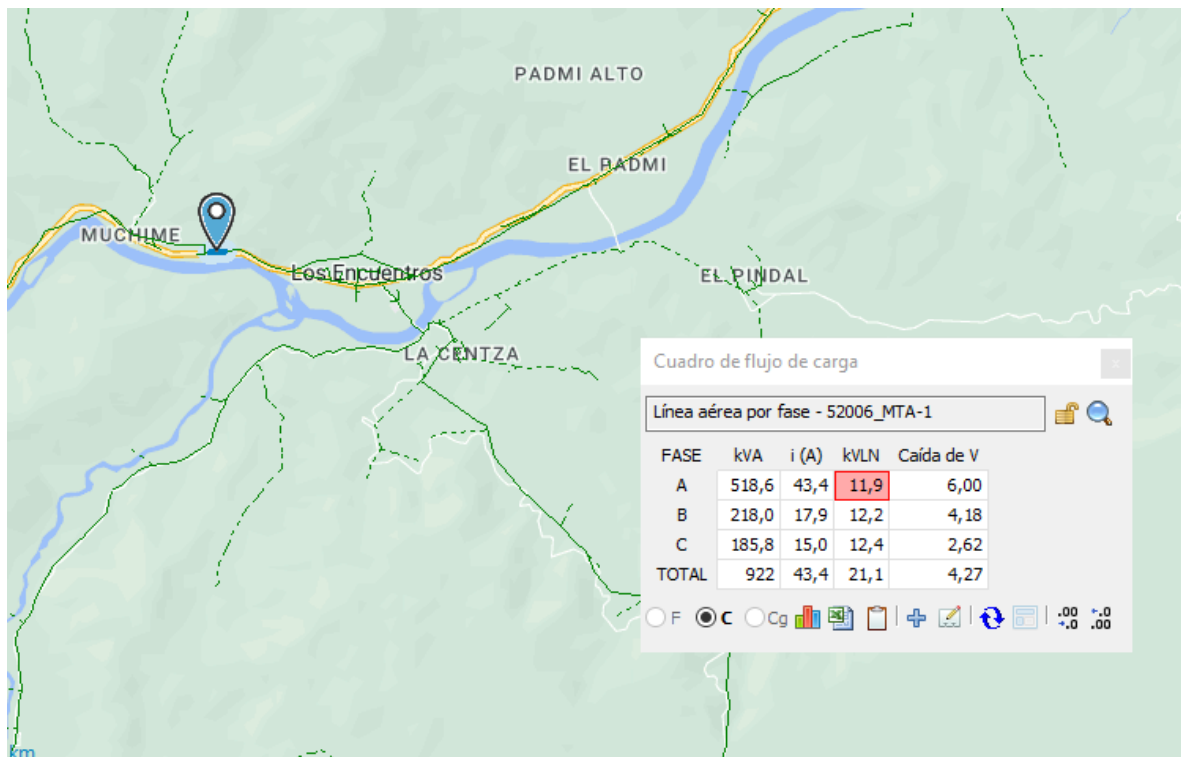


Figura 42. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Muchime posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

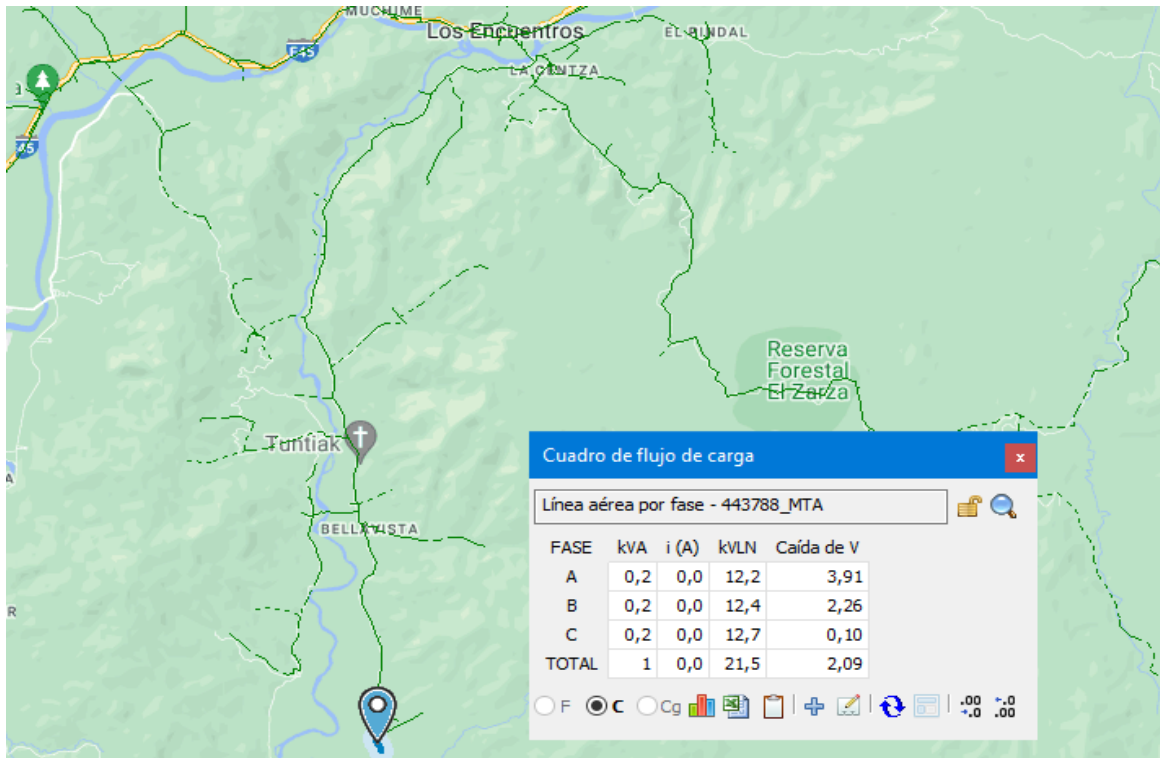


Figura 43. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Floresta posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

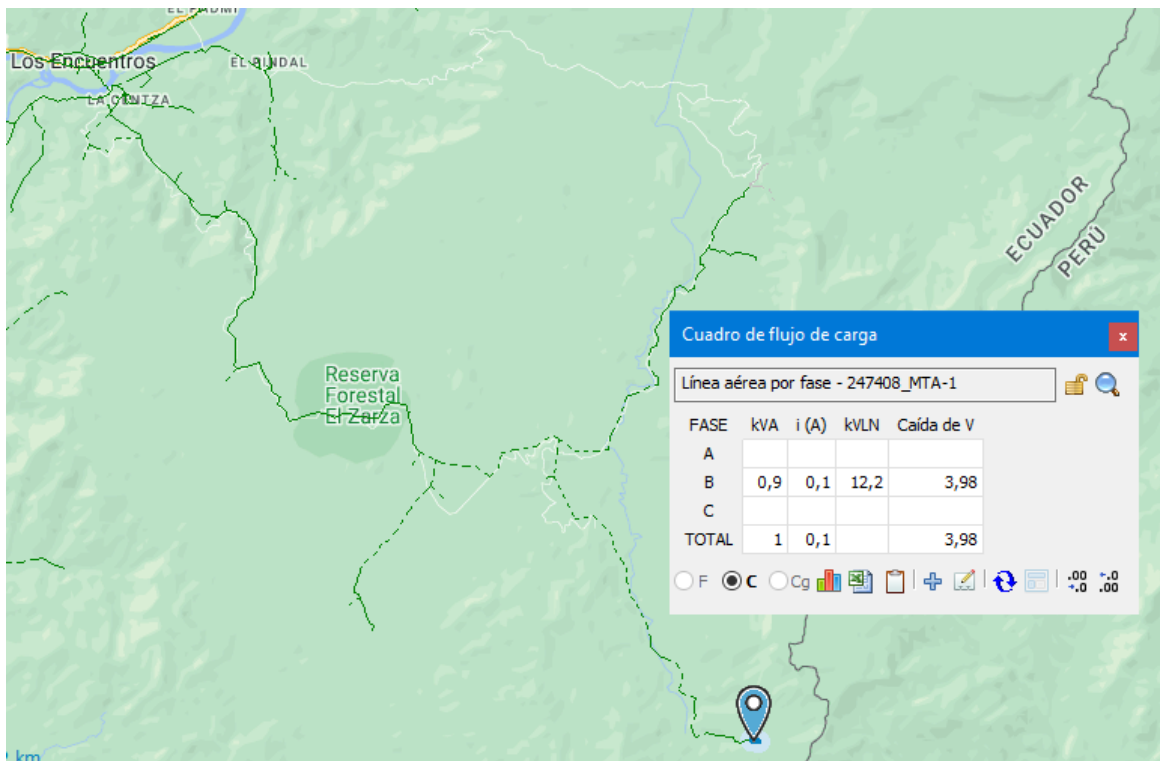


Figura 44. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Paquisha Alto posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

Anexo 7. Caída de Voltaje por sectores en el alimentador primario (AP) Paquisha de 22 kV con demanda actual (2024).



Figura 45. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Florida con demanda actual (2024)-AP Paquisha.

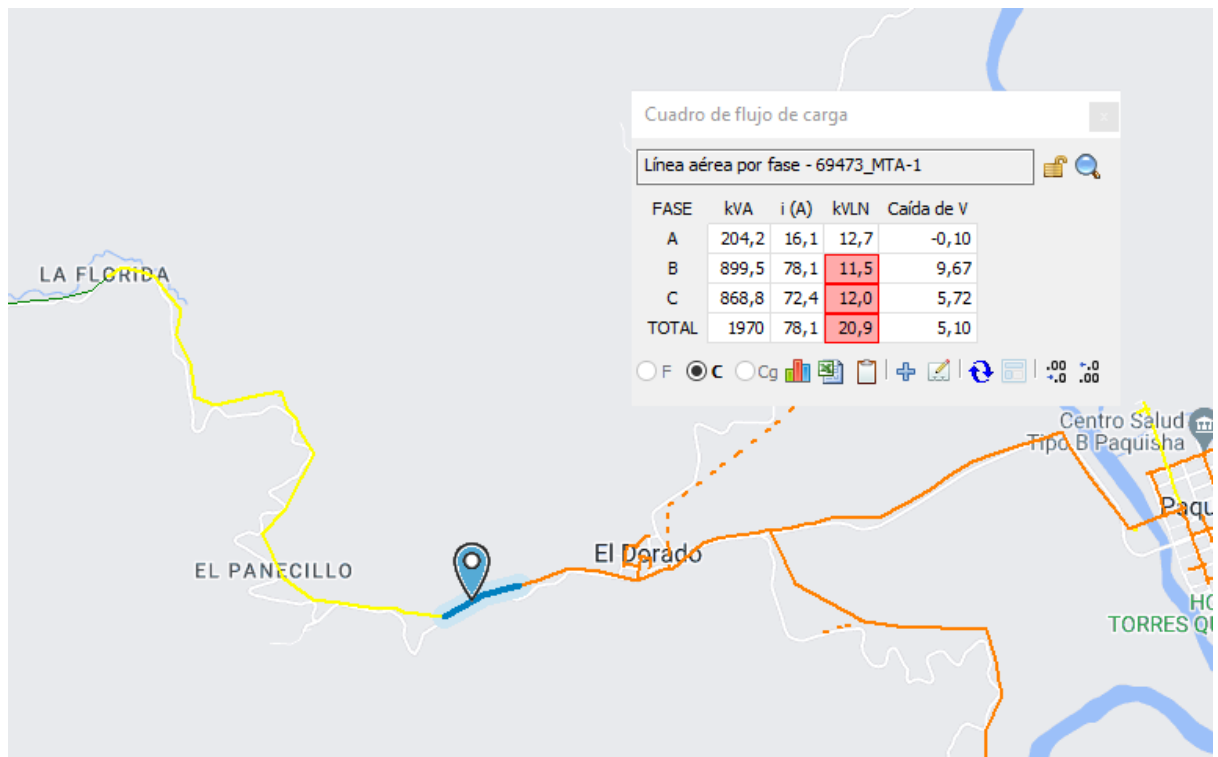


Figura 46. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Dorado con demanda actual (2024) -AP Paquisha.

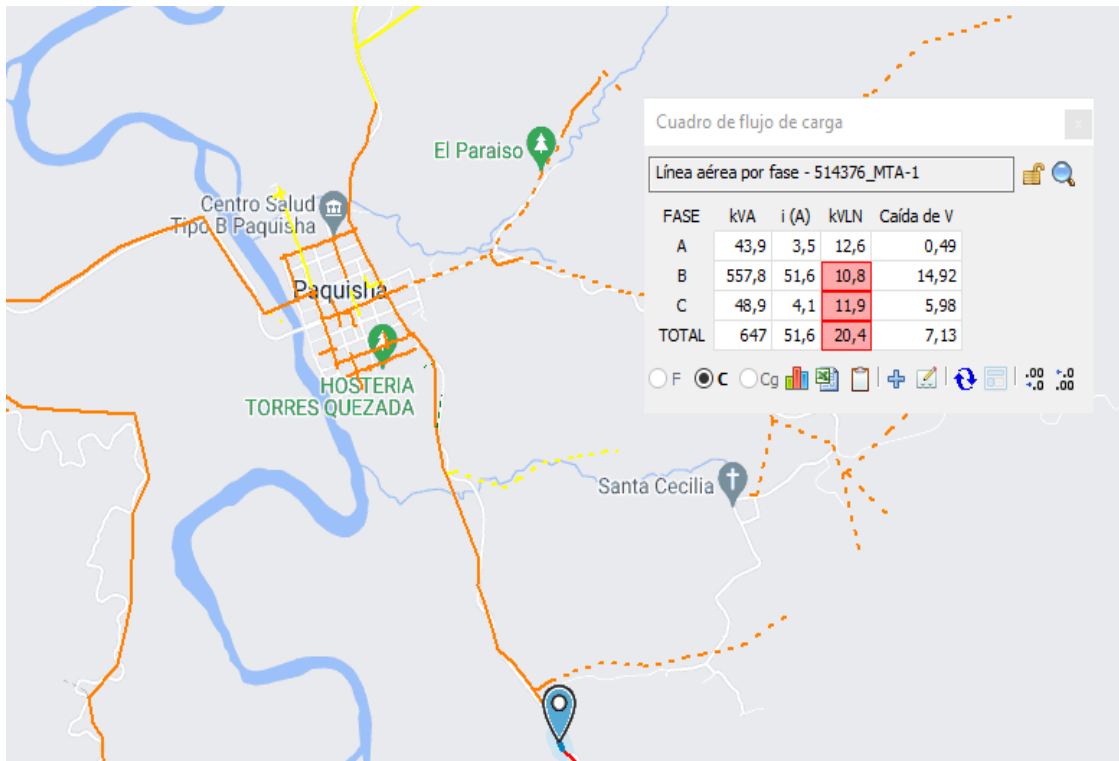


Figura 47. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Santa Rosa con demanda actual (2024) -AP Paquisha.

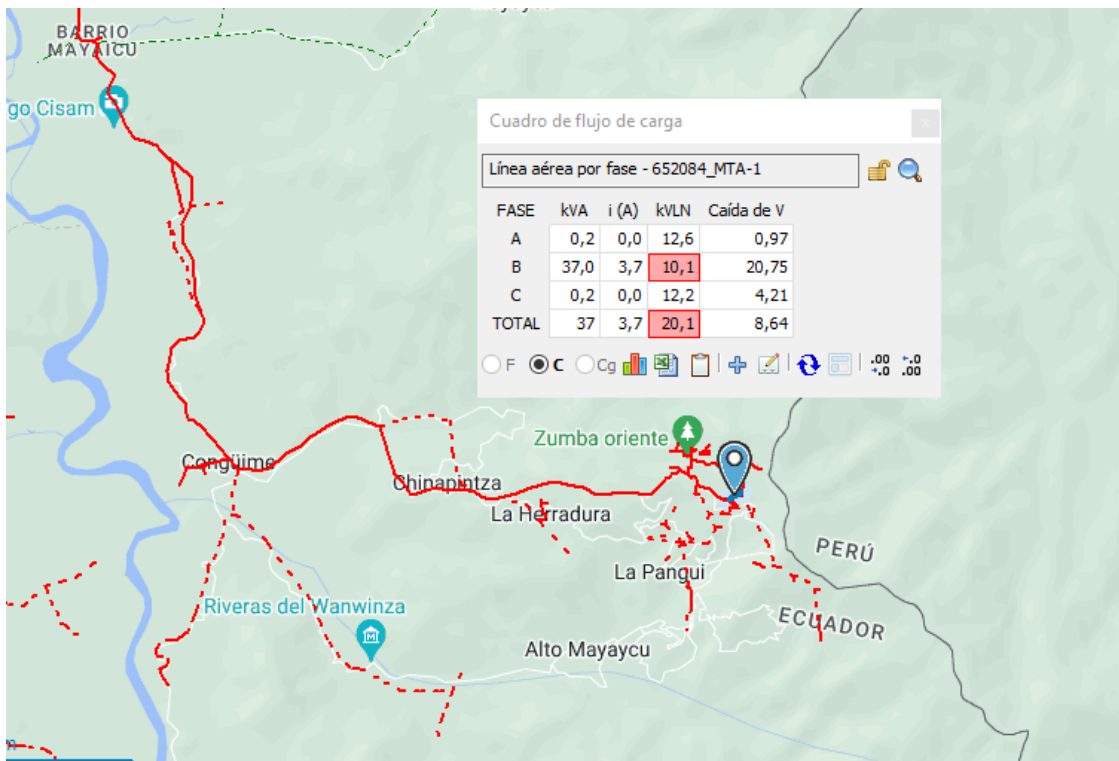


Figura 48. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Pangui con demanda actual (2024) -AP Paquisha.

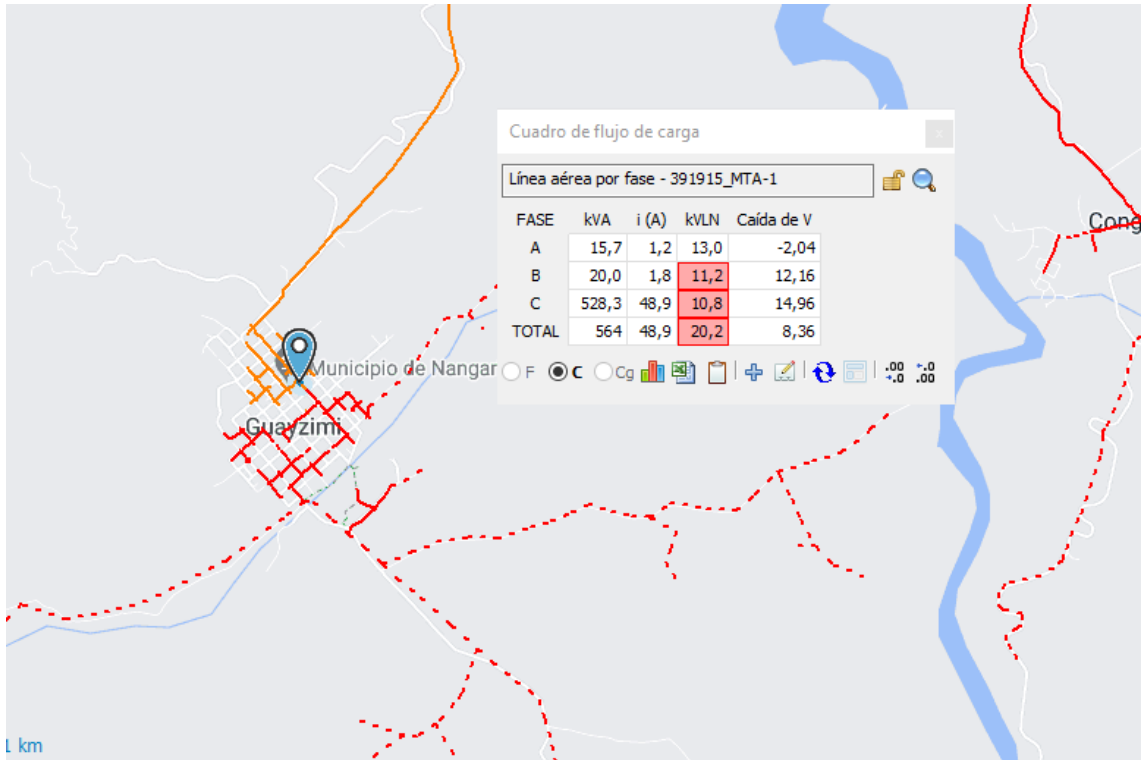


Figura 49. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Guayzimi con demanda actual (2024) -AP Paquisha.

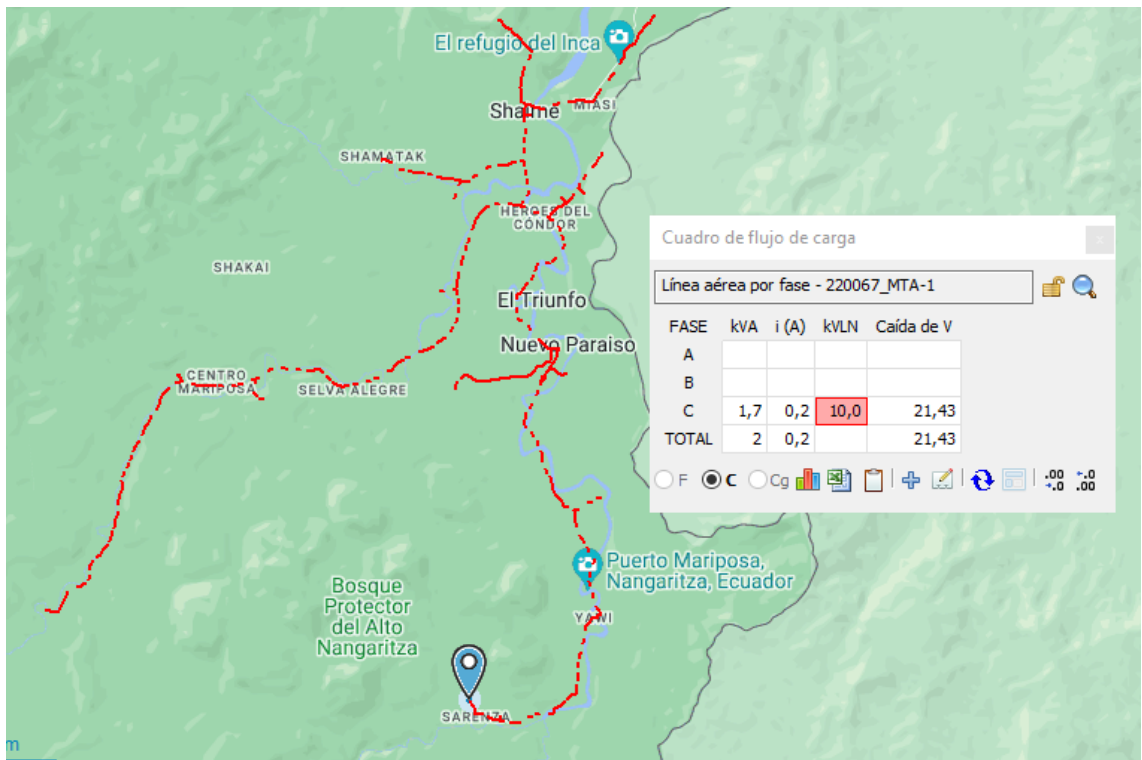


Figura 50. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Sarenza con demanda actual (2024) -AP Paquisha.

Anexo 8. Caída de Voltaje por sectores en el AP Paquisha de 22 kV con proyección de demanda a 5 años.



Figura 51. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Florida con demanda proyectada a 5 años.

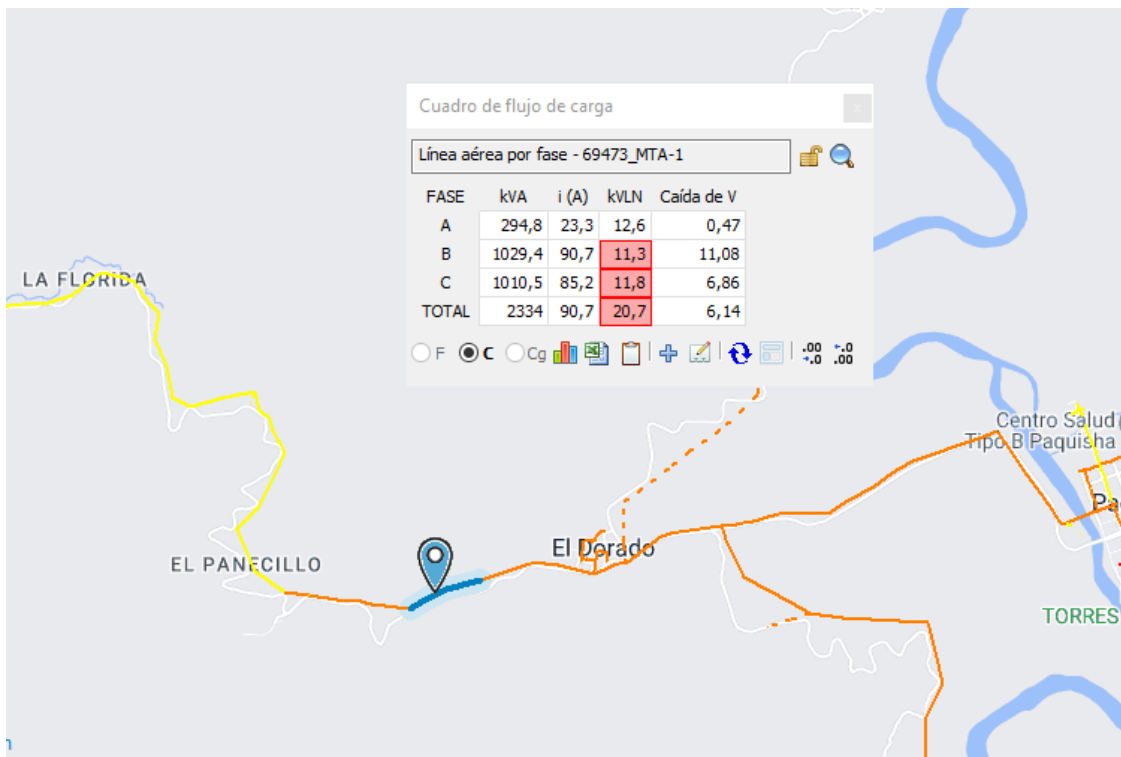


Figura 52. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Dorado con demanda proyectada a 5 años.

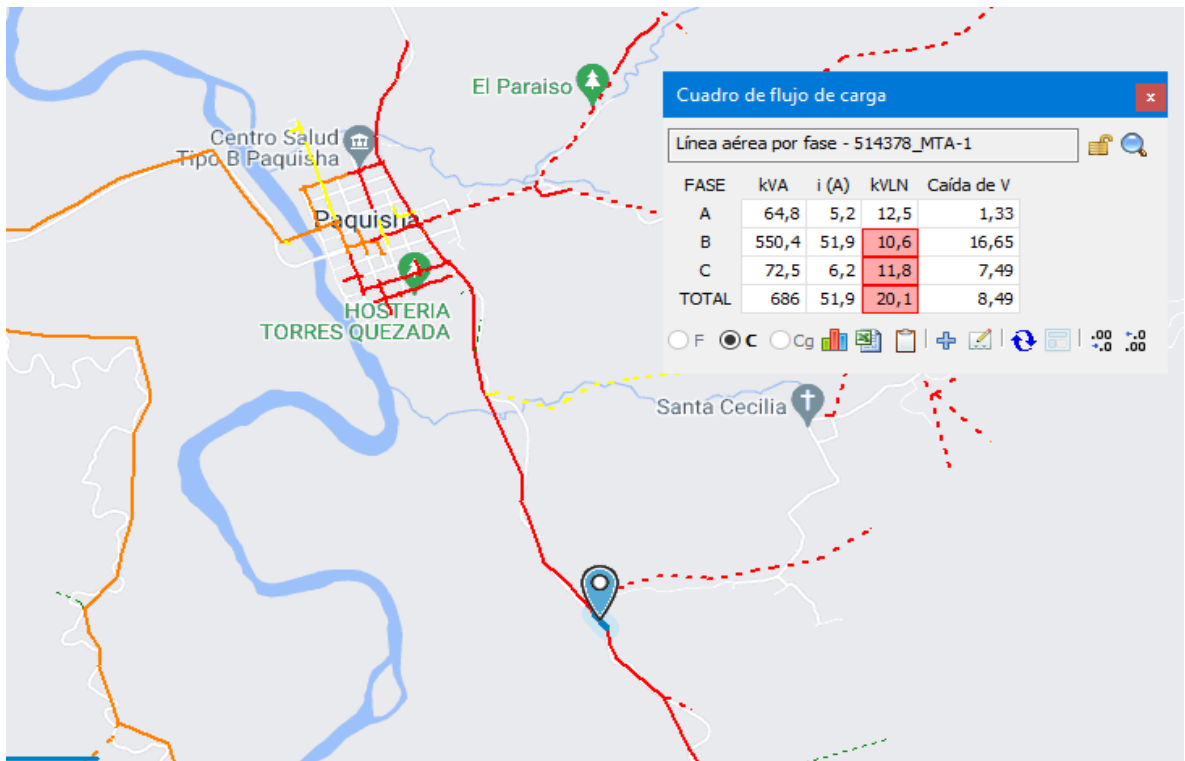


Figura 53. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Santa Rosa con demanda proyectada a 5 años.

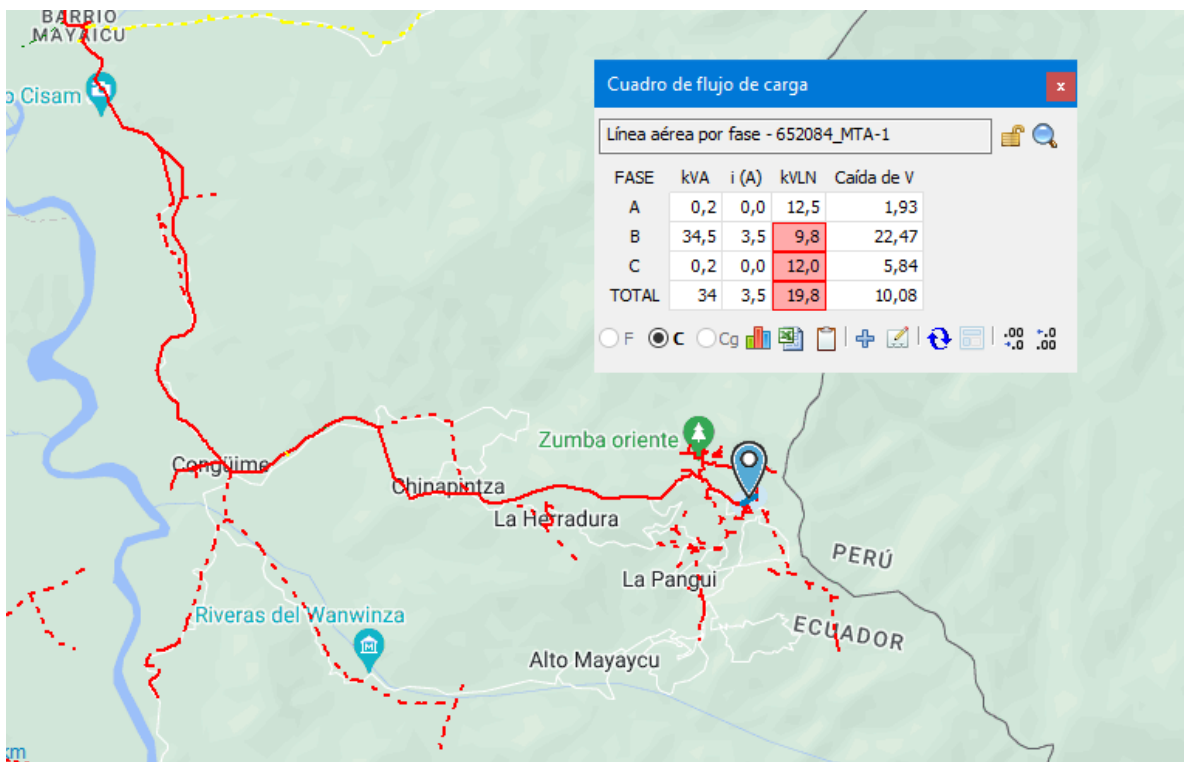


Figura 54. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Pangui con demanda proyectada a 5 años.

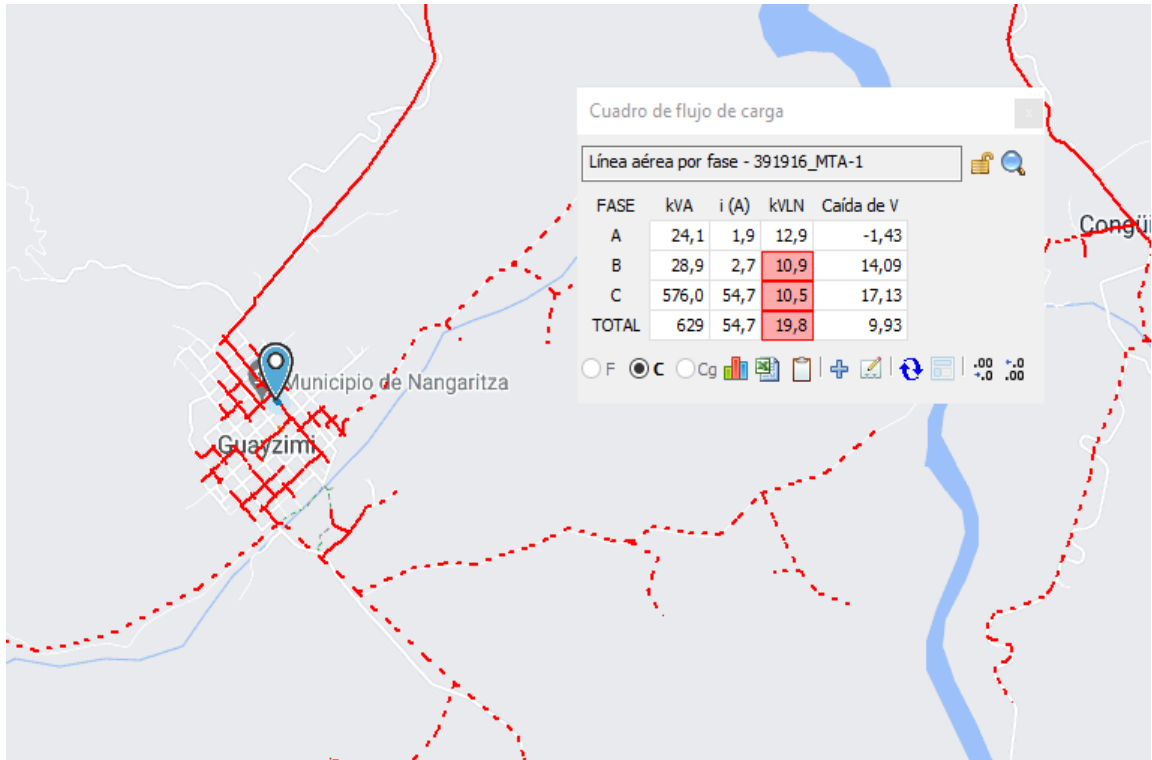


Figura 55. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Guayzimi con demanda proyectada a 5 años.

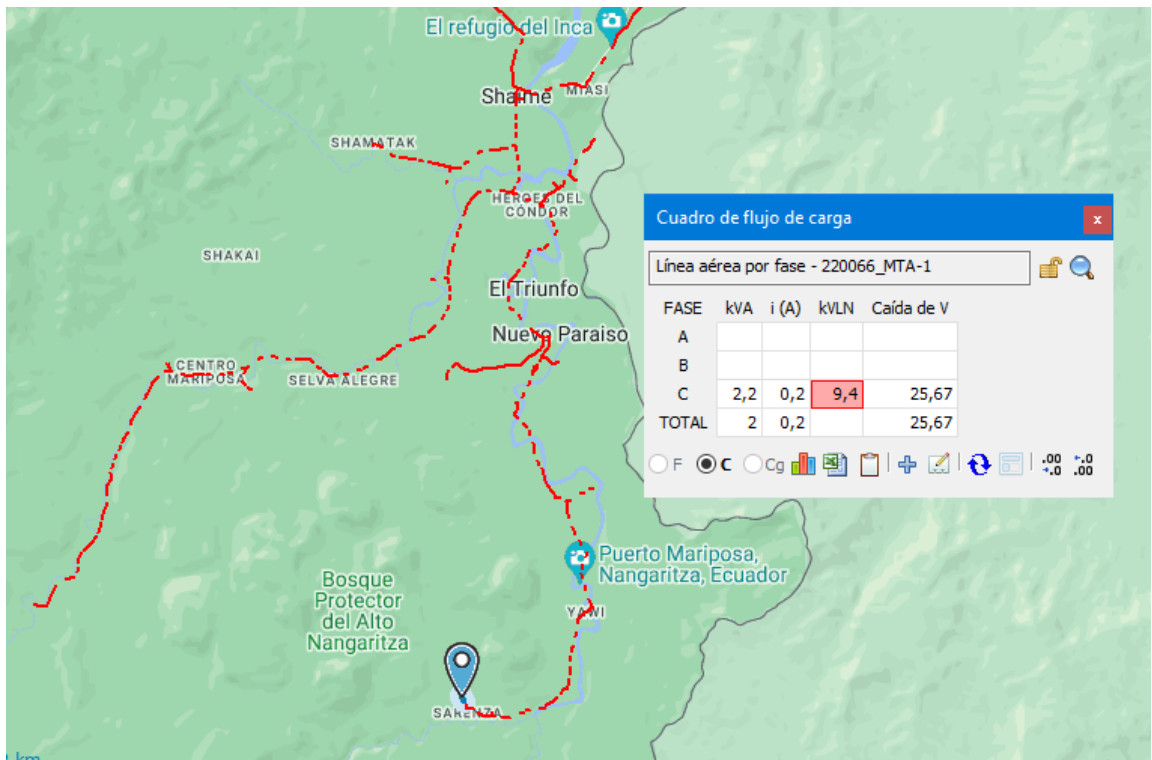


Figura 56. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Sarenza con demanda proyectada a 5 años.

Anexo 9. Caída de Voltaje por sectores en el AP Paquisha de 22 kV con proyección de demanda a 10 años.

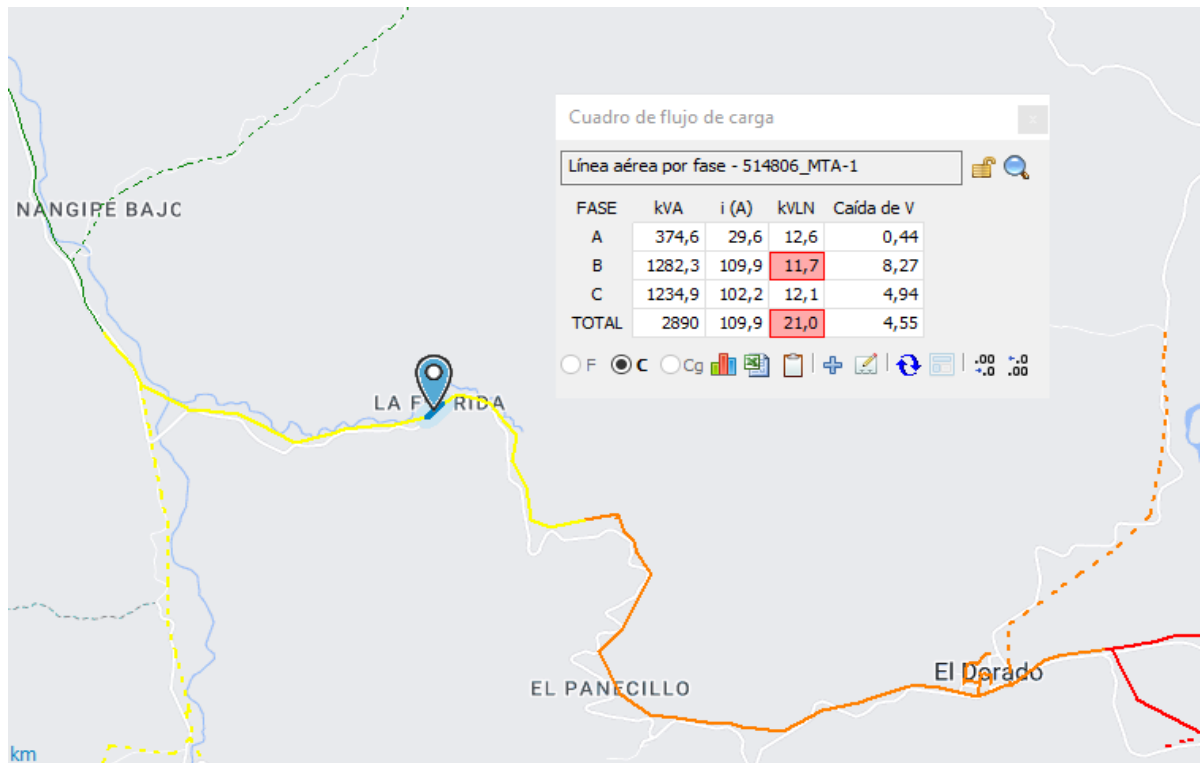


Figura 57. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Florida con demanda proyectada a 10 años.

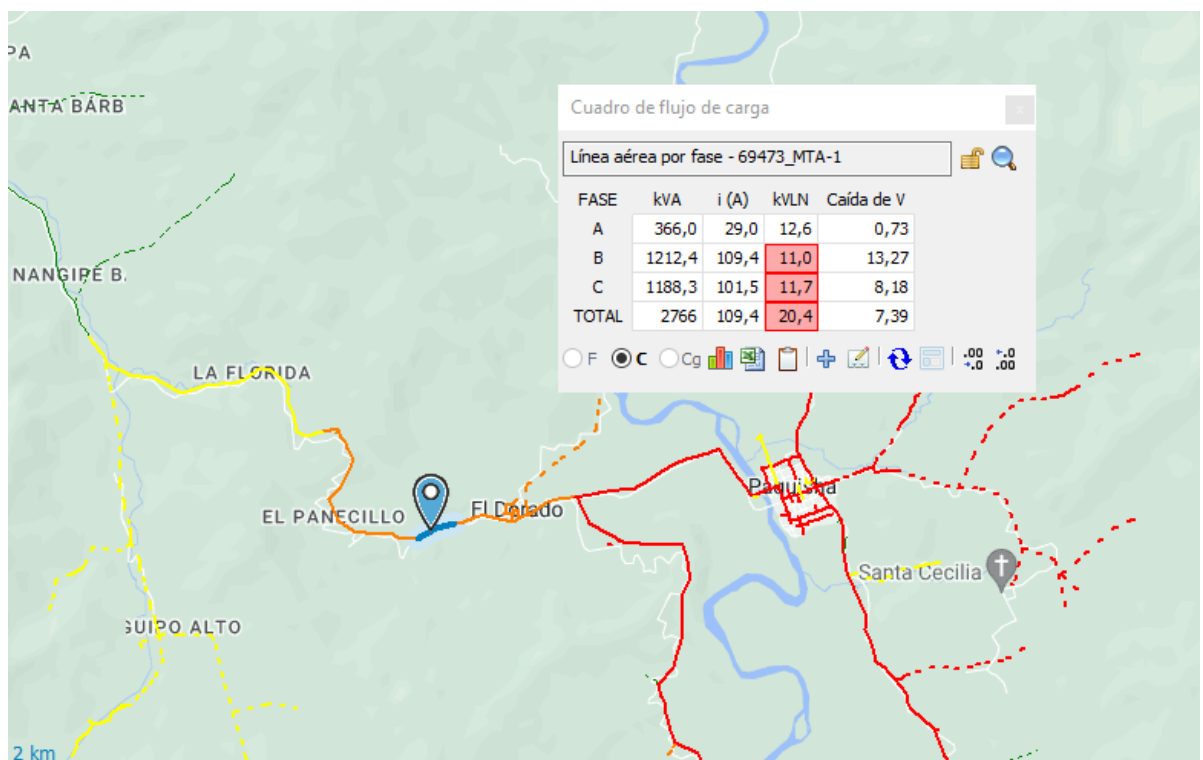


Figura 58. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Dorado con demanda proyectada a 10 años.

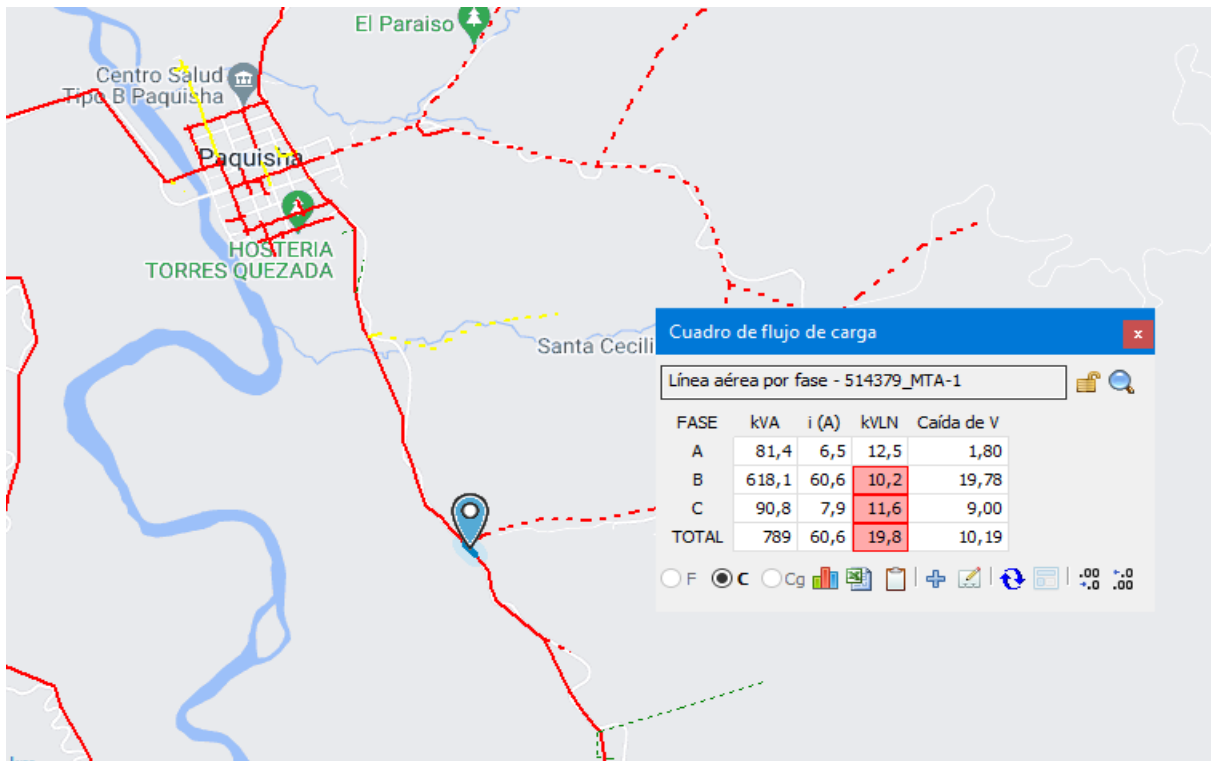


Figura 59. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Santa Rosa con demanda proyectada a 10 años.

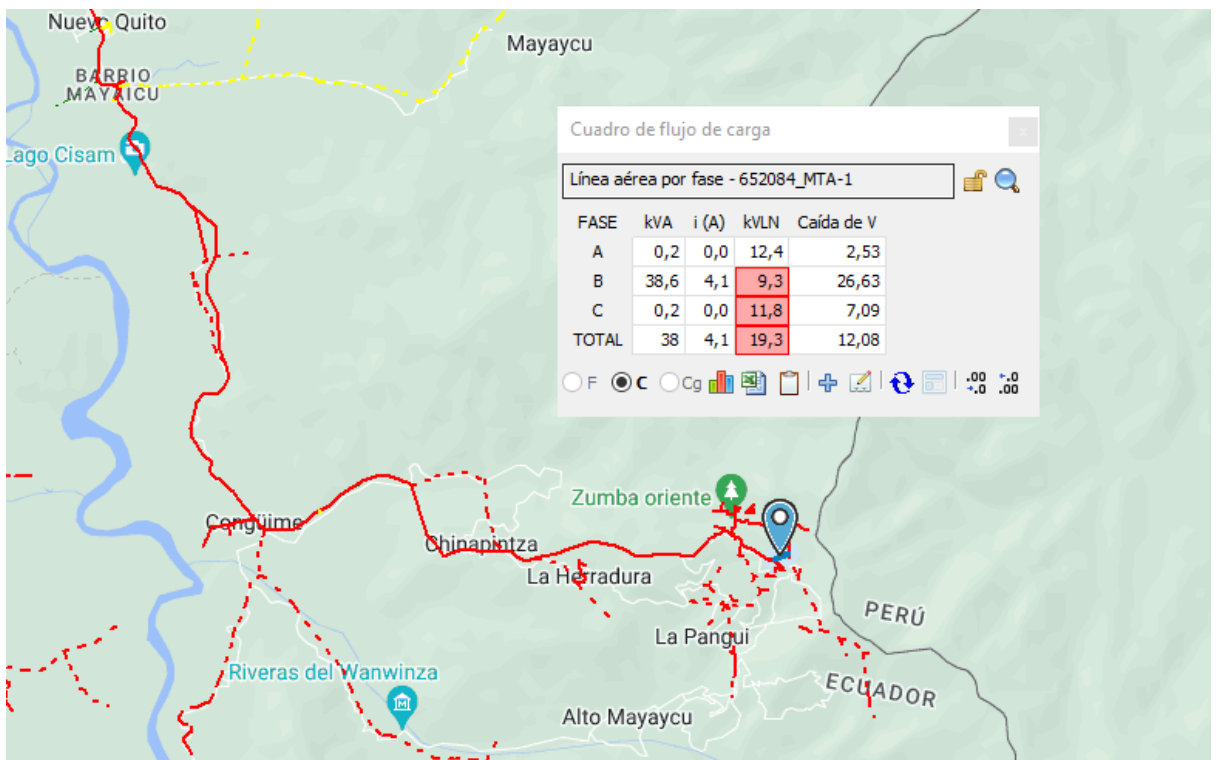


Figura 60. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Pangui con demanda proyectada a 10 años.

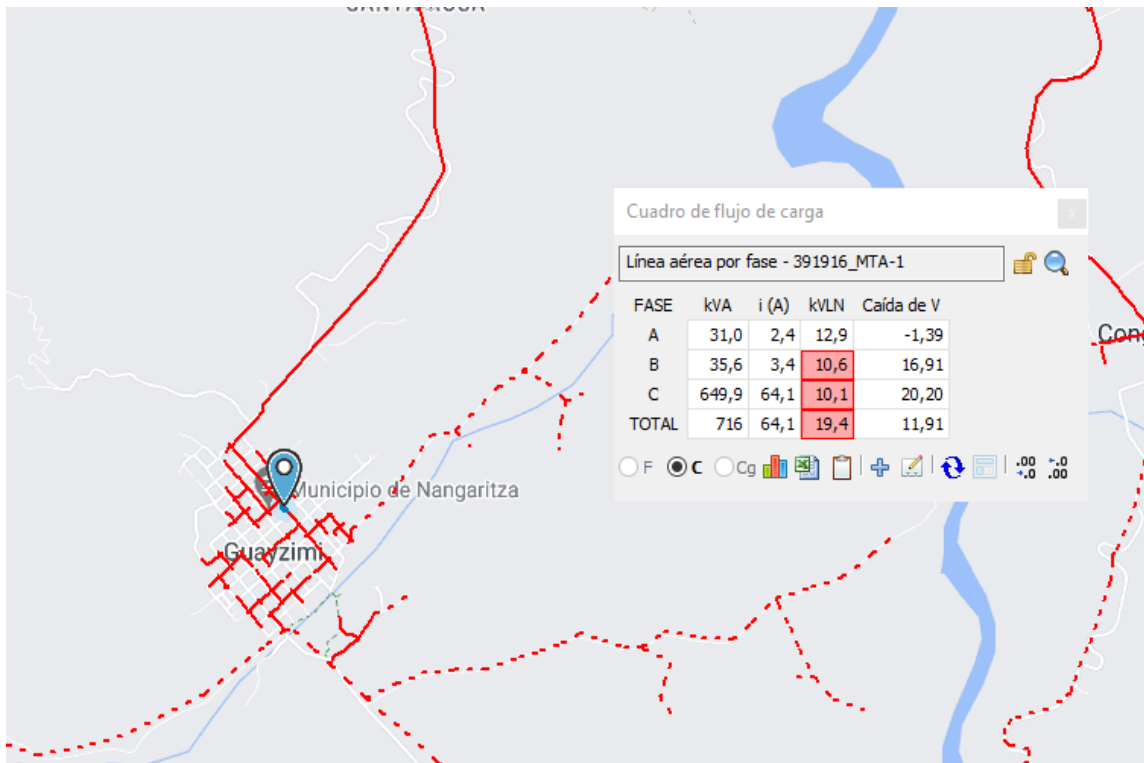


Figura 61. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Guayzimi con demanda proyectada a 10 años.

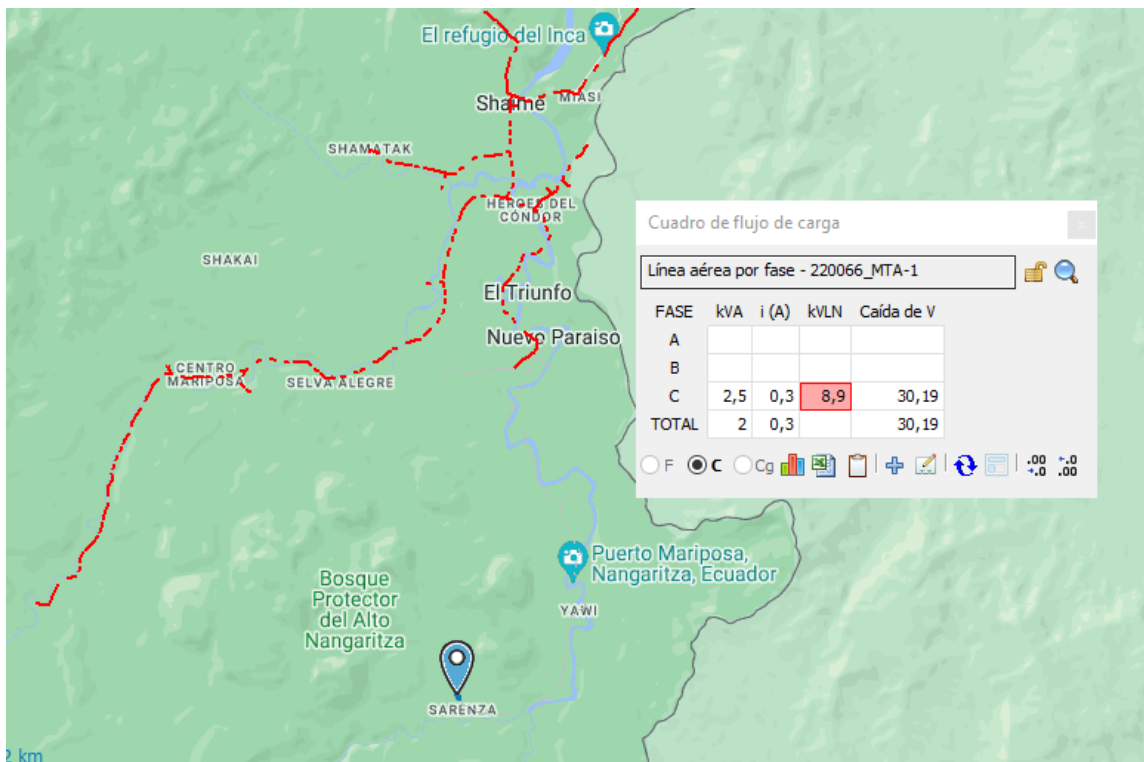


Figura 62. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Sarenza con demanda proyectada a 10 años.

Anexo 10. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el AP Paquisha según condiciones de demanda actual (2024).

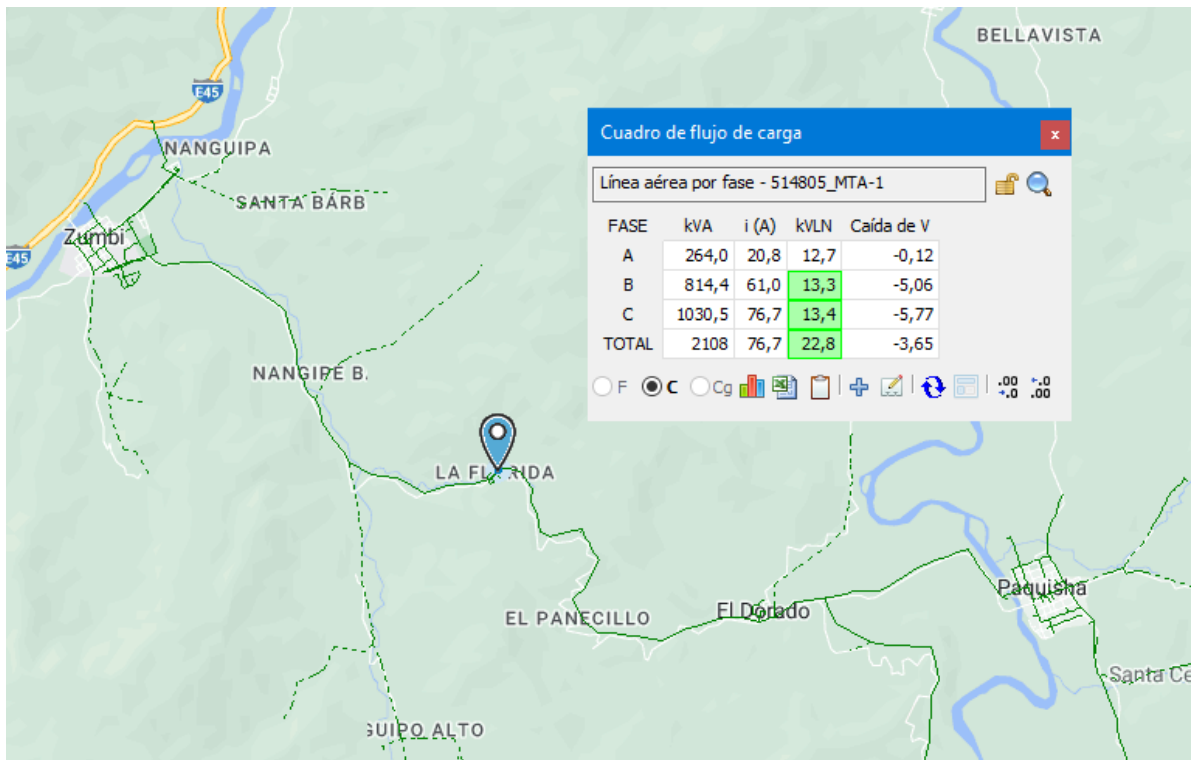


Figura 63. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Florida posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

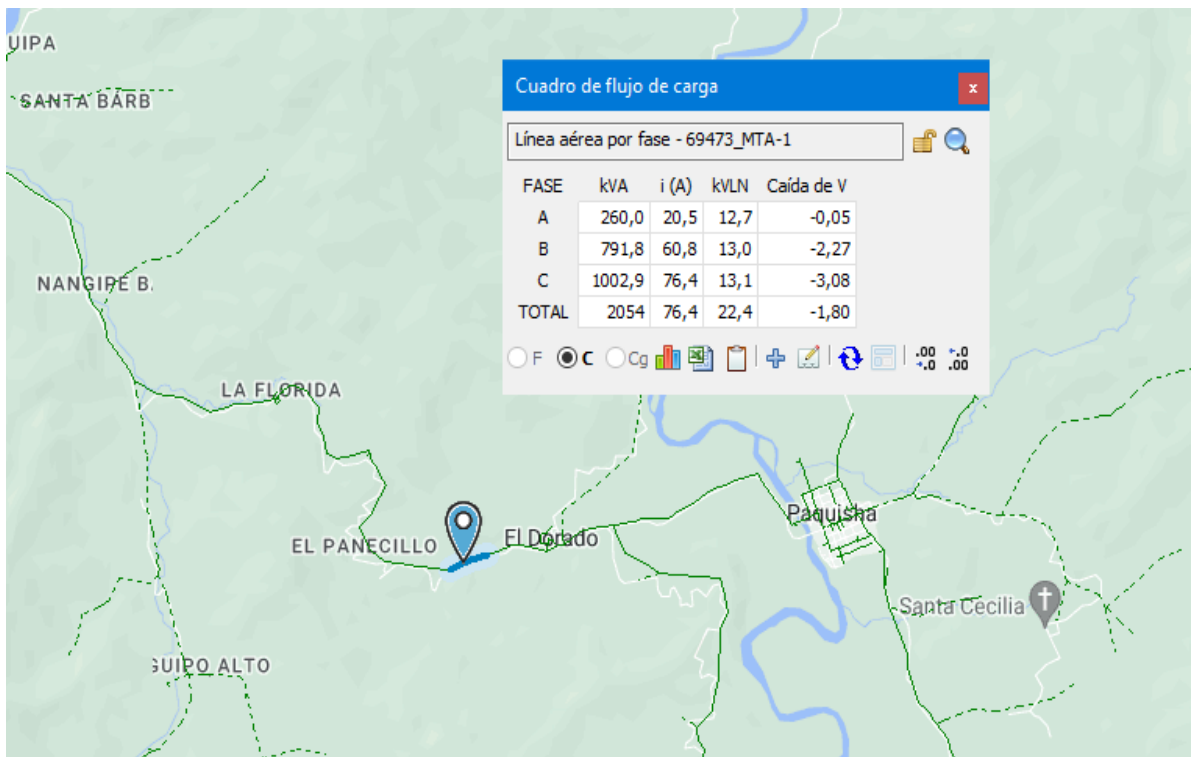


Figura 64. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Dorado posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

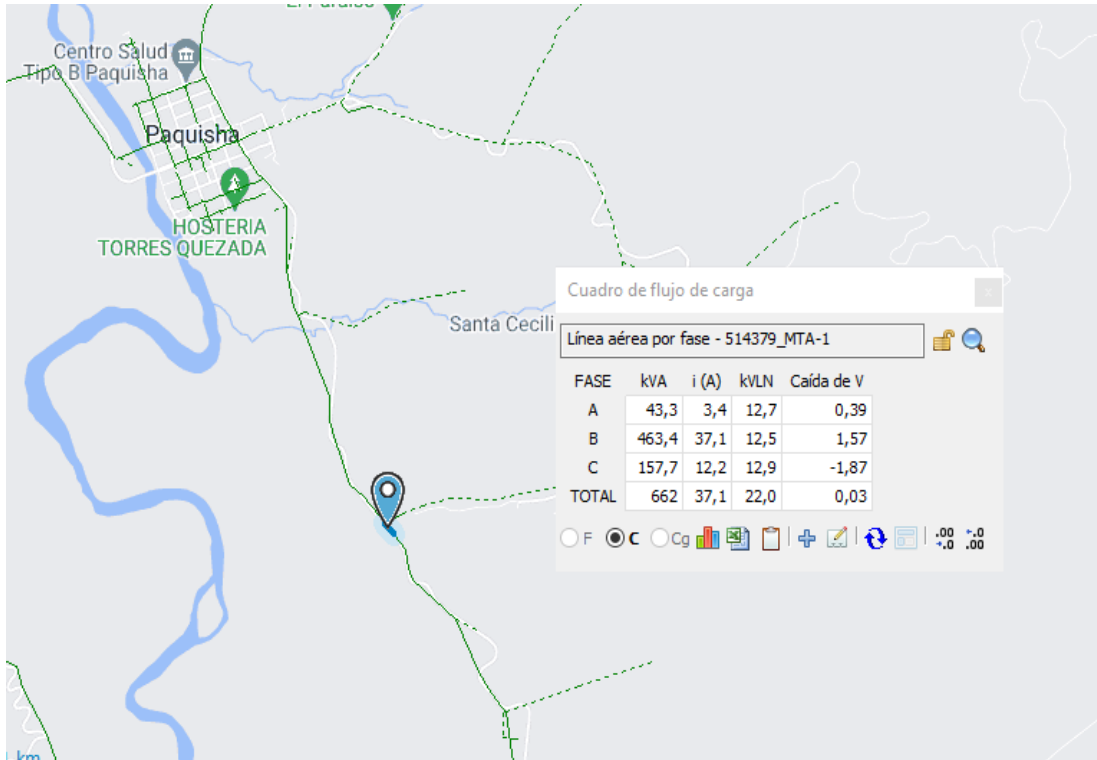


Figura 65. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Santa Rosa posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

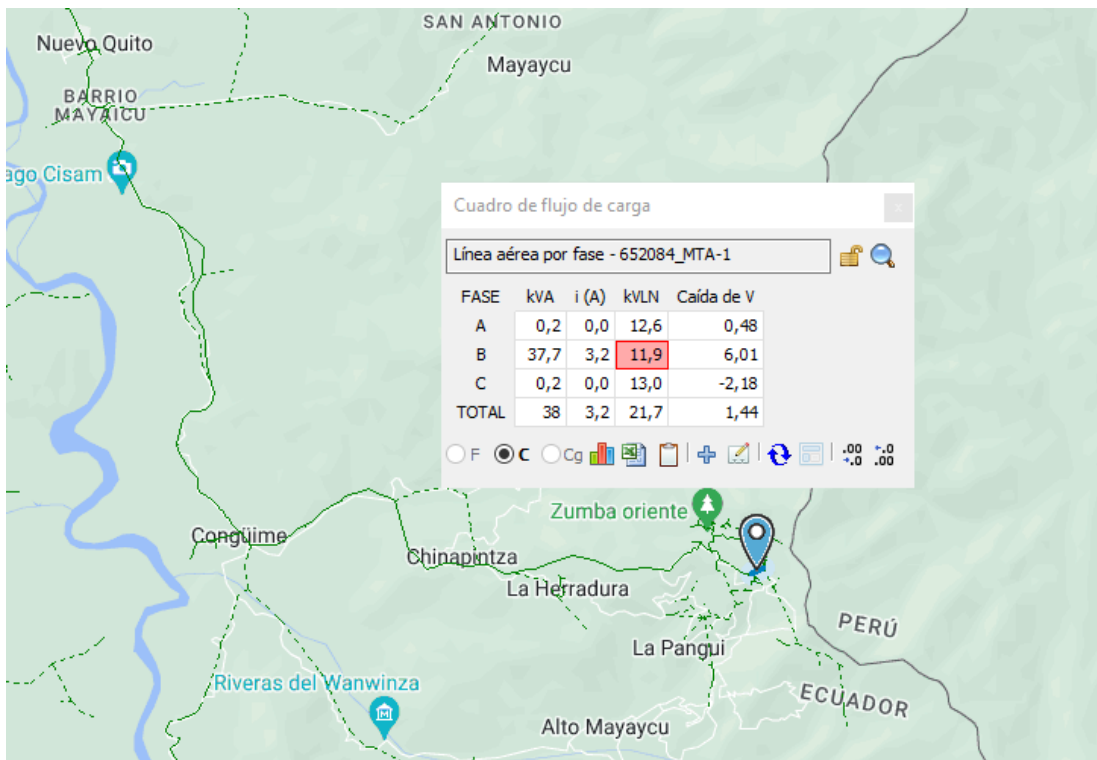


Figura 66. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Pangui posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

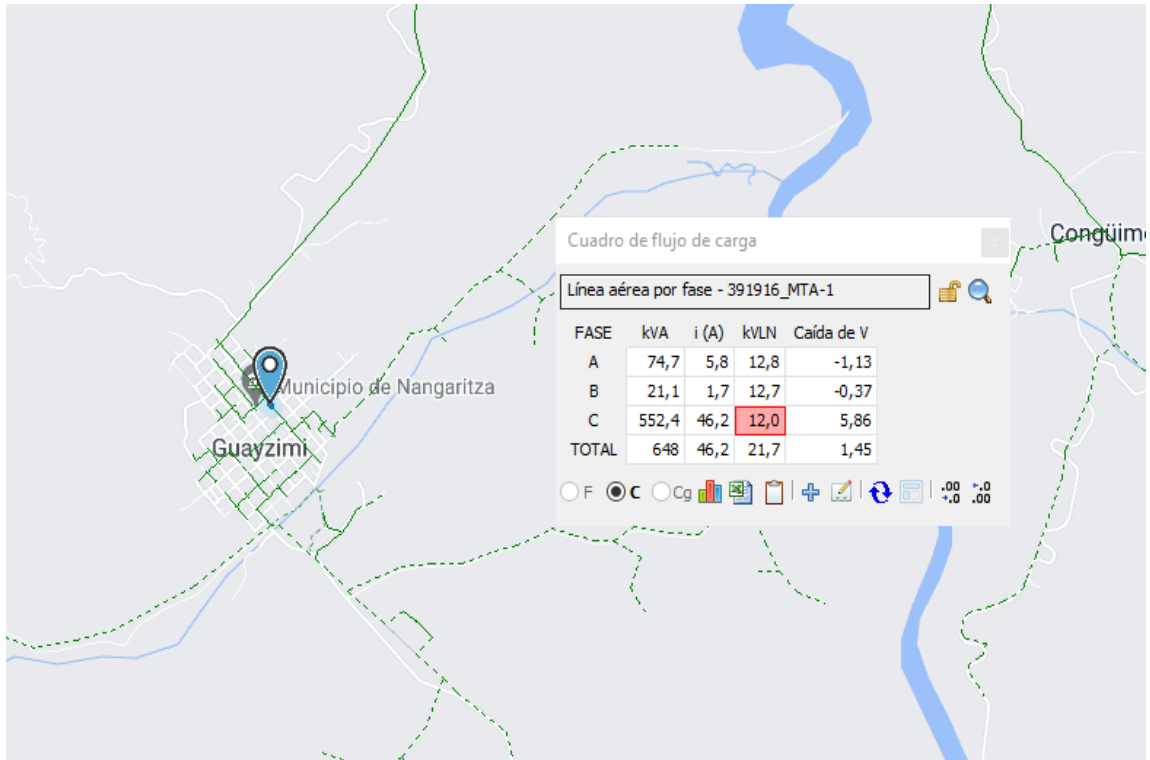


Figura 67. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Guayzimi posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

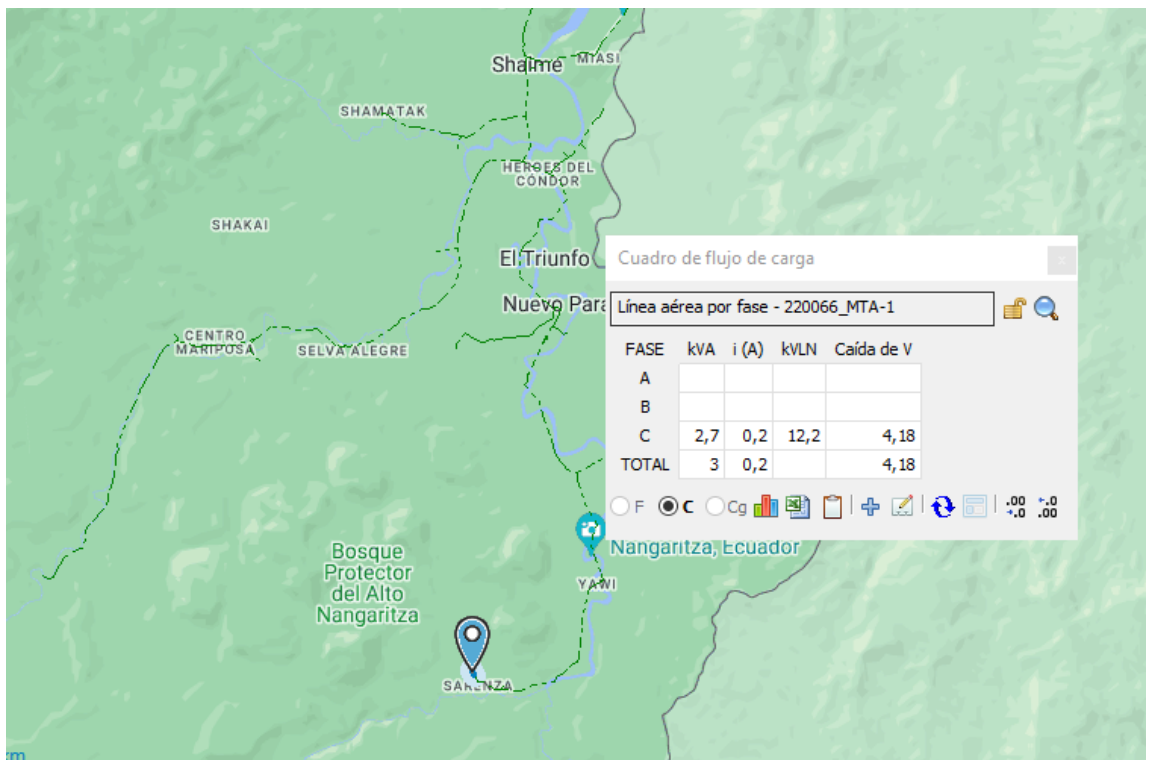


Figura 68. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Sarenza posterior a correctivos y mejoras con demanda actual (2024).

Anexo 11. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el AP Paquisha según condiciones de demanda con proyección a 5 años.

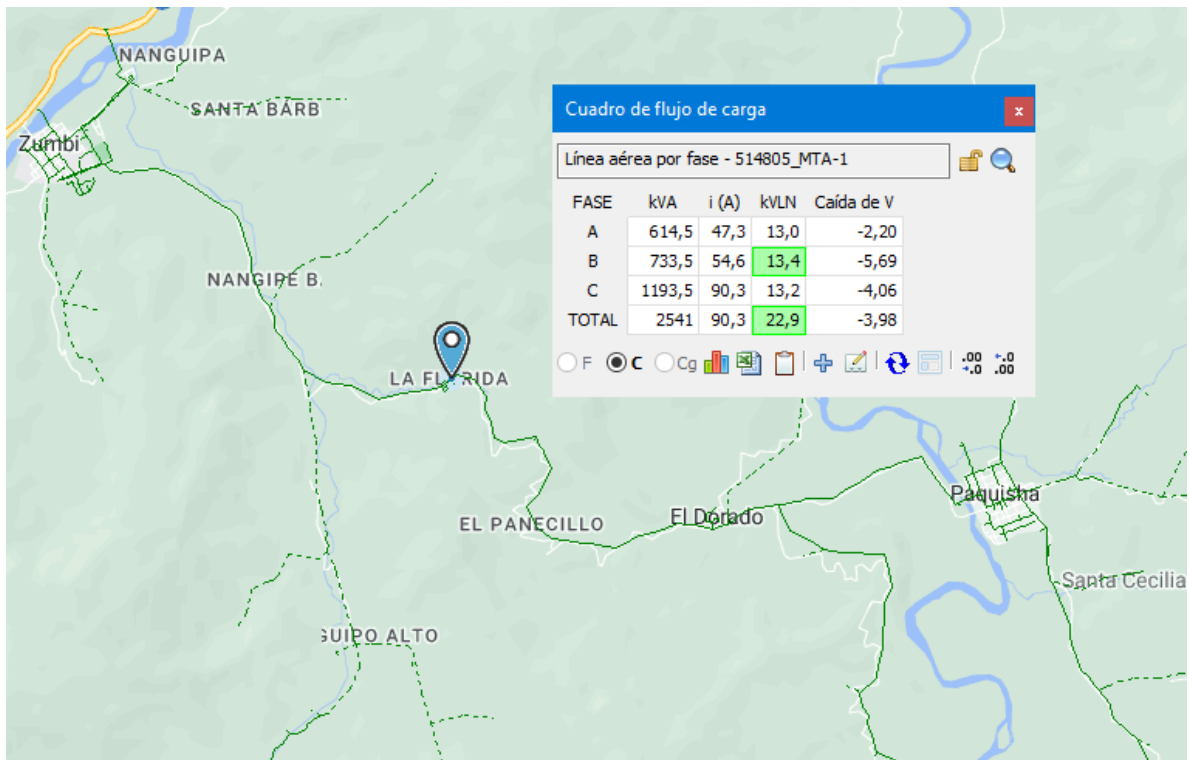


Figura 69. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Florida posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

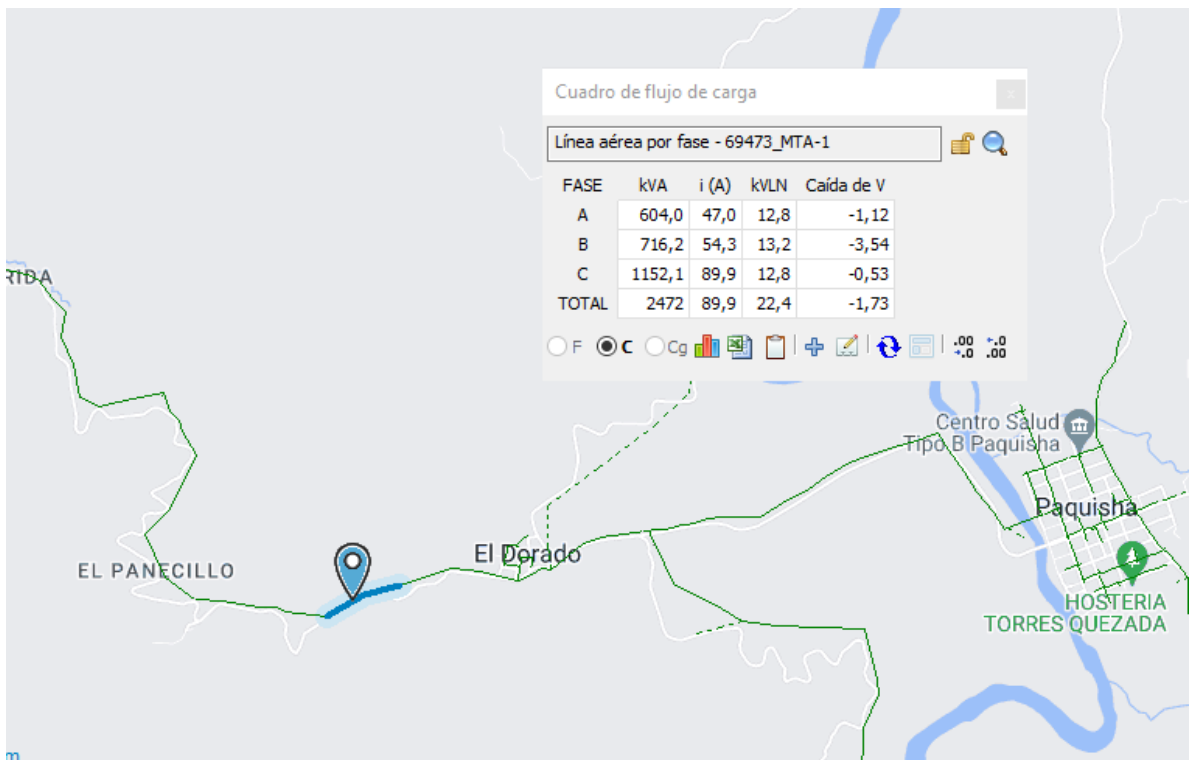


Figura 70. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Dorado posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

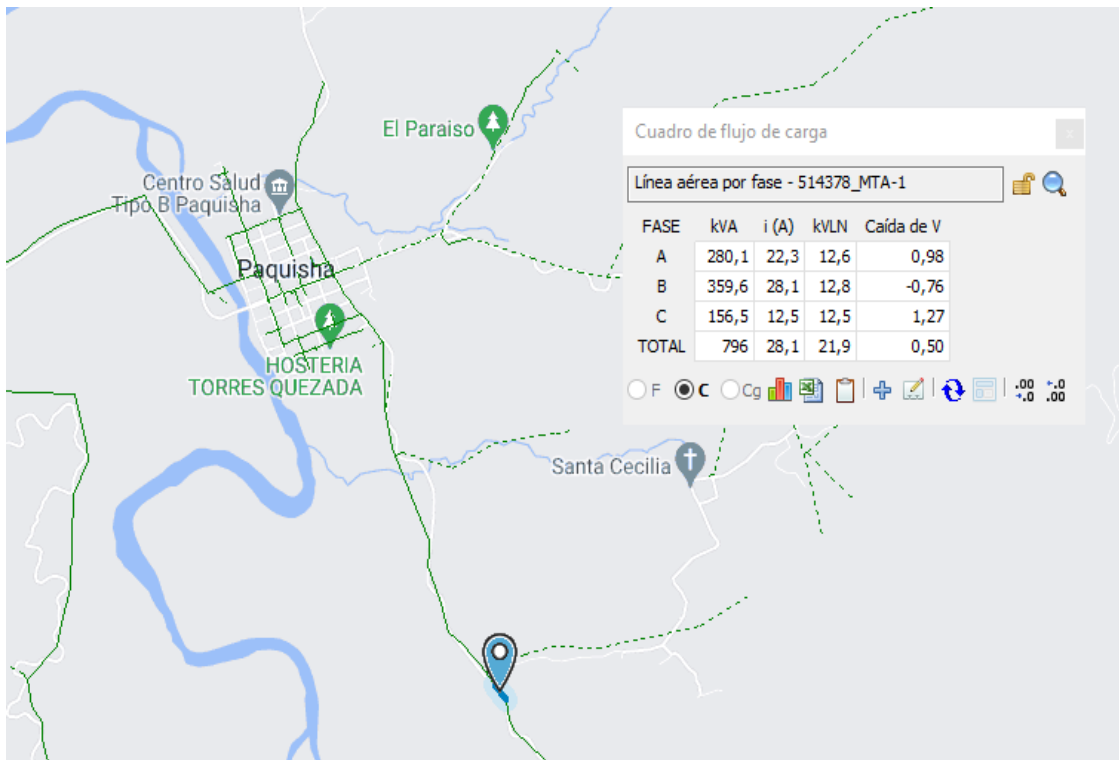


Figura 71. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Santa Rosa posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

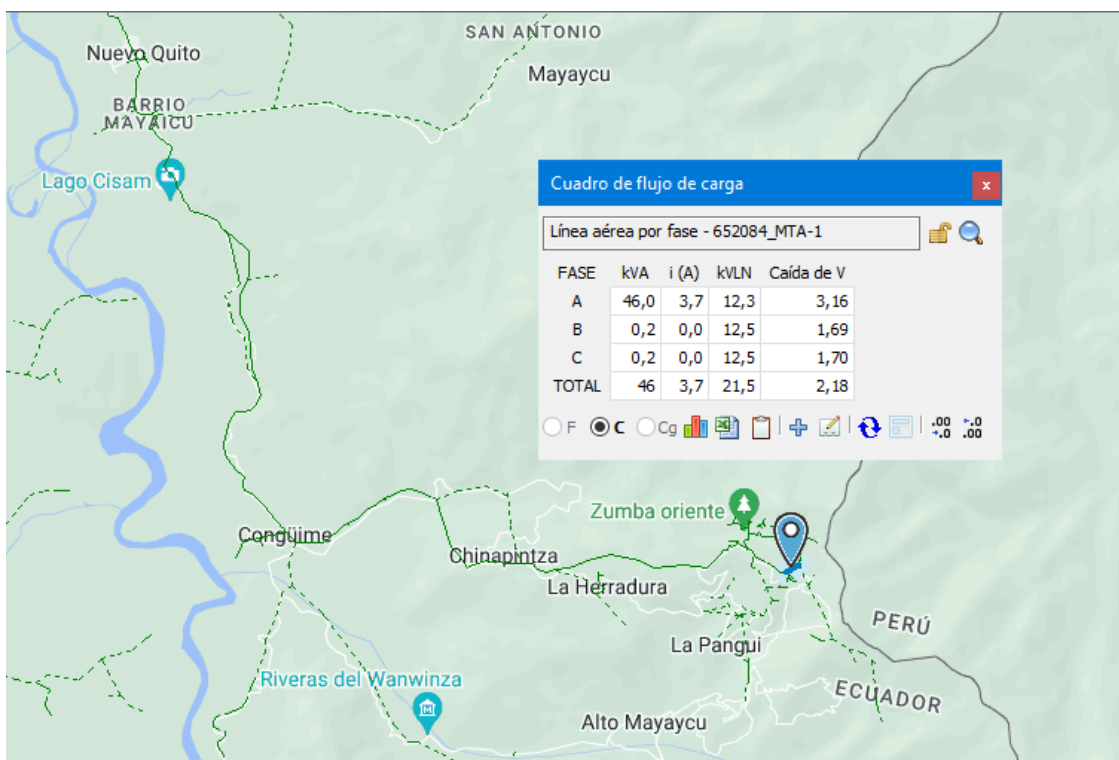


Figura 72. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Pangui posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

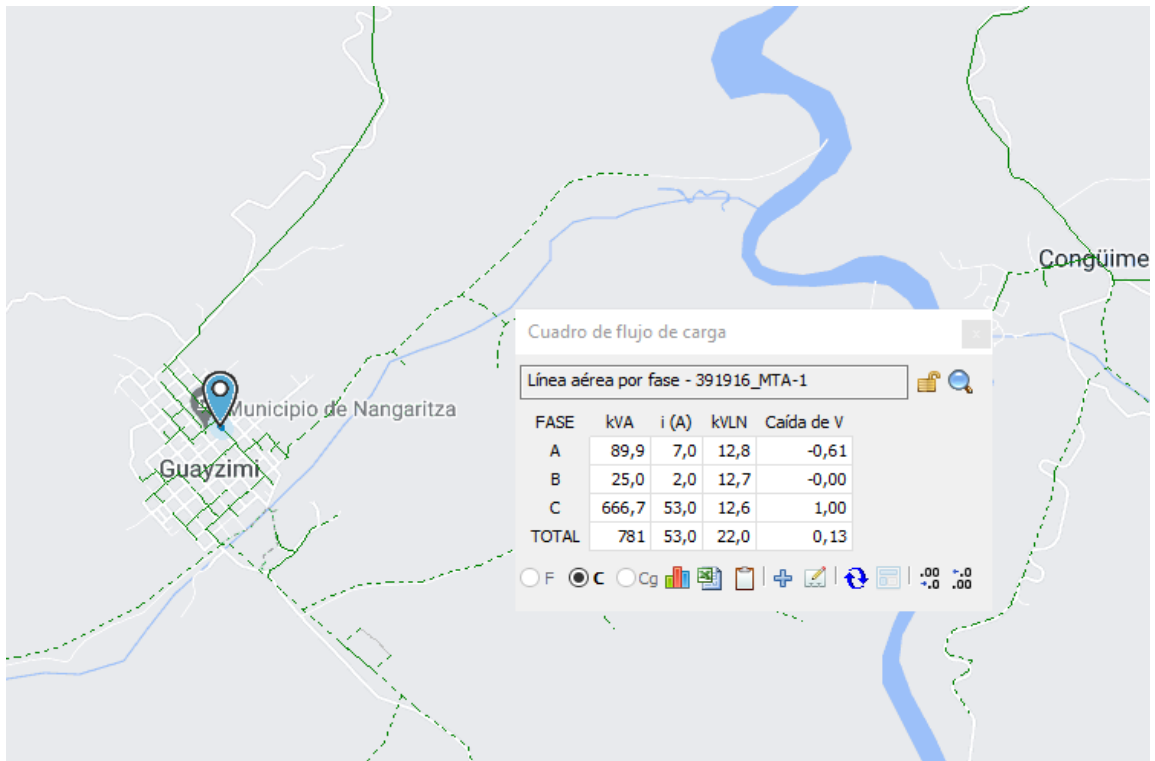


Figura 73. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Guayzimi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

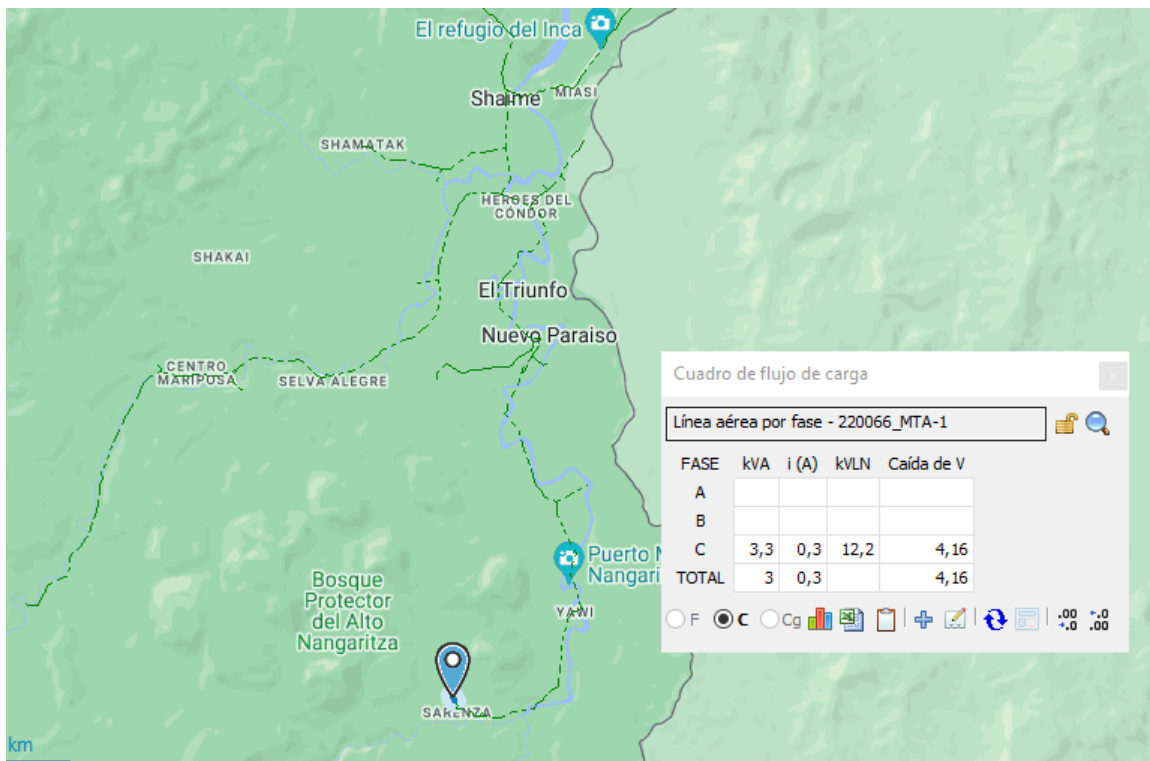


Figura 74. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Sarenza posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 5 años.

Anexo 12. Caídas de voltaje por sectores aplicando correctivos y mejoras en el AP Paquisha según condiciones de demanda con proyección a 10 años.

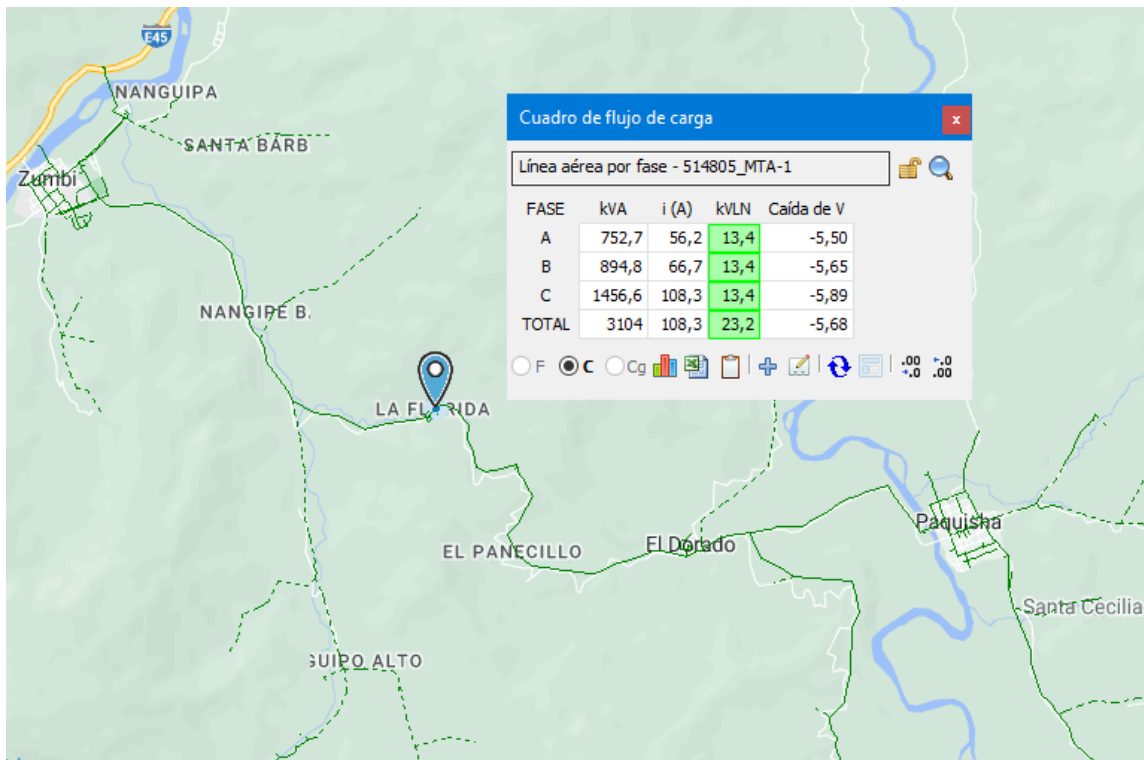


Figura 75. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Florida posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

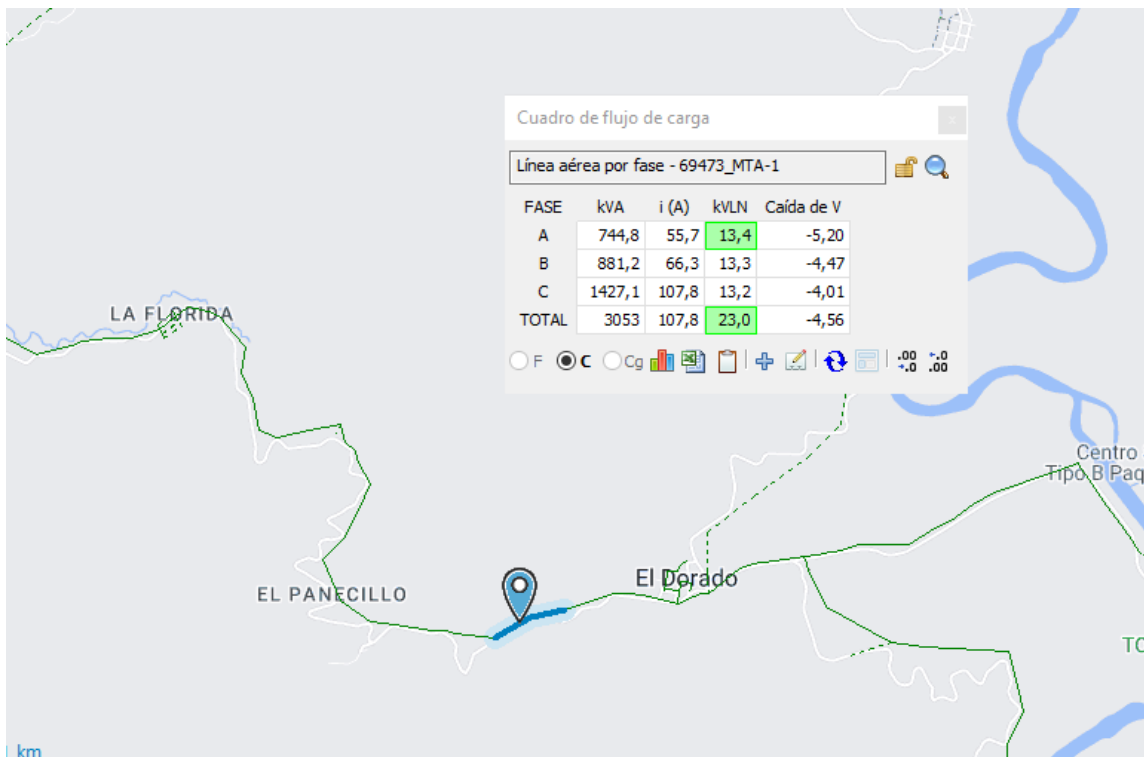


Figura 76. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector El Dorado posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

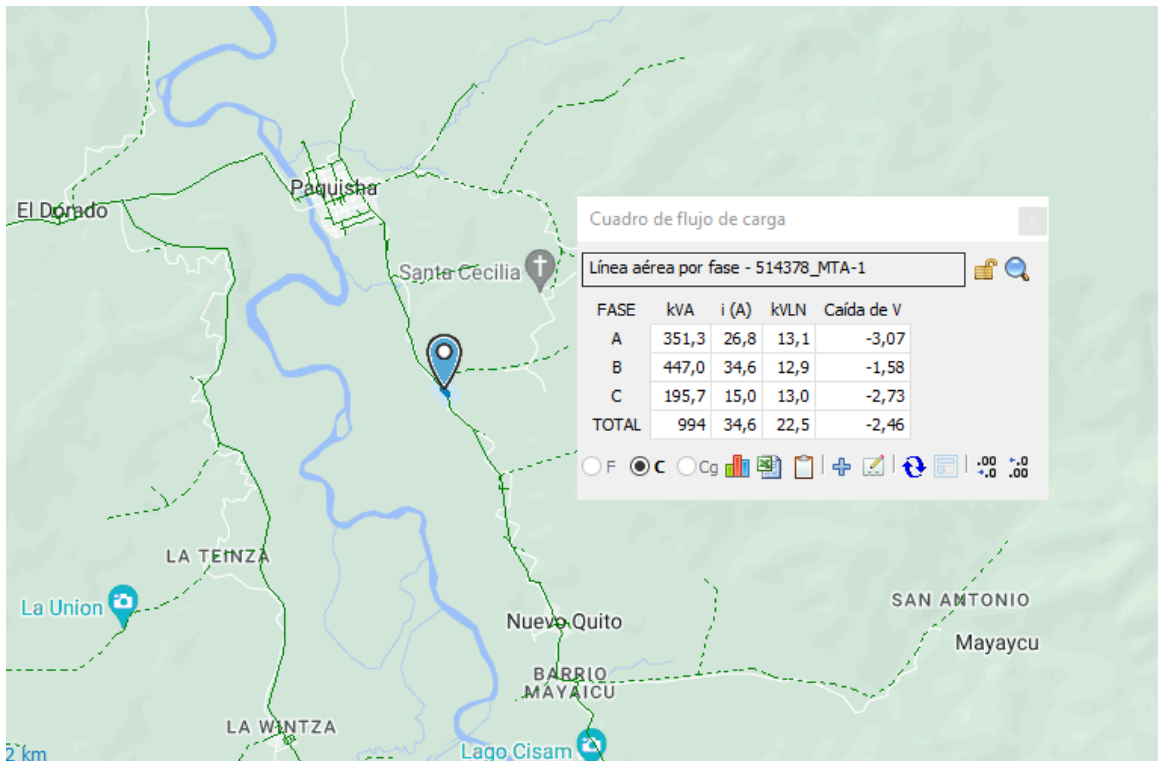


Figura 77. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Santa Rosa posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

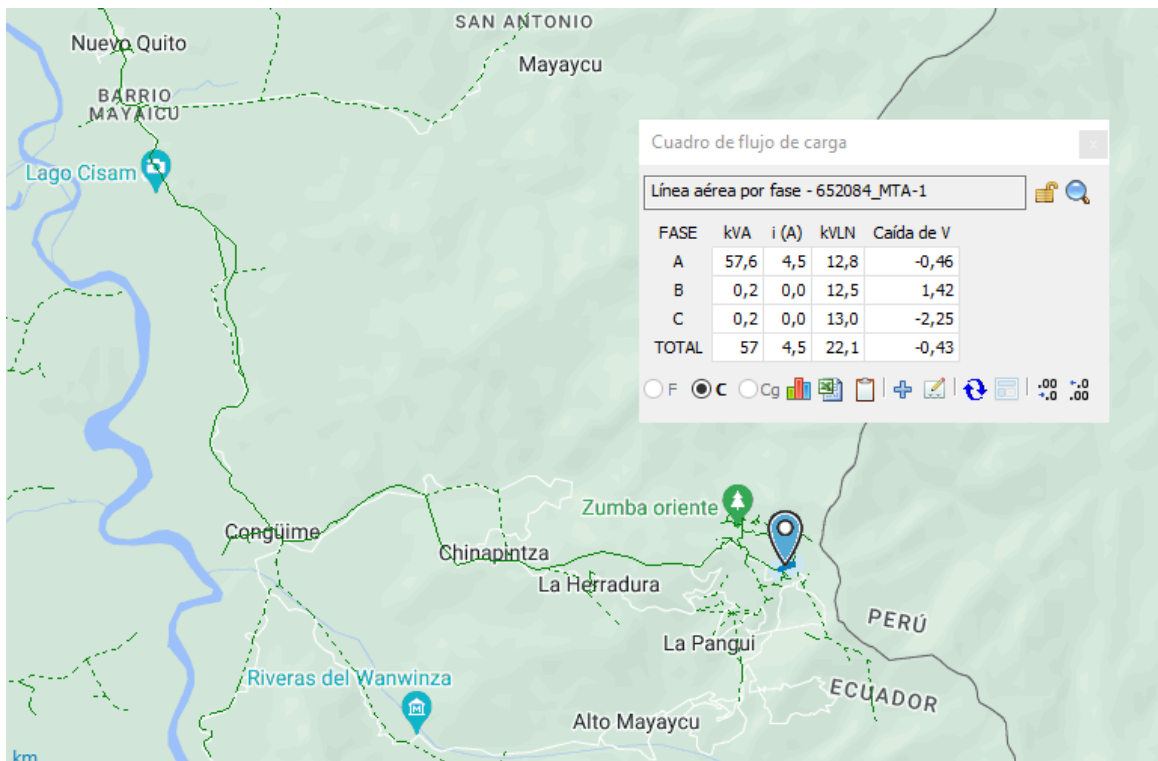


Figura 78. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector La Pangui posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

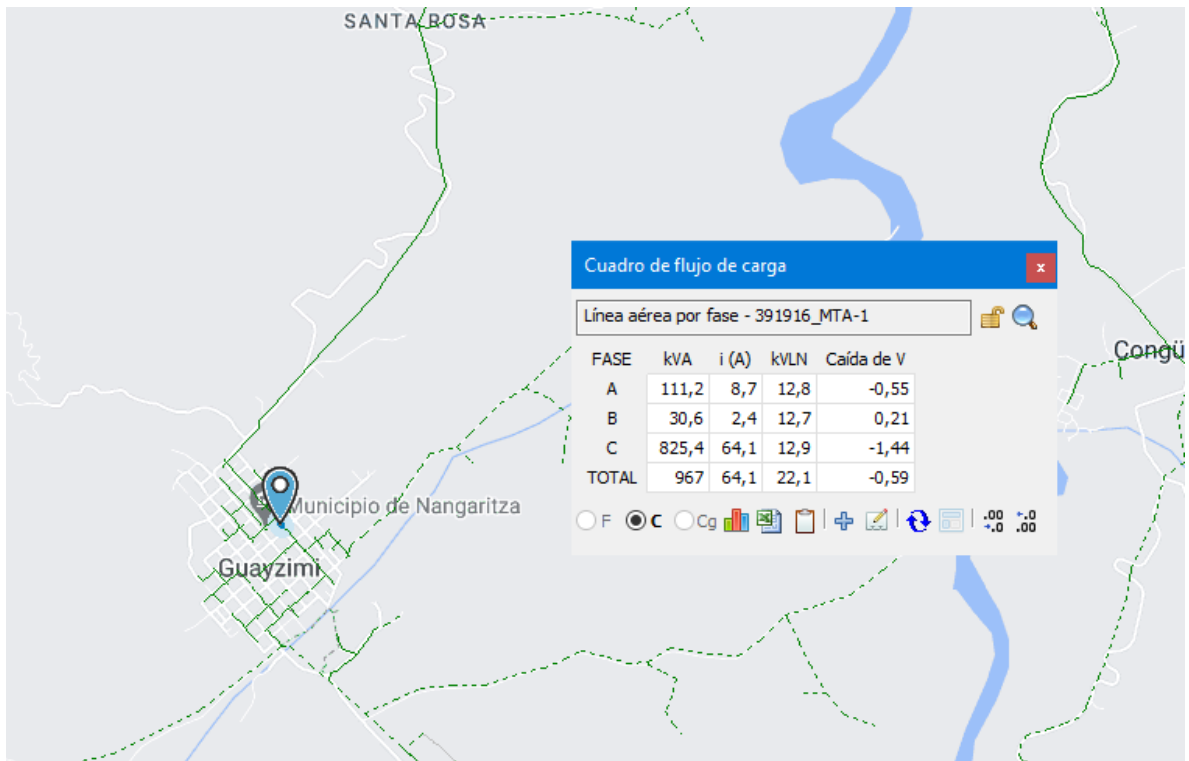


Figura 79. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Guayzimi posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

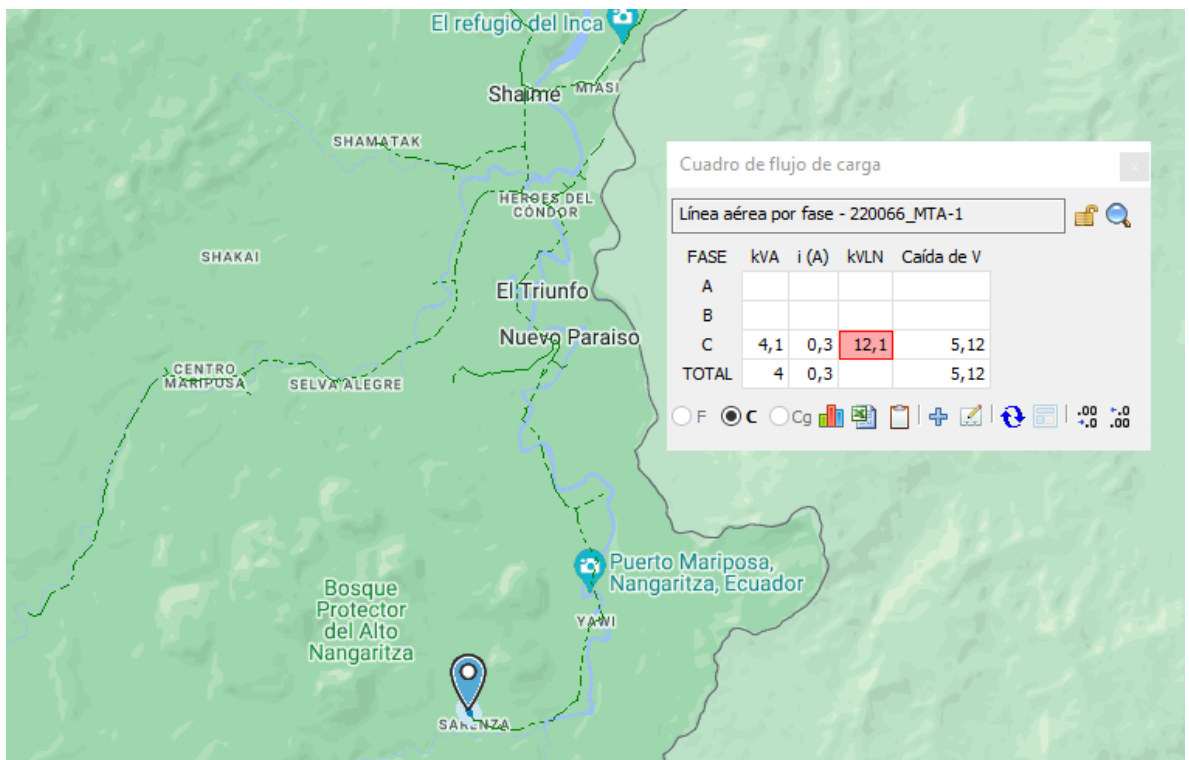


Figura 80. Resultados de flujo de carga y caídas de voltaje por fase en el sector Sarenza posterior a correctivos y mejoras con demanda proyectada a 10 años.

Anexo 13. Certificación de traducción del resumen.

Licenciada

María Verónica Robles Benavides

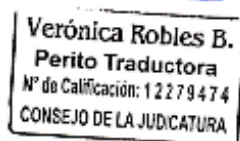
PERITO TRADUCTORA DE LA FUNCIÓN JUDICIAL

CERTIFICO:

Que el documento aquí adjunto es fiel traducción del idioma español al inglés del Trabajo de Titulación previa la obtención del título de Magister en Conversión de Energía y Sostenibilidad denominado "MEJORAMIENTO DEL NIVEL DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS PAQUISHA Y LOS ENCUENTROS DE LA EERSSA MEDIANTE LA UBICACION OPTIMA DE REGULADORES", de los estudiantes SILVIA MERCEDES GONZALEZ HIDALGO con cédula de identidad número 1104340524, y FRANCO XAVIER PINEDA DELGADO con cédula de identidad número 1104329295.

Lo certifico en honor a la verdad, los interesados pueden dar uso a este documento según sus intereses.

Loja, octubre 17 de 2024



1. Resumen

La presente tesis trata el mejoramiento del nivel de voltaje en los alimentadores primarios Paquisha y Los Encuentros de la EERSSA mediante la ubicación óptima de reguladores de voltaje. El objetivo principal del estudio es reducir las caídas de voltaje y garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos en la regulación ARCERNNR 002/20 para el nivel de medio voltaje, mejorando con ello la calidad del servicio eléctrico en las áreas abastecidas por estos alimentadores.

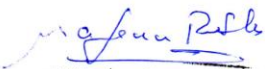
Para lograr este objetivo, se utilizaron simulaciones realizadas con el software Cymdist, que, basado en la distribución de carga derivada de la demanda máxima actual y proyectada a 10 años, permitió identificar los puntos críticos con mayores caídas de voltaje. Este software proporcionó un análisis detallado de las redes eléctricas de la EERSSA, facilitando la evaluación y diagnóstico de los alimentadores.

Los resultados indicaron que el alimentador Los Encuentros cumplía con los requisitos de la regulación ARCERNNR 002/20 en un 60% de su longitud total, con caídas de voltaje entre el 6% y el 10%. Por otro lado, el alimentador Paquisha mostraba un cumplimiento en solo un 10% de su longitud, presentando caídas de voltaje que superaban el 20% en algunas zonas. Tras la implementación de reguladores de voltaje y otras soluciones técnicas, se logró reducir las caídas de voltaje a niveles permitidos por la regulación, manteniéndose todas por debajo del 6%, incluso con la proyección de demanda a 5 y 10 años.

Finalmente, se concluye que la instalación de reguladores de voltaje, junto con mejoras adicionales como la repotenciación de redes y el balance de cargas entre fases, resultó ser efectiva para cumplir con los requisitos normativos, reduciendo significativamente los porcentajes de caída de voltaje y garantizando un servicio eléctrico de calidad conforme a la regulación vigente.

Palabras clave

Mejoramiento del voltaje, reguladores de voltaje, caídas de voltaje, calidad del servicio, Cymdist, repotenciación de redes, alimentadores primarios.


Verónica Robles B.
Perito Traductora
N° de Calificación: 12279474
CONSEJO DE LA JUDICATURA

1. Summary

This thesis deals with the improvement of the voltage level in the primary feeders Paquisha and Los Encuentros of the EERSSA through the optimal location of voltage regulators. The main objective of the study is to reduce voltage drops and ensure compliance with the standards established in the ARCERNNR 002/20 regulation for the medium voltage level, thereby improving the quality of the electrical service in the areas supplied by these feeders.

To achieve this objective, simulations carried out with the Cymdist software were used, which, based on the load distribution derived from the current and projected maximum demand over 10 years, made it possible to identify the critical points with the greatest voltage drops. This software provided a detailed analysis of EERSSA's power grids, facilitating the evaluation and diagnosis of the feeders.

The results indicated that the Los Encuentros feeder met the requirements of the ARCERNNR 002/20 regulation for 60% of its total length, with voltage drops between 6% and 10%. On the other hand, the Paquisha feeder showed compliance in only 10% of its length, presenting voltage drops that exceeded 20% in some areas. After the implementation of voltage regulators and other technical solutions, it was possible to reduce the voltage drops to levels allowed by the regulation, all of them remaining below 6%, even with the 5 and 10-year demand projection.

Finally, it is concluded that the installation of voltage regulators, together with additional improvements such as the repowering of networks and the balancing of loads between phases, proved to be effective in complying with regulatory requirements, significantly reducing the percentages of voltage drop and guaranteeing a quality electrical service in accordance with current regulations.

Key words

Voltage improvement, voltage regulators, voltage drops, quality of service, Cymdist, network repowering, primary feeders.


Verónica Robles B.
Perito Traductora
Nº de Calificación: 12279474
CONSEJO DE LA JUDICATURA