

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



**MODELAMIENTO DE RECONFIGURACIÓN DE ACOMETIDAS DE
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE BAJO VOLTAJE PARA LA
MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

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

AUTOR:

Bayron Marcelo Catucuago Chimarro

DIRECTOR:

Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel MSc.

Ibarra, julio 2025



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100459741-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Catcuago Chimarro Bayron Marcelo		
DIRECCIÓN:	Teran y 24 de mayo (Cayambe)		
EMAIL:	bmcaticuagoc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0961147462

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Modelamiento de reconfiguración de acometidas de sistemas de distribución de bajo voltaje para la minimización de pérdidas técnicas de energía eléctrica.
AUTOR (ES):	Catcuago Chimarro Bayron Marcelo
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	25/07/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel MSc. Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas Msc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 30 días del mes de julio de 2025

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Bayron Marcelo Catcuago Chimarro



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



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

Yo, VÁSQUEZ VILLARRUEL RAMIRO MAURICIO en calidad de director del señor estudiante CATUCUAGO CHIMARRO BAYRON MARCELO certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "Modelamiento de reconfiguración de acometidas de sistemas de distribución de bajo voltaje para la minimización de pérdidas técnicas de energía eléctrica."

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

Ing. Ramiro Mauricio Vásquez Villarruel MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mis padres, Rosario del Pilar Chimarro y Pedro Catucuago Males, quienes han sido mi mayor ejemplo de superación, constancia y perseverancia. Me han demostrado que, con esfuerzo y dedicación, toda meta es alcanzable. Sus enseñanzas, su apoyo incondicional y su constante motivación han sido pilares fundamentales para culminar mi carrera.

A mi pareja, Jeniffer Imbaquingo, quien ha sido mi compañera desde los inicios de esta etapa hasta su culminación. Ella estuvo a mi lado, día y noche, brindándome su apoyo incondicional, alentándome a seguir adelante y a no desistir, mostrándome que todo es posible cuando se tiene determinación.

A mis hermanos, quienes siempre fueron un apoyo emocional, a pesar de la distancia que nos separaba, y me recordaron de dónde venimos y hacia dónde vamos.

A toda mi familia, por su apoyo y cariño incondicional, que nunca faltaron. Gracias por confiar en mí.

Finalmente, quiero dedicar este logro a Samantha Catucuago, quien desde el primer día que supe de su existencia en este mundo, se convirtió en una fuente de inspiración para seguir adelante y no rendirme. A pesar de las adversidades, me enseñó que siempre hay que ver el lado positivo de las situaciones y que el verdadero cariño sí existe.

Este logro es para todas aquellas personas que siempre creyeron en mí; a ellas, mi más profundo aprecio y gratitud.

Bayron Catucuago.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, a la carrera de Electricidad y a sus docentes, por abrirme las puertas y compartir sus enseñanzas y experiencia, lo que me permitió culminar con éxito mi carrera profesional.

Agradezco de manera especial a mi tutor de tesis, Ing. Ramiro Vásquez, y a mi asesor de tesis, Ing. Olger Arellano, quienes, con su vasta experiencia y valiosos consejos, me guiaron hasta la culminación de mi trabajo de grado y me ayudaron a superar los retos presentes en este trabajo de grado.

A mis padres y hermanos, quienes siempre han sido mi mayor orgullo y apoyo incondicional. Gracias por brindarme palabras de aliento que me han permitido afrontar los desafíos de esta etapa de mi carrera.

A mi pareja, Jeniffer Imbaquingo, quien, día y noche, me apoyó y me dio ánimos para no rendirme, estando siempre a mi lado en los momentos difíciles.

A mis amigos, con quienes siempre compartí momentos agradables dentro y fuera de las aulas, por estar presentes en los buenos y malos momentos, dándonos ánimo mutuamente.

Bayron Catucuago.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

INDICE DE CONTENIDOS

1	Resumen.....	15
1	Abstract.....	16
1	CAPITULO I.....	17
1.1	Problema de investigación.....	17
1.1.1	Problemática a investigar.....	17
1.1.2	Formulación de la pregunta de investigación.....	18
1.2	Objetivo general.....	18
1.2.1	Objetivos específicos.....	18
1.3	Alcance y delimitación.....	18
1.4	Justificación.....	20
2	CAPÍTULO II.....	21
2.1	Antecedentes.....	21
2.2	Bases teóricas.....	23
2.3	Sistema Eléctrico de distribución.....	23
2.3.1	Sistema de subtransmisión.....	24
2.3.2	Subestaciones de distribución.....	24
2.3.3	Alimentadores primarios.....	24
2.3.4	Transformadores de distribución.....	24
2.3.5	Redes de bajo voltaje.....	25
2.3.6	Acometidas.....	25
2.3.7	Medidores de energía.....	29
2.4	Pérdidas de energía eléctrica.....	30
2.4.1	Pérdidas técnicas.....	30
2.4.2	Métodos para la reducción de pérdidas técnicas.....	30
2.4.3	Perdidas no técnicas.....	32
2.5	Algoritmos y métodos matemáticos.....	33
2.5.1	Diagramas de Voronoi.....	33
2.5.2	Aplicación del diagrama de Voronoi en el brote de cólera en Londres de 1854.	34



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

2.5.3	Mallas de Voronoi.....	35
2.5.4	Triangulación de Delaunay.....	35
2.5.5	Algoritmo de Dijkstra.....	36
2.5.6	Centro de carga.....	36
2.6	Diseño de redes de distribución de bajo voltaje	37
2.6.1	Demanda de energía.	37
2.6.2	Demanda máxima coincidente.....	37
2.6.3	Factor de pérdidas.....	37
2.6.4	Estrato de consumo.....	37
3	CAPÍTULO III	38
3.1	Enfoque y tipo de investigación	38
3.1.1	Enfoque o paradigma.....	38
3.1.2	Tipo de investigación.....	38
3.2	Metodología.....	39
3.3	Diseño de la investigación.....	39
3.3.1	Investigación bibliográfica	40
3.3.2	Descripción del lugar de estudio.	41
3.3.3	Recopilación de datos geográficos y de consumo eléctrico de ArcGIS	43
3.3.4	Migración de datos geográficos a MATLAB.	45
3.3.5	Selección del método matemático.	46
3.3.6	Tratamiento de datos	51
3.3.7	Cálculo de costos de la reconfiguración.....	54
3.4	Materiales y softwares.....	57
4	CAPITULO IV	59
4.1	Trazo de diagramas de Voronoi en MATLAB.....	59
4.2	Reducción de la longitud del conductor eléctrico.....	61
4.3	Resultados obtenidos.....	62
4.3.1	Cálculo de pérdidas técnicas por acometida antes de la reconfiguración....	62
4.3.2	Cálculo de pérdidas técnicas por acometida despues de la reconfiguración.	

64



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

4.3.3	Resumen de reducción de pérdidas técnicas del transformador 20566.....	65
4.3.4	Análisis económico del transformador 20566.....	66
4.4	Análisis de resultados	70
	Conclusiones.....	72
	Recomendaciones.....	73
	Referencias bibliográficas.	74
	Anexos.....	78
	Anexo I.....	78
	Anexo II	87
	Anexo III.....	100
	Anexo IV.....	109
	Anexo V.....	123
	Anexo VI.....	131
	Anexo VII	139



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Estructura de un sistema eléctrico de potencia [13].....23

Fig. 2 Diagrama de Voronoi de 15 puntos [42].....33

Fig. 3 Diagrama de Voronoi con 2 objetos [42].....34

Fig. 4 Diagrama de Voronoi con 3 objetos [42].....34

Fig. 5 Diagrama de Voronoi del análisis del brote de colera en Londres [43].....35

Fig. 6 Triangulación de Delaunay superpuesta al diagrama de Voronoi [45].....36

Fig. 7 Proceso metodológico.....40

Fig. 8 Ubicación Geográfica del sector.....42

Fig. 9 Ubicación Geográfica de los transformadores en el sector de estudio.....42

Fig. 10 Conexión asociada al transformador 26566.....43

Fig. 11 Tabla de atributos asociados al transformador 26566.....44

Fig. 12 Sistema eléctrico del sector de estudio Modelado en MATLAB.....46

Fig. 13 Diagrama de Voronoi de 15 puntos.....49

Fig. 14 Intersección de semiplanos.....50

Fig. 15 Diagrama de flujos para determinar caminos factibles.....51

Fig. 16 Circuito actual del transformador 20566.....60

Fig. 17 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20566. 61

Fig. 18 Nuevas longitudes de conductor obtenidas a partir de iteraciones del código de MATLAB.....62

Fig. 19 Regiones de Voronoi de los postes 3, 4 y 5.....65

Fig. 20 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 81956.
.....139

Fig. 21 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20020.
.....140

Fig. 22 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 21820.
.....141

Fig. 23 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 81957.
.....142

Fig. 24 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 19926.
.....143

Fig. 25 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 260625.
.....144

Fig. 26 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20566.
.....145

Fig. 27 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20565.
.....146



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

INDICE DE TABLAS

TABLA I DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA DEL SECTOR DE ESTUDIO	41
Tabla II Factor de pérdidas [20].	55
Tabla III Datos obtenidos del poste P21692 (circuito actual).	63
Tabla IV Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida	63
Tabla V Datos obtenidos del poste 4 (P21692-circuito reconfigurado).	64
Tabla VI Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del poste 4 (P21692) ...	64
Tabla VII Comparación de resultados del circuito actual y el reconfigurado.	66
Tabla VIII Tabla general de reducción de longitudes del conductor en las acometidas del circuito.	66
Tabla IX Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 antes de la reconfiguración	67
Tabla X Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 despues de la reconfiguración	68
Tabla XI Resultados obtenidos para la reconfiguración de acometidas correspondientes al transformador 20566.	69
Tabla XII Resultados antes de la reconfiguración de acometidas.	70
Tabla XIII Resultados obtenidos despues de la reconfiguración de acometidas.	71
Tabla XIV Cuadro resumen de la reconfiguración de acometidas	71
Tabla XV Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 81956	78
Tabla XVI Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 20020	78
Tabla XVII Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 21802	79
Tabla XVIII Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 81957.	80
Tabla XIX Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 19926	81
Tabla XX Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 260625	82
Tabla XXI Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 20566	83
Tabla XXII Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 20565	85
Tabla XXIII Datos obtenidos del poste P12699 (circuito actual).	87
Tabla XXIV Datos obtenidos del poste P13317 (circuito actual).	87
Tabla XXV Datos obtenidos del poste P13318 (circuito actual).	87



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla XXVI Datos obtenidos del poste P12698 (circuito actual).....	88
Tabla XXVII Datos obtenidos del poste P12697 (circuito actual).....	88
Tabla XXVIII Datos obtenidos del poste P12696 (circuito actual).....	88
Tabla XXIX Datos obtenidos del poste P12695 (circuito actual).....	88
Tabla XXX Datos obtenidos del poste P12721 (circuito actual).....	89
Tabla XXXI Datos obtenidos del poste P12720 (circuito actual).....	89
Tabla XXXII Datos obtenidos del poste P12691 (circuito actual).....	89
Tabla XXXIII Datos obtenidos del poste P12690 (circuito actual).....	90
Tabla XXXIV Datos obtenidos del poste P12688 (circuito actual).....	90
Tabla XXXV Datos obtenidos del poste P12687 (circuito actual).....	90
Tabla XXXVI Datos obtenidos del poste P12692 (circuito actual).....	90
Tabla XXXVII Datos obtenidos del poste P12693 (circuito actual).....	91
Tabla XXXVIII Datos obtenidos del poste P12694 (circuito actual).....	91
Tabla XXXIX Datos obtenidos del poste P12742 (circuito actual).....	91
Tabla XL Datos obtenidos del poste P12741 (circuito actual).....	92
Tabla XLI Datos obtenidos del poste P12740 (circuito actual).....	92
Tabla XLII Datos obtenidos del poste P12739 (circuito actual).....	92
Tabla XLIII Datos obtenidos del poste P12783 (circuito actual).....	92
Tabla XLIV Datos obtenidos del poste P294195 (circuito actual).....	93
Tabla XLV Datos obtenidos del poste P12697 (circuito actual).....	93
Tabla XLVI Datos obtenidos del poste P237479 (circuito actual).....	93
Tabla XLVII Datos obtenidos del poste P21702 (circuito actual).....	94
Tabla XLVIII Datos obtenidos del poste P21701 (circuito actual).....	94
Tabla XLIX Datos obtenidos del poste P23026 (circuito actual).....	94
Tabla L Datos obtenidos del poste P21699 (circuito actual).....	94
Tabla LI Datos obtenidos del poste P21700 (circuito actual).....	95
Tabla LII Datos obtenidos del poste P23150 (circuito actual).....	95
Tabla LIII Datos obtenidos del poste P23149 (circuito actual).....	95
Tabla LIV Datos obtenidos del poste P21690 (circuito actual).....	96
Tabla LV Datos obtenidos del poste P21695 (circuito actual).....	96
Tabla LVI Datos obtenidos del poste P21694 (circuito actual).....	96
Tabla LVII Datos obtenidos del poste P21692 (circuito actual).....	96
Tabla LVIII Datos obtenidos del poste P21691 (circuito actual).....	97
Tabla LIX Datos obtenidos del poste P21693 (circuito actual).....	97
Tabla LX Datos obtenidos del poste P21689 (circuito actual).....	97
Tabla LXI Datos obtenidos del poste P21688 (circuito actual).....	98
Tabla LXII Datos obtenidos del poste P21687 (circuito actual).....	98
Tabla LXIII Datos obtenidos del poste P21676 (circuito actual).....	98
Tabla LXIV Datos obtenidos del poste P21686 (circuito actual).....	98
Tabla LXV Datos obtenidos del poste P21685 (circuito actual).....	99



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla LXVI Datos obtenidos del poste P21683 (circuito actual).....	99
Tabla LXVII Datos obtenidos del poste P21684 (circuito actual).	99
Tabla LXVIII Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 81956	100
Tabla LXIX Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 20020	100
Tabla LXX Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 21820	101
Tabla LXXI Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 81957	102
Tabla LXXII Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 19926	103
Tabla LXXIII Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 260625	104
Tabla LXXIV Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 20566	105
Tabla LXXV Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 20565	107
Tabla LXXVI Datos obtenidos del poste 1 (P12699-circuito reconfigurado).....	109
Tabla LXXVII Datos obtenidos del poste 2 (P13317-circuito reconfigurado).	109
Tabla LXXVIII Datos obtenidos del poste 3 (P13318-circuito reconfigurado).....	109
Tabla LXXIX Datos obtenidos del poste 4 (P12698-circuito reconfigurado).....	110
Tabla LXXX Datos obtenidos del poste 3 (P12697-circuito reconfigurado).....	110
Tabla LXXXI Datos obtenidos del poste 2 (P12696-circuito reconfigurado).....	110
Tabla LXXXII Datos obtenidos del poste 1 (P12695-circuito reconfigurado).	110
Tabla LXXXIII Datos obtenidos del poste 6 (P12721-circuito reconfigurado).....	111
Tabla LXXXIV Datos obtenidos del poste 5 (P12720-circuito reconfigurado).....	111
Tabla LXXXV Datos obtenidos del poste 4 (P12691-circuito reconfigurado).....	111
Tabla LXXXVI Datos obtenidos del poste 3 (P12690-circuito reconfigurado).....	112
Tabla LXXXVII Datos obtenidos del poste 2 (P12688-circuito reconfigurado).	112
Tabla LXXXVIII Datos obtenidos del poste 1 (P12687-circuito reconfigurado).....	112
Tabla LXXXIX Datos obtenidos del poste 4 (P12692-circuito reconfigurado).....	112
Tabla XC Datos obtenidos del poste 3 (P12693-circuito reconfigurado).	113
Tabla XCI Datos obtenidos del poste 2 (P13448-circuito reconfigurado).	113
Tabla XCII Datos obtenidos del poste 1 (P12694-circuito reconfigurado).....	113
Tabla XCIII Datos obtenidos del poste 5 (P12742-circuito reconfigurado).....	114
Tabla XCIV Datos obtenidos del poste 4 (P12741-circuito reconfigurado).....	114
Tabla XCV Datos obtenidos del poste 3 (P12740-circuito reconfigurado).....	114
Tabla XCVI Datos obtenidos del poste 2 (P12739-circuito reconfigurado).	114
Tabla XCVII Datos obtenidos del poste 1 (P12783-circuito reconfigurado).....	115



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla XCVIII Datos obtenidos del poste 3 (P294195-circuito reconfigurado).....	115
Tabla XCIX Datos obtenidos del poste 4 (P21697-circuito reconfigurado).....	115
Tabla C Datos obtenidos del poste 8 (P237479-circuito reconfigurado).....	116
Tabla CI Datos obtenidos del poste 2 (P21702-circuito reconfigurado).....	116
Tabla CII Datos obtenidos del poste 6 (P21701-circuito reconfigurado).....	116
Tabla CIII Datos obtenidos del poste 7 (P23026-circuito reconfigurado).....	116
Tabla CIV Datos obtenidos del poste 5 (P21699-circuito reconfigurado).....	117
Tabla CV Datos obtenidos del poste 1 (P21700-circuito reconfigurado).....	117
Tabla CVI Datos obtenidos del poste 9 (P23150-circuito reconfigurado).....	117
Tabla CVII Datos obtenidos del poste 8 (P23149-circuito reconfigurado).....	118
Tabla CVIII Datos obtenidos del poste 1 (P21690-circuito reconfigurado).....	118
Tabla CIX Datos obtenidos del poste 7 (P21695-circuito reconfigurado).....	118
Tabla CX Datos obtenidos del poste 6 (P21694-circuito reconfigurado).....	118
Tabla CXI Datos obtenidos del poste 4 (P21692-circuito reconfigurado).....	119
Tabla CXII Datos obtenidos del poste 3 (P21691-circuito reconfigurado).....	119
Tabla CXIII Datos obtenidos del poste 5 (P21693-circuito reconfigurado).....	119
Tabla CXIV Datos obtenidos del poste 2 (P21689-circuito reconfigurado).....	120
Tabla CXV Datos obtenidos del poste 2 (P21688-circuito reconfigurado).....	120
Tabla CXVI Datos obtenidos del poste 1 (P21687-circuito reconfigurado).....	120
Tabla CXVII Datos obtenidos del poste 4 (P21676-circuito reconfigurado).....	120
Tabla CXVIII Datos obtenidos del poste 7 (P21686-circuito reconfigurado).....	121
Tabla CXIX Datos obtenidos del poste 6 (P21685-circuito reconfigurado).....	121
Tabla CXX Datos obtenidos del poste 5 (P21683-circuito reconfigurado).....	121
Tabla CXXI Datos obtenidos del poste 3 (P21684-circuito reconfigurado).....	122
Tabla CXXII Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81956 antes de la reconfiguración.....	123
Tabla CXXIII Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20020 antes de la reconfiguración.....	124
Tabla CXXIV Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 21820 antes de la reconfiguración.....	125
Tabla CXXV Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81957 antes de la reconfiguración.....	126
Tabla CXXVI Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 19926 antes de la reconfiguración.....	127
Tabla CXXVII Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 260625 antes de la reconfiguración.....	128
Tabla CXXVIII Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 antes de la reconfiguración.....	129
Tabla CXXIX Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20565 antes de la reconfiguración.....	130



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXX Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81956 despues de la reconfiguración.....131

Tabla CXXXI Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20020 despues de la reconfiguración.....132

Tabla CXXXII Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 21820 despues de la reconfiguración.....133

Tabla CXXXIII Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81957 despues de la reconfiguración.....134

Tabla CXXXIV Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 19926 despues de la reconfiguración.....135

Tabla CXXXV Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 260625 despues de la reconfiguración.....136

Tabla CXXXVI Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 despues de la reconfiguración.....137

Tabla CXXXVII Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20565 despues de la reconfiguración.....138



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



1 Resumen

El presente estudio aborda el problema de las pérdidas técnicas de energía eléctrica en sistemas de distribución de bajo voltaje, específicamente en las acometidas. Este fenómeno provoca un desperdicio de energía que afecta la eficiencia del sistema de distribución.

El propósito de esta investigación es reducir estas pérdidas mediante la reconfiguración de acometidas hacia su poste más cercano, optimizando la distancia entre los medidores y los postes. Para ello, se emplea el método matemático de diagramas de Voronoi, el cual organiza las acometidas de manera eficiente, minimizando la longitud de los conductores y reduciendo las pérdidas por efecto Joule. La simulación y los cálculos fueron realizados utilizando los softwares MATLAB, ArcGIS y Excel, herramientas esenciales para procesar los datos geoespaciales y aplicar la metodología.

Para validar la efectividad de la propuesta, se llevó a cabo un análisis económico que comparó la red original con la reconfigurada en un sector específico del estudio, ubicado entre las calles Pichincha y Vivar, y entre Juan Montalvo y Ascasubi. Los resultados obtenidos permitieron reducir tanto la longitud de los conductores como los costos operativos asociados, evidenciando la efectividad de la reconfiguración.

Este estudio contribuye a la optimización de redes de distribución de bajo voltaje, ofreciendo una metodología aplicable a otros sectores con características similares.

Palabras clave:

Pérdidas técnicas, acometidas, reconfiguración, redes de distribución, Voronoi.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



1 Abstract

This study addresses the problem of technical energy losses in low-voltage distribution systems, specifically in the service connections. This phenomenon leads to energy wastage that impacts the efficiency of the distribution system.

The purpose of this research is to reduce these losses by reconfiguring the service connections to the nearest pole, optimizing the distance between the meters and the poles. To achieve this, the mathematical method of Voronoi diagrams is used, which efficiently organizes the service connections, minimizing the length of the conductors and reducing losses due to the Joule effect. The simulations and calculations were performed using MATLAB, ArcGIS, and Excel, essential tools for processing geospatial data and applying the methodology.

To validate the effectiveness of the proposal, an economic analysis was carried out comparing the original network with the reconfigured one in a specific sector of the study, located between Pichincha and Vivar streets, and between Juan Montalvo and Ascasubi streets. The results obtained allowed for a reduction in both the length of the conductors and the associated operational costs, demonstrating the effectiveness of the reconfiguration.

This study contributes to the optimization of low-voltage distribution networks, offering a methodology applicable to other sectors with similar characteristics.

Keywords:

Technical losses, service connections, reconfiguration, distribution networks, Voronoi.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

**1 CAPITULO I
INTRODUCCIÓN**

Tema

Modelamiento de reconfiguración de acometidas de sistemas de distribución de bajo voltaje para la minimización de pérdidas técnicas de energía eléctrica.

1.1 Problema de investigación.

1.1.1 Problemática a investigar.

Las pérdidas técnicas de energía eléctrica en las acometidas de bajo voltaje representan un desafío importante en la industria de distribución de energía, en los últimos años EMELNORTE presentó un porcentaje de 9,81% de pérdidas de energía de las cuales el 6,69% son de pérdidas técnicas de energía eléctrica [1]. Uno de los principales problemas derivados de las pérdidas técnicas de energía eléctrica es el aumento en los costos experimentado por las empresas distribuidoras. Estas pérdidas tienen un impacto directo en la rentabilidad, lo cual genera repercusiones económicas para las empresas involucradas.

Además, las pérdidas técnicas afectan la forma en que las empresas de distribución de electricidad operan, lo que a su vez afecta en la calidad del servicio que ofrecen a los clientes debido a las caídas de tensión en las acometidas. Cuando la eficiencia operativa disminuye, pueden ocurrir interrupciones, variaciones en la calidad del suministro eléctrico y otros problemas que impactan directamente en la satisfacción de los clientes. Un ejemplo claro es la caída de voltaje en los conductores de acometidas ya que puede tener un impacto negativo en la calidad del servicio eléctrico. Una caída de voltaje excesiva puede provocar que los equipos eléctricos no funcionen correctamente o que se dañen.

También es importante tener en cuenta el impacto ambiental asociado con las pérdidas técnicas de energía eléctrica. La generación de electricidad implica el consumo de recursos naturales que contribuyen a este problema. Esto genera preocupaciones sobre la



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

sostenibilidad ambiental y destaca la necesidad de desarrollar estrategias para minimizar el impacto ambiental causado por estas pérdidas.

1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuáles son los parámetros que es necesario analizar para llevar a cabo el modelamiento de reconfiguración de los sistemas de distribución de baja tensión y que conduzcan a la reducción de pérdidas técnicas de energía eléctrica?

1.2 Objetivo general

Modelar la reconfiguración de acometidas para la reducción de pérdidas técnicas de energía eléctrica en el sistema de distribución de bajo voltaje empleando modelos matemáticos.

1.2.1 Objetivos específicos

- Describir la estructura y operación de una red de distribución de energía eléctrica, así como las pérdidas técnicas y sus causas en el sistema de distribución.
- Analizar los métodos y algoritmos matemáticos que serán empleados para la reconfiguración de acometidas.
- Evaluar las pérdidas técnicas de energía eléctrica existentes en la red de distribución de bajo voltaje del sector seleccionado previo a su modelamiento.

1.3 Alcance y delimitación

La primera metodología se enfocará en llevar a cabo una investigación de los componentes de una línea de distribución, también se examinará la normativa establecida por la empresa distribuidora de energía eléctrica EMELNORTE S.A. Esto permitirá tener en cuenta las condiciones necesarias al momento de realizar el diseño y rediseño de una red de distribución eléctrica, esto con el propósito de evaluar la viabilidad de la reconfiguración de acometidas en sistemas de distribución de bajo voltaje, para reducir las pérdidas técnicas de energía eléctrica mediante el modelamiento de la red existente del sector.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Para ello se analizarán los modelos matemáticos como los diagramas de Voronoi, las mallas de Voronoi y los diagramas de Delaunay, puesto que desempeñan un papel crucial en la planificación y mejora de las redes eléctricas al facilitar la identificación de ubicaciones óptimas y la optimización de las rutas de tendido de cables para las conexiones de acometidas, pero en el transcurso del proyecto se verá cual él es mejor método matemático a ser usado, el cual una vez identificado será el que se use para la elaboración del proyecto.

La metodología propuesta es aplicable a cualquier circuito de distribución dentro del área donde rige EMELNORTE SA. Con ello se busca minimizar los índices de pérdidas técnicas existentes en acometidas de bajo voltaje. Para lograrlo, se utilizarán los datos de la demanda actual de los usuarios que se obtendrá a partir de los consumos mensuales de energía eléctrica.

Para el uso de la parte matemática se utilizará el software de programación MATLAB y también se basará en la información disponible en la base de datos GIS de la empresa distribuidora EMELNORTE S.A para la obtención de datos como manzanas, las ubicaciones geográficas de los abonados, los postes, los transformadores de distribución y los recorridos de la red de Bajo Voltaje del circuito existente. Para la evaluación de las pérdidas de energía eléctrica en el sector, se considerarán las bases de datos necesarias disponibles en EMELNORTE, tales como el número de abonados, estratos, demandas máximas, etc. Estos datos proporcionarán los valores clave sobre los cuales se debe concentrar el análisis para minimizar las pérdidas técnicas de energía eléctrica antes de proceder con la modelización del sector. Esta metodología será aplicada al circuito de prueba ubicado en una zona urbana en la cual rige EMELNORTE S.A, comprendida por las calles Ascázubi y Pichincha, Pichincha y Juan Montalvo, Ascasubi y Vivar, Vivar y Juan Montalvo de la ciudad de Cayambe, el circuito suministra energía eléctrica a los diferentes abonados existentes distribuidos en 10 manzanas, para su validación se tomará en cuenta los costos y beneficios de la reconfiguración de acometidas, eso conlleva a tener en cuenta los costos de operación y mantenimiento, costos de diseño y rediseño de la



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

conexión, y también se tomará en cuenta si es más factible los costos de las pérdidas que los costos de la reconfiguración.

1.4 Justificación

El presente trabajo de investigación sobre reducción de pérdidas técnicas de energía eléctrica en acometidas es de gran importancia debido a la necesidad de abordar de manera efectiva las pérdidas que se producen en la distribución eléctrica. Estas pérdidas no solo disminuyen la eficiencia del sistema de distribución, sino que también representan una pérdida económica para las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

La investigación resulta ser viable debido a que proporciona soluciones y estrategias para reducir las pérdidas técnicas en las acometidas eléctrica mediante el uso de los métodos matemáticos, la cual permitirá una implementación más viable en el sector eléctrico proporcionando a las empresas distribuidoras de energía una metodología con la cual se puede reconfigurar las acometidas tomando en cuenta la infraestructura existente en el sector, la metodología propuesta permite encontrar el punto óptimo de conexión de acometidas mediante modelos matemáticos como en este caso se modelará la red eléctrica del sector y se comparará los resultados obtenidos del modelamiento con los resultados de la red actual.

La pertinencia del proyecto es evidente en su impacto directo en la eficiencia económica y energética. Al reducir las pérdidas técnicas, se beneficia a la rentabilidad de las compañías eléctricas. Además, el estudio da la oportunidad de dar solución a problemáticas, implementado metodologías innovadoras en el área de distribución eléctrica.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



**2 CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes

En la actualidad, la electricidad se ha convertido en una base esencial de la vida moderna, impulsando el desarrollo económico y tecnológico y mejorando la calidad de vida en todo el mundo. Este recurso versátil es necesario para una variedad de aplicaciones, desde iluminar hogares hasta alimentar infraestructuras industriales. La electrificación de sectores como la movilidad, la calefacción y la industria ha contribuido al aumento de la demanda de generación y distribución de electricidad en todo el mundo. Este fenómeno, impulsado por la urbanización, la industrialización ha cambiado fundamentalmente la forma en que la sociedad consume y depende de ella.

Según [2], el acceso a la electricidad a nivel mundial paso del 87% en el año 2015 a un 91 % en el año 2021. La distribución de energía eléctrica confiable y eficiente es de suma importancia para satisfacer las necesidades de los consumidores finales es por ello que se estudian nuevas formas y métodos que den un resultado favorable [3].

La eficiencia y sostenibilidad en la distribución de energía eléctrica son fundamentales para proveer un suministro confiable [4]. Los sistemas de distribución de bajo voltaje desempeñan un papel clave como enlace entre las líneas de transmisión y los clientes finales. No obstante, las pérdidas de energía eléctrica en estas redes presentan obstáculos considerables que merecen una atención especial [5].

Según [1], los sistemas de distribución en el sector ecuatoriano registraron una energía disponible de 26.057,00 GWh del cual el 87,21% corresponde a 21.556,06 GWh es energía distribuida a los consumidores, y el 12,79% corresponde a 3.160,31 GWh son pérdidas de energía en distribución. Las pérdidas técnicas de energía se producen en los sistemas de distribución de energía eléctrica como resultado de la resistencia eléctrica de los conductores, los transformadores y otros equipos. La magnitud de estas pérdidas depende de una serie de factores como el tipo de conductor, su longitud, etc. [6].

En el Ecuador las pérdidas de energía eléctrica en la etapa de distribución son de 3.160,31GWh el cual corresponde un 12,79% a nivel nacional, de las cuales en



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

EMELNORTE S.A tiene un valor de pérdidas de 62.81 GWh que corresponde a un 9,81% del porcentaje total de pérdidas, y solo pérdidas técnicas tiene 42.87GWh siendo un 6,69% [1].

Las pérdidas técnicas de energía son puntos estratégicos en los sistemas de distribución de bajo voltaje que plantean cuestiones importantes sobre el rendimiento de todo el sistema. Reducir las pérdidas técnicas en las acometidas tiene beneficios económicos, al realizarlo, las empresas de distribución pueden optimizar la eficiencia operativa, reducir los costos operativos y mejorar la rentabilidad [7]. La reducción de las pérdidas técnicas también promueve la estabilidad económica al reducir la necesidad de inversiones adicionales en generación y transmisión de electricidad. Además, la eficiencia operativa mejorada ofrece un suministro de energía más confiable, lo que beneficia a los usuarios finales. En general, reducir las pérdidas técnicas durante el proceso de conexión tiene un impacto positivo en la estabilidad financiera de la industria eléctrica.

Estas pérdidas técnicas no solo tienen un costo económico, sino que también un impacto ambiental negativo [8]. Cada kWh de electricidad que se pierde en el proceso de distribución necesita de una generación adicional de electricidad, lo que aumenta la explotación de recursos naturales [9].

La disminución de pérdidas técnicas no solo mejora la rentabilidad de las empresas eléctricas, sino que también contribuye directamente al reducir la necesidad de generar electricidad adicional [10]. La correcta distribución de energía eléctrica es fundamental ya que gestiona correctamente los recursos, lo que es fundamental para evitar su carestía en épocas de crisis o de fenómenos naturales.

En contexto la investigación del tema es de gran relevancia ya que las acometidas en bajo voltaje son uno de los elementos esenciales de la red eléctrica [11]. El impacto de estas pérdidas tanto en la parte económica como en la ambiental no puede ser subestimado ya que están presentes en todo momento.

La investigación en este campo se enfoca en usar e implementar estrategias y modelos matemáticos para mejorar la eficiencia de la distribución y por ende minimizar las



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

pérdidas técnicas de energéticas. Esto no solo será reflejado en el beneficio para las empresas eléctricas al reducir costos, sino que también contribuirá a disminuir el desperdicio de energía y la necesidad de invertir en generación adicional.

2.2 Bases teóricas.

En este capítulo se abordarán los conceptos y metodologías pertinentes que se emplearán en la elaboración de la presente investigación.

2.3 Sistema Eléctrico de distribución.

Según [12] un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de componentes encargados de transportar energía eléctrica desde los sistemas de subtransmisión hasta los usuarios finales. Principalmente un sistema de distribución está conformado por:

- Sistemas de subtransmisión.
- Subestaciones de distribución.
- Alimentadores primarios.
- Transformadores de distribución.
- Redes de bajo voltaje.
- Acometidas y medidores.

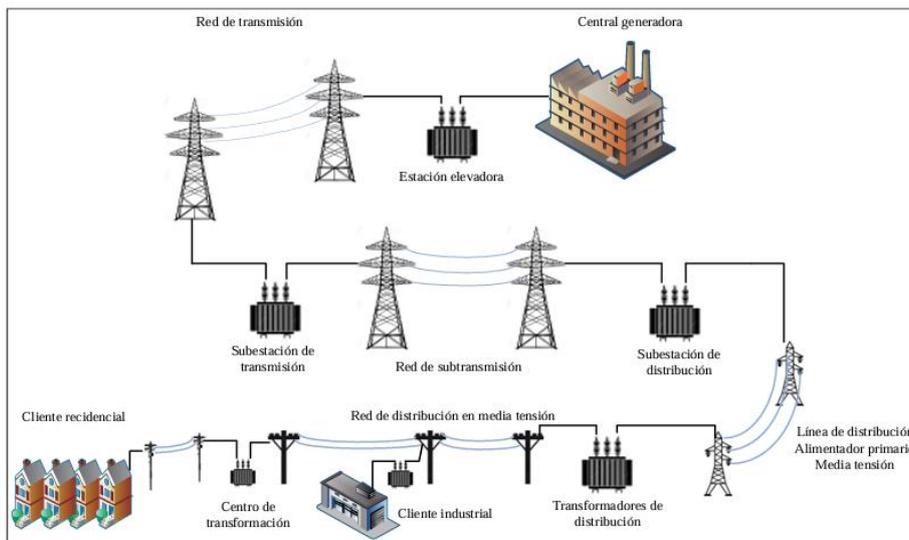


Fig. 1 Estructura de un sistema eléctrico de potencia [13].



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



2.3.1 Sistema de subtransmisión.

El sistema de Subtransmisión permite transportar energía eléctrica desde sus fuentes de suministro hasta sus centros de carga o subestaciones mediante líneas de Subtransmisión [14]. Los niveles de voltaje de las redes de subtransmisión son de 138 kV-69 kV [15].

2.3.2 Subestaciones de distribución.

Una subestación de distribución es la encargada de recibir la energía eléctrica proveniente de las redes de subtransmisión para de esta manera obtener niveles adecuados de voltaje que permitan proveer de energía eléctrica a los alimentadores primarios [12]. Estas subestaciones también regulan y controlan el flujo de electricidad y protegen la red eléctrica de posibles sobrecargas o cortocircuitos [16].

2.3.3 Alimentadores primarios.

Es el circuito eléctrico que se deriva desde la salida de una subestación de distribución hasta los bobinados primarios de los transformadores de distribución con el objetivo de transportar energía eléctrica en niveles de medio voltaje [12]. El nivel de voltaje con el cual operan los alimentadores primarios en toda el área donde rige EMELNORTE S.A es de 13.8kV [17].

Según [18] los alimentadores primarios se dividen en:

Troncal principal: Es la columna principal de la cual sale la derivación primaria, el calibre de conductor usado es de tipo ACSR 3/0.

Derivación primaria: Es toda derivación que parte de la troncal, el conductor eléctrico usado en la derivación primaria es de tipo ACSR 3/0.

Derivación secundaria: Es toda derivación que parte de una derivación primaria, el conductor eléctrico usado en la derivación secundaria es de tipo ACSR 2/0.

Derivación terciaria: Es toda derivación que parte de una derivación secundaria, el conductor eléctrico usado en la derivación terciaria es de tipo ACSR 1/0.

2.3.4 Transformadores de distribución.

Son dispositivos que forman parte del sistema de distribución eléctrica y que son los encargados de reducir los niveles de voltaje de los alimentadores primarios a voltajes de



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

consumo para después ser suministrado a los abonados por medio de las redes de bajo voltaje. Generalmente, estos voltajes son de 120/240V para redes monofásicas y de 127/220V en redes trifásicas [19].

2.3.5 Redes de bajo voltaje.

A este grupo de instalaciones ya sea monofásicas o trifásicas se las conoce como distribución secundaria. Su función principal es suministrar energía directamente a los clientes residenciales y comerciales [13].

Existen dos topologías en la red de distribución las cuales dependen de la infraestructura geográfica, los parámetros estéticos y normatividad vigente de las empresas distribuidoras, los tipos de redes que existen son aéreas y subterráneas.

2.3.5.1 Redes aéreas.

En las redes de distribución aérea, los conductores suelen estar expuestos y por encima del suelo soportados por aisladores, estas se encuentran tensadas por crucetas y sostenidas por postes que generalmente son de hormigón, madera o metal [5]. En el sistema de distribución de EMELNORTE S.A se tiene las configuraciones de redes desnudas y redes preensambladas [20].

2.3.5.2 Redes subterráneas.

En las redes de distribución subterránea, los cables y otros componentes eléctricos utilizados para la instalación se instalan bajo tierra o se encuentran ocultos dentro de tuberías de material aislante y están interconectados por cámaras de transformación. Actualmente se están implementando redes de distribución subterránea en zonas urbanas o zonas densamente pobladas con el propósito de mantener estos elementos fuera del alcance de las personas y también mejorar la estética de la ciudad al no visualizar los cables aéreos [21].

2.3.6 Acometidas.

Se denomina acometida eléctrica a los conductores que se derivan desde la red de bajo voltaje de la empresa proveedora de energía eléctrica hasta uno o más medidores. Esta conexión es necesaria para alimentar la instalación eléctrica de un edificio, vivienda o instalación comercial [22].



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



2.3.6.1 Acometidas aéreas en bajo voltaje.

Las acometidas aéreas en bajo voltaje es la conexión del servicio eléctrico que utiliza conductores suspendidos en el aire para suministrar de energía eléctrica a los abonados para ellos se utiliza conductores eléctricos que de acuerdo a sus características físicas se elige el más óptimo [5].

2.3.6.2 Conductores usados en acometidas aéreas.

Los conductores usados en acometidas eléctricas deben ser capaces de transportar la corriente eléctrica de acuerdo a la demanda necesaria del usuario, no debe existir temperatura perjudicial para el aislamiento de los conductores y deberá tener resistencia mecánica adecuada [23].

Conductor de aluminio DUPLEX 2x6.

Es un conductor de aluminio con neutro desnudo, conformado por un conductor aislado y otro conductor desnudo trenzados entre sí. Los conductores aislados están recubiertos por una capa de polietileno negro (PE) o polietileno reticulado (XLPE) que sea resistente a la humedad, calor y luz solar, su temperatura máxima de operación es 75 °C o 90 °C y la tensión de servicio es de 0.3 kV para fase - neutro y de 0.6 kV fase – fase [24].

Conductor de aluminio TRIPLEX 3x6.

Es un conductor de aluminio con neutro desnudo, conformado por dos conductores aislados por una capa de polietileno negro (PE) o polietileno reticulado (XLPE) y un conductor desnudo trenzados entre sí. Su temperatura máxima de operación es 75 °C o 90 °C y la tensión de servicio es de 0.3 kV para fase - neutro y de 0.6 kV fase – fase [24].

Conductor de aluminio CUADRUPLEX 4x6.

Es un conductor de aluminio soportado por un neutro desnudo, este conductor está conformado por tres conductores aislados por una capa de polietileno (PE) o polietileno reticulado (XLPE) y un conductor desnudo trenzados entre sí. Su temperatura máxima de operación es 75 °C o 90 °C y la tensión de servicio es de 0.3 kV para fase - neutro y de 0.6 kV fase – fase [24].



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Conductor de aluminio tipo SEU.

Los conductores multipolares de acometidas tipo SEU de aleación de aluminio AA-8000, son conductores aislados con polietileno reticulado (XLPE) resistente a la humedad y calor elevado, en cables bipolares se aplica una malla helicoidal de hilos de aluminio sobre el conductor central y en cables tripolares los conductores centrales se disponen paralelamente y sobre ellos se aplica una malla helicoidal de hilos de cobre, sobre esta malla se aplica una cinta helicoidal de poliéster con carga de fibra de vidrio y finalmente una chaqueta de policloruro de vinilo (PVC) color gris resistente a la luz solar. Este tipo de conductores son usados en acometidas eléctricas donde se requiere evitar pérdidas de energía producto del robo de energía eléctrica [24].

Conductor de aluminio tipo SER.

Los conductores multipolares de acometida tipo SER de aleación de aluminio AA-8000, son conductores aislados con una capa uniforme de polietileno reticulado (XLPE) resistente a la humedad y calor elevado, son trenzados entre si conjuntamente con el neutro desnudo y sobre ellos se aplica una cinta helicoidal de poliéster con una carga de fibra de vidrio y finalmente se les coloca una chaqueta de policloruro de vinilo (PVC) color gris resistentes a la luz solar. Este tipo de conductores son usados en acometidas eléctricas donde se requiere evitar las pérdidas por robo de energía eléctrica [24].

2.3.6.3 Altura de los conductores de acometidas aéreas.

Por razones de seguridad, las acometidas deben tener las siguientes alturas mínimas con relación al piso o calzada:

- Si los conductores del secundario del sector pasan por las aceras opuestas, la altura mínima de seguridad será de 5 metros con relación a la calle.
- Si los conductores del secundario pasan por la misma acera, la altura mínima de seguridad será de 3 metros con relación al piso terminado.
- Los conductores de entrada de acometida tendrán una separación horizontal mínima de 0,90 metros con relación a ventanas, puertas, balcones y escaleras o



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

cualquier localización similar que permita el acceso y seguridad de personas a los conductores.

2.3.6.4 Punto de fijación de los conductores de acometida

- La ubicación del punto de conexión de los conductores de entrada se situará en la estructura frontal, ya sea en una columna, un tubo poste o en la fachada del edificio en caso de que no haya una estructura frontal.
- Si es necesario utilizar un poste para alcanzar la altura requerida, este puede ser construido de hormigón, metal o fibra, dependiendo de la situación, de manera que pueda resistir el peso de la acometida.
- La instalación de la conexión eléctrica y/o el medidor en postes de la red, árboles, cañas guaduas, cercas temporales u otras estructuras inapropiadas o frágiles está prohibida para los clientes residenciales en gran escala.

2.3.6.5 Elementos para la fijación de los conductores de acometida.

Para la fijación de la acometida aérea en bajo voltaje se debe usar según sea el caso: abrazaderas, tuercas de ojo, ganchos soporte, perno de ojo, aisladores de garrucha, amarras preformadas, aisladores tripa de pato, ménsulas de fachada, ménsulas de poste y pinzas autoajustables [23].

Codo reversible en la entrada de acometida.

La tubería de entrada de la acometida estará equipada con un codo reversible de tipo EMT rígido, diseñado para prevenir la entrada de agua de lluvia. A través de este codo, los conductores de distintas fases serán dirigidos por orificios separados en la boquilla, siempre que sea factible. Se recomienda colocar el codo reversible aproximadamente a 20 centímetros por encima o por debajo del punto de fijación de la acometida [23].

Tubo soporte.

El conducto de soporte debe cumplir con la normativa establecida en INEN 2415, con un diámetro mínimo de 2 1/2", preferiblemente, y una longitud de 3 o 6 metros, dependiendo de la ubicación de la red secundaria. Se debe considerar la instalación del



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

tubo soporte para asegurar la retención de la acometida y la colocación del medidor, en los casos en los que se justifique técnicamente su uso [25].

2.3.6.6 Acometidas subterráneas en bajo voltaje.

Las acometidas subterráneas ocultan el cableado eléctrico bajo tierra. Este tipo de conexión minimiza el riesgo de interrupciones del servicio por condiciones climáticas adversas y proporciona un aspecto más limpio a las zonas urbanas. Aunque inicialmente pueden ser más costosos de instalar, la inversión en su durabilidad y apariencia a menudo vale la pena [26].

2.3.6.7 Trayectorias de las acometidas subterráneas.

Para las acometidas subterráneas provenientes de un poste en el sistema de distribución aéreo, se construirá una caja de paso al pie del poste de inicio de la acometida y, en caso necesario, otras cajas hasta situarse frente al lugar de medición. El ingreso al predio se realizará con un tramo recto de 90° [23].

2.3.7 Medidores de energía.

Un medidor eléctrico, también conocido como medidor de consumo, es un aparato que registra la cantidad de energía utilizada en un circuito o servidor eléctrico. Estos dispositivos pueden ser de tipo electromecánico o electrónico [27].

2.3.7.1 Medidores electromecánicos.

Los medidores electromecánicos utilizan bobinados de corriente y voltaje para generar un campo magnético inducido por ambas bobinas, este campo magnético afectará a un disco que está apoyado sobre un eje haciendo que este último tenga un movimiento rotatorio.

2.3.7.2 Medidores electrónicos.

El medidor electrónico se diferencia del medidor electromecánico al incluir un circuito electrónico y componentes adicionales. Aunque comparte el principio de funcionamiento de inducción magnética, en este tipo de medidores los datos son controlados y leídos por un circuito integrado.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

2.4 Pérdidas de energía eléctrica.

La pérdida de electricidad se refiere a la cantidad de electricidad que se pierde o desperdicia debido a factores como fugas, robo de electricidad, fallas de infraestructura, ineficiencias técnicas y comerciales, etc. [28]. Estas pérdidas se clasifican en pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas.

Las pérdidas de energía en las redes de distribución eléctrica tienen costos económicos que son perjudiciales para las empresas distribuidoras de energía eléctrica [29].

2.4.1 Pérdidas técnicas.

Surgen durante la distribución de energía eléctrica debido al calentamiento de cables eléctricos y transformadores. Forman parte de la energía no utilizada que el sistema de transmisión y distribución de electricidad utiliza y necesita para su funcionamiento [30]. Las pérdidas técnicas son causadas por el calor generado cuando la electricidad fluye a través de líneas eléctricas y transformadores. Este tipo de pérdidas son inevitables en todo sistema de distribución de energía.

2.4.1.1 Factor de pérdidas.

El factor de pérdidas se puede definir como la división entre las pérdidas promedio y las pérdidas máximas en un intervalo de tiempo determinado. El factor de pérdidas da una indicación del grado con el cual las pérdidas durante la carga pico se mantienen a través del periodo de tiempo considerado [31].

Este factor se puede calcular con base a las curvas de duración de perdidas.

2.4.1.2 Pérdidas por efecto Joule.

Cuando la corriente fluye a través de los conductores isotérmicos, hay una generación de calor. Este efecto se produce debido a la transferencia de energía eléctrica a través del conductor por un proceso similar a la fricción. Este efecto se denomina se denomina “Efecto Joule” [32].

2.4.2 Métodos para la reducción de pérdidas técnicas.

En la eficiencia de sistemas eléctricos, reducir pérdidas técnicas es crucial y también es un objetivo que buscan las empresas distribuidoras de energía eléctrica. En el sistema de



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

distribución ecuatoriano, las pérdidas técnicas no deben superar el 10% siendo esto el principal motivo para las empresas distribuidoras de energía eléctrica [33].

Dimensionamiento de conductores de la red de bajo voltaje.

Este proceso implica seleccionar cables con secciones transversales adecuadas para manejar las corrientes y minimizar pérdidas por resistencia, se debe también considerar la carga actual y futura, así como la longitud y la temperatura ambiente, se eligen conductores que cumplan con estándares de seguridad y eficiencia [34].

2.4.2.1 Redimensionamiento de transformadores.

Este proceso implica ajustar el tamaño y la capacidad de los transformadores para adaptarse a las demandas cambiantes de carga [35]. Al considerar factores como la carga actual, futura y la eficiencia del sistema, se busca optimizar el rendimiento y minimizar pérdidas técnicas.

2.4.2.2 Reconfiguración de acometidas en la red de bajo voltaje.

La reconfiguración de acometidas en una red de bajo voltaje implica ajustar las conexiones de las líneas de distribución para mejorar el flujo de energía. Este proceso busca equilibrar cargas, reducir pérdidas técnicas y mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico [36].

Resistencia de un conductor eléctrico.

Todos los conductores eléctricos presentan cierta resistencia al flujo de corriente eléctrica, ya sea en mayor o menor grado. Este fenómeno se debe a que los portadores de carga, como electrones o iones, experimentan obstáculos para moverse dentro del material del cual son parte. Esta resistencia al paso de la corriente se conoce como la resistencia eléctrica del conductor [37].

La resistencia eléctrica de un conductor depende de varios factores como el material del que se compone, la temperatura a la que se encuentra dicho conductor (entre mayor sea la temperatura mayor será su resistencia), la longitud del cable y su sección.

Longitud del conductor y su efecto en la resistencia.

La resistencia guarda una relación directamente proporcional con la longitud del conductor, indicando que a medida que la longitud del conductor aumenta, su resistencia



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

también lo hace. Esta relación se puede comprender al considerar cómo fluyen los electrones en el conductor [38].

En un conductor más extenso, los electrones deben recorrer una distancia mayor, esto resulta en una mayor resistencia al flujo de corriente debido a la mayor oposición.

Factores adicionales que afectan a la resistencia en función de la longitud.

Además de la longitud, existen factores que deben ser considerados al momento de examinar la resistencia de un conductor. Uno de ellos es la temperatura ya que a medida que la temperatura de un conductor aumenta, los átomos en el material vibran con mayor intensidad, lo que causa el aumento de la resistencia. Otro aspecto crucial es la naturaleza del material empleado en el conductor. Los diversos materiales exhiben distintas resistividades, lo cual puede modificar significativamente la manera en que la resistencia del conductor se ve afectada por su longitud [38].

Beneficio de reducción de longitud de conductor.

La reducción de la longitud del conductor tiene como resultado la resistencia del mismo, lo que reduce la caída de voltaje. Según [23] las longitudes de las acometidas están determinadas según la ubicación de las cargas o medidores, entre más cerca este el medidor del poste menor será la longitud necesaria para el conductor, por ende, se reduce el porcentaje de pérdidas técnicas.

La reducción de longitud de los conductores mejora la estabilidad del voltaje y la calidad del suministro eléctrico, evitando caídas de voltaje. Este enfoque también puede resultar en una menor inversión en cables de mayor calibre [39].

2.4.3 Pérdidas no técnicas.

Este tipo de pérdidas incluyen pérdidas de energía debido a actividades ilegales o medición ineficiente, estos problemas incluyen conexiones fraudulentas, errores de facturación y robo de electricidad [40]. Aunque estas pérdidas no están directamente relacionadas con el desempeño técnico del sistema, afectan la eficiencia general y la rentabilidad de las compañías eléctricas al reducir los ingresos reales en comparación con los ingresos esperados del suministro de energía al usuario final [41].



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

2.5 Algoritmos y métodos matemáticos.

Con el propósito de profundizar en las metodologías abordadas en este trabajo de titulación, se detallan las diversas técnicas empleadas para resolver el problema de reconfiguración de acometidas en el sistema de distribución.

2.5.1 Diagramas de Voronoi.

Un diagrama de Voronoi es una representación gráfica que divide el espacio en regiones según la proximidad de un determinado conjunto de puntos llamados semillas o puntos generadores. Cada región del diagrama incluye todos los puntos en el espacio que están más cerca de un origen particular que cualquier otro punto del conjunto. La forma de estas regiones está determinada por la posición de las partículas y forma polígonos con límites equidistantes entre partículas adyacentes [42].

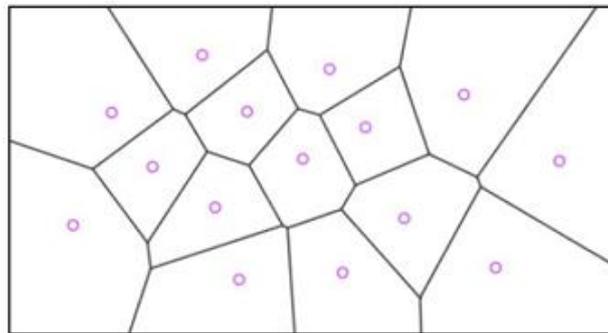


Fig. 2 Diagrama de Voronoi de 15 puntos [42].

Un diagrama Voronoi se elabora en función del número de puntos u objetos presentes. Si solo hay un objeto en la mesa, su región de Voronoi abarcará todo el espacio, en el caso de dos objetos, se generan dos regiones de Voronoi trazando la mediatriz entre ellos, ya que esta separa los puntos de la mesa en función de su proximidad a uno u otro objeto. Así, el Diagrama de Voronoi se configura como la combinación de estas dos regiones. A continuación, se muestra cómo se forman los diagramas de Voronoi con dos objetos **Fig. 3** y tres objetos **Fig. 4** y sus respectivas regiones.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

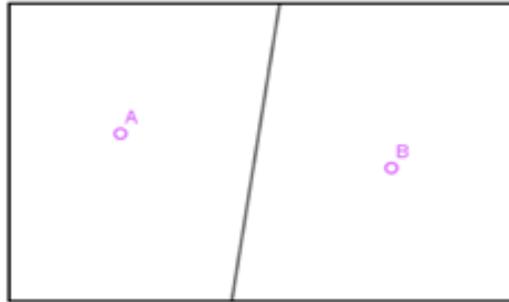


Fig. 3 Diagrama de Voronoi con 2 objetos [42]

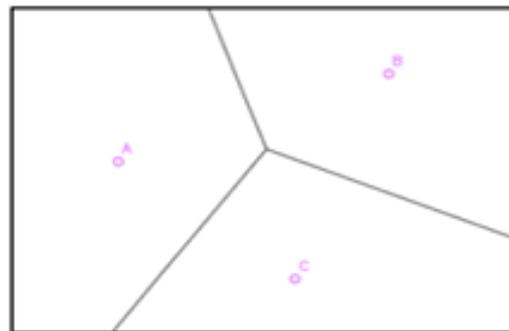


Fig. 4 Diagrama de Voronoi con 3 objetos [42].

2.5.2 Aplicación del diagrama de Voronoi en el brote de cólera en Londres de 1854.

En el brote de cólera de Londres en 1854, el médico y estadista John Snow utilizó de manera innovadora el diagrama de Voronoi para comprender y abordar la propagación de la enfermedad. Al mapear las ubicaciones de los casos de cólera, Snow identificó la fuente de la epidemia al analizar las áreas de influencia de las bombas de agua locales.

Al superponer el diagrama de Voronoi sobre un mapa de la ciudad, pudo visualizar las zonas servidas por cada bomba y determinar cuáles estaban asociadas con un mayor número de casos de cólera. Descubrió que la mayoría de los casos estaban concentrados alrededor de la bomba de agua de Broad Street [43]. Al analizar estos patrones espaciales, Snow pudo argumentar convincentemente que el cólera se transmitía a través del agua contaminada. Este enfoque pionero en el uso de la visualización espacial y el diagrama de Voronoi permitió tomar medidas efectivas, como cerrar la bomba de Broad Street, marcando así un hito en la historia de la epidemiología y la salud pública.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

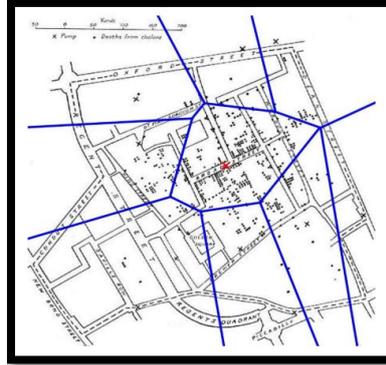


Fig. 5 Diagrama de Voronoi del análisis del brote de colera en Londres [43].

2.5.3 Mallas de Voronoi.

Las mallas de Voronoi constituyen una representación gráfica que fragmenta un espacio en regiones asociadas a puntos generadores. Cada región incluye los puntos más cercanos a su generador en comparación con cualquier otro en el conjunto, generando polígonos limitados por líneas equidistantes a los generadores. Esta herramienta gráfica se aplica en diversos campos, como cartografía, ciencia de materiales y computación gráfica, para modelar y analizar patrones espaciales basados en la proximidad a puntos específicos [44].

2.5.4 Triangulación de Delaunay.

El diagrama de Delaunay conecta un conjunto de puntos en un plano para formar una triangulación conocida como Delaunay. Esta estructura consiste en triángulos no superpuestos, garantizando que ningún punto resida dentro del círculo circunscrito a estos triángulos [45]. La triangulación de Delaunay busca una división eficiente y equitativa del conjunto de puntos, evitando superposiciones innecesarias.

La triangulación de Delaunay y el diagrama de Voronoi son estructuras duales cuyos elementos están asociados de la siguiente manera:

- Cada vértice de la triangulación de Delaunay se asocia con una cara del Diagrama de Voronoi que se corresponde con su región de Voronoi.
- Cada arista de la triangulación de Delaunay se asocia con una arista del Diagrama de Voronoi además está contenida en su mediatriz.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

- Cada cara de la triangulación de Delaunay se asocia con un vértice del Diagrama de Voronoi que coincide con el circuncentro de la cara triangular

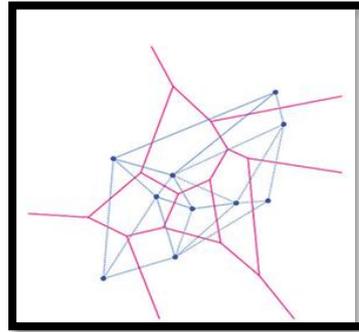


Fig. 6 Triangulación de Delaunay superpuesta al diagrama de Voronoi [45].

Un diagrama de Delaunay es una representación geométrica que conecta múltiples puntos para formar triángulos separados. En la industria eléctrica, esta opción se utilizará para optimizar la ubicación de infraestructura como postes eléctricos, minimizando la distancia entre puntos clave.

2.5.5 Algoritmo de Dijkstra.

El algoritmo de Dijkstra es una técnica en teoría de grafos utilizado para encontrar el camino más corto entre dos nodos en un grafo ponderado dirigido o no dirigido. Asigna valores a los nodos basándose en la distancia acumulativa desde un nodo de origen [46].

2.5.6 Centro de carga

En sistemas eléctricos el centro de carga es el punto más cercano a todas las cargas del sistema, es crucial para garantizar una distribución equitativa y eficiente de la energía eléctrica a lo largo del espacio [20].

Este método permite obtener la ubicación (x, y) exacta del centro de carga del sistema, pero la principal desventaja es que el punto en ciertas ocasiones puede ser no apto para la instalación, para ello se tendrá que considerar los tramos de red de medio voltaje que alimentarán estos elementos del sistema, donde en algunos casos se requerirá una



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

extensión de red, estas características influirán de manera directa en los costos totales [47].

2.6 Diseño de redes de distribución de bajo voltaje

La normativa de EMELNORTE S.A. tiene la finalidad de mejorar la calidad de servicio brindado por la empresa distribuidora de energía, para lo cual es necesario realizar cambios de diseño y configuración de redes eléctricas enfocadas en reducir pérdidas en los conductores [48].

2.6.1 Demanda de energía.

La demanda de energía corresponde al consumo total de electricidad de los abonados en un periodo determinado de tiempo, este valor es fundamental para el diseño y análisis del sistema eléctrico ya que permite dimensionar correctamente la capacidad de los transformadores y la infraestructura de distribución [20].

2.6.2 Demanda máxima coincidente.

La demanda máxima coincidente representa el punto mayor de consumo de energía dentro de un circuito eléctrico, considerando la simultaneidad de uso de los abonados conectados a un mismo transformador o poste, este valor es clave para garantizar que la capacidad instalada pueda soportar las cargas sin comprometer la calidad del suministro [20].

2.6.3 Factor de pérdidas.

El factor de pérdidas es un parámetro que permite estimar la cantidad de energía disipada en forma de calor debido a la resistencia de los conductores. En redes de distribución estas pérdidas pueden representar un costo significativo, por lo que es fundamental reducirlas mediante una mejor planificación de la infraestructura [20].

2.6.4 Estrato de consumo.

El estrato de consumo hace referencia a la clasificación de los abonados según su nivel de demanda de energía, esta segmentación es esencial para analizar patrones de consumo y determinar estrategias de optimización en la distribución eléctrica [20].



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

**3 CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS**

Este capítulo describe la metodología utilizada para investigar cómo la reconfiguración de acometidas puede disminuir las pérdidas técnicas de energía eléctrica en un sector urbano específico de la ciudad de Cayambe. También se presenta el enfoque de la investigación, el tipo de estudio, y el diseño metodológico aplicado. Además, se describen los materiales, equipos y software utilizados, como ArcGIS, MATLAB y Excel, que fueron fundamentales para el análisis y modelado.

3.1 Enfoque y tipo de investigación

Esta investigación se enfoca en el modelado del sector y el análisis de los datos numéricos obtenidos de la infraestructura existente. Junto con el tipo de investigación seleccionada, se busca abordar y ofrecer soluciones a la problemática de las pérdidas técnicas en las acometidas del sector estudiado.

3.1.1 Enfoque o paradigma

El enfoque de esta investigación es práctico y tecnológico, ya que se centra en la aplicación de herramientas matemáticas y tecnológicas para optimizar la distribución de energía en un sector específico. La investigación se basa en analizar y mejorar la infraestructura eléctrica de bajo voltaje en Cayambe, utilizando métodos como los diagramas de Voronoi y el uso de SIG (Sistemas de Información Geográfica). Este enfoque permite implementar mejoras en las acometidas y reducir las pérdidas técnicas de energía eléctrica mediante la integración de herramientas innovadoras y modelos avanzados que se adaptan a las condiciones reales del sistema.

3.1.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizada es cuantitativa ya que se basa en la medición y análisis de datos numéricos sobre el sistema de distribución eléctrica, se trabaja con datos reales sin manipular el sistema, utilizando en su lugar simulaciones y modelamientos para proyectar mejoras. Además, al ser aplicada, la investigación busca resolver un problema práctico como es el de reducir las pérdidas técnicas en las acometidas eléctricas mediante el uso de herramientas tecnológicas avanzadas.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



3.2 Metodología.

El enfoque metodológico adoptado para este proyecto se basa en una combinación de métodos teóricos y prácticos que permiten abordar la problemática de pérdidas técnicas en las acometidas eléctricas de manera integral. En una primera etapa, se utilizó el método documental para realizar una revisión de literatura especializada, incluyendo artículos científicos, normativas técnicas y estudios previos relacionados con la optimización de redes eléctricas y el uso de algoritmos como los diagramas de Voronoi. Esta revisión permitió construir el marco teórico, definiendo conceptos clave y relaciones matemáticas necesarias para los cálculos posteriores.

Posteriormente, se aplicó el método observacional in situ, realizando un levantamiento de información del sector de estudio. Esta actividad incluyó la recopilación de datos sobre medidores, consumo promedio anual de los abonados, cantidad de usuarios por medidor y la ubicación geográfica de postes y transformadores. Para ello, se emplearon herramientas como ArcGIS para obtener datos geoespaciales y estructurar la información de manera precisa.

En la etapa de análisis, se utilizaron los métodos inductivo y deductivo. El inductivo permitió procesar la información obtenida del sector y modelar el sistema en MATLAB, simulando distintas configuraciones de acometidas. El método deductivo se aplicó para validar las conclusiones obtenidas a partir del análisis comparativo entre el sistema actual y el sistema reconfigurado, utilizando datos organizados y tratados en Excel.

Por último, se empleó una investigación descriptiva y experimental para calcular y comparar las pérdidas técnicas, estableciendo la relación entre las nuevas configuraciones propuestas y la reducción de pérdidas técnicas de energía eléctrica en el sistema.

3.3 Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación adopta un enfoque sistemático, estructurado en actividades secuenciales que permiten analizar el sistema de distribución eléctrica actual y proponer soluciones optimizadas para reducir las pérdidas técnicas en las acometidas. Este diseño se basa en la recopilación y análisis de datos geoespaciales y eléctricos del sector,



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

utilizando herramientas como ArcGIS y MATLAB, para modelar y simular escenarios de reconfiguración.

Cada actividad está orientada en alcanzar un objetivo específico dentro del proceso metodológico, desde el levantamiento de información y el cálculo de pérdidas técnicas hasta la implementación de algoritmos matemáticos. La secuencia de estas actividades asegura que los datos obtenidos sean tratados de manera lógica y que las soluciones propuestas sean técnicamente viables y eficientes.

En la **Fig. 7** se detalla el flujo de actividades metodológicas que ofrecen una visión clara del desarrollo del proyecto. Este diseño permite integrar los objetivos del estudio con los métodos y herramientas utilizadas para validar las conclusiones.

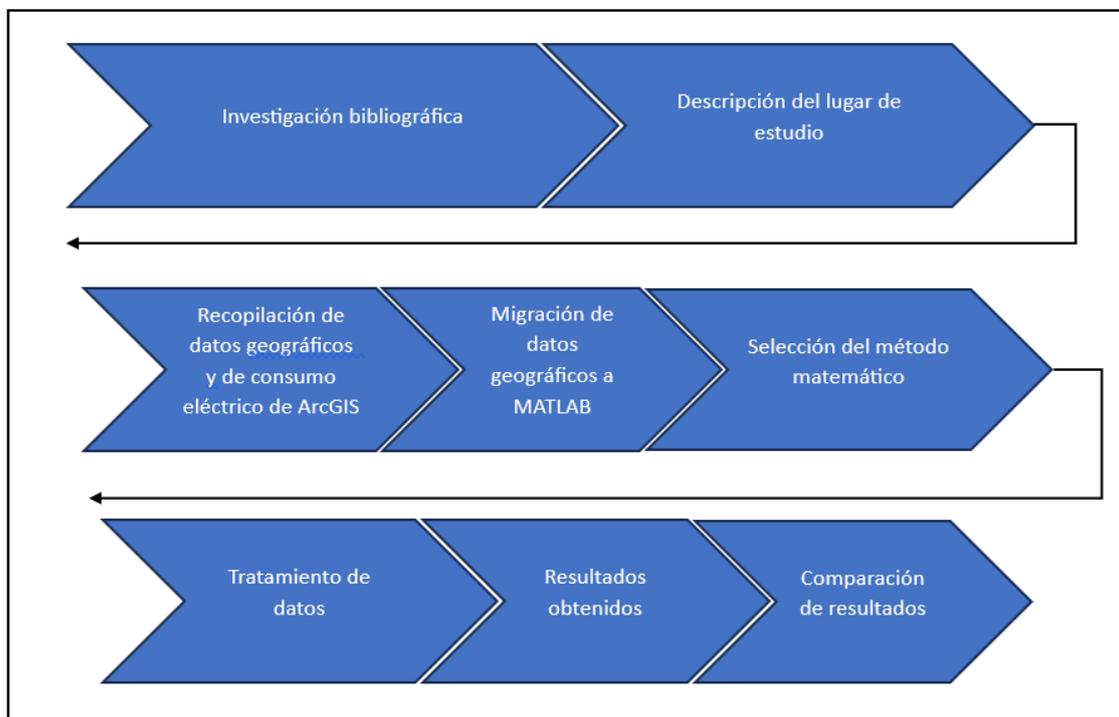


Fig. 7 Proceso metodológico.

3.3.1 Investigación bibliográfica

Para la investigación bibliográfica, se utilizó el método de investigación documental, enfocado en recopilar información relevante sobre la optimización de sistemas eléctricos mediante la reconfiguración de acometidas y el análisis de pérdidas técnicas en los



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

sistemas de distribución. La revisión incluyó fuentes especializadas como artículos académicos, normativas eléctricas e informes técnicos provenientes de bases de datos como IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar, priorizando publicaciones de los últimos 5 años. Entre los hallazgos más relevantes se encuentra el uso de algoritmos matemáticos como los diagramas de Voronoi el cual permiten optimizar la distribución de áreas, y estudios sobre la relación entre la longitud de los conductores y las pérdidas técnicas en sistemas de distribución de bajo voltaje.

Esta investigación bibliográfica proporcionó una base sólida para comprender el contexto técnico y matemático del problema de estudio, fundamentando tanto el marco teórico como la selección de las metodologías empleadas en el desarrollo del proyecto.

3.3.2 Descripción del lugar de estudio.

El presente estudio se enfoca en un sector específico de la ciudad de Cayambe, ubicado en la provincia de Pichincha, Ecuador. El área de investigación comprende un barrio residencial que abarca nueve manzanas en la zona central de la ciudad, delimitadas por las calles Juan Montalvo y Pichincha, Ascasubi y Pichincha, extendiéndose hasta las calles Juan Montalvo y Vivar, y Ascasubi y Vivar.

En este sector existen 45 postes de concreto estratégicamente ubicados para cubrir la mayor cantidad de abonados posible. Sin embargo, debido a que no todos los medidores se encuentran conectados al poste más cercano, se incrementa la longitud de los conductores para realizar las acometidas, lo que genera pérdidas técnicas en las acometidas. Además, en el sector se cuenta 8 transformadores y una línea aérea de bajo voltaje que abastece la demanda de los abonados. Los aspectos más importantes de la red se organizaron en TABLA I.

TABLA I

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA RED ELÉCTRICA DEL SECTOR DE ESTUDIO

CARACTERÍSTICAS DE LA RED	VALOR
Número de transformadores	8
Tipo de transformadores	Monofásicos



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Número de postes	45
Número de abonados	472
Tipo de conductor de acometidas	Triplex
Calibre del conductor eléctrico	3x4

La **Fig. 8** presenta un mapa del sector de estudio obtenido de Google Maps, que delimitan el área de estudio, y la **Fig. 9** muestra la distribución de los transformadores en el área de estudio, información que fue procesada y estructurada mediante el software ArcGIS para su análisis en las etapas posteriores del proyecto.

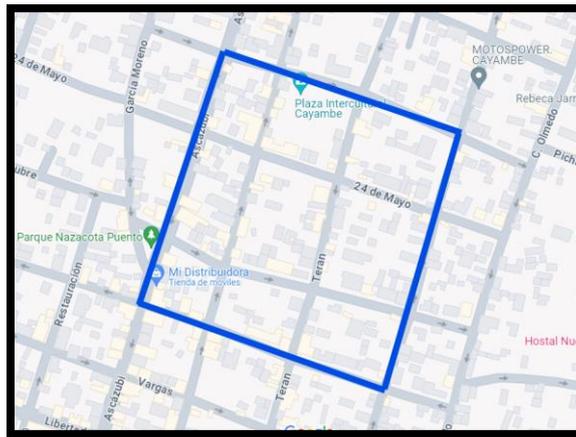


Fig. 8 Ubicación Geográfica del sector.

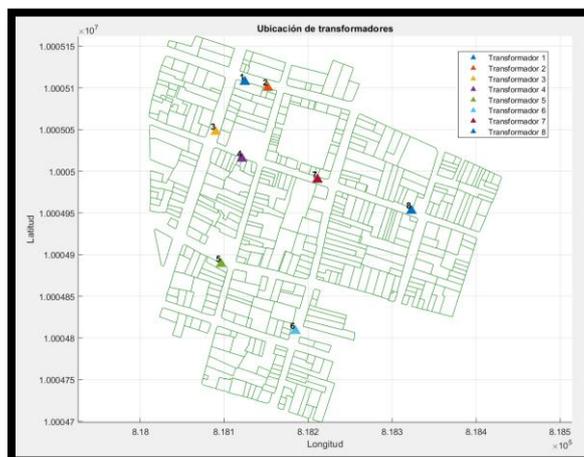


Fig. 9 Ubicación Geográfica de los transformadores en el sector de estudio.



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



REPÚBLICA DEL ECUADOR

CARRERA DE ELECTRICIDAD

3.3.3 Recopilación de datos geográficos y de consumo eléctrico de ArcGIS

En esta etapa del estudio, se utilizó un enfoque de investigación descriptiva y exploratoria para recopilar información detallada sobre el consumo eléctrico de los abonados y la infraestructura asociada. El método aplicado fue el observacional indirecto, apoyado en el uso del software ArcGIS para extraer y procesar los datos relevantes.

El levantamiento de datos se realizó tomando como base la información suministrada por la empresa eléctrica EMELNORTE S.A, que proporciona el suministro eléctrico al sector. La **Fig. 10** muestra el circuito correspondiente al transformador 26566 del cual mediante la tabla de atributos que se muestra en la **Fig. 11** se obtuvo el consumo promedio anual de cada abonado, junto con información clave para el análisis de las acometidas, como el poste al que está conectado cada medidor de energía eléctrica con sus respectivas coordenadas geográficas, la longitud del conductor desde el poste hasta el medidor, y el número de usuarios asociados a cada medidor.

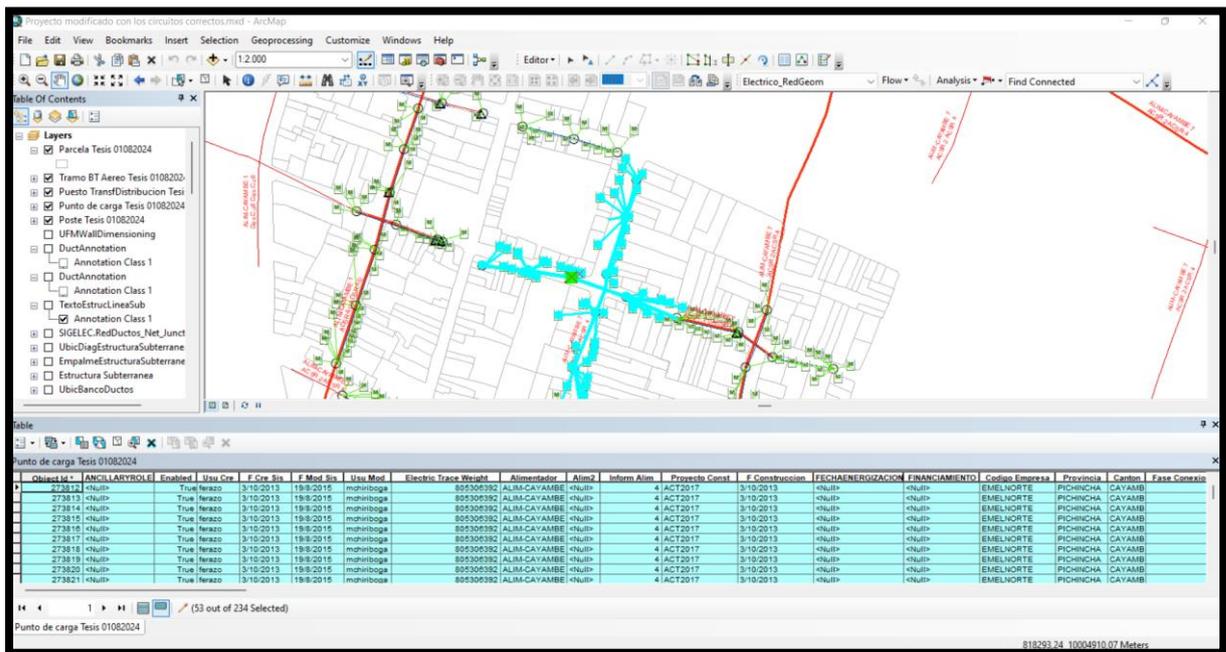


Fig. 10 Conexión asociada al transformador 26566.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

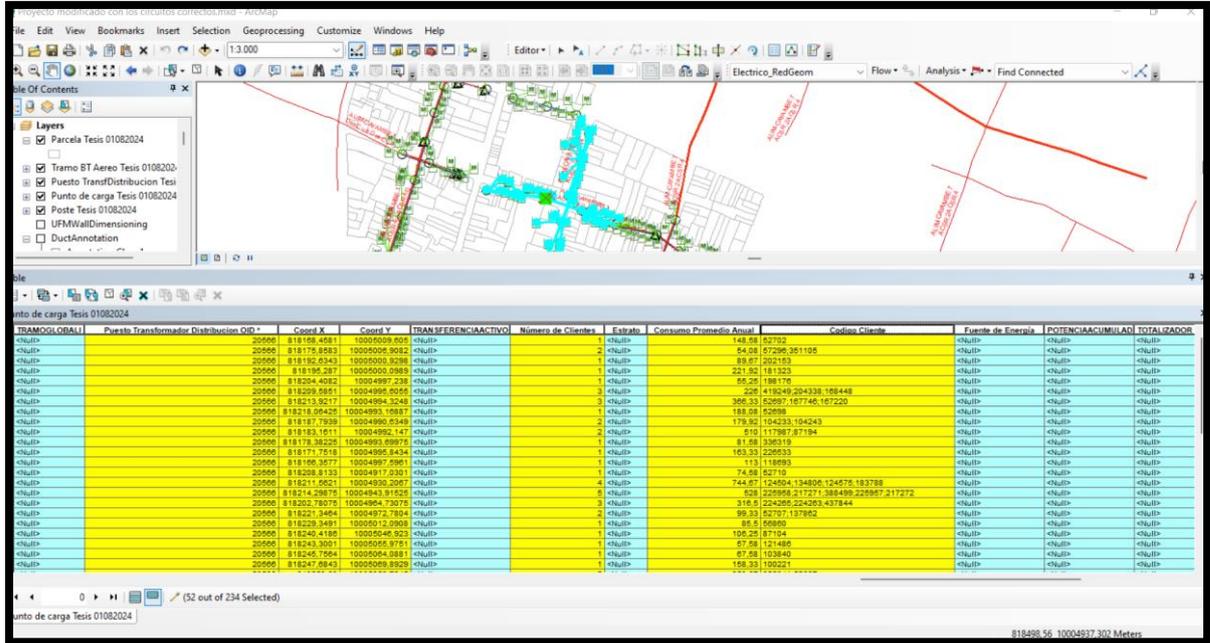


Fig. 11 Tabla de atributos asociados al transformador 26566.

Estos datos fueron estructurados y organizados para identificar las características actuales de la red eléctrica del sector. Además, la longitud de los conductores se obtuvo directamente de los datos geospaciales procesados con el software ArcGIS, el cual proporcionó información precisa sobre las distancias entre los medidores y sus respectivos postes. Los datos geospaciales fueron exportados en formato .shp (shapefile), los cuales posteriormente serán trasladados a MATLAB para su uso en el modelado y simulación de la red.

Este levantamiento de información resultó clave para analizar las pérdidas técnicas en las acometidas, sirviendo como base para las simulaciones y reconfiguraciones que se desarrollarán en las etapas posteriores del proyecto. El acceso a estos datos permitió comprender mejor la relación entre los consumos registrados y las conexiones actuales, identificando puntos críticos donde las acometidas podrían ser reconfiguradas para reducir la longitud de los conductores y, con ello, minimizar las pérdidas técnicas



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

3.3.4 Migración de datos geográficos a MATLAB.

La migración de datos geográficos desde ArcGIS a MATLAB constituye un paso esencial en el desarrollo del modelado eléctrico del sector de estudio. Este proceso permitió trasladar los datos obtenidos en formato .shp a un entorno más adecuado para realizar simulaciones y cálculos matemáticos avanzados. En MATLAB, se representaron inicialmente las ubicaciones de postes y medidores, para luego aplicar algoritmos matemáticos los cuales ayudan a menorar la distancia de los conductores utilizados en las acometidas. El objetivo principal fue identificar conexiones más eficientes entre los medidores y el poste más cercano para reducir las distancias de los conductores y como consecuencia también se reduzcan las pérdidas técnicas en las acometidas.

3.3.4.1 Obtención y procesamiento inicial de datos en MATLAB

Para esta etapa, se utilizó una metodología descriptiva, ya que se enfocó en la transferencia y estructuración de los datos geoespaciales previamente obtenidos en ArcGIS. Los archivos .shp que contienen información sobre la ubicación de postes, medidores y cometidas, fueron importados a MATLAB mediante funciones específicas. Una vez cargados, los datos fueron procesados para convertir las coordenadas geográficas en un formato cartesiano que facilite su manipulación dentro del software.

Este paso permitió construir una representación inicial del sector, donde cada poste y medidor está ubicado según sus coordenadas. Esto sirvió como base para las etapas, asegurando que la infraestructura eléctrica del sector esté correctamente representada en el modelo.

3.3.4.2 Modelado Inicial del Sector

En esta etapa se aplicó una metodología exploratoria, que permitió representar gráficamente el sector y comprender mejor la disposición actual de los elementos del sistema eléctrico. En MATLAB, se graficaron los postes, medidores y conexiones actuales como se muestra en la **Fig. 12**. En los cuales se utilizan herramientas de visualización, como “scatter” para los puntos y “plot” para la representación de los gráficos.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Además, se etiquetaron los elementos para identificar claramente cada medidor y su poste correspondiente, lo que facilitó el análisis posterior.



Fig. 12 Sistema eléctrico del sector de estudio Modelado en MATLAB.

3.3.5 Selección del método matemático.

En esta etapa se aplicó una metodología analítica, enfocada en evaluar y aplicar conceptos matemáticos que permitan optimizar las conexiones en el sistema eléctrico.

La implementación de estos algoritmos no solo ayuda a identificar las áreas de mejora en la distribución de los abonados, sino que también permite realizar un análisis detallado de la infraestructura existente. Esto facilita la toma de decisiones informadas basadas en datos, orientadas a reducir las pérdidas técnicas.

En esta etapa se definió la función objetivo y se seleccionó el método matemático más adecuado para optimizar las conexiones en el sistema eléctrico del sector de estudio. La función objetivo busca minimizar la distancia de los conductores necesarios para conectar cada medidor al poste más cercano. Esta distancia está directamente relacionada con las pérdidas técnicas, por lo que su reducción es clave para mejorar la eficiencia del sistema,



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

considerando la restricción de conectar cada medidor al poste más cercano dentro de su región de influencia:

$$Z = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} d_{y0} D_{y0} \quad (1)$$

Donde:

Z = Distancia total acumulada de los conductores.

(i, j) = Índices representativos de medidores y postes respectivamente.

d_{y0} = Distancia entre el medidor y el poste.

D_{y0} = Variable binaria que indica si el medidor se conecta al poste más cercano.

El objetivo es encontrar la combinación de conexiones D_{y0} que minimice Z , asegurando que cada medidor se conecte al poste mas cercano de su región.

3.3.5.1 Vértices de Voronoi

Los vértices de Voronoi son los puntos donde se intersectan tres o más aristas en el diagrama de Voronoi. Cada vértice representa un punto equidistante a tres (o más) puntos generadores del diagrama, es decir, aquellos que definen las regiones de Voronoi.

3.3.5.2 Cálculo de vértices de Voronoi

Dado que los vértices son intersecciones de las mediatrices perpendiculares entre los puntos generadores, sus coordenadas pueden calcularse resolviendo sistemas de ecuaciones lineales. Suponiendo que tres puntos generadores $PAG_1(x_1, y_1)$, $PAG_2(x_2, y_2)$, y $PAG_3(x_3, y_3)$ define una región de Voronoi.

3.3.5.3 Ecuacion de las mediatrices

Cada mediatriz es una línea perpendicular al segmento entre dos puntos generadores, que divide el espacio entre ellos en dos partes iguales. La mediatriz entre PAG_1 y PAG_2 tiene la forma:

$$a_{12}x + b_{12}y + do_{12} = 0 \quad (2)$$

Siendo:

$$a_{12} = x_2 - x_1 \quad (3)$$



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

$$b_{12} = y_2 - y_1 \quad (4)$$

$$do_{12} = -\frac{1}{2}(x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2) \quad (5)$$

Donde:

a_{12} = Diferencia en las coordenadas x entre dos puntos generadores (postes)

$PAG_1(x_1, y_1)$ y $PAG_2(x_2, y_2)$.

b_{12} = Diferencia en las coordenadas.

do_{12} = Término constante que ajusta la posición de la línea para que pase por el punto medio entre $PAG_1(x_1, y_1)$ y $PAG_2(x_2, y_2)$, perpendicular a su segmento.

3.3.5.4 Diagramas de Voronoi

En un conjunto de puntos $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ existentes en un plano P , un diagrama de Voronoi divide el plano en diferentes áreas o regiones cada una asociada a uno de estos puntos.

Cada región creada será denominada $V(p_i)$, donde p_i es uno de los puntos. Todos los puntos que se encuentren dentro de la región $V(p_i)$, están más cerca de p_i que de cualquier otro punto del conjunto P , de manera que cada punto tiene su propio territorio donde es el más cercano, y no existen superposiciones entre los territorios.

Como primera observación, los diagramas de Voronoi permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- Si se considera un punto p_i en el conjunto P , entonces el vecino más cercano a p_i se encuentra en uno de los polígonos de Voronoi que son adyacentes a la región $V(p_i)$.
- Si se organiza cada punto p_i junto con su vecino más cercano en una lista, se puede identificar en esa lista el par de elementos del conjunto P que están más cerca entre sí.

En la **Fig. 13** se puede apreciar un diagrama de Voronoi para un conjunto de 15 puntos aleatorios con su punto P más cercano a x_9 .



REPÚBLICA DEL ECUADOR



CARRERA DE ELECTRICIDAD

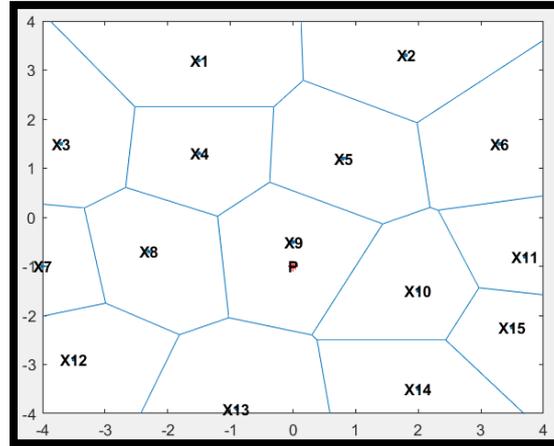


Fig. 13 Diagrama de Voronoi de 15 puntos.

3.3.5.5 Distancia Euclidiana

Si se tiene $p = (x, y)$ y $p_i = (x_i, y_i)$ los cuales son puntos arbitrarios en el plano Euclidiano. Entonces la distancia euclidiana $d(p, p_i)$ entre ellos se calcula con la siguiente formula:

$$d(p, p_i) = \|x - x_i\| = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (6)$$

Donde:

p = Punto arbitrario en el plano

$(x; y)$ = coordenadas de posición

Si p_i es el punto más cercano a p o a uno de los más cercanos, se tiene la relación

$\|x - x_i\| \leq \|x - x_j\|$ para $i \neq j; i, j \in I_n$. En este caso se dice que p está asignado a p_i .

Esta fórmula se deriva del teorema de Pitágoras y es de ayuda para medir la longitud del segmento que conecta los dos puntos en línea recta.

3.3.5.6 Intersección de semiplanos

Para la construcción inmediata de un diagrama de Voronoi, sugiere que cualquier celda de Voronoi se da al conjunto de puntos en común entro los semiplanos $H(p_i; p_j)$, con $j \neq i$. Esto sugiere una construcción del diagrama celda por celda, o para cada punto se calcula la celda correspondiente como la intersección de semiplanos.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

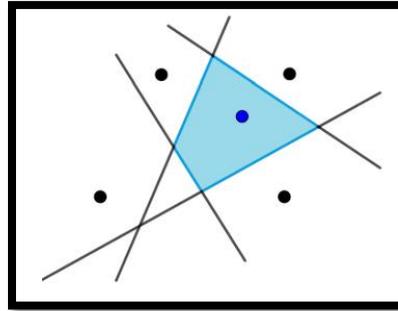


Fig. 14 Intersección de semiplanos.

3.3.5.7 Algoritmo celdas de Voronoi

Estas celdas dividen el espacio en áreas que están más cercanas a un punto de interés específico que a cualquier otro punto.

Los límites de estas celdas representan rutas directas entre los puntos de interés, lo que facilita la identificación de las rutas más cortas y económicas. Al analizar estas rutas, es posible optimizar las decisiones de infraestructura para minimizar la longitud de los conductores de las líneas de distribución. Utilizando para ello el script el siguiente Script de MATLAB:

$$[Vx, Vy] = \text{Voronoi}(\text{PuntoInteresX}, \text{PuntoInteresY});$$

El Script devuelve como resultado las áreas delimitadas de cada punto seleccionado.

El concepto principal de Diagramas de Voronoi tiene como objetivo la subdivisión de cada área, con el fin de lograr una reconfiguración más eficiente de las acometidas en el sistema de distribución. **La Ecuación 6** explicada anteriormente es una parte integral del Script del algoritmo de Voronoi desarrollado en Matlab.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Diagrama de flujos del método matemático de Voronoi.

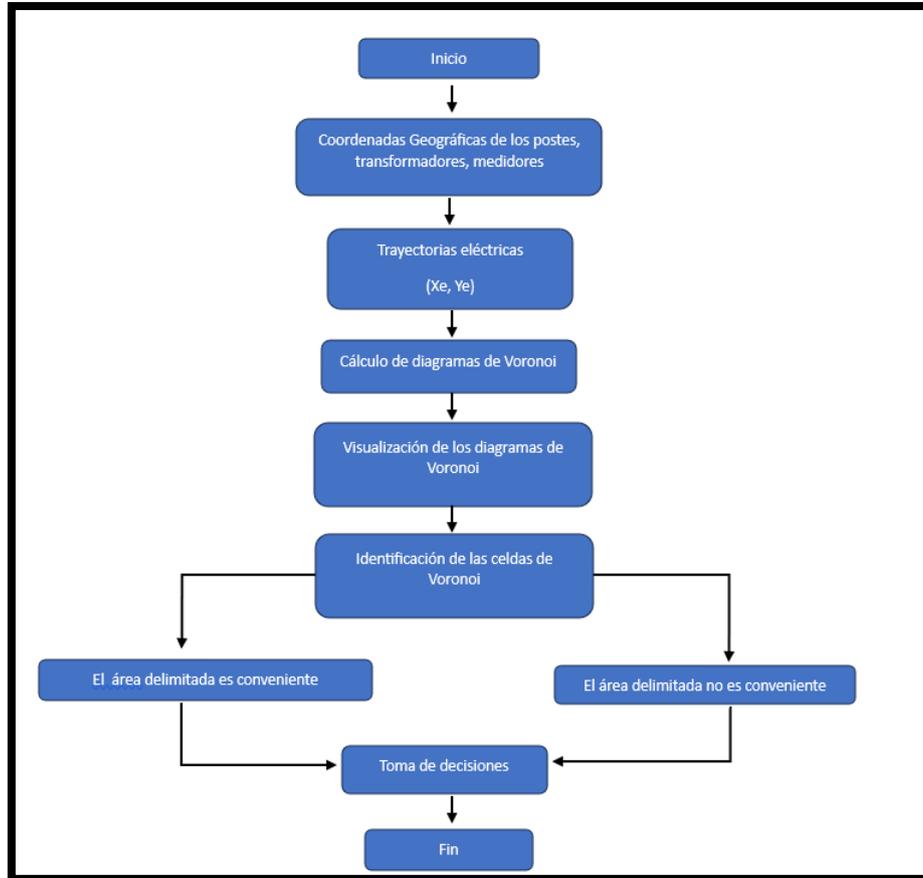


Fig. 15 Diagrama de flujos para determinar caminos factibles.

La **Fig. 15**, muestra el diagrama de flujos de Voronoi utilizado para determinar los caminos factibles en el sector.

3.3.6 Tratamiento de datos

En esta etapa se procesan y analizan los datos recopilados para evaluar las pérdidas técnicas en las acometidas actuales y las configuraciones propuestas. Este paso permite comparar el impacto de las reconfiguraciones planteadas, asegurando una interpretación clara de los resultados obtenidos.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Se utiliza una metodología descriptiva y cuantitativa, centrada en organizar y analizar los datos de consumo, longitud de conductores y pérdidas técnicas, lo que facilita la validación de las soluciones planteadas en el proyecto.

3.3.6.1 Estimación de la demanda máxima coincidente por poste.

Dado que ya se conocen los consumos de los usuarios conectados a cada transformador, se utiliza el método de la Administración de Electrificación Rural (REA) para estimar la demanda eléctrica del sector. Este método permite calcular la Demanda Máxima Coincidente, que corresponde al valor máximo de carga eléctrica que ocurre simultáneamente en el sistema. Para su cálculo, se emplean las fórmulas correspondientes al Factor A y al Factor B, detalladas en las **Ecuación 8** y **Ecuación 9**, respectivamente.

$$DM_{coin} = (Factor A) * (Factor B) \quad (7)$$

$$Factor A = N * (1 - 0.4N + 0.4 * (N^2 + 40)^{0.5}) \quad (8)$$

$$Factor B = 0.005925 * \left(\frac{kWh}{mes}\right)^{0.885} \quad (9)$$

Donde:

N = Numero de abonados del circuito.

$\left(\frac{kWh}{mes}\right)$ = Promedio de la suma de consumos de los abonados del circuito.

DM_{coin} = Demanda Máxima Coincidente.

3.3.6.2 Estimación de la demanda individual por acometida

Para conocer la estimación de la demanda individual por acometida se debe realizar el cálculo de la demanda máxima coincidente en un poste en específico haciendo uso del método de la REA, considerando el número de abonados y el consumo promedio de energía. La **Ecuación 10** permite distribuir la demanda máxima coincidente del poste entre las diferentes acometidas, considerando el consumo relativo de cada una, de esta manera se obtiene una estimación más precisa de la demanda individual por acometida.

$$D_{individual} = \frac{DM_{coin} * E_i}{\sum_{i=1}^{i=n} E_i} \quad (10)$$

Donde:



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

$D_{individual}$ = Demanda individual por acometida

DM_{coin} = Demanda Máxima Coincidente.

E_i = Energía por acometida.

3.3.6.3 Corriente por acometida.

El cálculo de la corriente por acometida permite determinar las pérdidas por efecto Joule, ya que la potencia disipada en el conductor depende directamente de la corriente que circula a través de él. Esta corriente se obtiene a partir de la demanda individual estimada de la acometida, el voltaje de suministro y el factor de potencia como se muestra en la **Ecuación 11.**

$$I = \frac{D_{individual}}{v * fp * 1000} \quad (11)$$

Donde:

I = Corriente por acometida (A).

$D_{individual}$ = Demanda individual por acometida (kW).

v = voltaje de suministro (V)

fp = factor de potencia.

3.3.6.4 Factor de Corrección

Debido a que los datos extraídos desde la plataforma ArcGIS representan una visualización en planta (2D) del sistema, las mediciones de distancia no consideran las variaciones verticales como las bajantes presentes en la infraestructura eléctrica. Esta omisión genera una subestimación de la longitud real del conductor instalado en el sector de estudio. Con el objetivo de corregir esta discrepancia y obtener una estimación más precisa de las distancias reales, se recurrió al asesoramiento del departamento de georreferenciación de EMELNORTE S.A. En conjunto se determinó que las bajantes representan, en promedio, un 30% adicional respecto a la longitud horizontal proyectada en el plano, por lo tanto, se aplicó un factor de corrección equivalente al 30% sobre las longitudes obtenidas desde ArcGIS y MATLAB.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

3.3.6.5 Cálculo de pérdidas de potencia.

El cálculo de pérdidas de potencia activa está relacionado con la disipación de energía en forma de calor debido al efecto Joule presente en los conductores. En sistemas monofásicos, estas pérdidas se calculan utilizando la formulación de la **Ecuación 12**.

$$P_{p01f} = \frac{I^2 * R * L}{1000} \quad (12)$$

Donde:

I = Corriente de operación (A).

R = Resistencia del conductor (Ω /km).

L = Longitud de la línea (km).

Como se puede observar las pérdidas están directamente relacionadas con la corriente de operación, la resistencia y la longitud de los conductores, por tal motivo es necesario evaluar cada tramo de la red del sector.

3.3.7 Cálculo de costos de la reconfiguración.

En la optimización de redes de distribución eléctrica, la selección del conductor adecuado es un factor clave para reducir pérdidas técnicas y mejorar la eficiencia del sistema. En este trabajo se busca determinar el costo de la inversión del conductor para las acometidas reconfiguradas considerando la reducción de la longitud de los conductores y su impacto en los costos operativos que corresponden a los costos por pérdidas de potencia y energía del sistema eléctrico del sector de estudio. Estas pérdidas representan un costo significativo en la operación del sistema de distribución, impactando directamente en la eficiencia de la red. Además, según [19] y [20], se consideran los costos de operación y mantenimiento, los cuales corresponden al 2% para redes aéreas y al 15% para redes subterráneas, factores que influyen en la evaluación económica de la reconfiguración de acometidas.

Para estimar los costos operativos anuales del conductor, es necesario calcular las pérdidas de potencia como se muestra en la **Ecuación 13** y pérdidas de energía como se muestra en la **Ecuación 14** a lo largo de su vida útil.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

$$P_{po1f} = \frac{I^2 * R * L}{1000} \quad (13)$$

$$P_{en1f} = \frac{I^2 * R * L}{1000} * f_{per} * 8760 \quad (14)$$

Donde:

I = Corriente de operación (A).

R = Resistencia del conductor (Ω /km).

L = Longitud de la línea (km).

f_{per} = Factor de pérdidas.

P_{po1f} = Pérdidas de potencia (kW/año).

P_{en1f} = Pérdidas de energía (kWh/año).

Adicional, el cálculo de las pérdidas de energía toma en cuenta el factor de pérdidas, el cual varía según el estrato de los abonados como se muestra en la Tabla II.

Tabla II

Factor de pérdidas [20].

Estratos (kWh)	Factor de pérdidas
> 500	0,323
A (351 - 500)	0,2665
B (251 - 350)	0,2599
C (151 -250)	0,257
D (101 - 150)	0,2446
E (0 - 100)	0,1979

Los costos asociados a las pérdidas de potencia y energía se detallan en la **Ecuación 15**. Según [49] el costo de energía para las empresas de distribución eléctrica para bajo voltaje es de 0,099 (USD/kWh) y para el costo de potencia es de 26,65 (USD/kW-mes) como indica [50], además en el análisis financiero del sector eléctrico, se considera una tasa de descuento del 12% y se considera a una vida útil de 30 años para los conductores, conforme el plan maestro de electrificación vigente. Los costos de inversión, incluyendo



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

operación y mantenimiento se presentan en la **Ecuación 16**, y los costos totales anuales en la **Ecuación 17**.

$$CP_{po} = P_{po} * C_d \qquad CP_{en} = P_{en} * C_e \qquad (15)$$

$$C_{ta} = \left(\frac{T_{dd}}{1 - (1 + T_{dd})^{-n}} \right) * C_t + C_{om} * C_t \qquad (16)$$

$$C_{total\ anual} = CP_{po} + CP_{en} + C_{ta} \qquad (17)$$

Donde:

CP_{po} = Costo de pérdidas de potencia (US\$/año).

CP_{en} = Costo de pérdidas de energía (US\$/año).

C_d = Costo de demanda (US\$/kW/año).

C_e = Costo de energía (US\$/kWh/año).

C_{ta} = Costo de amortizado anual de inversión de la línea (US\$).

T_{dd} = Tasa de descuento (%).

n = Vida útil (años).

C_t = Costo total del conductor (US\$/km).

C_{om} = Costo de operación y mantenimiento (%).

$C_{total\ anual}$ = Costo operativo anual (US\$).

Una vez determinados los costos anuales totales se calcula un costo mínimo por transporte de energía en una línea de longitud L para obtener una mejor aproximación del requerimiento de carga como se muestra en la **Ecuación 18**.

$$C_{total\ anual\ línea} = CP_{po} + CP_{en} + C_{ta} + L \qquad (18)$$

Donde:

$C_{total\ anual\ línea}$ = Costo anual total de la línea (US\$).

CP_{po} = Costo de las pérdidas de potencia (US\$/año).

CP_{en} = Costo de las pérdidas de energía (US\$/año).

C_{ta} = Costo de amortizado anual de la línea (US\$).



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



L = Longitud de la línea (km).

3.4 Materiales y softwares

En este estudio se emplearon varios programas de software para realizar el análisis y modelamiento de la infraestructura eléctrica en el sector de estudio en Cayambe. Cada uno de estos programas desempeñó un papel importante en la primera fase del estudio, desde la recopilación y visualización de datos geoespaciales hasta el modelamiento de las acometidas. A continuación, se describen cada uno de los softwares utilizados.

- **Google Maps**

En este estudio, Google Maps se utilizó específicamente para identificar y visualizar las calles del sector de estudio en Cayambe. A través de la captura de pantalla de la zona delimitada, fue posible resaltar y documentar las nueve manzanas del área residencial analizada. Esta imagen se incluyó en la **Figura 2** para brindar una representación visual clara de la ubicación haciendo más accesible la interpretación del sector.

- **ArcGIS**

En este trabajo, ArcGIS se utilizó para obtener los datos necesarios sobre la infraestructura eléctrica del sector a modelar. Se obtuvieron datos precisos como la ubicación de las acometidas, postes, transformadores y líneas aéreas de bajo voltaje. Los datos geográficos y las coordenadas de cada elemento fueron obtenidos en formato de archivo .shp (shapefile), los cuales proporcionan la ubicación geográfica exacta de la infraestructura existente. Estos archivos fueron esenciales para el modelamiento y análisis que se realizó posteriormente en MATLAB, facilitando la identificación de las áreas críticas para la reducción de pérdidas técnicas en las acometidas.

- **MATLAB**

En este trabajo, el software MATLAB se utilizó para el modelamiento y análisis de la infraestructura eléctrica del sector de estudio en Cayambe. A partir de los datos geográficos obtenidos de ArcGIS y que posteriormente fueron subidos al



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

software MATLAB, se modeló el sector, proporcionando una representación precisa de la red eléctrica mediante el uso de diagramas de Voronoi. Estos diagramas facilitaron la visualización de la distribución y optimización de la conexión de las acometidas. Este software ayudó a identificar áreas críticas y a diseñar soluciones para reducir las pérdidas técnicas en las acometidas.

- **Microsoft Excel**

En este estudio, Excel se utiliza para tabular el consumo promedio anual de los abonados en el sector de estudio, organizando los datos de manera precisa y estructurada. También, se emplea para calcular las pérdidas técnicas de energía eléctrica existentes en las acometidas del sector, aplicando las fórmulas adecuadas del método de la REA (Rural Electrification Administration) para determinar las pérdidas en función de los datos tabulados y las características de la infraestructura. También, Excel permite comparar los resultados entre la red actual y la red modelada, facilitando la evaluación del impacto de la reconfiguración propuesta.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

**4 CAPITULO IV
RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan y evalúan los resultados obtenidos a partir de la metodología propuesta para la reconfiguración de acometidas y reducción de pérdidas técnicas en redes de bajo voltaje. Para el análisis se han considerado aspectos clave como: la distribución de los abonados, la ubicación de los postes y la longitud de los conductores, lo que permite evaluar con precisión el impacto de la reconfiguración.

Tal como se expone en el Capítulo III, el desarrollo del presente trabajo se fundamenta en la aplicación del modelo matemático de los diagramas de Voronoi, el cual ha sido implementado y modelado en el software MATLAB con la delimitación del área de estudio optimizando la asignación de acometidas al poste más cercano y reduciendo la longitud de los conductores. Los cálculos asociados han sido realizados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos. Los resultados obtenidos a través del software MATLAB proporciona la reconfiguración del sistema y las nuevas longitudes de los conductores correspondientes al sector de estudio, derivadas de la implementación de los diagramas de Voronoi. Esta modelación evidencia el efecto de la reconfiguración en la disminución de pérdidas técnicas, proporcionando una base para optimizar la reconfiguración de las acometidas.

4.1 Trazo de diagramas de Voronoi en MATLAB.

Los diagramas de Voronoi dividen el área de estudio en regiones poligonales donde cada región está asociada a un poste como centro de la región poligonal en el cual dentro de dicha área contiene más puntos (medidores), que están más cerca de dicho poste, esto permite reasignar cada medidor al poste más cercano en términos geométricos, minimizando la longitud de los conductores de las acometidas.

La **Fig. 16** muestra el circuito actual correspondientes al transformador 20566, cuyas coordenadas geográficas fueron extraídas del software ArcGIS.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

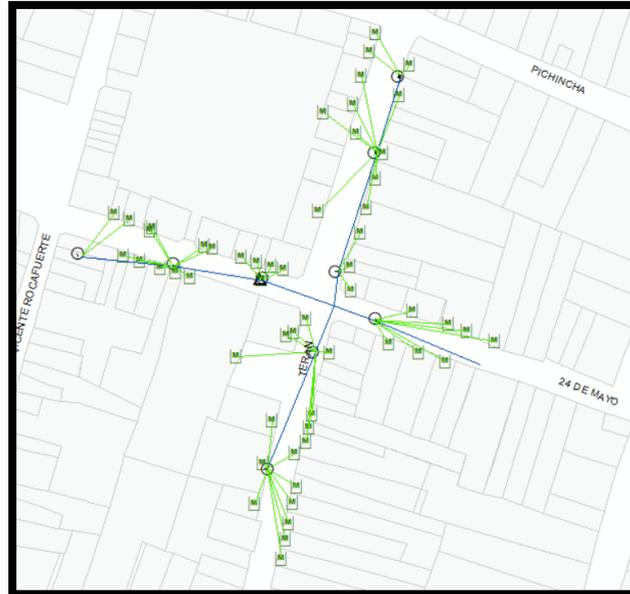


Fig. 16 Circuito actual del transformador 20566

Una vez generados los polígonos de Voronoi el algoritmo procede a asignar cada medidor a su poste más cercano, para ello el algoritmo compara las coordenadas de los medidores con las regiones delimitadas por los diagramas, si un medidor está dentro del polígono de un poste, se le asignaría automáticamente a dicho poste. En algunos casos los medidores ubicados cerca de los límites entre dos regiones podrían quedar en zonas de transición. Para resolver este problema se aplica la distancia euclidiana como se muestra en la Ecuación. 6 para asegurar que el medidor siempre se conecte al poste más cercano de su región. La Fig. 17 muestra la distribución de los medidores que están dentro de los diagramas de Voronoi correspondientes al transformador 20566 y que tienen un poste como centro del polígono de cada región, dichos medidores son conectados al poste si están dentro del área delimitada.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

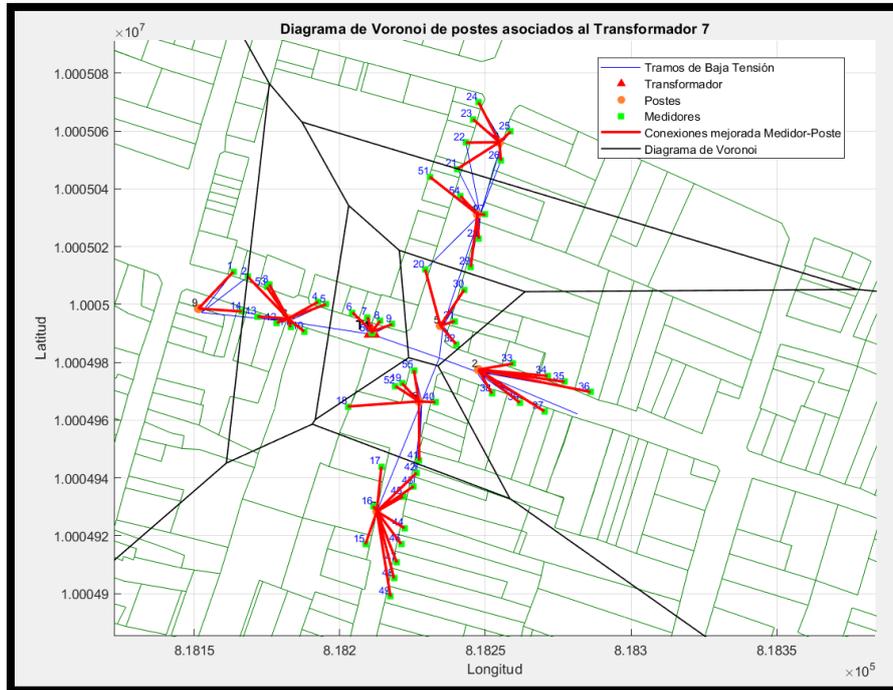


Fig. 17 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20566.

4.2 Reducción de la longitud del conductor eléctrico.

Para la obtención de las nuevas distancias entre medidores y postes luego de la reconfiguración de acometidas, se desarrolló un código en MATLAB que optimiza la distribución de la red eléctrica. El procedimiento consiste en asignar cada medidor al poste más cercano utilizando diagramas de Voronoi, lo que permitió definir regiones de influencia y minimizar la longitud de los conductores.

El cálculo de la nueva longitud de acometidas se realizó midiendo la distancia euclidiana entre cada medidor y su nuevo poste asignado. Mediante un proceso iterativo, el código identificó la asignación más eficiente para cada conexión y comparó las distancias obtenidas con las de la reconfiguración original evidenciando la reducción de longitud del conductor eléctrico.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

La distancia ajustada entre el medidor 1 y su poste más cercano es:	22.83 metros
La distancia ajustada entre el medidor 2 y su poste más cercano es:	26.04 metros
La distancia ajustada entre el medidor 3 y su poste más cercano es:	17.46 metros
La distancia ajustada entre el medidor 4 y su poste más cercano es:	15.40 metros
La distancia ajustada entre el medidor 5 y su poste más cercano es:	18.07 metros
La distancia ajustada entre el medidor 6 y su poste más cercano es:	12.16 metros
La distancia ajustada entre el medidor 7 y su poste más cercano es:	6.71 metros
La distancia ajustada entre el medidor 8 y su poste más cercano es:	6.04 metros
La distancia ajustada entre el medidor 9 y su poste más cercano es:	9.67 metros
La distancia ajustada entre el medidor 10 y su poste más cercano es:	9.22 metros
La distancia ajustada entre el medidor 11 y su poste más cercano es:	4.03 metros
La distancia ajustada entre el medidor 12 y su poste más cercano es:	5.42 metros
La distancia ajustada entre el medidor 13 y su poste más cercano es:	13.75 metros
La distancia ajustada entre el medidor 14 y su poste más cercano es:	19.32 metros
La distancia ajustada entre el medidor 15 y su poste más cercano es:	15.69 metros
La distancia ajustada entre el medidor 16 y su poste más cercano es:	2.77 metros
La distancia ajustada entre el medidor 17 y su poste más cercano es:	20.22 metros
La distancia ajustada entre el medidor 18 y su poste más cercano es:	31.83 metros
La distancia ajustada entre el medidor 19 y su poste más cercano es:	11.17 metros
La distancia ajustada entre el medidor 20 y su poste más cercano es:	26.11 metros
La distancia ajustada entre el medidor 21 y su poste más cercano es:	22.23 metros
La distancia ajustada entre el medidor 22 y su poste más cercano es:	14.99 metros
La distancia ajustada entre el medidor 23 y su poste más cercano es:	15.69 metros
La distancia ajustada entre el medidor 24 y su poste más cercano es:	20.16 metros

Fig. 18 Nuevas longitudes de conductor obtenidas a partir de iteraciones del código de MATLAB.

Debido a que las mediciones iniciales fueron tomadas en un entorno 2D, se aplicó un ajuste del 30% para corregir la diferencia con la distancia real en el terreno como se explica en el capítulo III. Este ajuste permitió obtener una estimación más precisa de la longitud de los conductores.

4.3 Resultados obtenidos.

En esta sección se presentan los datos obtenidos antes y después de la reconfiguración de acometidas, evidenciando la reducción en la longitud de los conductores. Como consecuencia de esta optimización, se logra una disminución en las pérdidas técnicas.

4.3.1 Cálculo de pérdidas técnicas por acometida antes de la reconfiguración.

En la TABLA I se presentan los principales parámetros de la red actual del sector de estudio, estos valores sirven como referencia para evaluar la eficiencia de la red antes de



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

aplicar la reconfiguración de acometidas y comparar los resultados obtenidos tras la reconfiguración. Además, la estimación de la demanda por acometida se realizó aplicando el método de la REA tomando como base los consumos de los abonados obtenidos del software ArcGIS. En la **Tabla III** se presenta el cálculo de demanda estimada para el poste P21692 perteneciente al transformador 20566, mientras que en la **Tabla VI** se detallan los cálculos por acometida para ese mismo poste. Es importante mencionar que la reconfiguración del sistema abarca 45 postes y 472 abonados, por lo que los cálculos completos para el resto de los postes se encuentran en el **Anexo I** y **Anexo II**.

Tabla III

Datos obtenidos del poste P21692 (circuito actual).

P21692	
Total abonados	9
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	42,880
FACTOR A	16,200
FACTOR B	0,165
DMcoin (kW)	2,671
Fp	0,95

Tabla IV

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida

Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%)	Resistencia (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P21692	1	85,5	0,592	2,556	34,973	0,001359	0,00031045	0,69891
	1	106,25	0,735	3,176	22,820	0,001359	0,00031282	0,70426
	1	57,58	0,399	1,721	32,822	0,001359	0,00013214	0,29749
	1	1,42	0,010	0,042	25,788	0,001359	6,3143E-08	0,00014
	2	47,42	0,328	1,417	2,261	0,001359	6,1747E-06	0,01390
	1	59,25	0,410	1,771	11,007	0,001359	4,6923E-05	0,10564
	1	26,5	0,183	0,792	24,104	0,001359	2,0554E-05	0,04627
	1	2	0,014	0,060	28,122	0,001359	1,3659E-07	0,00031



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Σ	181,898	0,00082926	1,86692
----------	---------	------------	---------

4.3.2 Cálculo de pérdidas técnicas por acometida después de la reconfiguración.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el poste P21692 tras la realización de los modelamientos en MATLAB. Para facilitar la interpretación de los datos, el poste P21692 ha sido renombrado como poste 4 como se muestra en la **Fig. 19** donde se determinó la región de Voronoi correspondientes a dicho poste y las nuevas longitudes de las acometidas. En la **Tabla V**, se muestran los cálculos mediante el método de la REA para el poste 4, mientras que en la **Tabla VI** se detallan los resultados obtenidos tras la reconfiguración de acometidas en dicho poste. Los cálculos correspondientes a los demás postes y transformadores, una vez aplicada la reconfiguración del sistema, se detallan en el **Anexo III** y **Anexo IV**.

Tabla V
Datos obtenidos del poste 4 (P21692-circuito reconfigurado).

Poste 4	
Total abonados	5
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	27,034
FACTOR A	11,125
FACTOR B	0,110
DMcoin (kW)	1,220
Fp	0,95

Tabla VI
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del poste 4 (P21692)

Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
4	27	1	47,42	0,42785	1,8475	3,56	0,000016514	0,037178441
	28	2	59,25	0,53459	2,3084	11	0,000079662	0,179344255
	29	1	26,5	0,23910	1,0325	23,91	0,000034638	0,077981108



CARRERA DE ELECTRICIDAD

51	1	2	0,01805	0,0779	27,09	0,000000224	0,000503254
		Σ			65,56	0,000131037	0,295007057

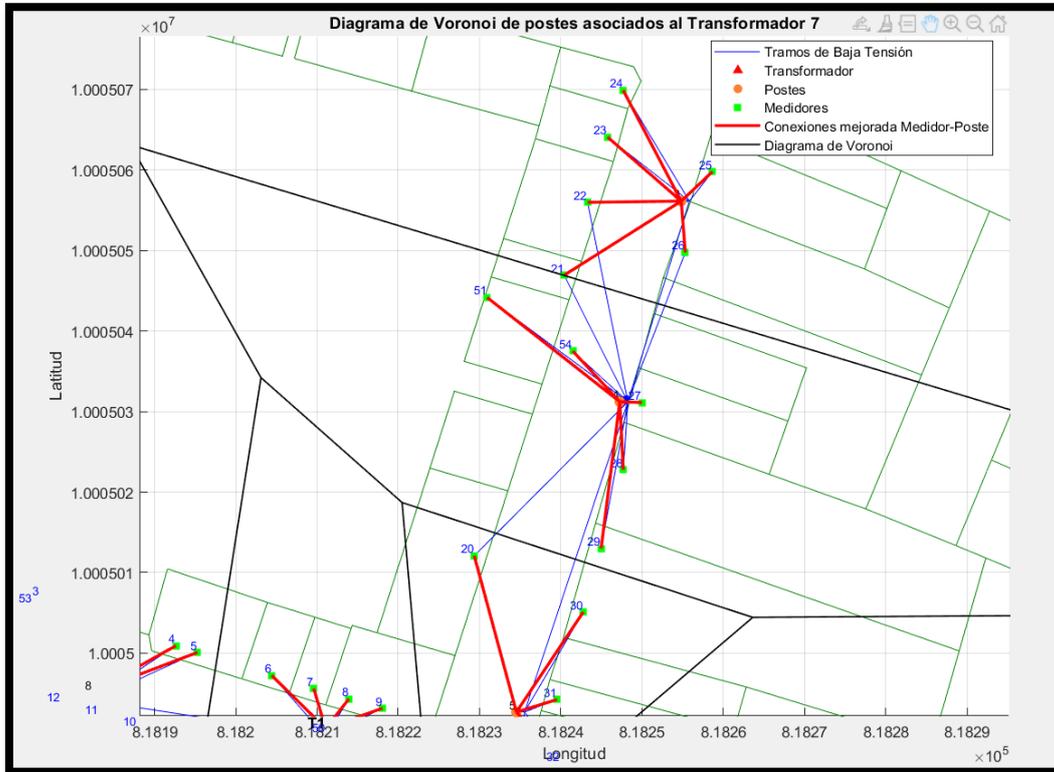


Fig. 19 Regiones de Voronoi de los postes 3, 4 y 5.

4.3.3 Resumen de reducción de pérdidas técnicas del transformador 20566.

En la **Tabla VII** se presenta un cuadro resumen que detalla las pérdidas técnicas en las acometidas asociadas al transformador 20566, al cual pertenece el poste P21692 cuyos cálculos están evidenciados en la **Tabla IV** y **Tabla VII**. este análisis permite cuantificar el impacto de la configuración actual con la con la reconfiguración de acometidas del sector de estudio. Por otro lado, en la

Tabla VIII se evidencia la reducción en la longitud total de los conductores tras la reconfiguración de acometidas en el circuito, así como la reducción en las pérdidas de potencia y energía.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla VII

Comparación de resultados del circuito actual y el reconfigurado.

Circuito actual					
Transformador	# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)
20566	94	9	1024,548	0,08055	181,3593
Circuito reconfigurado					
Transformador	# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)
20566	94	9	942,45	0,07649	172,2135
Porcentaje de reducción			8,01%	5,04%	5,04%

Tabla VIII

Tabla general de reducción de longitudes del conductor en las acometidas del circuito.

Transformador	Longitud actual del conductor (m)	Longitud despues de la reconfiguración (m)	Reducción de longitud del conductor (m)	% de reducción de longitud de conductor
81956	74,4427	70,39	4,053	5,44%
20020	220,6465	200,53	20,116	9,12%
21820	619,4909	536,649	82,842	13,37%
81957	175,0231	147,62	27,403	15,66%
19926	431,7510	391,54	40,211	9,31%
260625	1054,2552	1009,82	44,435	4,21%
20566	1024,5481	942,45	82,098	8,01%
20565	713,5941	616,14	97,454	13,66%
Σ	4313,752	3915,14	398,613	

4.3.4 Análisis económico del transformador 20566

En la **Tabla IX** se presenta el cálculo del costo total anual asociado a las acometidas pertenecientes al transformador 20566 antes de la reconfiguración. Este análisis permite evaluar el impacto económico de la configuración actual considerando factores como la longitud de los conductores y las pérdidas de potencia y energía.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Por su parte en la **Tabla X** se detalla el costo después de la reconfiguración, lo que permite determinar el costo anual total del circuito tras la reducción de longitud del conductor de las acometidas. Es importante recalcar que el sector de estudio cuenta con un total de 8 transformadores, por lo que en esta sección solo se presenta el análisis correspondiente al transformador 20566. Los cálculos para el resto de los transformadores se encuentran disponibles en el **Anexo V** y **Anexo VI**.

Tabla IX

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 antes de la reconfiguración

20566	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	1618,786
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	1024,548
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO	
(amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	233,34
Costo anual total (US\$/año)	277,0544



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Para la reconfiguración, se consideran las especificaciones técnicas del conductor Multiplex Auto soportado TPX 3x4+48,69 AAAC las cuales se encuentran detalladas en [51] y [52].

Tabla X

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 despues de la reconfiguración

20566	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex auto soportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	1489,071
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	942,45
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	214,64
Costo anual total (US\$/año)	256,1522



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



En la **Tabla XI** se presentan los resultados obtenidos tras la reconfiguración de las acometidas que están asociadas al transformador 20566, incluyendo parámetros clave como la longitud del conductor, las pérdidas de potencia y energía antes y después de la reconfiguración de las acometidas. Adicionalmente, se detalla el costo total anual, el cual integra los costos de operación y mantenimiento.

Tabla XI

Resultados obtenidos para la reconfiguración de acometidas correspondientes al transformador 20566

Circuito actual						
Transformador	# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)	Costo anual total (US\$/año) Multiplex autoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
20566	94	9	1024,548	0,08055	181,3593	277,0544
Circuito reconfigurado						
Transformador	# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)	Costo anual total (US\$/año) Multiplex autoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
20566	94	9	942,45	0,07649	172,2135	256,1522
Porcentaje de reducción			8,01%	5,04%	5,04%	7,54%

Tras la reconfiguración de las acometidas asociadas al transformador 20566 se observa una reducción en la longitud total del conductor, pasando de 1024,548 metros a 942,45 metros, lo que representa un ahorro de 8,01% del conductor. De manera similar, el costo total anual, que incluye los costos de operación y mantenimiento, disminuye de 277,0544 USD/año a 256,1522 USD/año, reflejando una reducción del 7,54% en los costos asociados a la infraestructura eléctrica. Estos resultados evidencian que la aplicación de



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

diagramas de Voronoi en la reconfiguración de acometidas permite optimizar la distribución de la red, reduciendo la longitud de los conductores.

4.4 Análisis de resultados

En esta sección se realiza un análisis detallado de los resultados obtenidos tras la reconfiguración de acometidas en el sector de estudio, aplicando la metodología propuesta. Se comparan los valores obtenidos antes y después de la reconfiguración para evaluar el impacto en la eficiencia del sistema.

Los cálculos han sido validados mediante un análisis técnico-económico, permitiendo cuantificar los beneficios de la optimización de acometidas en términos de reducción de pérdidas y costos operativos. La Tabla *XII* presenta los resultados correspondientes a la configuración inicial de la red, mientras que la Tabla *XIII* muestra los valores obtenidos tras la reconfiguración. Además, en la **Tabla XIV**, se expone un cuadro resumen que integra los resultados de todo el circuito de prueba, considerando el costo total anual del sistema tras la optimización.

Tabla XII

Resultados antes de la reconfiguración de acometidas.

Circuito actual						
Transformador	# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)	Costo anual total (US\$/año)
81956	8	3	74,4427	0,0037	8,4180	18,983
20020	23	4	220,6464	0,0145	32,5724	58,1031
21820	78	6	619,4909	0,0511	115,0628	168,823
81957	19	3	175,0231	0,0126	28,3606	46,6973
19926	64	5	431,7510	0,0590	132,8608	130,356
260625	118	8	1054,2551	0,1106	248,9013	300,101
20566	94	9	1024,5481	0,0806	181,3593	277,0544
20565	68	7	713,5941	0,0991	212,2486	215,2099
Σ	472	45	4313,7517	0,4311	959,7839	1215,328



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla XIII

Resultados obtenidos despues de la reconfiguración de acometidas.

Circuito reconfigurado						
Transformador	# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)	Costo anual total (US\$/año) Multiplex auto soportado TPX 3x4+48,69 AAAC
81956	8	3	70,39	0,0036	8,1663	17,9996
20020	23	4	200,53	0,0139	31,2925	53,2132
21820	78	6	536,649	0,0507	114,0349	149,7083
81957	19	3	147,62	0,0125	28,1806	40,4130
19926	64	5	391,54	0,0445	100,2854	113,346
260625	118	8	1009,82	0,1059	238,5659	287,4898
20566	94	9	942,45	0,0765	172,2135	256,1522
20565	68	7	616,14	0,0617	132,1905	173,1405
Σ	472	45	3915,139	0,3694	824,9299	1091,4624

Tabla XIV

Cuadro resumen de la reconfiguración de acometidas

Tabla general del circuito					
Circuito actual					
# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)	Costo anual total (US\$/año)
472	45	4313,7517	0,4311	959,7839	1215,328
Circuito reconfigurado					
# de abonados	# de postes	Longitud total de conductor (m)	Pérdidas de potencia (kW)	Pérdidas de energía (kWh)	Costo anual total (US\$/año)
472	45	3915,139	0,36939	824,9299	1091,4624
Porcentaje de reducción		9,24%	14,31%	14,05%	10,19%

Como se muestra en la **Tabla XIV**, la aplicación de la metodología propuesta valida la reducción de las pérdidas técnicas de energía eléctrica al comparar la configuración actual con la red reconfigurada. Se evidencia una disminución del 9,24% en la longitud total



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

utilizada en las acometidas dentro del sector de estudio, empleando el conductor TPX 3x4+48,69 AAAC. Asimismo, los costos totales anuales presentan una reducción del 10,19%, lo que confirma la viabilidad económica de la optimización.

Estos resultados demuestran que la metodología implementada es una herramienta eficiente para la reconfiguración de acometidas en sistemas de distribución de bajo voltaje. Al aplicar diagramas de Voronoi, se logra una mejor segmentación de la red, optimizando el uso de la infraestructura existente y contribuyendo a la reducción de pérdidas técnicas y costos operativos.

Conclusiones

En conclusión, la longitud de los conductores en las acometidas es un factor determinante en la generación de pérdidas técnicas, principalmente debido al efecto Joule. Con el aumento de la longitud del conductor, la resistencia del mismo se incrementa de manera proporcional, lo que da lugar a un aumento en las pérdidas de energía y potencia. Por lo tanto, la reducción de la longitud de los conductores en las acometidas es un parámetro esencial para mitigar las pérdidas técnicas y optimizar el rendimiento del sistema eléctrico.

El uso de los diagramas de Voronoi fue clave para la reconfiguración de acometidas. Este método permitió optimizar las distancias entre los medidores y los postes, lo que resultó en una reducción significativa de las pérdidas técnicas. Al organizar las acometidas de manera eficiente, se mejoró el rendimiento de la red, demostrando que la distancia optimizada es clave para minimizar las pérdidas de energía.

La evaluación de las pérdidas técnicas en la red de distribución de bajo voltaje, específicamente en las acometidas, permitió obtener un diagnóstico claro del estado inicial del sistema eléctrico del sector de estudio. Al comparar la red original con la reconfigurada, se logró una reducción del 9,24% en la longitud del conductor, lo que



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



optimizó el uso de material y redujo las pérdidas por efecto Joule. Además, se alcanzó una disminución del 10,19% en los costos anuales operativos, demostrando que la reconfiguración de acometidas, utilizando los diagramas de Voronoi, fue efectiva para mejorar el sistema eléctrico del sector de estudio.

Recomendaciones

La investigación podría beneficiarse al integrar un método matemático que contemple de manera automática el factor de corrección para ajustar las distancias obtenidas a partir de datos geoespaciales. En este trabajo, se enfrentó la limitación de que los datos de ArcGIS solo toman medidas en 2D, lo que no incluye factores como las bajantes o curvaturas, y requirió la aplicación manual de un factor de corrección del 30%. Implementar un modelo matemático que integre directamente este ajuste permitiría obtener distancias más precisas desde el principio, reduciendo el margen de error y optimizando tanto el tiempo de análisis como los resultados en la estimación de pérdidas técnicas.

Para investigaciones futuras se recomienda optimizar el dimensionamiento de los conductores de las acometidas según la carga solicitada en proyectos eléctricos, como parte de una estrategia para reducir las pérdidas técnicas. Al ajustar el calibre del conductor a la demanda de energía, se mejora la eficiencia del sistema, disminuyendo las pérdidas técnicas en las acometidas y asegurando una distribución eléctrica más eficiente.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Referencias bibliográficas.

- [1] ARCERNNR, "Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano," ed, 2020.
- [2] Y. Ren, S. Liu, Y. Rong, T. Ding, Z. Bie, and Y. He, "Research on the Electricity Energy Pool Trading and Its Price Mechanism," in *2019 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC)*, 21-23 Nov. 2019, pp. 2357-2362, doi: 10.1109/iSPEC48194.2019.8975004.
- [3] B. Dai, "Multi-objective Optimization Model of Distribution Network Reconfiguration Considering Soft Open Point," in *2022 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, 7-8 Sept. 2022, pp. 468-472, doi: 10.1109/CICED56215.2022.9929128.
- [4] M. A. Ponce-Jara, M. Castro, M. R. Pelaez-Samaniego, J. L. Espinoza-Abad, and E. Ruiz, "Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade," *Energy Policy*, vol. 113, pp. 513-522, 2018/02/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036>.
- [5] J. A. Bravo-Contreras, "Diseño de redes eléctricas en medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público para urbanizaciones," vol. 7 E. G. Solano-Villegas, Ed., 70 ed. Polo del conocimiento, 2022, p. 1 531.
- [6] X. Zhang, Y. Wang, and Y. Wang, "Magnetization AC losses of a like-quasi-isotropic conductor using accelerated three-dimensional T-A model," *Fusion Engineering and Design*, vol. 180, p. 113158, 2022/07/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2022.113158>.
- [7] t. EOS. "APLICACIÓN DEL SISTEMA AMI PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS." <https://tec-eos.com/aplicacion-del-sistema-ami-para-la-reduccion-de-perdidas-tecnicas/> (accessed).
- [8] Anonimo. "¿Cómo reducir las pérdidas técnicas y no técnicas en las redes eléctricas?." <https://www.michaud-export.com/group/es/como-reducir-las-perdidas-tecnicas-y-no-tecnicas-en-las-redes-electricas> (accessed).
- [9] L. Yunpeng *et al.*, "Corona loss of the bundle conductors on EHV/UHV AC power lines under sandy and dusty conditions in high-altitude areas," *Journal of Electrostatics*, vol. 107, p. 103476, 2020/09/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2020.103476>.
- [10] M. E. I. Martínez. "Disminución de las pérdidas técnicas en circuito secundario. ." <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869113005/html/> (accessed 21/10/2023, 2023).
- [11] J. Ferreira, R. Badibanga, J. A. Araújo, and C. Silva, "Fatigue Behavior Analysis and Life Prediction of Overhead Conductors Subject to Narrowband Vibration," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 38, no. 2, pp. 1120-1128, 2023, doi: 10.1109/TPWRD.2022.3208068.
- [12] F. J. I. ALCUÁCER, "DETERMINACIÓN DE RUTA ÓPTIMA DE ALIMENTADORES PRIMARIOS AÉREOS DE MEDIO VOLTAJE UTILIZANDO ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN ", FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Quito 2019.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



CARRERA DE ELECTRICIDAD

- [13] J. C. C. MARTÍNEZ, "ÓPTIMA DETERMINACIÓN DE CALIBRE DE ALIMENTADORES PRIMARIOS MEDIANTE EL USO DE PROGRAMACIÓN NO LINEAL ENTERA MIXTA ", INGENIERÍA ELÉCTRICA Universidad Politécnica Salesiana Quito, 2020.
- [14] G. P. W. FERNANDO, "ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN A NIVEL DE 69 KV CONSIDERANDO LA INCORPORACIÓN MASIVA DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN PARA LA DEMANDA PROYECTADA AL AÑO 2020, EN LA ZONA CENTRO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI SA EN EL PERIODO 2015 ", LATACUNGA 2015.
- [15] J. M. L. CRUZ, "ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA PENETRACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA RED DE MEDIO VOLTAJE DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR ", FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA 2019.
- [16] REPSOL. "Transformación, transmisión y distribución de la electricidad." [https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/subestacion-electrica/index.cshhtml#:~:text=Una%20subestaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20\(SEI\)%20es,y%20distribuir%20la%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica.](https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/subestacion-electrica/index.cshhtml#:~:text=Una%20subestaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20(SEI)%20es,y%20distribuir%20la%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica.) (accessed 02/01, 2024).
- [17] E. E. R. N. S.A, " Informe ejecutivo rendición de cuentas," Ibarra, 2021.
- [18] E. E. R. NORTE, "ADECUACION DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE EMELNORTE, DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES Y MÉTODO DE CÁLCULO DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN REDES SECUNDARIAS DE DISTRIBUCIÓN ".
- [19] R. M. V. VILLARRUEL, "REDISEÑO ÓPTIMO DE REDES RADIALES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO LAS RESTRICCIONES DE LA INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA Y URBANA EXISTENTE," FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- [20] J. I. P. Acosta, " RECONFIGURACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA," Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas, UTN, 2021.
- [21] V. T. Guillen. "REDES DE DISTRIBUCIÓN AÉREAS Y SUBTERRÁNEAS." https://www.exposolucionesenenergia.com/blog/Redes_distribucion_aereas_subterranas_Part3.php?m= (accessed 01/01, 2024).
- [22] E. d. I. Fuente. "¿Qué es una acometida eléctrica?" <https://www.electricistasdelafuentemadrid.com/blog/que-es-acometida-electrica/> (accessed 20/01, 2024).
- [23] CNEL, "Manual para la instalación de la acometida y sistema de medición a los consumidores de CNEL EP ", 2020, vol. 1.
- [24] *CATÁLOGO DE PRODUCTOS* Guayaquil, Ecuador [Online]. Available: www.electrocable.com.
- [25] *GUÍA PARA LA INSTALACIÓN DE ACOMETIDAS Y MEDIDORES EN REDES ÁEREAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA*
- [26] Structuralia. "¿Cuáles son las partes de una acometida eléctrica? ." <https://blog.structuralia.com/partes-acometida-electrica> (accessed).
- [27] J. H. M. Molina, ""METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ACOMETIDAS E INSTALACIÓN DE MEDIDORES DIGITALES" ", ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

- LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA LOJA-ECUADOR 2014.
- [28] k. C. Dias, "Análisis del control de pérdidas y recupero de energía eléctrica del alimentador A4005 en la Unidad de Negocios Ayacucho, 2023," Facultad de ingeniería, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Eléctrica, Huancayo, 2023.
- [29] F. A. C. FIGUEROA, "PLANIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN, PARA LAS COMUNIDADES DE SAN VICENTE, UNIÓN ESMERALDEÑA EN LA PROVINCIA DE ORELLANA.," CARRERA DE ELECTRICIDAD, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2023.
- [30] T. EOS. "Pérdidas técnicas." <https://tec-eos.com/tipos-de-perdidas-de-energia-electrica/> (accessed).
- [31] E. P. D. M. ESP, "Guía metodológica de cálculo de pérdidas de energía. ," Unidad Centro de Excelencia Técnica Normalización y Laboratorios 2019
- [32] C.-M. Yang, C.-L. Chang, Q.-F. Hong, C.-S. Kuo, S. L.-C. Hsu, and I.-G. Chen, "Optimization of heating profile for superconductor joint performance made by resistive joule heating process," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 28, pp. 1883-1890, 2024/01/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.110>.
- [33] M. d. E. y. R. N. N. Renovables, "Plan Maestro de Electricidad," p. 390, 2020.
- [34] J. F. García, "ESTUDIO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN" GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA, Departamento de ingeniería, Universidad Carlos III de Madrid, 2017.
- [35] F. M. Arango, "Reducción de pérdidas técnicas de energía en niveles de tensión 1 y 2 a partir de reconfiguración de transformadores usando una estrategia de búsqueda local" Maestría en Ingeniería Eléctrica UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA 2020.
- [36] D. C. M. ARGUELO, "ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE VOLTAJE ", CARRERA DE ELECTRICIDAD, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO 2022.
- [37] FISCALAB. "Resistencia Eléctrica." <https://www.fiscalab.com/apartado/resistencia-electrica-conductor> (accessed).
- [38] E.M. "¿Cómo afecta la longitud de un conductor a su resistencia?" <https://www.electricidad-magnetismo.org/es/como-afecta-la-longitud-de-un-conductor-a-su-resistencia/> (accessed).
- [39] I. r. e. d. C. Electricidad. "La elección correcta permite ahorrar costos." <https://www.revistaei.cl/reportajes/correcta-eleccion-permite-ahorrar-costos/#> (accessed).
- [40] A. A. Esmael, H. H. d. Silva, T. Ji, and R. d. S. Torres, "Non-Technical Loss Detection in Power Grid Using Information Retrieval Approaches: A Comparative Study," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 40635-40648, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3064858.
- [41] P. M. Saquieres, "Detección de pérdidas no técnicas en redes eléctricas en un contexto de migración tecnológica y maximizando el retorno económico," Facultad de Ingeniería, universidad de la república, Montevideo, 2022.
- [42] L. O. d. Campo, "Diagramas de Voronoi, ¿qué centro de salud tengo más cerca?," Facultad de Educación Universidad de Cantabria, 2020.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

- [43] C. E. Rodríguez, " LOS DIAGRAMAS DE VORONOI LA FORMA MATEMÁTICA DE DIVIDIR EL MUNDO," 2018.
- [44] D. Duque. "Celdas de Voronói." <https://dcain.etsin.upm.es/~daniel/ProyectoInvestigador/node32.html> (accessed.
- [45] A. d. I. H. Parrilla, "Dualidad Triangulación de Delaunay- Diagrama de Voronoi mediante polaridad 3D," Departamento de ingenieros informaticos, Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [46] E. C. Navone. "Algoritmo de la ruta más corta de Dijkstra - Introducción gráfica y detallada." <https://www.freecodecamp.org/espanol/news/algoritmo-de-la-ruta-mas-corta-de-dijkstra-introduccion-grafica/> (accessed.
- [47] I. A. C. Román., "Óptima ubicación de estaciones de transformación y topologías en sistemas de distribución en baja tensión para la Empresa Eléctrica Regional Centrosur," Carrera de ingeniería eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2017.
- [48] EMELNORTE, " Normativas Internas EMELNORTE," Ibarra, 2016, vol. 1.
- [49] (2024). *PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*.
- [50] A. d. r. y. c. d. electricidad, "Análisis y determinación del costo del servicio público de energía eléctrica (SPEE)," Agencia de regulación y control de electricidad, 2025.
- [51] CENTELSA. *Cables para baja tensión*, 2024. [Online]. Available: www.centelsa.com.co.
- [52] E. S.A. *Lista de precios cables de aluminio y cobre*, 2018.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Anexos

Anexo I

Tabla XV

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 81956

Puesto Transformador Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
81956	P12699	2	290,33	2,01894	8,7181	18,9451	0,00195688	4,40556823
81956		1	161,33	1,12188	4,8445	16,7884	0,00053546	1,20548368
81956		1	123,25	0,85707	3,7010	17,9366	0,00033389	0,75168408
81956		2	320,67	2,22992	9,6292	4,2783	0,00053911	1,21369989
81956	P13317	1	92,7	1,03137	4,4536	13,4509	0,00036258	0,81627285
81956	P13318	1	30,17	0,38192	1,6492	3,0432	0,00001125	0,02532431
Σ		8				74,4427	0,00373915	8,41803304

Tabla XVI

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 20020

Puesto Transformador Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
20020	P12698	3	452,42	3,7059	16,0028	17,79306	0,00619243	13,94114914
20020		1	20,25	0,1659	0,7163	5,48357	0,00000382	0,008607522
20020	P12697	4	559,75	3,2311	13,9524	15,59001	0,00412444	9,285425661
20020		2	112,5	0,6494	2,8042	26,38777	0,00028199	0,634855326
20020		1	146,42	0,8452	3,6497	25,81631	0,00046733	1,052112369
20020		2	141,92	0,8192	3,5375	13,27344	0,00022574	0,508203732
20020		2	266,5	1,5383	6,6428	2,52175	0,00015123	0,340457353
20020	P12696	1	53,75	0,4297	1,8556	17,92538	0,00008388	0,188845172
20020		1	281,5	2,2506	9,7183	15,97703	0,00205067	4,616719181
20020		2	248,5	1,9867	8,5790	7,49374	0,00074954	1,687454203
20020	P12695	1	1,58	0,0151	0,0654	21,70076	0,00000013	0,000283658
20020		1	74,75	0,7161	3,0923	6,76892	0,00008797	0,198037668
20020		1	19,5	0,1868	0,8067	26,99144	0,00002387	0,053740451



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

20020	1	25,25	0,2419	1,0446	16,92329	0,00002509	0,056495478
Σ	23				220,64648	0,0145	32,5724

Tabla XVII

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 21802

Puesto Transformador Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
21820		1	777,33	3,9239	16,9441	16,5620	0,00646208	14,54820854
21820		1	153,5	0,7749	3,3460	23,2236	0,00035334	0,795484188
21820		3	511,67	2,5829	11,1533	27,3712	0,00462725	10,41740984
21820		3	188,17	0,9499	4,1017	43,2280	0,00098836	2,225108247
21820	P12721	1	107,67	0,5435	2,3470	26,0931	0,00019533	0,439744182
21820		1	81,58	0,4118	1,7783	22,4479	0,00009647	0,217184501
21820		3	418,75	2,1138	9,1279	13,3225	0,00150849	3,396104299
21820		1	237,5	1,1989	5,1770	9,2870	0,00033826	0,761533307
21820		3	205,17	1,0408	4,4944	17,8211	0,00048920	1,101356464
21820		2	119,08	0,6041	2,6085	17,2756	0,00015975	0,359646594
21820		2	132,75	0,6734	2,9080	47,5549	0,00054650	1,230351829
21820		1	31,42	0,1594	0,6883	12,5573	0,00000808	0,018200109
21820	P12720	1	18,08	0,0917	0,3961	6,2500	0,00000133	0,002999461
21820		1	109,5	0,5555	2,3987	11,2436	0,00008791	0,197923601
21820		2	364,67	1,8499	7,9883	16,5520	0,00143542	3,23159424
21820		6	591,17	2,9989	12,9499	24,6181	0,00561056	12,63117278
21820		1	184,83	0,9678	4,1792	18,5107	0,00043937	0,989162929
21820		4	444,25	2,3262	10,0450	18,5118	0,00253844	5,714851539
21820		2	250,5	1,3117	5,6641	18,5265	0,00080774	1,818490396
21820	P12691	4	501,25	2,6247	11,3338	14,0068	0,00244519	5,504894978
21820		2	347,08	1,8174	7,8479	6,0232	0,00050414	1,134976245
21820		1	72,83	0,3814	1,6468	18,6304	0,00006866	0,154576707
21820		1	89,5	0,5802	2,5054	16,0134	0,00013660	0,307529146
21820		2	104,58	0,6780	2,9275	14,7415	0,00017170	0,386540939
21820	P12690	1	104,5	0,6774	2,9253	29,8069	0,00034663	0,780382295
21820		0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000	0
21820		3	884,17	5,7317	24,7506	11,4074	0,00949685	21,38044159
21820		4	449,17	2,2592	9,7557	15,0731	0,00194958	4,389119843
21820		3	315,17	1,5852	6,8453	17,5749	0,00111918	2,519621972



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



REPÚBLICA DEL ECUADOR

CARRERA DE ELECTRICIDAD

21820	P12688	6	575,17	2,8930	12,4924	6,9734	0,00147896	3,329606224
21820		1	148,25	0,7457	3,2199	11,7535	0,00016560	0,372828961
21820		3	357,92	1,8003	7,7738	18,9035	0,00155249	3,495153918
21820		1	2,5	0,0162	0,0699	22,7412	0,00000015	0,000340406
21820	P12687	2	384,92	2,4940	10,7695	15,0622	0,00237410	5,344849759
21820		5	499,33	3,2353	13,9705	9,8224	0,00260532	5,865417068
Σ		78				619,4909	0,05110904	115,0628

Tabla XVIII

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 81957

Puesto Transformador Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
81957		1	341,17	2,8141	12,1517	25,6697	0,0051513	11,5971603
81957	P12692	1	41,5	0,3423	1,4781	17,2619	0,0000513	0,11539198
81957		1	46,25	0,3815	1,6473	14,9180	0,0000550	0,12385835
81957		1	16,08	0,1326	0,5727	16,8629	0,0000075	0,01692368
81957		1	77,75	0,5728	2,4735	12,2939	0,0001022	0,23012672
81957	P12693	1	63,5	0,4678	2,0202	7,9465	0,0000441	0,09922032
81957		5	247,58	1,8240	7,8764	23,6163	0,0019911	4,48251447
81957		1	413,33	2,4618	10,6303	13,6094	0,0020900	4,70531216
81957		2	152,08	0,9058	3,9113	7,8230	0,0001626	0,36616439
81957		1	116,25	0,6924	2,9898	2,2282	0,0000271	0,06093911
81957	P12694	1	415,08	2,4722	10,6753	2,3477	0,0003636	0,81858073
81957		1	603	3,5914	15,5084	7,5097	0,0024546	5,52606641
81957		1	67,17	0,4001	1,7275	19,9656	0,0000810	0,18230149
81957		1	77,42	0,4611	1,9911	2,9702	0,0000160	0,03602844
Σ		19				175,0231	0,0125973	28,3605886



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla XIX

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 19926

Puesto Transformador Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
19926		3	356,42	1,8090	7,812	15,4227	0,00127895	2,879336719
19926		1	119,67	0,6074	2,623	21,3478	0,00019957	0,449293513
19926	P12742	4	153,33	0,7782	3,360	29,7443	0,00045649	1,027695266
19926		6	542,58	2,7538	11,892	35,4021	0,00680340	15,31663631
19926		6	178,17	0,9043	3,905	10,3409	0,00021429	0,482431247
19926		6	444,75	2,4447	10,557	23,6268	0,00357839	8,056101694
19926	P12741	6	1132,67	6,2261	26,886	13,2965	0,01306155	29,40571978
19926		1	102,92	0,5046	2,179	18,0675	0,00011658	0,262452985
19926		1	27	0,1324	0,572	15,4418	0,00000686	0,015437511
19926		2	196,17	0,9618	4,153	15,8984	0,00037268	0,839021062
19926	P12740	2	345,58	1,6943	7,316	17,0052	0,00123707	2,785039146
19926		4	328	1,6081	6,944	22,2508	0,00145817	3,282816627
19926		3	117,58	0,5765	2,489	24,6265	0,00020739	0,466897877
19926		1	493,83	2,4212	10,455	28,3490	0,00421123	9,480829683
19926		4	503,17	2,4670	10,653	33,2937	0,00513461	11,55965349
19926		1	186,92	1,1110	4,798	15,6250	0,00048875	1,100323907
19926		3	1012,33	6,0171	25,983	16,8558	0,01546488	34,81639772
19926	P12739	1	107,33	0,6379	2,755	5,2405	0,00005405	0,121676397
19926		1	145,5	0,8648	3,734	1,0459	0,00001982	0,04462675
19926		2	425,17	2,5271	10,913	7,8098	0,00126391	2,845459289
19926		1	128,75	0,9145	3,949	20,0138	0,00042414	0,954869278
19926		1	86,83	0,6167	2,663	14,8355	0,00014300	0,321931321
19926	P12783	2	388,83	2,7618	11,926	14,2200	0,00274855	6,187857537
19926		1	13,58	0,0965	0,417	8,6761	0,00000205	0,004605138
19926		1	126,92	0,9015	3,893	3,3144	0,00006826	0,153671
Σ		64				431,7510	0,05901461	132,8607812



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla XX

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 260625

Puesto Transformador Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
260625		1	75,17	0,3598	1,5537	16,3108	0,0000535	0,120468636
260625		2	118,92	0,5692	2,4580	5,5506	0,0000456	0,102602392
260625		2	149,33	0,7148	3,0866	12,0174	0,0001556	0,350279598
260625		1	96,5	0,4619	1,9946	20,4658	0,0001107	0,249111603
260625	P294195	2	385,42	1,8448	7,9664	25,2159	0,0021748	4,896131962
260625		2	174,5	0,8353	3,6068	31,0088	0,0005482	1,234203644
260625		3	297,25	1,4228	6,1440	40,7397	0,0020899	4,705135654
260625		3	784,5	3,7551	16,2151	23,0131	0,0082231	18,51279627
260625		2	101,42	0,4855	2,0963	20,3058	0,0001213	0,273009199
260625		1	227,2	1,0875	4,6961	8,6690	0,0002598	0,584916142
260625		1	56	0,3189	1,3771	13,2815	0,0000342	0,077064799
260625		1	28,08	0,1599	0,6905	6,0084	0,0000039	0,008765702
260625	P21697	2	417,67	2,3786	10,2712	20,9034	0,0029970	6,747107217
260625		3	852,75	4,8563	20,9706	19,6089	0,0117191	26,38340001
260625		1	127,33	0,7251	3,1313	22,0382	0,0002937	0,661106815
260625		1	624,75	3,5579	15,3637	25,2946	0,0081140	18,26728916
260625	P237479	1	204,33	1,0983	4,7425	34,9580	0,0010685	2,405517893
260625		2	656,83	3,5304	15,2449	26,3177	0,0083122	18,71337532
260625		2	1351,25	7,2628	31,3622	10,5422	0,0140917	31,72502733
260625		0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000000	0
260625		2	93,17	0,5008	2,1625	15,8920	0,0001010	0,227367458
260625		1	175	0,9406	4,0617	10,4514	0,0002343	0,527529549
260625		1	139,08	0,7475	3,2280	10,7533	0,0001523	0,342821789
260625		1	161,33	0,8671	3,7444	20,7848	0,0003960	0,891609805
260625		5	229,67	1,1473	4,9545	26,2722	0,0008764	1,973084131
260625		5	203,92	1,0187	4,3990	38,4543	0,0010113	2,276701239
260625	P21702	4	496,25	2,4791	10,7051	23,9129	0,0037242	8,384447423
260625		4	727,33	3,6335	15,6900	14,2742	0,0047755	10,75118601
260625		1	4,777778	0,0239	0,1031	37,1350	0,0000005	0,001206914
260625		6	1193,33	5,5486	23,9597	14,0637	0,0109719	24,7012506
260625		1	152,92	0,7110	3,0703	18,0910	0,0002318	0,521782172
260625		4	470,83	2,1892	9,4533	26,1338	0,0031739	7,145466688
260625	P21701	3	190,25	0,8846	3,8198	7,3501	0,0001457	0,328125122



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



REPÚBLICA DEL ECUADOR

CARRERA DE ELECTRICIDAD

260625		1	199,67	0,9284	4,0090	3,6470	0,0000797	0,179334373
260625		5	355,33	1,6522	7,1343	20,6384	0,0014276	3,213949335
260625		1	153,25	0,7126	3,0770	31,3144	0,0004029	0,907075641
260625		3	258,67	1,8543	8,0071	15,0597	0,0013122	2,954090949
260625	P23026	1	1	0,0072	0,0310	30,6446	0,0000000	8,98399E-05
260625		2	141,67	1,0156	4,3854	11,3438	0,0002965	0,667469199
260625		1	91,92	0,6589	2,8454	4,6742	0,0000514	0,115781629
260625		3	495,67	2,4614	10,6289	9,4389	0,0014491	3,262496896
260625		1	203,58	1,0109	4,3655	34,2215	0,0008863	1,995329249
260625		1	57,67	0,2864	1,2366	27,0433	0,0000562	0,126533496
260625	P21699	2	261,42	1,2982	5,6057	7,2124	0,0003080	0,693433294
260625		3	516,83	2,5665	11,0826	14,9707	0,0024989	5,625790088
260625		3	247,83	1,2307	5,3143	19,5334	0,0007497	1,687836247
260625		2	144,92	0,7197	3,1076	23,8521	0,0003130	0,704739486
260625		1	343,58	1,7062	7,3675	28,5239	0,0021041	4,737078755
260625		3	200,25	0,9847	4,2521	7,6544	0,0001881	0,42343207
260625		1	437,42	2,1510	9,2882	18,1400	0,0021268	4,788090621
260625	P21700	3	519,83	2,5562	11,0382	33,6174	0,0055664	12,53179895
260625		4	352,33	1,7325	7,4814	27,6444	0,0021028	4,734050317
260625		1	1,75	0,0086	0,0372	12,8484	0,0000000	5,42815E-05
260625		3	223,5	1,0990	4,7458	13,9287	0,0004263	0,959823866
260625		2	511,33	2,5144	10,8577	12,4849	0,0020002	4,503141316
Σ		118				1054,2552	0,11055794	248,9013

Tabla XXI

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 20566

Puesto Transformador or Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
20566	P23150	1	92,17	0,8982	3,8785	23,244	0,000475182	1,0697856
20566		1	148,58	1,4479	6,2522	26,1131	0,001387230	3,1230998
20566		2	54,08	0,2996	1,2939	18,6095	0,000042338	0,0953171
20566		1	89,67	0,4968	2,1454	16,08035	0,000100581	0,2264396
20566		1	221,92	1,2296	5,3094	18,57843	0,000711750	1,6023764
20566		2	179,92	0,9969	4,3046	8,45819	0,000212991	0,4795114
20566	P23149	2	510	2,8257	12,2018	2,80423	0,000567387	1,2773697
20566		1	81,58	0,4520	1,9518	5,12798	0,000026548	0,0597691



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



REPÚBLICA DEL ECUADOR

CARRERA DE ELECTRICIDAD

20566		1	163,33	0,9049	3,9077	13,89791	0,000288408	0,6492980
20566		1	113	0,6261	2,7035	21,21483	0,000210728	0,4744157
20566		1	59	0,3269	1,4116	18,12213	0,000049073	0,1104780
20566		1	55,25	0,3604	1,5564	13,10751	0,000043150	0,0971443
20566		3	226	1,4743	6,3664	7,96133	0,000438528	0,9872675
20566	P21690	3	366,33	2,3898	10,3195	7,11113	0,001029150	2,3169462
20566		1	188,08	1,2270	5,2982	10,18121	0,000388400	0,8744138
20566		1	13001,5		0,0000	0,3251625	0,000000000	0,0000000
20566		1	74,58	0,3246	1,4016	15,68957	0,000041886	0,0942984
20566		4	744,67	3,2408	13,9946	2,77459	0,000738479	1,6625519
20566		5	528	2,2979	9,9227	20,22137	0,002705764	6,0915399
20566		1	4,08	0,0178	0,0767	14,5015	0,000000116	0,0002608
20566	P21695	1	236,42	1,0289	4,4430	13,45838	0,000361054	0,8128490
20566		1	42,67	0,1857	0,8019	18,2006084	0,000015905	0,0358080
20566		2	261,25	1,1370	4,9097	24,71677	0,000809684	1,8228586
20566		2	1289,58	5,6123	24,2351	31,10562	0,024828294	55,8964350
20566		7	948,42	4,1276	17,8237	38,73038	0,016721091	37,6445262
20566		3	316,5	1,5897	6,8644	33,12621	0,002121283	4,7756865
20566		2	99,33	0,4989	2,1543	12,096448	0,000076295	0,1717653
20566		3	678,42	3,4074	14,7139	6,04968	0,001779955	4,0072489
20566	P21694	4	275,5	1,3837	5,9752	26,66573	0,001293827	2,9128178
20566		2	155,92	0,7831	3,3817	32,21413	0,000500645	1,1271110
20566		2	277,42	1,3934	6,0168	38,32348	0,001885471	4,2447988
20566		1	65,58	0,3294	1,4223	13,63505	0,000037487	0,0843949
20566		1	85,5	0,5919	2,5558	34,97273	0,000310446	0,6989135
20566		1	106,25	0,7355	3,1760	22,81981	0,000312820	0,7042576
20566		1	57,58	0,3986	1,7212	32,82201	0,000132140	0,2974885
20566		1	1,42	0,0098	0,0424	25,78823	0,000000063	0,0001422
20566	P21692	2	47,42	0,3283	1,4175	2,26135	0,000006175	0,0139012
20566		1	59,25	0,4101	1,7711	11,00749	0,000046923	0,1056396
20566		1	26,5	0,1834	0,7921	24,10369	0,000020554	0,0462740
20566		1	2	0,0138	0,0598	28,12225	0,000000137	0,0003075
20566		1	67,58	0,5411	2,3364	16,69031	0,000123817	0,2787506
20566	P21691	1	158,33	1,2676	5,4738	20,79402	0,000846726	1,9062502
20566		2	350,67	2,8075	12,1235	6,04149	0,001206755	2,7167915
20566		1	80,33	0,6252	2,6998	18,70999	0,000185335	0,4172482
20566	P21693	1	326,83	2,5438	10,9844	5,57388	0,000913965	2,0576276
20566		3	81,42	0,6337	2,7364	10,07812	0,000102558	0,2308910
20566		1	71,5	0,3951	1,7059	16,96695	0,000067102	0,1510675



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

20566		2	285,25	1,5761	6,8057	31,98221	0,002013158	4,5322620
20566		1	199,83	1,1041	4,7677	39,85137	0,001231070	2,7715318
20566	P21689	4	508,33	2,8086	12,1282	51,90562	0,010375854	23,3593683
20566		2	305,67	1,6889	7,2929	35,33816	0,002554274	5,7504892
20566		1	31,92	0,1764	0,7616	12,22507	0,000009636	0,0216936
20566		1	105,92	0,5852	2,5271	24,04688	0,000208705	0,4698616
Σ		94				1024,548139	0,080556891	181,359340

Tabla XXII

Cálculo de pérdidas técnicas de la red actual por acometida del transformador 20565

Puesto Transformador Distribucion OID *	Poste	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud estimada real de la acometida (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
20565		1	257,75	1,2235	5,2834	15,7331	0,000596844	1,278855263
20565		1	70,67	0,3355	1,4486	22,7250	0,000064807	0,138862217
20565		2	728,08	3,4562	14,9243	30,0816	0,009105594	19,51051967
20565		1	141,58	0,6721	2,9021	36,6030	0,000418957	0,897697391
20565	P21688	1	4,5	0,0214	0,0922	29,4059	0,000000340	0,000728566
20565		2	496,17	2,3553	10,1706	21,9531	0,003086071	6,61251291
20565		6	727,83	3,4550	14,9192	15,1630	0,004586626	9,827745593
20565		1	112,67	0,5348	2,3095	5,6616	0,000041040	0,087935368
20565		3	260,92	1,2386	5,3484	7,5682	0,000294209	0,63040057
20565		1	144,83	1,0105	4,3634	12,9558	0,000335222	0,718279275
20565		2	284,25	1,9832	8,5638	8,4706	0,000844248	1,808965917
20565	P21687	2	87,33	0,6093	2,6311	10,9083	0,000102621	0,219885487
20565		1	16,42	0,1146	0,4947	11,0791	0,000003685	0,007895245
20565		1	91,42	0,6378	2,7543	18,4679	0,000190394	0,407956334
20565		0	12104	0	0,0000	0,3250	0,000000000	0
20565		2	110,92	0,8847	3,8205	18,2024	0,000361058	0,773637817
20565	P21676	1	215,17	1,7163	7,4112	18,6471	0,001391886	2,982388731
20565		1	50,08	0,3995	1,7249	9,1758	0,000037102	0,079498906
20565		1	18,58	0,1482	0,6400	20,9977	0,000011687	0,025041054
20565	P21686	2	201	1,4493	6,2584	16,7882	0,000893631	1,914779144
20565		2	242,83	1,7509	7,5609	18,3521	0,001425778	3,055009165
20565		2	209,67	1,5118	6,5284	30,2036	0,001749411	3,748456115
20565		1	239,33	1,2378	5,3449	25,1570	0,000976708	2,092788214
20565		3	304,25	1,5735	6,7948	17,8130	0,001117660	2,394805147



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

20565		1	19,08	0,0987	0,4261	10,5539	0,000002604	0,005580115
20565	P21685	3	238,08	1,2313	5,3170	16,0460	0,000616487	1,320945206
20565		2	755,5	3,9073	16,8725	9,3110	0,003602254	7,718534443
20565		1	34,58	0,1788	0,7723	11,0501	0,000008956	0,019190565
20565		1	196,75	1,0176	4,3940	18,6092	0,000488278	1,046232184
20565		2	217,83	1,1266	4,8648	35,2922	0,001135078	2,432127286
20565		3	941,17	5,9227	25,5752	30,1260	0,026779285	57,37986585
20565	P21683	1	893,17	5,6206	24,2709	36,9101	0,029548412	63,3132649
20565		1	184,08	1,1584	5,0022	26,0647	0,000886311	1,899095974
20565		1	116,25	0,7315	3,1590	13,4844	0,000182869	0,391831997
20565		4	362,75	1,9851	8,5720	30,2769	0,003023398	6,478222513
20565		3	291,83	1,5970	6,8961	18,8394	0,001217579	2,608901078
20565	P21684	1	74,75	0,4091	1,7664	9,5243	0,000040385	0,086533557
20565		2	439	2,4024	10,3738	15,1579	0,002216861	4,750058679
20565		2	471,58	2,5807	11,1437	9,9101	0,001672473	3,58360172
Σ		68				713,5941	0,099056810	212,2486302



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Anexo II

Tabla XXIII

Datos obtenidos del poste P12699 (circuito actual).

P12699	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	149,263
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,497
DMcoin (kW)	6,228
Fp	0,95

Tabla XXIV

Datos obtenidos del poste P13317 (circuito actual).

P13317	
Total abonados	1
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	92,700
FACTOR A	3,161
FACTOR B	0,326
DMcoin (kW)	1,031
Fp	0,95

Tabla XXV

Datos obtenidos del poste P13318 (circuito actual).

P13318	
Total abonados	1
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	30,170
FACTOR A	3,161
FACTOR B	0,121
DMcoin (kW)	0,382
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla XXVI

Datos obtenidos del poste P12698 (circuito actual).

P12698	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	118,168
FACTOR A	9,573
FACTOR B	0,404
DMcoin (kW)	3,872
Fp	0,95

Tabla XXVII

Datos obtenidos del poste P12697 (circuito actual).

P12697	
Total abonados	11
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	111,554
FACTOR A	18,430
FACTOR B	0,384
DMcoin (kW)	7,083
Fp	0,95

Tabla XXVIII

Datos obtenidos del poste P12696 (circuito actual).

P12696	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	145,938
FACTOR A	9,573
FACTOR B	0,488
DMcoin (kW)	4,667
Fp	0,95

Tabla XXIX

Datos obtenidos del poste P12695 (circuito actual).

P12695	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	30,270
FACTOR A	9,573



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,121
DMcoin (kW)	1,160
Fp	0,95

Tabla XXX

Datos obtenidos del poste P12721 (circuito actual).

P12721	
Total abonados	14
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	176,869
FACTOR A	21,629
FACTOR B	0,578
DMcoin (kW)	12,500
Fp	0,95

Tabla XXXI

Datos obtenidos del poste P12720 (circuito actual).

P12720	
Total abonados	18
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	87,324
FACTOR A	25,767
FACTOR B	0,309
DMcoin (kW)	7,974
Fp	0,95

Tabla XXXII

Datos obtenidos del poste P12691 (circuito actual).

P12691	
Total abonados	14
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	128,624
FACTOR A	21,629
FACTOR B	0,436
DMcoin (kW)	9,429
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla XXXIII

Datos obtenidos del poste P12690 (circuito actual).

P12690	
Total abonados	7
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	168,964
FACTOR A	13,815
FACTOR B	0,555
DMcoin (kW)	7,667
Fp	0,95

Tabla XXXIV

Datos obtenidos del poste P12688 (circuito actual).

P12688	
Total abonados	17
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	108,569
FACTOR A	24,741
FACTOR B	0,375
DMcoin (kW)	9,283
Fp	0,95

Tabla XXXV

Datos obtenidos del poste P12687 (circuito actual).

P12687	
Total abonados	8
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	110,844
FACTOR A	15,034
FACTOR B	0,382
DMcoin (kW)	5,745
Fp	0,95

Tabla XXXVI

Datos obtenidos del poste P12692 (circuito actual).

P12692	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	111,250
FACTOR A	9,573



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,383
DMcoin (kW)	3,671
Fp	0,95

Tabla XXXVII

Datos obtenidos del poste P12693 (circuito actual).

P12693	
Total abonados	7
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	55,547
FACTOR A	13,815
FACTOR B	0,207
DMcoin (kW)	2,865
Fp	0,95

Tabla XXXVIII

Datos obtenidos del poste P12694 (circuito actual).

P12694	
Total abonados	8
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	230,541
FACTOR A	15,034
FACTOR B	0,731
DMcoin (kW)	10,985
Fp	0,95

Tabla XXXIX

Datos obtenidos del poste P12742 (circuito actual).

P12742	
Total abonados	20
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	67,509
FACTOR A	27,809
FACTOR B	0,246
DMcoin (kW)	6,853
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla XL

Datos obtenidos del poste P12741 (circuito actual).

P12741	
Total abonados	12
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	131,452
FACTOR A	19,510
FACTOR B	0,444
DMcoin (kW)	8,671
Fp	0,95

Tabla XLI

Datos obtenidos del poste P12740 (circuito actual).

P12740	
Total abonados	18
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	117,458
FACTOR A	25,767
FACTOR B	0,402
DMcoin (kW)	10,366
Fp	0,95

Tabla XLII

Datos obtenidos del poste P12739 (circuito actual).

P12739	
Total abonados	8
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	234,656
FACTOR A	15,034
FACTOR B	0,742
DMcoin (kW)	11,158
Fp	0,95

Tabla XLIII

Datos obtenidos del poste P12783 (circuito actual).

P12783	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	124,152
FACTOR A	12,523



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,423
DMcoin (kW)	5,291
Fp	0,95

Tabla XLIV

Datos obtenidos del poste P294195 (circuito actual).

Poste P294195	
Total abonados	19
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	126,853
FACTOR A	26,790
FACTOR B	0,431
sDMcoin (kW)	11,537
Fp	0,95

Tabla XLV

Datos obtenidos del poste P12697 (circuito actual).

Poste P21697	
Total abonados	9
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	234,064
FACTOR A	16,200
FACTOR B	0,741
DMcoin (kW)	11,997
Fp	0,95

Tabla XLVI

Datos obtenidos del poste P237479 (circuito actual).

P237479	
Total abonados	10
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	278,099
FACTOR A	17,329
FACTOR B	0,863
DMcoin (kW)	14,948
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla XLVII

Datos obtenidos del poste P21702 (circuito actual).

P21702	
Total abonados	19
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	87,471
FACTOR A	26,790
FACTOR B	0,310
DMcoin (kW)	8,302
Fp	0,95

Tabla XLVIII

Datos obtenidos del poste P21701 (circuito actual).

P21701	
Total abonados	21
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	129,313
FACTOR A	28,826
FACTOR B	0,438
DMcoin (kW)	12,626
Fp	0,95

Tabla XLIX

Datos obtenidos del poste P23026 (circuito actual).

P23026	
Total abonados	7
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	70,466
FACTOR A	13,815
FACTOR B	0,256
DMcoin (kW)	3,536
Fp	0,95

Tabla L

Datos obtenidos del poste P21699 (circuito actual).

P21699	
Total abonados	16
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	141,969
FACTOR A	23,710



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,476
DMcoin (kW)	11,280
Fp	0,95

Tabla LI

Datos obtenidos del poste P21700 (circuito actual).

P21700	
Total abonados	17
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	132,142
FACTOR A	24,741
FACTOR B	0,446
DMcoin (kW)	11,046
Fp	0,95

Tabla LII

Datos obtenidos del poste P23150 (circuito actual).

Poste P23150	
Total abonados	2
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	120,375
FACTOR A	5,707
FACTOR B	0,411
DMcoin (kW)	2,346
Fp	0,95

Tabla LIII

Datos obtenidos del poste P23149 (circuito actual).

Poste P23149	
Total abonados	12
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	122,708
FACTOR A	19,510
FACTOR B	0,418
DMcoin (kW)	8,158
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla LIV

Datos obtenidos del poste P21690 (circuito actual).

Poste P21690	
Total abonados	8
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	104,458
FACTOR A	15,034
FACTOR B	0,363
DMcoin (kW)	5,452
Fp	0,95

Tabla LV

Datos obtenidos del poste P21695 (circuito actual).

Poste P21695	
Total abonados	24
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	172,070
FACTOR A	31,866
FACTOR B	0,564
DMCtotal (kW)	18,512
Fp	0,95

Tabla LVI

Datos obtenidos del poste P21694 (circuito actual).

Poste P21694	
Total abonados	17
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	109,922
FACTOR A	24,741
FACTOR B	0,379
DMCtotal (kW)	9,667
Fp	0,95

Tabla LVII

Datos obtenidos del poste P21692 (circuito actual).

Poste P21692	
Total abonados	9
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	42,880
FACTOR A	16,200



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,165
DMcoin (kW)	2,671
Fp	0,95

Tabla LVIII

Datos obtenidos del poste P21691 (circuito actual).

Poste P21691	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	144,145
FACTOR A	9,573
FACTOR B	0,482
DMcoin (kW)	4,616
Fp	0,95

Tabla LIX

Datos obtenidos del poste P21693 (circuito actual).

Poste P21693	
Total abonados	5
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	97,716
FACTOR A	11,125
FACTOR B	0,342
DMcoin (kW)	3,803
Fp	0,95

Tabla LX

Datos obtenidos del poste P21689 (circuito actual).

Poste P21689	
Total abonados	12
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	125,702
FACTOR A	19,510
FACTOR B	0,427
DMcoin (kW)	8,334
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla LXI

Datos obtenidos del poste P21688 (circuito actual).

Poste P21688	
Total abonados	18
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	155,565
FACTOR A	25,767
FACTOR B	0,516
DMcoin (kW)	13,292
Fp	0,95

Tabla LXII

Datos obtenidos del poste P21687 (circuito actual).

Poste P21687	
Total abonados	7
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	89,179
FACTOR A	13,815
FACTOR B	0,315
DMcoin (kW)	4,355
Fp	0,95

Tabla LXIII

Datos obtenidos del poste P21676 (circuito actual).

Poste P21676	
Total abonados	5
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	78,950
FACTOR A	11,125
FACTOR B	0,283
DMcoin (kW)	3,149
Fp	0,95

Tabla LXIV

Datos obtenidos del poste P21686 (circuito actual).

Poste P21686	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	108,917
FACTOR A	12,523



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,376
DMcoin (kW)	4,712
Fp	0,95

Tabla LXV

Datos obtenidos del poste P21685 (circuito actual).

Poste P21685	
Total abonados	14
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	143,243
FACTOR A	21,629
FACTOR B	0,480
DMcoin (kW)	10,372
Fp	0,95

Tabla LXVI

Datos obtenidos del poste P21683 (circuito actual).

Poste P21683	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	355,778
FACTOR A	12,523
FACTOR B	1,073
DMcoin (kW)	13,433
Fp	0,95

Tabla LXVII

Datos obtenidos del poste P21684 (circuito actual).

Poste P21684	
Total abonados	12
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	136,659
FACTOR A	19,510
FACTOR B	0,460
DMcoin (kW)	8,974
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Anexo III

Tabla LXVIII
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 81956

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P12699	1	1	2	290,33	2,0189	8,718139752	17,8	0,0018386	4,13927558
		2	1	161,33	1,1219	4,844478649	15,52	0,0004950	1,11440357
		3	1	123,25	0,8571	3,700997914	16,78	0,0003124	0,70321208
		4	2	320,67	2,2299	9,629200821	5,1	0,0006426	1,44679617
P13317	2	7	1	92,7	1,0314	4,453624981	12,15	0,0003275	0,7373272
P13318	3	5	1	30,17	0,3819	1,649195834	3,04	0,0000112	0,02529733
	Σ		8				70,39	0,0036273	8,16631193

Tabla LXIX
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 20020

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab (+30%) (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P12698	4	1	3	452,42	3,7059	16,00279	16,55	0,00575982	12,96719278
		2	1	20,25	0,1659	0,71627	5,84	0,00000407	0,009167001
P12697	3	3	4	559,75	3,3541	14,48349	15,59	0,00444439	10,00573564
		4	2	112,5	0,6741	2,91093	26,39	0,00030389	0,684162301
		13	2	141,92	0,8504	3,67217	13,27	0,00024318	0,547485766
		14	2	266,5	1,5969	6,89567	2,52	0,00016284	0,366614529
P12696	2	5	1	53,75	0,3815	1,64737	17,93	0,00006613	0,148874946
		6	1	281,5	1,9980	8,62764	15,98	0,00161652	3,639300884
		11	2	248,5	1,7638	7,61623	7,49	0,00059045	1,329287722
P12697		12	1	146,42	1,0392	4,48760	20,9	0,00057200	1,287749769
P12695		9	1	19,5	0,1384	0,59765	12,68	0,00000616	0,013857116
P12695	1	7	1	1,58	0,0162	0,07010	21,7	0,00000014	0,000326233
		8	1	74,75	0,7680	3,31635	6,77	0,00010119	0,227805919



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

	10	1	25,25	0,2594	1,12024	16,92	0,00002886	0,064964644
Σ		23				200,53	0,0139	31,2925

Tabla LXX
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 21820

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P12721	6	1	1	777,33	4,1768	18,0362	15,28	0,00675508	15,207856
		2	1	153,5	0,8248	3,5616	22,66	0,00039064	0,87944857
		3	3	511,67	2,7493	11,8721	26,98	0,00516795	11,6347119
		30	1	107,67	0,5785	2,4982	26,093	0,00022131	0,4982499
		31	1	81,58	0,4384	1,8929	22,45	0,00010932	0,24610335
		32	3	418,75	2,2501	9,7161	13,32	0,00170888	3,84722552
		33	1	237,5	1,2761	5,5106	9,28	0,00038298	0,86220192
P12720	5	5	3	205,17	1,0274	4,4367	16,52	0,00044192	0,99491417
		6	2	119,08	0,5963	2,5750	16,11	0,00014517	0,32682935
		25	1	31,42	0,1573	0,6794	12,54	0,00000787	0,0177116
		26	1	18,08	0,0905	0,3910	6,25	0,00000130	0,00292297
		27	1	109,5	0,5484	2,3679	11,24	0,00008565	0,1928157
		28	2	364,67	1,8262	7,8858	16,55	0,00139865	3,14880616
		29	6	591,17	2,9604	12,7837	24,52	0,00544573	12,2600741
P12721		4	3	188,17	0,9423	4,0691	20,69	0,00046556	1,04811543
P12691	4	8	1	184,83	0,9350	4,0375	17,22	0,00038149	0,85884887
		9	4	444,25	2,2473	9,7044	17,38	0,00222437	5,00775781
		34	2	250,5	1,2672	5,4720	17,49	0,00071172	1,6023004
		23	2	347,08	1,7558	7,5818	6,03	0,00047106	1,06051096
		24	1	72,83	0,3684	1,5909	18,6	0,00006398	0,14403639
		22	4	501,25	2,5357	10,9495	14,01	0,00228205	5,13761511
P12720		7	2	132,75	0,6715	2,8998	18,14	0,00020730	0,46670775
P12690	3	35	1	89,5	0,6092	2,6308	14,74	0,00013864	0,31212072
		10	2	104,58	0,7119	3,0740	13,72	0,00017619	0,39667098
		20	0	0	0,0000	0,0000	0	0,00000000	0
		21	3	884,17	6,0186	25,9894	11,41	0,01047367	23,5795893
P12688	2	18	4	449,17	2,3525	10,1586	13,72	0,00192417	4,33192714
		12	3	315,17	1,6507	7,1280	17,45	0,00120491	2,71263101



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

		11	6	575,17	3,0124	13,0083	6,8	0,00156376	3,52052078
		17	1	148,25	0,7765	3,3529	11,75	0,00017951	0,40414091
P12690		19	1	104,5	0,5473	2,3634	13,55	0,00010286	0,2315674
P12687	1	16	3	357,92	2,0627	8,9070	18,9	0,00203771	4,5875407
		13	1	2,5	0,0144	0,0622	21,65	0,00000011	0,00025638
		14	2	384,92	2,2183	9,5789	13,78	0,00171830	3,86844445
		15	5	499,33	2,8776	12,4260	9,83	0,00206271	4,64381628
		Σ	78				536,649	0,05065250	114,03499

Tabla LXXI
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 81957

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P12692	4	1	1	341,17	2,8141	12,1517	24,63	0,0049426	11,12745912
		2	1	41,5	0,3423	1,4781	16,01	0,0000475	0,107023081
		3	1	46,25	0,3815	1,6473	13,85	0,0000511	0,11499082
		4	1	16,08	0,1326	0,5727	16,65	0,0000074	0,016709992
P12693	3	5	1	77,75	0,8056	3,4786	11,05	0,0001817	0,409103028
		6	1	63,5	0,6579	2,8411	8,69	0,0000953	0,214603523
P13448	2	7	5	247,58	1,5588	6,7312	14,77	0,0009095	2,047474351
		8	1	413,33	2,6024	11,2376	8,44	0,0014485	3,260942645
		9	1	67,17	0,4229	1,8262	15,07	0,0000683	0,153769714
		11	2	152,08	0,9575	4,1347	3,09	0,0000718	0,161625375
P12694	1	10	1	77,42	0,5691	2,4575	2,23	0,0000183	0,041203957
		13	1	116,25	0,8545	3,6900	2,61	0,0000483	0,108731195
		12	1	415,08	3,0512	13,1755	2,35	0,0005544	1,248128239
		14	1	603	4,4325	19,1405	8,18	0,0040727	9,168866697
		Σ	19				147,62	0,0125174	28,18063174



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla LXXII
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 19926

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P12742	5	24	3	356,42	2,0466	8,8376	14,26	0,001513587	3,40756786
		11	1	119,67	0,6872	2,9673	20,86	0,000249602	0,56193456
		12	4	153,33	0,8804	3,8019	29,66	0,000582625	1,3116751
		23	6	178,17	1,0231	4,4178	11,14	0,000295473	0,66520454
P12741	4	14	6	444,75	2,1799	9,4130	21,82	0,002627429	5,91518451
		22	6	1132,67	5,5516	23,9726	11,8	0,009215804	20,7477229
P12742		13	6	542,58	2,6593	11,4836	29,16	0,005225881	11,7651297
P12740	3	21	1	102,92	0,6223	2,6870	18,07	0,000177304	0,39916715
		1	1	27	0,1632	0,7049	15,44	0,000010426	0,02347318
		20	2	196,17	1,1860	5,1216	15,9	0,000566790	1,27602562
		2	2	345,58	2,0894	9,0223	17,01	0,001881748	4,23641599
		19	4	328	1,9831	8,5634	22,25	0,002217367	4,99200242
P12739	2	5	1	186,92	0,8993	3,8832	15,62	0,000320101	0,72065002
		7	3	1012,33	4,8703	21,0310	16,86	0,010134361	22,8156902
		18	1	107,33	0,5164	2,2298	5,24	0,000035405	0,07970864
		25	1	145,5	0,7000	3,0227	1,05	0,000013038	0,02935264
		17	2	425,17	2,0455	8,8328	7,81	0,000828077	1,86426689
P12740		3	3	117,58	0,5657	2,4427	21,57	0,000174909	0,39377567
		4	1	493,83	2,3758	10,2592	18,7	0,002674799	6,02182835
		6	4	503,17	2,4208	10,4533	16,26	0,002414597	5,43603003
P12783	1	8	1	128,75	0,9145	3,9489	20,01	0,000424058	0,95468964
		9	1	86,83	0,6167	2,6632	14,84	0,000143040	0,32202838
		10	2	388,83	2,7618	11,9259	14,22	0,002748543	6,18784992
		15	1	13,58	0,0965	0,4165	8,68	0,000002046	0,00460723
		16	1	126,92	0,9015	3,8928	3,31	0,000068167	0,1534648
	Σ		64				391,54	0,044545176	100,285446



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla LXXIII
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 260625

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P294195	3	1	1	75,17	0,3598	1,5537	16,45	0,00005397	0,121496938
		2	2	118,92	0,5692	2,4580	6,49	0,00005329	0,119967837
		3	2	149,33	0,7148	3,0866	12,83	0,00016611	0,373965136
		4	1	96,5	0,4619	1,9946	21,77	0,00011770	0,264986278
		5	2	385,42	1,8448	7,9664	26,04	0,00224586	5,056148298
		6	2	174,5	0,8353	3,6068	31,67	0,00055990	1,260518591
		7	3	297,25	1,4228	6,1440	41,63	0,00213562	4,807955804
		51	3	784,5	3,7551	16,2151	23,14	0,00826842	18,61485167
		53	2	101,42	0,4855	2,0963	21,57	0,00012882	0,29000647
		55	1	227,2	1,0875	4,6961	8,91	0,00026703	0,601180226
P21697	4	29	1	56	0,3075	1,3277	13,28	0,00003181	0,071625579
		30	1	28,08	0,1542	0,6658	6,01	0,00000362	0,008150096
		31	2	417,67	2,2932	9,9027	20,9	0,00278528	6,270567825
		32	3	852,75	4,6821	20,2181	19,61	0,01089376	24,52534181
		33	1	127,33	0,6991	3,0189	22,04	0,00027298	0,614563959
		34	1	624,75	3,4302	14,8124	25,29	0,00754081	16,97678224
P237479		35	1	204,33	1,1219	4,8445	29,89	0,00095334	2,146269253
P21702	8	39	5	229,67	1,1428	4,9348	19,88	0,00065792	1,481179805
P237479		36	2	656,83	3,2682	14,1129	27,18	0,00735700	16,56297226
		37	2	1351,25	6,7235	29,0335	11,76	0,01347176	30,32924482
		38	0	0	0,0000	0,0000	0	0,00000000	0
		25	2	93,17	0,4636	2,0019	14,89	0,00008109	0,182570141
		26	1	175	0,8708	3,7601	9,16	0,00017600	0,396236457
		27	1	139,08	0,6920	2,9883	9,83	0,00011930	0,268575098
		28	1	161,33	0,8027	3,4664	20,53	0,00033525	0,754748186
P21702	2	40	5	203,92	1,0078	4,3520	38,45	0,00098969	2,228107706
		41	4	496,25	2,4526	10,5909	23,91	0,00364472	8,205419842
		42	4	727,33	3,5947	15,5226	14,27	0,00467272	10,51979234
P21699		54	1	4,777778	0,0236	0,1020	37,14	0,00000052	0,001181446
		43	3	516,83	2,5543	11,0301	3,17	0,00052413	1,179980644
		44	3	247,83	1,2249	5,2891	14,73	0,00056001	1,26075498
		45	2	144,92	0,7162	3,0929	20,53	0,00026689	0,600849621



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

		46	1	343,58	1,6981	7,3326	26,12	0,00190859	4,296839333
P21701	6	10	6	1193,33	5,5855	24,1192	14,06	0,01111557	25,0246943
		11	1	152,92	0,7158	3,0908	18,09	0,00023485	0,528724564
		12	4	470,83	2,2038	9,5163	26,13	0,00321583	7,239857304
		14	3	190,25	0,8905	3,8453	7,35	0,00014769	0,332505637
		15	1	199,67	0,9346	4,0357	3,65	0,00008079	0,181878282
		16	5	355,33	1,6632	7,1818	20,64	0,00144677	3,257135209
P23026		9	1	1	0,0047	0,0202	27,87	0,00000002	3,48337E-05
P23026	7	17	1	153,25	1,0651	4,5993	22,26	0,00063993	1,440692142
		8	3	258,67	1,7978	7,7632	15,06	0,00123346	2,776912267
		18	2	141,67	0,9846	4,2518	11,34	0,00027860	0,627211342
		19	1	91,92	0,6389	2,7587	4,67	0,00004830	0,108738158
P21699	5	13	3	495,67	3,4846	15,0469	9,44	0,00290461	6,539204995
		23	1	57,67	0,4054	1,7507	27,04	0,00011263	0,253556226
		24	2	261,42	1,8378	7,9359	7,21	0,00061708	1,38925054
P21700	1	22	1	203,58	0,9813	4,2376	29,64	0,00072334	1,628469061
		21	1	437,42	2,1086	9,1051	18,14	0,00204375	4,601142119
		20	3	200,25	0,9653	4,1683	7,65	0,00018063	0,406665732
		47	3	519,83	2,5058	10,8205	33,61	0,00534792	12,03988349
		48	4	352,33	1,6984	7,3339	27,64	0,00202037	4,548501884
		52	2	511,33	2,4648	10,6436	12,48	0,00192137	4,325618614
		49	1	1,75	0,0084	0,0364	12,85	0,00000002	5,21687E-05
		50	3	223,5	1,0774	4,6523	13,93	0,00040973	0,922438167
	Σ		118				1009,82	0,10596716	238,5659977

Tabla LXXIV
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 20566

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P23150	9	1	1	92,17	0,91485	3,9505	22,83	0,000484204	1,090098807
P23149		14	1	113	1,12160	4,8433	19,32	0,000615896	1,386579538
P23149	8	53	1	59	0,32600	1,4077	17,03	0,000045863	0,103251511
		3	1	54,08	0,29881	1,2903	17,46	0,000039506	0,088939637
		4	2	89,67	0,49546	2,1395	15,4	0,000095798	0,215671524
		5	1	221,92	1,22619	5,2949	18,07	0,000688480	1,549989608



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

		10	1	179,92	0,99412	4,2928	9,22	0,000230903	0,519837436
		11	2	510	2,81793	12,1683	4,03	0,000810935	1,825673639
		12	2	81,58	0,45076	1,9465	5,42	0,000027907	0,062826727
		13	1	163,33	0,90246	3,8970	13,75	0,000283776	0,638869814
P23150		2	1	148,58	0,82096	3,5450	26,04	0,000444736	1,001242865
P21690	1	6	1	55,25	0,36043	1,5564	12,16	0,000040031	0,090121932
		7	3	226	1,47433	6,3664	6,71	0,000369602	0,832092776
		8	3	366,33	2,38979	10,3195	6,04	0,000874132	1,967950923
		9	1	188,08	1,22696	5,2982	9,67	0,000368898	0,830508458
		50	1	13001,5		0,0000	0,98	0,000000000	0
P21695	7	15	5	74,58	0,31540	1,3620	15,69	0,000039552	0,089044268
		16	4	744,67	3,14923	13,5989	2,77	0,000696159	1,56727696
		17	1	528	2,23292	9,6422	20,22	0,002554760	5,751581264
		45	2	236,42	0,99983	4,3174	13,46	0,000340969	0,767629665
		44	2	4,08	0,01725	0,0745	14,5	0,000000109	0,000246279
		46	1	42,67	0,18045	0,7792	18,2	0,000015018	0,03381076
		48	2	1289,58	5,45366	23,5499	31,11	0,023447558	52,78795688
		49	7	948,42	4,01089	17,3197	38,73	0,015788830	35,54570795
		47	1	261,25	1,10483	4,7709	24,72	0,000764649	1,721469485
P21694		43	1	277,42	1,17322	5,0662	19,94	0,000695507	1,565809605
		42	2	155,92	0,65939	2,8474	24,79	0,000273137	0,614919752
P21694	6	19	2	99,33	0,54229	2,3417	11,17	0,000083241	0,187401311
		52	3	65,58	0,35803	1,5460	12,53	0,000040702	0,09163312
		18	3	316,5	1,72792	7,4615	31,83	0,002408271	5,421789442
		40	4	678,42	3,70381	15,9937	7,35	0,002555089	5,752322208
		41	1	275,5	1,50408	6,4949	26,64	0,001527210	3,438238563
P21692	4	27	1	47,42	0,42785	1,8475	3,56	0,000016514	0,037178441
		28	2	59,25	0,53459	2,3084	11	0,000079662	0,179344255
		29	1	26,5	0,23910	1,0325	23,91	0,000034638	0,077981108
		51	1	2	0,01805	0,0779	27,09	0,000000224	0,000503254
P21691	3	25	1	350,67	2,39853	10,3573	6,92	0,001008832	2,271203538
		22	2	67,58	0,46224	1,9960	15,69	0,000084952	0,191254672
		23	1	158,33	1,08295	4,6764	20,16	0,000599146	1,348868728
P21692		24	1	57,58	0,39384	1,7007	14,99	0,000058920	0,132647078
		21	1	106,25	0,72673	3,1382	22,23	0,000297518	0,669807606
		26	1	1,42	0,00971	0,0419	8,31	0,000000020	4,4723E-05
P21693	5	30	1	80,33	0,58792	2,5387	19,4	0,000169926	0,38255874
		31	1	326,83	2,39201	10,3291	6,8	0,000985953	2,219696538
		32	3	81,42	0,59590	2,5732	10,87	0,000097813	0,220207752



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

P21692		20	1	85,5	0,62576	2,7021	26,11	0,000259085	0,583283868
P21689	2	33	1	71,5	0,39505	1,7059	15,77	0,000062368	0,140410313
		34	2	285,25	1,57606	6,8057	30,99	0,001950702	4,391653948
		35	1	199,83	1,10410	4,7677	38,91	0,001201989	2,706062585
		36	4	508,33	2,80863	12,1282	51,02	0,010198820	22,96080792
		37	2	305,67	1,68889	7,2929	34,87	0,002520435	5,674306756
		38	1	31,92	0,17636	0,7616	12,36	0,000009742	0,021933072
		39	1	105,92	0,58523	2,5271	23,71	0,000205781	0,46327912
		Σ		94			942,45	0,076494468	172,21353

Tabla LXXV
Cálculo de pérdidas técnicas de la red reconfigurada del transformador 20565

Poste	Numero de poste en Matlab	Numero de acometida en Matlab	Número de Clientes	Consumo Promedio Anual	Demanda individual estimada por acometida	Corriente por acometida (A)	Longitud de acometida reducida en Matlab +30% (m)	Pérdidas de potencia por acometida (kW)	Pérdidas de energía por acometida (kWh-año)
P21688	2	17	1	257,75	1,3392	5,7831	15,19	0,00069040	1,479318739
		18	1	70,67	0,3672	1,5856	22,5	0,00007688	0,164724932
		28	2	496,17	2,5781	11,1325	22,59	0,00380473	8,152369801
		29	6	727,83	3,7817	16,3303	15,88	0,00575515	12,33153216
		30	1	112,67	0,5854	2,5280	6,8	0,00005906	0,126541255
		31	3	260,92	1,3557	5,8542	7,91	0,00036841	0,789401341
P21687	1	19	2	728,08	3,9642	17,1183	28,26	0,01125409	24,11409875
		20	1	141,58	0,7709	3,3288	21,07	0,00031728	0,67984362
		21	1	144,83	0,7886	3,4052	11,97	0,00018862	0,404158658
		22	2	284,25	1,5477	6,6831	7,26	0,00044067	0,944230973
		23	0	0	0,0000	0,0000	0	0,00000000	0
		24	2	87,33	0,4755	2,0533	11,76	0,00006738	0,144369322
		25	1	16,42	0,0894	0,3861	12,35	0,00000250	0,005359866
		26	1	91,42	0,4978	2,1494	18,74	0,00011766	0,252111523
		37	1	215,17	1,1716	5,0590	14,08	0,00048972	1,049317146
27	1	4,5	0,0245	0,1058	27,1	0,00000041	0,000883354		
P21676	4	4	2	110,92	1,0155	4,3853	18,2	0,00047565	1,019172822
		38	1	50,08	0,4585	1,9799	7,92	0,00004219	0,090408767
		39	1	18,58	0,1701	0,7346	20,86	0,00001530	0,03277649
P21686	7	5	2	201	1,1812	5,1007	15,52	0,00054876	1,175815218
		6	2	242,83	1,4270	6,1623	17,45	0,00090052	1,929546975



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

		14	2	217,83	1,2801	5,5278	18,5	0,00076825	1,646123278
		16	3	941,17	5,5310	23,8839	7,04	0,00545762	11,694026
P21685	6	7	1	239,33	1,2384	5,3474	25,16	0,00097774	2,095000158
		8	3	304,25	1,5743	6,7980	17,81	0,00111852	2,3966479
		9	1	19,08	0,0987	0,4263	10,55	0,00000261	0,005583266
		10	3	238,08	1,2319	5,3195	16,05	0,00061722	1,322513172
		11	2	755,5	3,9092	16,8805	9,31	0,00360527	7,72498705
		12	1	34,58	0,1789	0,7726	11,05	0,00000896	0,019208409
		13	1	196,75	1,0180	4,3961	18,61	0,00048876	1,04726116
		15	2	209,67	1,0849	4,6847	23,43	0,00069882	1,497352392
P21683	5	35	1	184,08	1,3251	5,7220	25,48	0,00113376	2,42929536
P21684		1	4	362,75	2,6113	11,2759	26,41	0,00456342	9,778020177
P21683		36	1	116,25	0,8368	3,6136	12,68	0,00022502	0,482139666
P21684	3	2	3	291,83	1,6563	7,1520	19,77	0,00137431	2,944726556
		3	1	74,75	0,4242	1,8319	10,82	0,00004935	0,105737269
		32	2	439	2,4915	10,7588	14,13	0,00222274	4,762660623
		33	2	471,58	2,6764	11,5573	8,77	0,00159195	3,411055478
		34	1	893,17	5,0691	21,8894	17,16	0,01117386	23,94219545
	Σ		68				616,14	0,06169355	132,1905151



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Anexo IV

Tabla LXXVI

Datos obtenidos del poste 1 (P12699-circuito reconfigurado).

Poste 1	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	149,263
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,497
DMcoin (kW)	6,228
Fp	0,95

Tabla LXXVII

Datos obtenidos del poste 2 (P13317-circuito reconfigurado).

Poste 2	
Total abonados	1
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	92,700
FACTOR A	3,161
FACTOR B	0,326
DMcoin (kW)	1,031
Fp	0,95

Tabla LXXVIII

Datos obtenidos del poste 3 (P13318-circuito reconfigurado).

Poste 3	
Total abonados	1
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	30,170
FACTOR A	3,161
FACTOR B	0,121
DMcoin (kW)	0,382
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla LXXIX

Datos obtenidos del poste 4 (P12698-circuito reconfigurado).

Poste 4	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	118,168
FACTOR A	9,573
FACTOR B	0,404
DMcoin (kW)	3,872
Fp	0,95

Tabla LXXX

Datos obtenidos del poste 3 (P12697-circuito reconfigurado).

Poste 3	
Total abonados	10
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	108,067
FACTOR A	17,329
FACTOR B	0,374
DMcoin (kW)	6,475
Fp	0,95

Tabla LXXXI

Datos obtenidos del poste 2 (P12696-circuito reconfigurado).

Poste 2	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	124,945
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,425
DMcoin (kW)	5,321
Fp	0,95

Tabla LXXXII

Datos obtenidos del poste 1 (P12695-circuito reconfigurado).

Poste 1	
Total abonados	3
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	33,860
FACTOR A	7,800



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,134
DMcoin (kW)	1,044
Fp	0,95

Tabla LXXXIII

Datos obtenidos del poste 6 (P12721-circuito reconfigurado).

Poste 6	
Total abonados	11
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	208,000
FACTOR A	18,430
FACTOR B	0,667
DMcoin (kW)	12,294
Fp	0,95

Tabla LXXXIV

Datos obtenidos del poste 5 (P12720-circuito reconfigurado).

Poste 5	
Total abonados	19
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	85,645
FACTOR A	26,790
FACTOR B	0,304
DMcoin (kW)	8,149
Fp	0,95

Tabla LXXXV

Datos obtenidos del poste 4 (P12691-circuito reconfigurado).

Poste 4	
Total abonados	16
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	120,843
FACTOR A	23,710
FACTOR B	0,413
DMcoin (kW)	9,781
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Tabla LXXXVI

Datos obtenidos del poste 3 (P12690-circuito reconfigurado).

Poste 3	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	179,708
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,586
DMcoin (kW)	7,340
Fp	0,95

Tabla LXXXVII

Datos obtenidos del poste 2 (P12688-circuito reconfigurado).

Poste 2	
Total abonados	15
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	106,151
FACTOR A	22,673
FACTOR B	0,368
DMcoin (kW)	8,339
Fp	0,95

Tabla LXXXVIII

Datos obtenidos del poste 1 (P12687-circuito reconfigurado).

Poste 1	
Total abonados	11
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	113,152
FACTOR A	18,430
FACTOR B	0,389
DMcoin (kW)	7,173
Fp	0,95

Tabla LXXXIX

Datos obtenidos del poste 4 (P12692-circuito reconfigurado).

Poste 4	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	111,250
FACTOR A	9,573



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,383
DMcoin (kW)	3,671
Fp	0,95

Tabla XC

Datos obtenidos del poste 3 (P12693-circuito reconfigurado).

Poste 3	
Total abonados	2
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	70,625
FACTOR A	5,707
FACTOR B	0,256
DMcoin (kW)	1,464
Fp	0,95

Tabla XCI

Datos obtenidos del poste 2 (P13448-circuito reconfigurado).

Poste 2	
Total abonados	9
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	97,796
FACTOR A	16,200
FACTOR B	0,342
DMcoin (kW)	5,542
Fp	0,95

Tabla XCII

Datos obtenidos del poste 1 (P12694-circuito reconfigurado).

Poste 1	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	302,938
FACTOR A	9,573
FACTOR B	0,930
DMcoin (kW)	8,907
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla XCIII

Datos obtenidos del poste 5 (P12742-circuito reconfigurado).

Poste 5	
Total abonados	14
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	57,685
FACTOR A	21,629
FACTOR B	0,214
DMcoin (kW)	4,637
Fp	0,95

Tabla XCIV

Datos obtenidos del poste 4 (P12741-circuito reconfigurado).

Poste 4	
Total abonados	18
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	117,778
FACTOR A	25,767
FACTOR B	0,403
DMcoin (kW)	10,391
Fp	0,95

Tabla XCV

Datos obtenidos del poste 3 (P12740-circuito reconfigurado).

Poste 3	
Total abonados	10
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	99,967
FACTOR A	17,329
FACTOR B	0,349
DMcoin (kW)	6,044
Fp	0,95

Tabla XCVI

Datos obtenidos del poste 2 (P12739-circuito reconfigurado).

Poste 2	
Total abonados	16
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	186,989
FACTOR A	23,710



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,607
DMcoin (kW)	14,394
Fp	0,95

Tabla XCVII

Datos obtenidos del poste 1 (P12783-circuito reconfigurado).

Poste 1	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	124,152
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,423
DMcoin (kW)	5,291
Fp	0,95

Tabla XCVIII

Datos obtenidos del poste 3 (P294195-circuito reconfigurado).

Poste 3	
Total abonados	19
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	126,853
FACTOR A	26,790
FACTOR B	0,431
DMcoin (kW)	11,537
Fp	0,95

Tabla XCIX

Datos obtenidos del poste 4 (P21697-circuito reconfigurado).

Poste 4	
Total abonados	10
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	231,091
FACTOR A	17,329
FACTOR B	0,732
DMcoin (kW)	12,688
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla C

Datos obtenidos del poste 8 (P237479-circuito reconfigurado).

Poste 8	
Total abonados	14
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	200,452
FACTOR A	21,629
FACTOR B	0,646
DMcoin (kW)	13,964
Fp	0,95

Tabla CI

Datos obtenidos del poste 2 (P21702-circuito reconfigurado).

Poste 2	
Total abonados	23
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	62,273
FACTOR A	30,854
FACTOR B	0,229
DMcoin (kW)	7,079
Fp	0,95

Tabla CII

Datos obtenidos del poste 6 (P21701-circuito reconfigurado).

Poste 6	
Total abonados	21
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	122,063
FACTOR A	28,826
FACTOR B	0,416
DMcoin (kW)	11,998
Fp	0,95

Tabla CIII

Datos obtenidos del poste 7 (P23026-circuito reconfigurado).

Poste 7	
Total abonados	7
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	92,216
FACTOR A	13,815



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,325
DMcoin (kW)	4,486
Fp	0,95

Tabla CIV

Datos obtenidos del poste 5 (P21699-circuito reconfigurado).

Poste 5	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	135,793
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,457
DMcoin (kW)	5,728
Fp	0,95

Tabla CV

Datos obtenidos del poste 1 (P21700-circuito reconfigurado).

Poste 1	
Total abonados	18
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	136,111
FACTOR A	25,767
FACTOR B	0,458
DMcoin (kW)	11,810
Fp	0,95

Tabla CVI

Datos obtenidos del poste 9 (P23150-circuito reconfigurado).

9	
Total abonados	2
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	102,585
FACTOR A	5,707
FACTOR B	0,357
DMcoin (kW)	2,036
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CVII

Datos obtenidos del poste 8 (P23149-circuito reconfigurado).

8	
Total abonados	12
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	125,673
FACTOR A	19,510
FACTOR B	0,427
DMcoin (kW)	8,333
Fp	0,95

Tabla CVIII

Datos obtenidos del poste 1 (P21690-circuito reconfigurado).

1	
Total abonados	8
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	104,458
FACTOR A	15,034
FACTOR B	0,363
DMcoin (kW)	5,452
Fp	0,95

Tabla CIX

Datos obtenidos del poste 7 (P21695-circuito reconfigurado).

7	
Total abonados	28
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	162,965
FACTOR A	35,900
FACTOR B	0,538
DMcoin (kW)	19,297
Fp	0,95

Tabla CX

Datos obtenidos del poste 6 (P21694-circuito reconfigurado).

6	
Total abonados	13
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	110,410
FACTOR A	20,576



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,381
DMcoin (kW)	7,836
Fp	0,95

Tabla CXI

Datos obtenidos del poste 4 (P21692-circuito reconfigurado).

4	
Total abonados	5
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	27,034
FACTOR A	11,125
FACTOR B	0,110
DMcoin (kW)	1,220
Fp	0,95

Tabla CXII

Datos obtenidos del poste 3 (P21691-circuito reconfigurado).

3	
Total abonados	7
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	105,976
FACTOR A	13,815
FACTOR B	0,367
DMcoin (kW)	5,074
Fp	0,95

Tabla CXIII

Datos obtenidos del poste 5 (P21693-circuito reconfigurado).

5	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	95,680
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,336
DMcoin (kW)	4,202
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXIV

Datos obtenidos del poste 2 (P21689-circuito reconfigurado).

2	
Total abonados	12
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	125,702
FACTOR A	19,510
FACTOR B	0,427
DMcoin (kW)	8,334
Fp	0,95

Tabla CXV

Datos obtenidos del poste 2 (P21688-circuito reconfigurado).

2	
Total abonados	14
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	137,572
FACTOR A	21,629
FACTOR B	0,463
DMcoin (kW)	10,007
Fp	0,95

Tabla CXVI

Datos obtenidos del poste 1 (P21687-circuitot reconfigurado).

1	
Total abonados	12
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	142,798
FACTOR A	19,510
FACTOR B	0,478
DMcoin (kW)	9,330
Fp	0,95

Tabla CXVII

Datos obtenidos del poste 4 (P21676-circuito reconfigurado).

4	
Total abonados	4
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	44,895
FACTOR A	9,573



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

FACTOR B	0,172
DMcoin (kW)	1,644
Fp	0,95

Tabla CXVIII

Datos obtenidos del poste 7 (P21686-circuito reconfigurado).

7	
Total abonados	9
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	178,092
FACTOR A	16,200
FACTOR B	0,581
DMcoin (kW)	9,419
Fp	0,95

Tabla CXIX

Datos obtenidos del poste 6 (P21685-circuito reconfigurado).

6	
Total abonados	14
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	142,660
FACTOR A	21,629
FACTOR B	0,478
DMcoin (kW)	10,334
Fp	0,95

Tabla CXX

Datos obtenidos del poste 5 (P21683-circuito reconfigurado).

5	
Total abonados	6
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	110,513
FACTOR A	12,523
FACTOR B	0,381
DMcoin (kW)	4,773
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXI

Datos obtenidos del poste 3 (P21684-circuito reconfigurado).

3	
Total abonados	9
ENERGIA PROMEDIO ANUAL	241,148
FACTOR A	16,200
FACTOR B	0,760
DMcoin (kW)	12,318
Fp	0,95



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Anexo V

Tabla CXXII
Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81956 antes de la reconfiguración

81956	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	117,619
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	74,443
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO	
(amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	16,95
Costo anual total (US\$/año)	18,9833



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXIII
Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20020 antes de la reconfiguración

20020	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,2446
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	348,621
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	220,646
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO	
(amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	50,25
Costo anual total (US\$/año)	58,1031



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXIV
Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 21820 antes de la reconfiguración

21820	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	978,796
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	619,491
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	141,09
Costo anual total (US\$/año)	168,8231



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXV

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81957 antes de la reconfiguración

81957	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	276,537
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	175,023
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	39,86
Costo anual total (US\$/año)	46,6973



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXVI
Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 19926 antes de la reconfiguración

19926	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	682,167
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	431,751
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	98,33
Costo anual total (US\$/año)	130,356



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXVII

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 260625 antes de la reconfiguración

260625	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	1665,723
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	1054,255
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	240,10
Costo anual total (US\$/año)	300,101



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXVIII
Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 antes de la reconfiguración

20566	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	1618,786
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	1024,548
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	277,0544



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXIX
Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20565 antes de la reconfiguración

20565	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,2446
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	1127,479
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	713,594
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	162,52
Costo anual total (US\$/año)	215,21



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



Anexo VI

Tabla CXXX

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81956 despues de la reconfiguración

81956	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	111,216
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	70,39
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO	
(amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	16,03
Costo anual total (US\$/año)	17,9996



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXXI

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20020 despues de la reconfiguración

20020	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,2446
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	316,837
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	200,53
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	45,67
Costo anual total (US\$/año)	53,2132



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXXII
Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 21820 despues de la reconfiguración

21820	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	847,905
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	536,649
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	122,22
Costo anual total (US\$/año)	149,7083



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXXIII

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 81957 despues de la reconfiguración

81957	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	233,240
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	147,62
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	33,62
Costo anual total (US\$/año)	40,4130



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXXIV

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 19926 despues de la reconfiguración

19926	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	618,633
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	391,54
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	89,17
Costo anual total (US\$/año)	113,346



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXXV

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 260625 despues de la reconfiguración

260625	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	1595,516
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	1009,82
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	287,4898



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXXVI

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20566 despues de la reconfiguración

20566	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,257
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	1489,071
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	942,45
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	214,64
Costo anual total (US\$/año)	256,1522



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla CXXXVII

Cálculo de Costo total anual de las acometidas del transformador 20565 despues de la reconfiguración

20565	
Datos	Calibre de conductor
Conductor de aluminio (7 hilos)	Multiplex autosoportado TPX 3x4+48,69 AAAC
Resistencia (Ω/m)	0,001359
Límite térmico (A)	100
Factor de pérdidas	0,2446
Costo de demanda (US\$/kW/año)	319,8
Costo de energía (US\$/kWh)	0,099
Costo de la línea (US\$/m)	973,501
Tasa de descuento (%)	12%
Costo de mantenimiento	2%
Vida útil (años)	30
Longitud del circuito (m)	616,14
COSTO DE INVERSION ANUALIZADO (amortización +operación y mantenimiento) (US\$/m)	
Costo anual total (US\$/año)	173,1405



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Anexo VII



Fig. 20 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 81956.



CARRERA DE ELECTRICIDAD

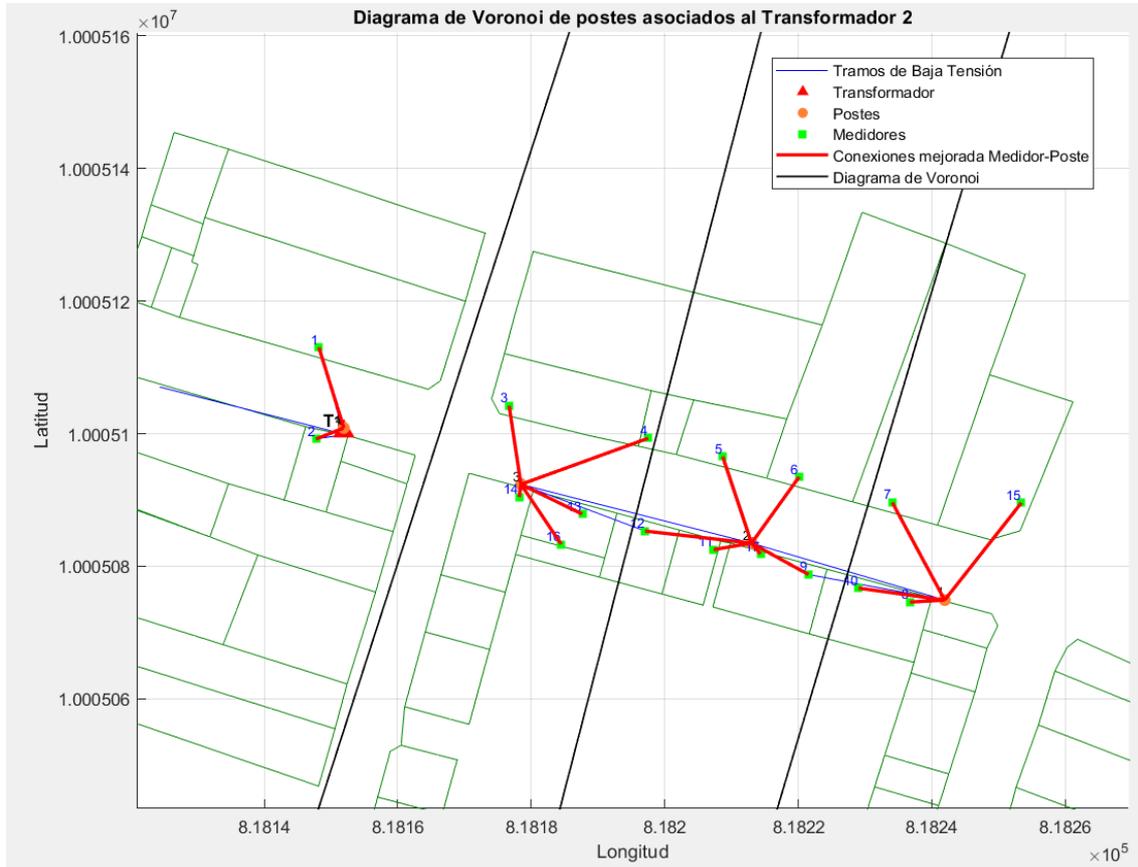


Fig. 21 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20020.



CARRERA DE ELECTRICIDAD

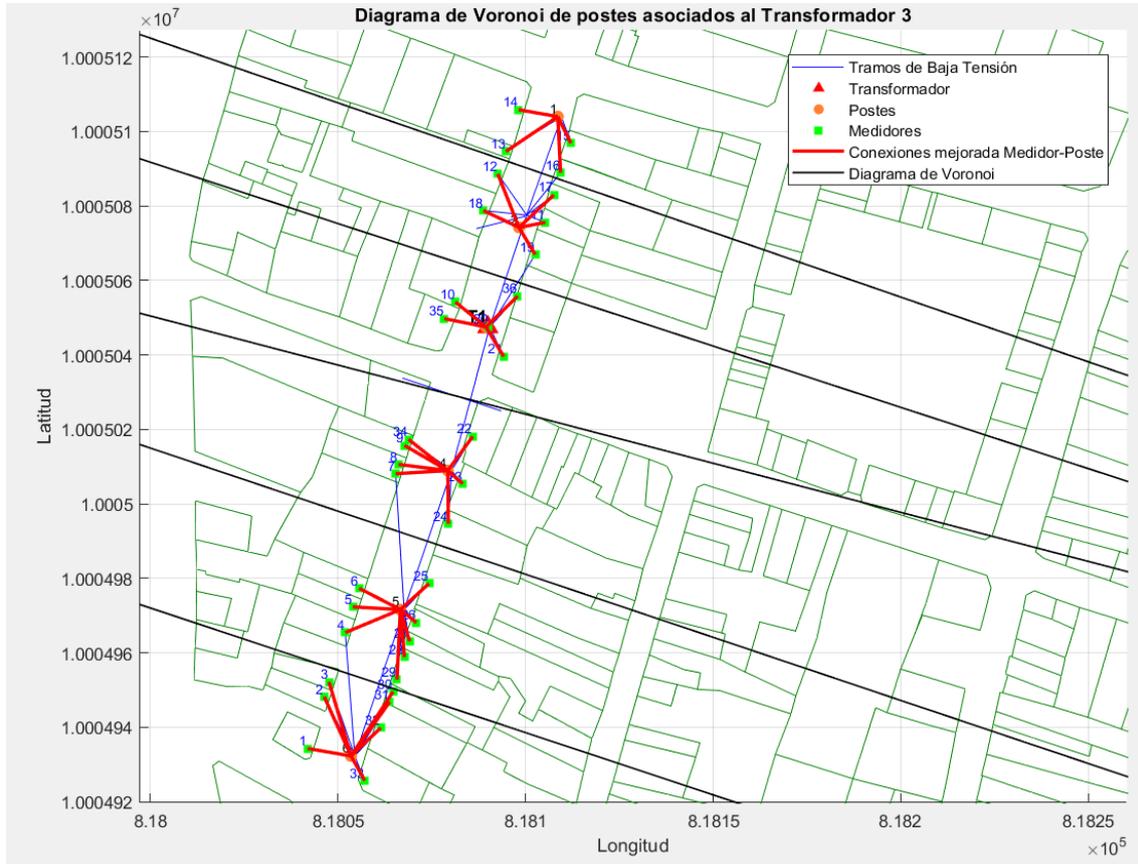


Fig. 22 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 21820.



CARRERA DE ELECTRICIDAD

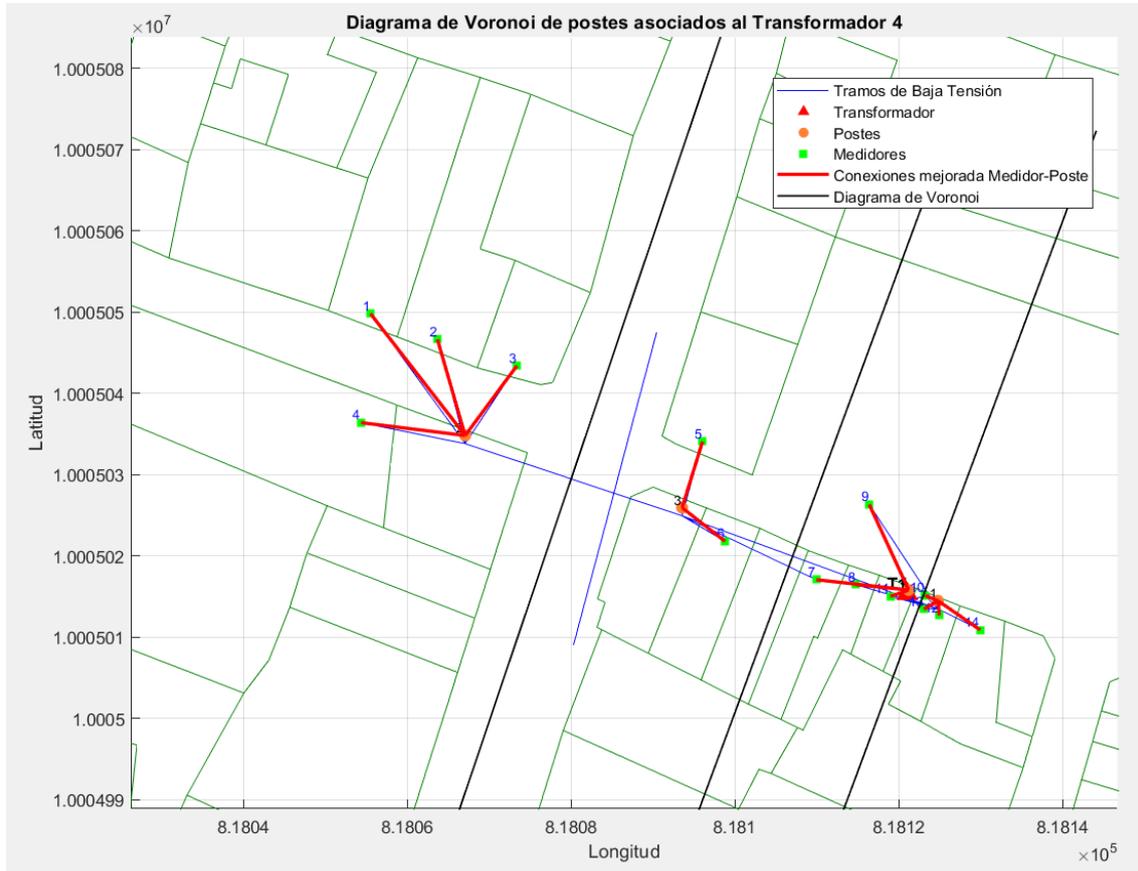


Fig. 23 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 81957.



CARRERA DE ELECTRICIDAD

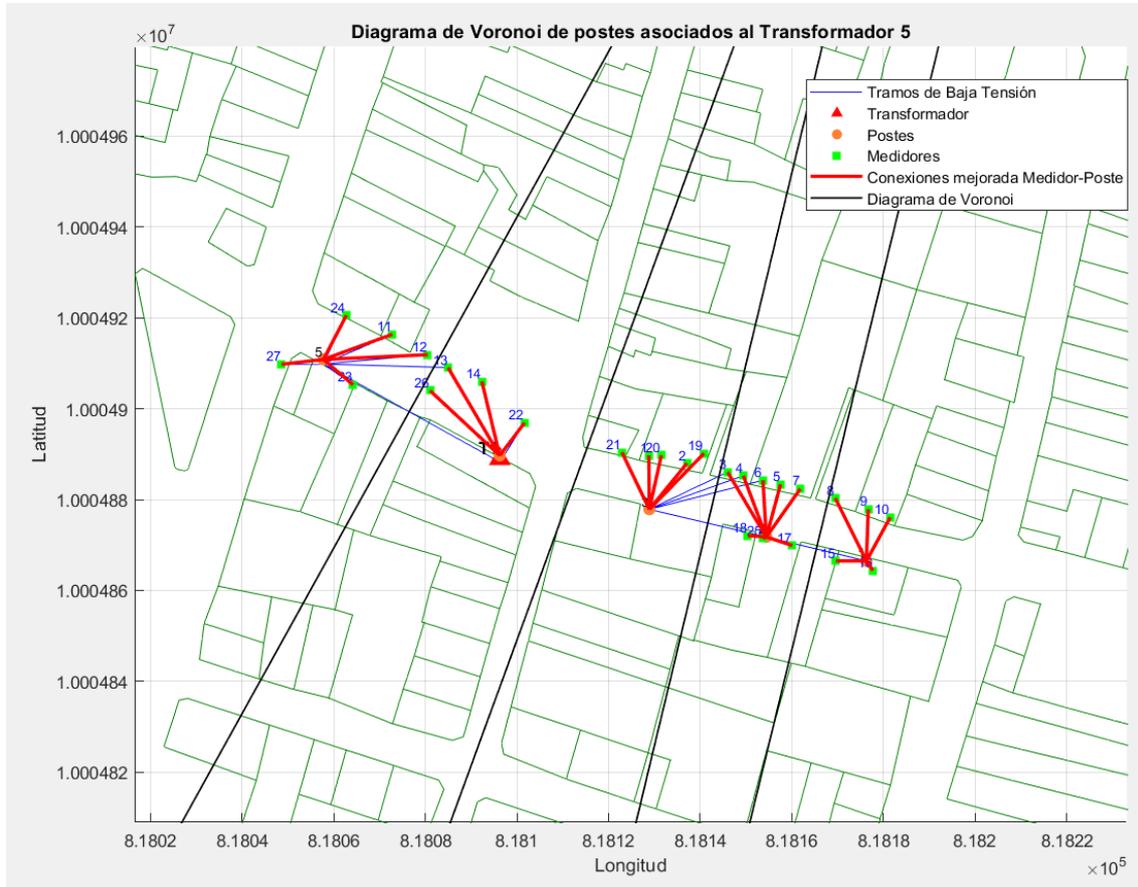


Fig. 24 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 19926.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

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



CARRERA DE ELECTRICIDAD

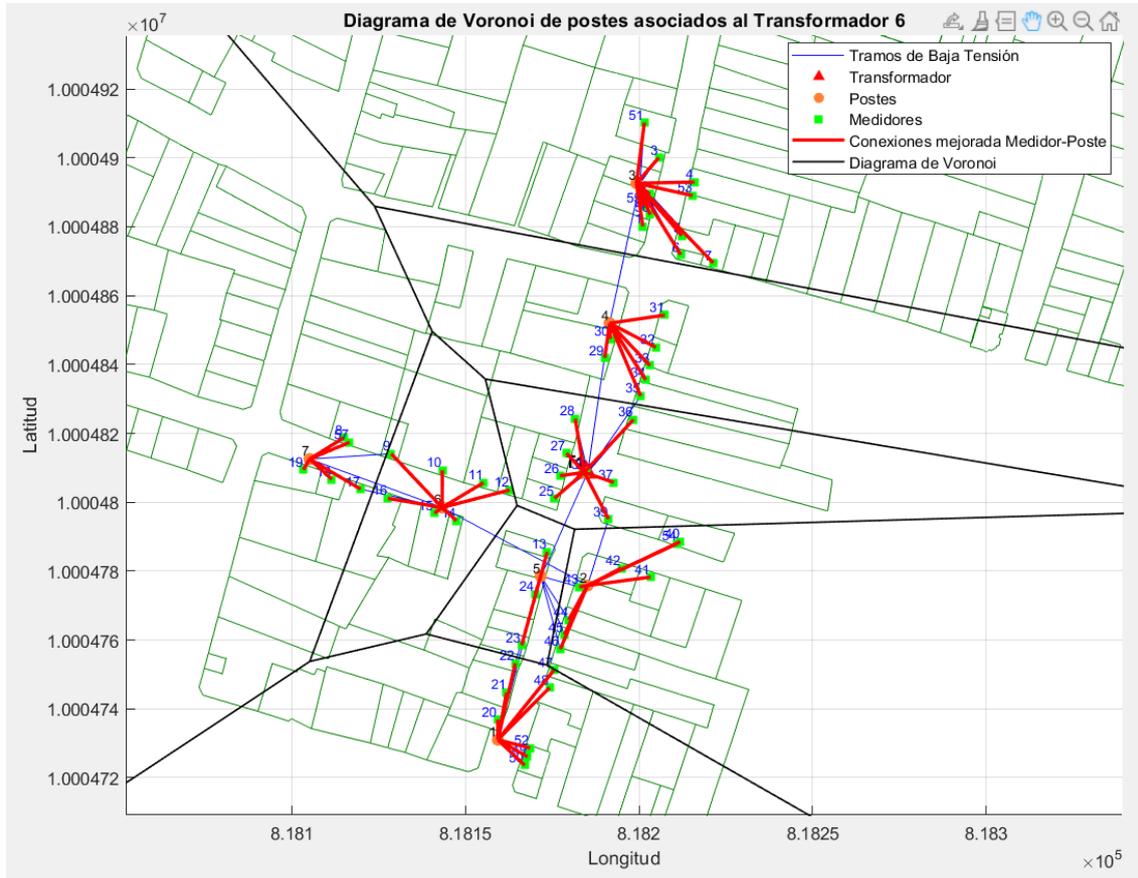


Fig. 25 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 260625.



CARRERA DE ELECTRICIDAD

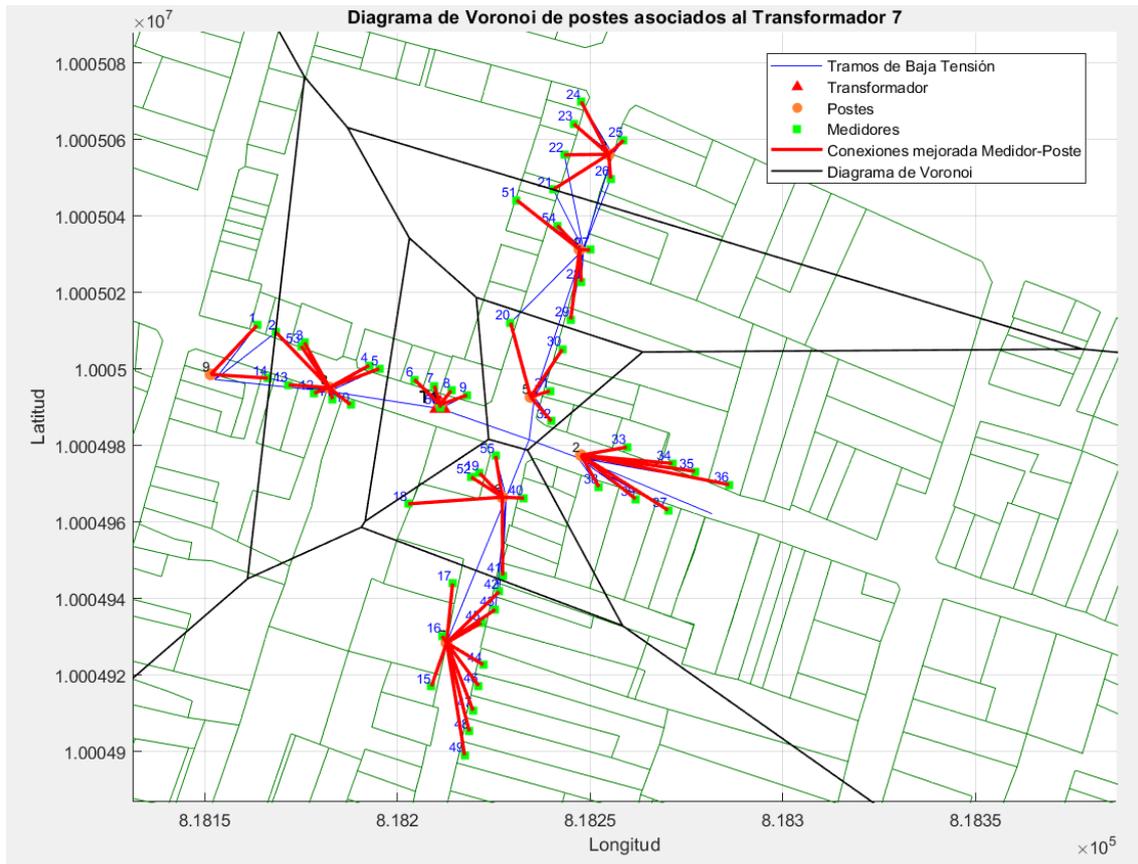


Fig. 26 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20566.



CARRERA DE ELECTRICIDAD

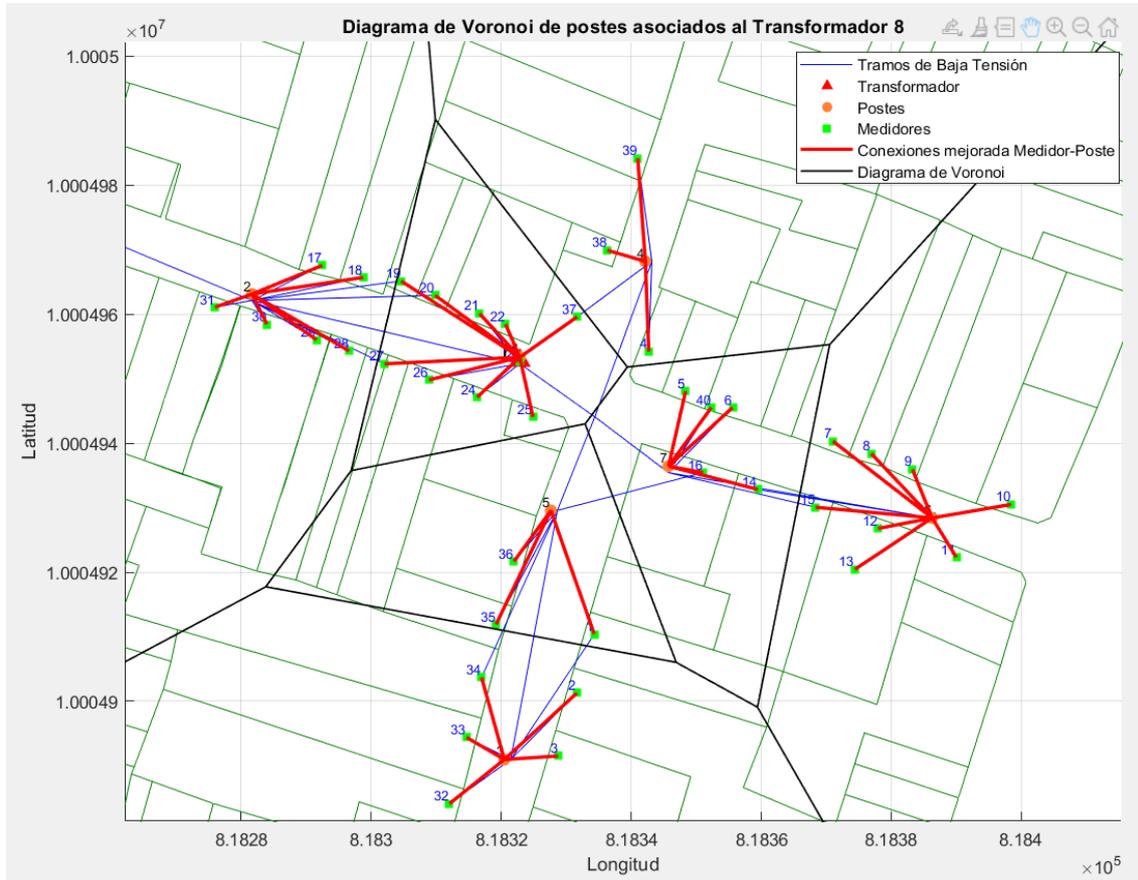


Fig. 27 Reconfiguración de medidores al poste más cercano del transformador 20565.