

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Electricidad

Análisis del impacto en los transformadores de distribución MT/BT y su red, asociada con la implementación total de las cocinas a inducción en el sector residencial

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


Autor:

Dorian Jeovanny Lima Cabrera

Carlos Arturo Romero Encalada

Director:

Claudio Esteban Albornoz Vintimilla

ORCID:  0009-0002-4811-2020

Cuenca, Ecuador

2025-09-24

Resumen

El uso de cocinas de inducción ha sido impulsado en los últimos años como una estrategia para la transición energética en el sector residencial, reduciendo la dependencia del gas licuado de petróleo (GLP) y promoviendo el uso eficiente de la electricidad. Sin embargo, la adopción masiva de estas tecnologías supone un reto importante para la infraestructura de distribución eléctrica, especialmente en lo que respecta a la capacidad operativa de los transformadores de media y baja tensión (MT/BT) y las líneas de distribución.

Este trabajo de titulación tiene como objetivo analizar el impacto técnico y energético que genera la implementación generalizada de cocinas de inducción en la red eléctrica de la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A. (EERCS). Para ello, se realiza un estudio detallado en tres zonas residenciales con características socioeconómicas distintas, evaluando el comportamiento de los transformadores de distribución y su capacidad para soportar el incremento en la demanda energética. La metodología combina el análisis de datos históricos de consumo eléctrico, levantamientos de información de campo y simulaciones de escenarios futuros, con el fin de identificar sobrecargas potenciales y proponer soluciones técnicas que permitan mejorar la estabilidad y eficiencia de la red.

Los resultados obtenidos proporcionan información clave sobre el estado actual de la infraestructura eléctrica y sus limitaciones ante el crecimiento de la demanda. Asimismo, se presentan recomendaciones orientadas a optimizar el dimensionamiento de los transformadores y reforzar la red de distribución, garantizando la sostenibilidad del sistema y la calidad del suministro eléctrico. Este estudio busca servir como referencia para futuras estrategias de planificación y expansión de la red, asegurando una transición energética efectiva sin comprometer la operatividad del sistema eléctrico.

Palabras clave del autor: transformadores mt/bt, demanda residencial eléctrica, caída de tensión, sobrecarga en distribución, simulación en etap



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The adoption of induction stoves has been promoted in recent years as a key strategy for energy transition in the residential sector, aiming to reduce dependence on liquefied petroleum gas (LPG) and encourage efficient electricity use. However, the widespread implementation of these technologies poses a significant challenge to the electrical distribution infrastructure, particularly concerning the operational capacity of medium and low voltage (MV/LV) transformers and distribution lines. This research project aims to analyze the technical and energy impact of the massive implementation of induction stoves on the electrical network of Empresa Eléctrica Centro Sur C.A. (EERCS). The study focuses on three residential areas with different socioeconomic characteristics, evaluating the performance of distribution transformers and their ability to withstand the increased energy demand. The methodology combines historical electricity consumption data analysis, field surveys, and future scenario simulations to identify potential overloads and propose technical solutions to improve grid stability and efficiency. The findings provide valuable insights into the current state of the electrical infrastructure and its limitations in coping with demand growth. Additionally, recommendations are presented to optimize transformer sizing and strengthen the distribution network, ensuring system sustainability and power supply quality. This study aims to serve as a reference for future network planning and expansion strategies, enabling an effective energy transition without compromising the operational integrity of the electrical system.

Author Keywords: mv/lv transformers, residential electricity demand, voltage drop, distribution overload, etap simulation



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1	Generalidades	16
1.1	Introducción	16
1.2	Objetivos.....	17
1.2.1	Objetivos Generales	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Alcance	17
1.4	Justificación	18
1.5	Antecedentes.....	18
2	Marco teórico.....	20
2.1	Funcionamiento y beneficios de las cocinas de inducción.....	20
2.1.1	Principio de funcionamiento de las cocinas de inducción	20
2.1.2	Eficiencia energética de las cocinas de inducción.....	21
2.1.3	Ventajas ambientales y sostenibles	21
2.1.4	Beneficios para el usuario.....	23
2.1.5	Limitaciones y desafíos	24
2.1.6	Tendencias e innovaciones en cocinas de inducción	26
2.2	Normativas y regulaciones.....	28
2.2.1	Leyes	28
	Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPPEE)	28
2.2.2	Reglamentos.....	28
	Reglamento a la ley orgánica de competitividad energética	28
	NEC-SB-IE Instalaciones Eléctricas.....	29
	Código: I-DICO-91.1 Instructivo para el trámite de aprobación de diseños de instalaciones eléctricas interiores para demandas inferiores a 12 kw y cargas instaladas menores a 20 kva.	29
2.2.3	Reglamentos Técnicos	30
	Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 101 Artefactos electrodomésticos para cocción por inducción.....	30
	Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 141 (1R) requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución	30
	RTE-236 REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 236 “CABLES DE POTENCIA AISLADOS”	31
2.2.4	Regulaciones.....	31

ARCONEL 001/2020 Distribución y Comercialización de energía eléctrica	31
2.2.5 Normas Técnicas	32
INEN IEC 60335-2-6	32
INEN IEC 61000-3-2: Límites de emisión de armónicos para equipos conectados a redes de baja tensión	32
2.2.6 Planes	33
Plan Maestro de Electricidad 2023-2032	33
Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035	34
2.3 Análisis de Estudios Previos, Proyectos Pilotos y Aportes de Empresas de Distribución en Ecuador	34
3 Desarrollo	36
3.1 Alcance en función de los tipos de clientes	36
3.1.1 Justificación del Alcance	36
3.1.2 Análisis Comparativo del Consumo Eléctrico	37
3.2 Metodología para la evaluación de la capacidad de transformadores	37
3.2.1 Demanda máxima unitaria proyectada $DMUp$	38
3.2.2 Determinación de factor de potencia para clientes fpc	41
3.2.3 Determinación de factor de coincidencia fc	41
3.2.4 Determinación de la demanda máxima unitaria de cocinas de inducción $DMUci$ 42	
3.2.5 Determinación del factor de coincidencia para las cocinas de inducción $fcci$ 44	
3.2.6 Determinación del factor de potencia para cocinas de inducción $fpci$	44
3.2.7 Determinación de alumbrado público AP	45
3.2.8 Determinación de cargas especiales CE	45
3.2.9 Determinación del factor de sobrecarga μ	46
3.3 Metodología para la evaluación del FDV en las redes secundarias	46
3.3.1 Límites normativos de caída de tensión aplicados por CENTROSUR	49
3.4 Elección de los transformadores a evaluar	50
3.5 Recopilación de datos actuales de la red	50
3.5.1 TRANSFORMADOR ESTRATO B	51
3.5.2 LINEA DE DISTRIBUCIÓN ASOCIADO AL TRANSFORMADOR DEL ESTRATO B	52
3.5.3 TRANSFORMADOR ESTRATO C	54
3.5.4 LINEA DE DISTRIBUCIÓN ASOCIADO AL TRANSFORMADOR DEL ESTRATO C	55

3.5.5	TRANSFORMADOR ESTRATO D	59
3.5.6	LINEA DE DISTRIBUCIÓN ASOCIADO AL TRANSFORMADOR DEL ESTRATO D.....	60
3.6	Levantamiento de información en campo en transformadores de distintos estratos	63
4	Evaluación del impacto de las cocinas de inducción en la red eléctrica antes y después de su implementación.....	71
4.1	Evaluación del escenario actual de la red.....	74
4.1.1	Modelamiento de la red y simulación del caso de estudio en ETAP.....	74
4.1.1.1	Estrato B.....	74
4.1.1.2	Estrato C.....	76
4.1.1.3	Estrato D.....	79
4.1.2	Cálculo de la capacidad del transformador en el estado actual.....	82
4.1.2.1	Utilización del software Julia en el escenario actual	82
4.2	Evaluación de escenarios de carga con implementación de cocinas de inducción	83
4.2.1	Modelamiento de la red y simulación del caso de estudio	83
4.2.1.1	Estrato B.....	84
4.2.1.2	Estrato C.....	85
4.2.1.3	Estrato D.....	88
4.2.2	Cálculo de la capacidad del transformador con la incorporación total de cocinas a inducción	91
4.2.3	Utilización del software Julia con la incorporación total de cocinas de inducción	91
5	Análisis de resultados.....	92
5.1	Análisis de resultados de las encuestas por estrato	92
5.2	Impacto en la demanda y capacidad de la red.....	93
5.3	Comparación de escenarios:	94
5.3.1	Estado actual de la red con respecto al estado de la red ante la implementación total de cocinas a inducción.....	94
5.4	Validación de modelos computacionales	97
5.4.1	Validación de Caída de Tensión - Estrato B (Estado Actual).....	97
5.4.2	Validación de Caída de Tensión - Estrato C (Estado Actual).....	98
5.4.3	Validación de Caída de Tensión - Estrato D (Estado Actual).....	99

5.4.4	Validación de Caída de Tensión - Estrato B (Implementación total de cocinas de inducción).....	100
5.4.5	Validación de Caída de Tensión - Estrato C (Implementación total de cocinas de inducción).....	100
5.4.6	Validación de Caída de Tensión - Estrato D (Implementación total de cocinas de inducción).....	102
5.5	Identificación de sobrecargas y problemas en la calidad de la energía.....	103
6	Conclusiones y recomendaciones	104
6.1	Resumen de hallazgos clave.....	104
6.2	Medidas propuestas para optimizar la red eléctrica	105
6.3	Propuestas de mejora de la calidad de la energía.....	106
6.4	Líneas de investigación futura.....	107
6.4.1	Evaluación de la calidad de energía en redes residenciales:.....	107
6.4.2	Evaluación de tecnologías Smart Grid aplicadas al uso de cocinas de inducción en diferentes estratos:	107
6.4.3	Integración de tecnologías complementarias:.....	107
6.5	Conclusiones generales.....	108
	Referencias	110
	Anexos	114
6.6	Anexo A: Tabulación de Encuestas.....	114
6.6.1	Encuestas Estrato B	114
6.6.2	Encuestas Estrato C	117
6.6.3	Encuestas Estrato D	120
6.7	Anexo B: Cuadro de demandas máximas diversificadas EERCS	123
6.8	Anexo C: Código de programación implementado en Julia para determinar la cargabilidad de los transformadores en los diferentes estratos	124

Índice de figuras

Figura 2.1 Funcionamiento de la cocina de inducción.	20
Figura 2.2 Comparación entre cocina de gas, eléctrica resistiva y de inducción respectivamente.	23
Figura 2.3 Explicación del funcionamiento de una cocina a inducción.....	27
Figura 3.1. Fotografía tomada al transformador TR_3F_29641 del estrato B.	51
Figura 3.2. Imagen tomada desde el portal Geovisor del transformador TR_3F_29641 del estrato B.	51
Figura 3.3. Modelamiento de la red de distribución asociada al transformador TR_3F_29641 del estrato B.	52
Figura 3.4. Fotografía tomada al transformador TR_1F_3513 del estrato C.....	54
Figura 3.5. Imagen tomada desde el portal Geovisor del transformador TR_1F_3513 del estrato C.....	54
Figura 3.6. Modelamiento de la red de distribución asociada al transformador TR_1F_3513 del estrato C.	55
Figura 3.7. Fotografía tomada al transformador TR_1F_25947del estrato D.....	59
Figura 3.8. Imagen tomada desde el portal Geovisor del transformador TR_1F_25947 del estrato D.....	59
Figura 3.9. Modelamiento de la red de distribución asociada al transformador TR_1F_25947 del estrato D.	60
Figura 3.10. Resultados de tipo de cocina para estrato B.....	65
Figura 3.11. Resultados del motivo principal de elección del tipo de cocina para estrato B.	65
Figura 3.12. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato B.	65
Figura 3.13. Resultados de últimas interrupciones en el servicio eléctrico en los últimos seis meses para estrato B.....	66
Figura 3.14. Resultados para fluctuaciones en estrato B.....	66
Figura 3.15. Resultados sobre opinión de suficiencia energética en estrato B.	66
Figura 3.16. Resultados de tipo de cocina para estrato C.	67
Figura 3.17. Resultados del motivo principal de elección del tipo de cocina para estrato C.	67
Figura 3.18. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato C.	67
Figura 3.19. Resultados de últimas interrupciones en el servicio eléctrico en los últimos seis meses para estrato C.	68
Figura 3.20. Resultados para fluctuaciones en estrato C.....	68
Figura 3.21. Resultados sobre opinión de suficiencia energética en estrato C.	68
Figura 3.22. Resultados de tipo de cocina para estrato D.	69
Figura 3.23. Resultados del motivo principal de elección del tipo de cocina para estrato D.	69
Figura 3.24. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato D.	69
Figura 3.25. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato D.	70
Figura 3.26. Resultados para fluctuaciones en estrato D.....	70
Figura 3.27. Resultados sobre opinión de suficiencia energética en estrato D.	70
Figura 4.1. Diagrama metodológico del análisis desarrollado en el estudio.....	72
Figura 4.2 Diagrama del sistema de distribución estrato B simulado en ETAP en estado actual.....	75
Figura 4.3 Diagrama del sistema de distribución estrato C simulado en ETAP en estado actual.....	77

Figura 4.4 Diagrama del sistema de distribución estrato D simulado en ETAP en estado actual..... 80

Figura 4.5 Diagrama del sistema de distribución estrato B simulado en ETAP, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción. 84

Figura 4.6 Diagrama del sistema de distribución estrato C simulado en ETAP, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción. 85

Figura 4.7. Diagrama del sistema de distribución estrato D simulado en ETAP, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción. 89

Índice de tablas

Tabla 2.1 Eficiencia energética comparativa de tecnologías de cocción [8]..... 21

Tabla 2.2 Impacto ambiental global de las tecnologías de cocción [8]..... 22

Tabla 2.3 Comparación de costos entre tecnologías de cocción [10] [11] [12]. 24

Tabla 2.4 Tabla de Innovaciones Recientes. 26

Tabla 3.3.1 Comparación del Consumo Eléctrico Promedio por Tipo de Edificación[28],[29],[30]. 37

Tabla 3.2 Descripción de cada término de la ecuación (3.1). 38

Tabla 3.3: Demanda Máxima Unitaria Proyectada según el área media de lotes y el tipo de usuario en zonas urbanas y rurales para EERSSA. 39

Tabla 3.4: Categoría de Estrato de Consumo y Escalas de Consumo para EEQ. 40

Tabla 3.5 Evaluación de la demanda máxima unitaria según estrato en la Empresa Eléctrica Quito (EEQ). 40

Tabla 3.6 Valores de consumo mínimo y máximo por categoría de estrato considerados en la EEASA. 40

Tabla 3.7 Valores de consumo mínimo y máximo por categoría de estrato considerados en la EEASA. 41

Tabla 3.8 Factores de potencia sugeridos para clientes por empresa eléctrica distribuidora. 41

Tabla 3.9 Factor de coincidencia (p.u.) para clientes residenciales de la EERCS. 42

Tabla 3.10 Factor de coincidencia para clientes residenciales de la EEQ. 43

Tabla 3.11 Factor de coincidencia para Cocinas de Inducción para la EERCS. 44

Tabla 3.12 Factor de coincidencia para Cocinas de Inducción de la EEASA..... 45

Tabla 3.13 Factores de potencia sugeridos para cocinas de inducción por empresa eléctrica distribuidora. 45

Tabla 3.14 Factor de sobrecarga de empresas eléctricas a nivel nacional. 46

Tabla 3.15 Factor de Caída de voltaje para cable desnudo ACRS. 47

Tabla 3.16 Factor de Caída de voltaje para cable 5005. 48

Tabla 3.17 Factor de Caída de voltaje para cable ASC. 48

Tabla 3.18 Factor de Caída de voltaje para cable de Cobre. 49

Tabla 3.19 Límites técnicos de caídas de voltaje aceptadas por la EERCS. 49

Tabla 4.1 Tabla de conductores utilizada en los sistemas de Distribución de la EERCS..... 73

Tabla 4.2 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato B, en estado actual. 76

Tabla 4.3 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato B, en estado actual. 76

Tabla 4.4 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato C en estado actual. 78

Tabla 4.5 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato C en estado actual. 79

Tabla 4.6 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato D en estado actual. 81

Tabla 4.7 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato D en estado actual. 82

Tabla 4.8 Resultados calculados mediante Julia del estado de los transformadores con inyección total de cocinas a inducción.	83
Tabla 4.9 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato B, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.	85
Tabla 4.10 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato B, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.	85
Tabla 4.11 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato C, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.	87
Tabla 4.12 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción. estrato C.	88
Tabla 4.13 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato D, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.	90
Tabla 4.14 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato D, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.	90
Tabla 4.15 Resultados calculados mediante Julia del estado de los transformadores con inyección total de cocinas a inducción.	91
Tabla 5.1 Comparación de la caída de tensión acumulada en el estrato B: escenario sin cocinas vs con cocinas de inducción, resultados simulados en ETAP y calculados en Excel.	94
Tabla 5.2 Comparación de la caída de tensión acumulada en el estrato C: escenario sin cocinas vs con cocinas de inducción, resultados simulados en ETAP y calculados en Excel.	95
Tabla 5.3 Comparación de la caída de tensión acumulada en el estrato D: escenario sin cocinas vs con cocinas de inducción, resultados simulados en ETAP y calculados en Excel.	96
Tabla 5.4 Comparación de cargabilidad y caída de tensión por estrato: escenario actual vs implementación completa de cocinas de inducción	96
Tabla 5.5. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato B (estado actual).....	97
Tabla 5.6. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato C (estado actual).....	98
Tabla 5.7. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato D (estado actual).....	99
Tabla 5.8. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato B (implementación total de cocinas de inducción).....	100
Tabla 5.9. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato C (implementación total de cocinas de inducción).....	101
Tabla 5.10. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato D (implementación total de cocinas de inducción).....	102

Agradecimientos

Al culminar esta importante etapa de mi formación, deseo expresar mi profundo agradecimiento a quienes me acompañaron y brindaron su apoyo en cada fase de este proyecto de titulación.

Al Ing. Esteban Albornoz, mi tutor guía, por su compromiso, su orientación precisa y su constante motivación, que no solo enriquecieron esta tesis, sino también avivaron mi interés por los temas abordados.

A la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cuenca, y a su cuerpo docente, por su dedicación y vocación en cada clase, que me permitió consolidar conocimientos técnicos y cultivar un pensamiento crítico y profesional.

A mis compañeros y amigos, por su respaldo generoso y su compañía sincera, que hicieron de este camino académico una experiencia compartida, más llevadera y enriquecedora.

Dorian

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía espiritual y mi fuerza inquebrantable. Su presencia iluminó mis pasos con esperanza y propósito, sosteniéndome en los momentos de incertidumbre. A Él, toda la gloria por este logro.

A mis padres, Ana Lucía y Daniel, por su amor incondicional, su sabiduría y su constante apoyo, que han sido el fundamento de mis sueños y la fortaleza que me ha permitido avanzar con confianza hacia mis metas.

A mi abuelita Rosario, cuyo recuerdo me acompaña hoy y siempre. Aunque no está físicamente, cada logro lleva implícita su presencia amorosa y el cariño que sembró en mí.

A mis hermanos, por su compañía, apoyo silencioso e inspiración en los días difíciles, que me han impulsado a crecer personal y académicamente.

Y, con especial afecto, a Ximena A., cuyo gesto en mi primer trabajo final sembró en mí una profunda pasión por el aprendizaje. Le deseo de corazón que la vida le devuelva con generosidad todo lo que ha brindado y sembrado en los demás.

Dorian

Agradecimientos

Al llegar a esta etapa final de mi carrera, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca y a todos los docentes que formaron parte de nuestra formación, especialmente al Ing. Esteban Albornoz Vintimilla por su apoyo, tiempo y confianza en nuestro proyecto, y al Ing. Danny Ochoa Correa, por ser un pilar clave en esta etapa.

Agradezco también a los amigos y compañeros que me acompañaron en este recorrido, en especial a Dorian Lima, con quien realicé este trabajo, y a Estefanía Pesantez, Daniel Barrionuevo, Galo Padrón, Diego Zarie, y todos quienes fueron parte del proceso. Les deseo el mayor de los éxitos.

Finalmente, gracias a mi familia. A mis padres, por su amor, esfuerzo y enseñanzas; a mis hermanos, por su compañía, apoyo y cariño. Cada paso lo he dado con ustedes en el corazón.

Carlos

Dedicatoria

Dedico este trabajo, y todo el esfuerzo que conlleva, principalmente a mi familia. A mi padre, Carlos, quien desde mi niñez me introdujo al mundo de la ingeniería eléctrica. Ha sido mi guía, mi fortaleza y mi ejemplo de trabajo, dedicación y principios. Gracias, papá, por tu apoyo incondicional y por caminar a mi lado, incluso en los momentos más difíciles. A mi madre, Dalila, cuyo amor ha sido mi refugio y cuya presencia ha iluminado cada paso. Gracias por tu paciencia, por tus cuidados y por ser ese motor silencioso que siempre me impulsa.

A mis hermanos, Marisol y David, por estar presentes en cada etapa de este camino, en las alegrías y en los momentos duros. Su compañía y cariño han sido clave para mantenerme firme.

Con todo mi corazón, también dedico este trabajo a mis ángeles en el cielo: mi abuelito Arturo, mis abuelitas Zoila y Mélida, y Mayta. Su recuerdo, sus consejos y su amor siguen guiando mi vida.

A mis tíos, primos y familiares que me han acompañado con palabras de aliento, apoyo desinteresado y cariño sincero: gracias por ser parte de este logro.

Y un agradecimiento muy especial a Carolina Murillo y Christian Toapanta, por su compañía en los momentos más difíciles. Su apoyo, lealtad y cariño han sido un verdadero regalo. Gracias por estar, por creer en mí y por dar tanto sin esperar nada cambio.

Carlos

1 Generalidades

1.1 Introducción

En los últimos años, la transición hacia el uso eficiente de energía eléctrica en el sector residencial ha tomado gran relevancia, especialmente con la implementación de cocinas de inducción como alternativa al gas licuado de petróleo (GLP). En Ecuador, esta medida ha sido impulsada como parte de un esfuerzo por reducir la dependencia de combustibles fósiles, mejorar la eficiencia energética y disminuir las emisiones contaminantes. Sin embargo, la adopción masiva de estas tecnologías plantea un desafío significativo para la infraestructura de distribución eléctrica, particularmente en lo que respecta a la capacidad operativa de los transformadores de media y baja tensión (MT/BT) y la estabilidad del suministro eléctrico.

El crecimiento sostenido de la demanda energética en zonas residenciales genera interrogantes sobre la capacidad de la red para absorber este cambio sin comprometer su operatividad. En este contexto, es fundamental evaluar si la infraestructura actual de la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A. (EERCS) está preparada para afrontar la carga adicional generada por la electrificación de la cocción en los hogares. El comportamiento de los transformadores, su nivel de cargabilidad y la posibilidad de sobrecargas representan aspectos clave a analizar para garantizar un servicio eficiente y confiable.

Este estudio se enfoca en evaluar el impacto técnico y energético de la adopción masiva de cocinas de inducción en la red de distribución, considerando tres zonas residenciales con características socioeconómicas diferenciadas. La metodología contempla la recolección de datos históricos de consumo eléctrico, el levantamiento de información de campo y la simulación de escenarios de demanda utilizando software especializado. Con este análisis, se busca determinar el grado de afectación en los transformadores de distribución y la capacidad de la red para operar de manera eficiente bajo condiciones de mayor demanda.

Los resultados obtenidos permitirán identificar posibles sobreutilizaciones o subutilizaciones de la infraestructura eléctrica, optimizar el dimensionamiento de los transformadores y proponer estrategias para mitigar el impacto de esta transición energética en el sistema de distribución. Además, este estudio pretende proporcionar información técnica clave que contribuya a la planificación y modernización de la red eléctrica, asegurando una integración sostenible de las cocinas de inducción sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Este análisis no solo resulta relevante desde el punto de vista técnico, sino que también tiene un impacto en la planificación energética del país, ya que permitirá establecer líneas de acción para fortalecer la infraestructura eléctrica y garantizar su estabilidad ante el crecimiento progresivo de la demanda residencial. En un contexto donde la eficiencia y la sostenibilidad son pilares fundamentales del desarrollo energético, contar con una infraestructura adecuada es esencial para garantizar un servicio confiable y eficiente para los usuarios.

En este sentido, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo afecta la implementación total de cocinas de inducción en el sector residencial a la cargabilidad de los transformadores de distribución y a la calidad del servicio eléctrico, específicamente en términos de caída de tensión, en los estratos analizados?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Evaluar el impacto técnico y energético de la implementación de cocinas eléctricas de inducción en zonas residenciales, determinando su influencia en el consumo energético y la capacidad operativa en la infraestructura de distribución.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar la recolección de datos históricos sobre el consumo eléctrico y la capacidad de los transformadores en las redes de estudio.
- Levantar información de campo sobre la infraestructura eléctrica y la adopción de cocinas de inducción en las zonas seleccionadas.
- Analizar la cargabilidad de los transformadores utilizando la metodología propuesta en estudios previos, como el análisis de la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A.
- Simular diferentes escenarios de demanda eléctrica con y sin la adopción de cocinas de inducción, utilizando software especializado.

1.3 Alcance

El estudio analiza la capacidad de tres transformadores de distribución y su red de baja tensión asociada en distintos estratos de una zona residencial de la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A., evaluando el impacto de la adopción de cocinas de inducción en su totalidad y empleando datos históricos, levantamientos de campo y simulaciones de escenarios de demanda. La recolección de datos se basa en registros de consumo eléctrico de empresas distribuidoras, incluyendo el consumo energético por hogar y la capacidad de los transformadores. Este análisis se realiza en el contexto del Programa de Cocción Eficiente (PEC), implementado por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables en 2018. El PEC busca optimizar la eficiencia en el uso de energía en los hogares, alentando prácticas de consumo más sostenibles y la eficiencia energética. El levantamiento de información en campo examina el estado actual de transformadores y líneas de baja tensión en áreas residenciales seleccionadas, verificando la presencia y uso de cocinas de inducción en los hogares para obtener datos esenciales en los análisis y simulaciones. Con el uso de software especializado, se modela la red eléctrica existente, integrando transformadores y líneas de media y baja tensión para simular escenarios de adopción completa de cocinas de inducción y evaluar la capacidad actual de los transformadores, según el trabajo de titulación “Análisis de cargabilidad de transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A.”. Este análisis permite identificar sobrecargas y cuellos de botella potenciales en la red, sobre cuya base se formularán propuestas para mejorar la infraestructura, ampliando la capacidad de los transformadores y líneas de distribución, con el fin de garantizar la calidad del servicio frente al incremento en la demanda.

1.4 Justificación

La implementación masiva de cocinas de inducción es una política clave para reducir la dependencia de GLP y fomentar el uso de energía eléctrica de manera eficiente. Sin embargo, la mayor demanda energética puede provocar sobrecargas en los transformadores y comprometer la estabilidad de la red eléctrica si no se realizan las adecuaciones necesarias. Este estudio es esencial para asegurar que la red de distribución esté preparada para soportar el incremento de la demanda sin afectar la calidad del suministro, proporcionando un marco técnico que apoye la planificación de futuras expansiones y ajustes en la infraestructura eléctrica.

1.5 Antecedentes

A nivel mundial, la transición hacia la cocción eléctrica (e-cooking) ha sido impulsada por la necesidad de reducir el uso de combustibles contaminantes como la leña y el carbón, que generan graves impactos ambientales y sanitarios. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), en 2021, aproximadamente 2,400 millones de personas aún dependían de combustibles sólidos para cocinar, lo que contribuye a la deforestación y a la contaminación del aire en interiores, responsable de 3.2 millones de muertes prematuras al año [1].

Países como Reino Unido, Estados Unidos, Japón y China han liderado la investigación en tecnologías de cocción eléctrica eficientes, promoviendo su integración con redes eléctricas inteligentes y fuentes renovables. En África y Asia, se han desarrollado iniciativas de mini redes solares para facilitar el acceso a la cocción eléctrica en comunidades rurales. Sin embargo, persisten desafíos económicos y culturales que han ralentizado su adopción en estas regiones [1].

El avance de la cocción eléctrica en países en desarrollo ha demostrado beneficios significativos, incluyendo la reducción de emisiones de carbono, la mejora de la calidad del aire y el ahorro de tiempo en la preparación de alimentos. No obstante, factores como el costo inicial de los equipos, la disponibilidad de infraestructura eléctrica adecuada y la resistencia cultural al cambio siguen siendo barreras para su expansión a gran escala [1].

En Ecuador, la evolución del sistema energético ha estado marcada por la búsqueda de soluciones más eficientes y sostenibles, en respuesta a la creciente demanda de energía y la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles. En este contexto, el Programa de Cocción Eficiente (PEC) surgió como una estrategia para fomentar el uso de cocinas de inducción eléctricas en el sector residencial, promoviendo el aprovechamiento de la energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables [2].

El PEC fue establecido formalmente en 2014, mediante el Acuerdo Ministerial No. 230-2014, con el propósito de sustituir progresivamente las cocinas de gas licuado de petróleo (GLP) por cocinas de inducción eléctricas. Para facilitar su adopción, el programa incluyó incentivos tarifarios, créditos a través de las empresas eléctricas y convenios con fabricantes nacionales e importadores. Se estableció como meta beneficiar a alrededor de tres millones de hogares, con una proyección de 950,218 cocinas instaladas en todo el país [3].

En sus primeros años de implementación, el programa experimentó un notable crecimiento. En 2015, las ventas alcanzaron un pico de aproximadamente 25,000 unidades mensuales, lo que evidenciaba una respuesta favorable por parte de la población. Sin embargo, a partir de 2016, la tendencia se tornó decreciente debido a factores económicos y políticos, afectando

la competitividad de las cocinas de inducción [2]. Un punto de inflexión importante ocurrió en 2018, cuando se eliminó el Impuesto a los Consumos Especiales (ICE) a las cocinas de gas, reduciendo su precio en un 40% y desincentivando la adopción de cocinas eléctricas[3].

El análisis de impacto del programa refleja una brecha entre las metas iniciales y la realidad del mercado. Para octubre de 2018, se habían vendido 595,393 unidades dentro del programa y otras 190,270 fuera de él, cifras que, aunque significativas, aún estaban lejos del objetivo nacional [3]. Además, con el fin del incentivo tarifario en diciembre de 2018, las familias que adquirieron cocinas de inducción dejaron de recibir subsidios en el costo de la electricidad, lo que afectó la percepción del beneficio del programa [3].

Si bien la accesibilidad económica fue un factor clave en la adopción de esta tecnología, la capacidad de la infraestructura eléctrica también jugó un papel fundamental. La masificación de las cocinas de inducción generó un incremento en el consumo energético residencial, lo que implicó desafíos técnicos para la red de distribución eléctrica[3]. En particular, las empresas eléctricas identificaron incrementos en la carga de los transformadores de distribución, lo que evidenció la necesidad de realizar ajustes en la planificación y dimensionamiento de la infraestructura [2].

El impacto de este programa en la red eléctrica de media y baja tensión (MT/BT) sigue siendo un aspecto que requiere más estudios y análisis detallados. A pesar de los informes existentes sobre la adopción de cocinas de inducción, no se han desarrollado investigaciones exhaustivas que permitan identificar cómo afecta este cambio a los transformadores de distribución en diferentes estratos socioeconómicos. Tampoco se han realizado simulaciones detalladas para prever los efectos de una mayor penetración de la tecnología y su impacto en la estabilidad del sistema eléctrico [3].

Otro de los grandes retos del programa ha sido su sostenibilidad financiera. Durante su implementación, el PEC requirió una inversión significativa, con más de 310 millones de dólares destinados a pagos a proveedores y recuperación de cartera[3]. Sin embargo, con la caída en las ventas y el fin de los subsidios en el año 2018, la estructura financiera del programa se debilitó, lo que llevó a la reestructuración de las estrategias de implementación y a la reconsideración de su continuidad a largo plazo [2].

Se debe destacar que a pesar de que no existe hoy en día un subsidio como tal el Ministerio de Energía y Minas ha ampliado el beneficio tarifario del Programa de Eficiencia Energética, mediante el cual las familias registradas podrán acceder a hasta 80 kW mensuales gratuitos, previa verificación del uso de la cocina de inducción[4]. A pesar de estos desafíos, la electrificación de la cocción sigue siendo una prioridad para la eficiencia energética en Ecuador [3]. No obstante, aún existen vacíos en la investigación sobre la capacidad real de la infraestructura eléctrica para soportar un cambio generalizado en los hábitos de consumo[2]. En este sentido, es fundamental evaluar si la red de distribución actual es capaz de absorber el incremento de demanda sin comprometer la calidad del servicio eléctrico y, de ser necesario, identificar acciones correctivas para optimizar la operación de los transformadores y líneas de distribución[3].

2 Marco teórico

2.1 Funcionamiento y beneficios de las cocinas de inducción

2.1.1 Principio de funcionamiento de las cocinas de inducción

Las cocinas de inducción operan bajo el principio de inducción electromagnética, descubierto por Michael Faraday en 1831. Una bobina de cobre, situada bajo una superficie de vitrocerámica, genera un campo magnético alterno cuando es atravesada por corriente eléctrica. Este campo magnético induce corrientes de Foucault en recipientes fabricados con materiales ferromagnéticos, produciendo calor directamente en el recipiente sin calentar la superficie de la cocina [5].

La ecuación de Faraday (2.1) describe este fenómeno, donde E representa el campo eléctrico y B la densidad de flujo magnético (Faraday, 1831). Este principio asegura una transferencia eficiente de energía, ya que el calor se genera únicamente en el recipiente, minimizando las pérdidas de energía [6].

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

La frecuencia de operación de las cocinas de inducción varía entre 20 kHz y 100 kHz, rango que garantiza una alta eficiencia energética y una rápida respuesta térmica, según Cheng et al [6].

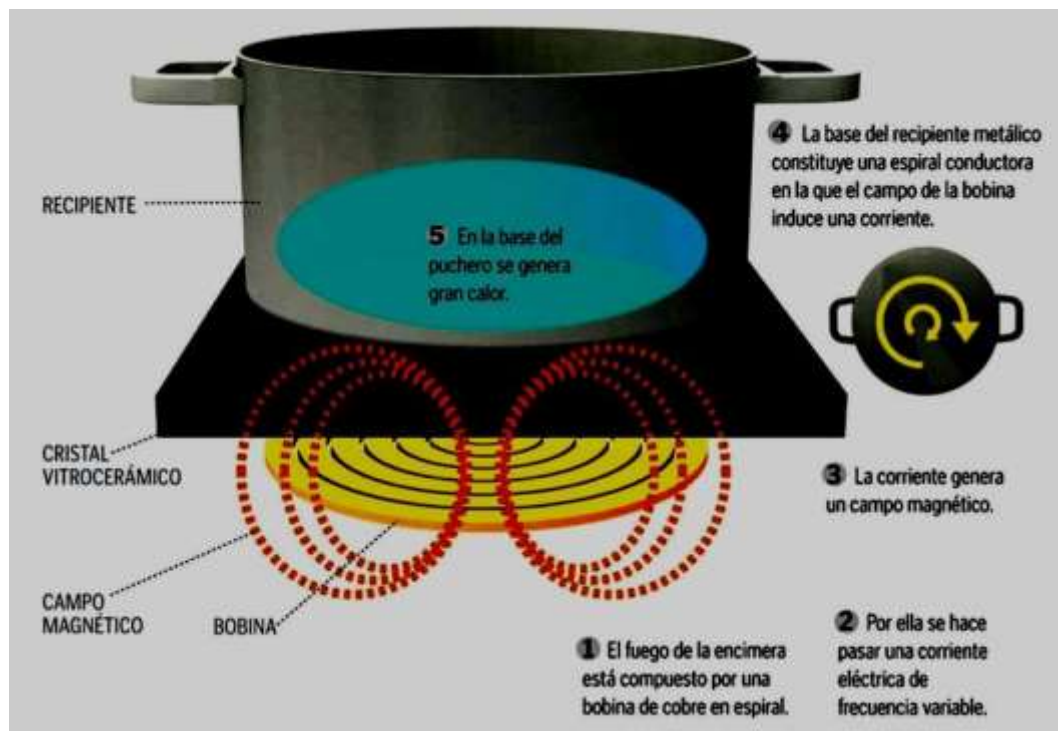


Figura 2.1 Funcionamiento de la cocina de inducción.

2.1.2 Eficiencia energética de las cocinas de inducción

Las cocinas de inducción se destacan por su alta eficiencia energética en comparación con otros métodos de cocción como el gas o las resistencias eléctricas. Mientras que una cocina de gas convierte aproximadamente el 40-55% de la energía en calor útil para la cocción, las cocinas de inducción alcanzan valores cercanos al 90% [7]. Esto se debe a la transferencia directa de energía al recipiente mediante corrientes de Foucault, minimizando las pérdidas de calor al ambiente.

La eficiencia térmica η de una cocina de inducción puede calcularse como:

$$\eta = \frac{Q_{util}}{Q_{total}} \times 100\% \tag{2.2}$$

Donde:

- Q_{util} es la cantidad de calor absorbida por el alimento
- Q_{total} es la energía eléctrica consumida por la cocina

Según el estudio de IRENA [8], las cocinas de inducción no solo mejoran la eficiencia energética, sino que también acortan el tiempo de cocción. Esto contribuye a una reducción significativa en el consumo de electricidad, disminuyendo los tiempos de cocción hasta en un 50% en comparación con las cocinas convencionales. Al calentar directamente el utensilio, evitan la pérdida de calor, maximizando así la energía utilizada durante la cocción

Tabla 2.1 Eficiencia energética comparativa de tecnologías de cocción [8].

Tipo de cocina	Eficiencia energética (%)
Cocina de gas	40 - 55
Cocina eléctrica resistiva (estufa eléctrica)	65 - 70
Cocina de inducción	85 - 90

2.1.3 Ventajas ambientales y sostenibles

Las cocinas de inducción se destacan por ofrecer múltiples ventajas ambientales, convirtiéndolas en una alternativa preferente frente a métodos tradicionales como el gas licuado de petróleo (GLP) y las resistencias eléctricas. Según el informe de IRENA [8], se proyecta que la adopción masiva de cocinas de inducción podría reducir las emisiones de CO₂ en un 40% para 2040 en comparación con los métodos de cocción convencionales. Esta significativa disminución en las emisiones se atribuye a la alta eficiencia energética de las cocinas de inducción y a su capacidad de integrarse con fuentes de energía renovable.

El uso de cocinas de inducción elimina la combustión directa de combustibles fósiles, reduciendo así los gases de efecto invernadero y los contaminantes domésticos. Un estudio de Ravillard et al. [9] revela que la implementación de estas tecnologías también contribuye a la reducción de la deforestación, disminuyendo la demanda de leña y carbón, especialmente en zonas rurales.

La ecuación (2.3) permite calcular la reducción de emisiones:

$$CO_{2\text{reducido}} = E_{\text{ahorrado}} \times EF_{\text{electricidad}} - E_{\text{gas}} \times EF_{\text{GLP}} \quad (2.3)$$

Donde:

- E_{ahorrado} es la energía no consumida gracias a la eficiencia de la cocina de inducción.
- $EF_{\text{electricidad}}$ es el factor de emisión de la electricidad.
- EF_{GLP} es el factor de emisión del gas.

La Tabla 2.2 del informe de IRENA [8] ilustra el impacto ambiental global de diversas tecnologías de cocción a nivel de hogar, resaltando cómo el diseño de políticas de cocina doméstica puede alinearse con los Compromisos de Contribución Nacionalmente Determinados (NDCs) para fomentar el uso de energías limpias. Los valores presentados reflejan el consumo energético anual y las emisiones de CO₂ asociadas, subrayando la menor huella de carbono de las cocinas de inducción en comparación con otras tecnologías. Es crucial considerar las emisiones de CO₂ en el contexto de la matriz eléctrica específica de cada país, puesto que la capacidad para reducir estas emisiones mediante cocinas de inducción depende en gran medida de la proporción de electricidad generada a partir de fuentes renovables. Este factor varía ampliamente entre regiones, siendo influenciado por la infraestructura energética local y las políticas vigentes sobre energía renovable, lo que significa que el impacto ambiental de adoptar tecnologías de cocción limpia puede diferir significativamente de un país a otro.

Tabla 2.2 Impacto ambiental global de las tecnologías de cocción [8].

Tecnología	Emisiones CO ₂ (kg/año)	Uso de recursos	Consumo energético (kWh/año)	Impacto
Cocina de gas	290	Alta	500	Afecta calidad del aire interior
Cocina eléctrica resistiva	220	Media	400	Genera mayor demanda energética
Cocina de inducción	150	Baja	250	No genera contaminantes en interiores

Según datos del Ministerio de Energía de Ecuador, la implementación del PEC permitió reducir en 120,000 toneladas las emisiones de CO₂ en los primeros cinco años de ejecución. Además, estudios realizados en comunidades rurales han demostrado que la adopción de cocinas de inducción ha mejorado significativamente la salud respiratoria de la población, en especial de mujeres y niños, quienes están más expuestos a la contaminación del aire en interiores[3].



Figura 2.2 Comparación entre cocina de gas, eléctrica resistiva y de inducción respectivamente.

Fuente: Elaboración propia (2025).

2.1.4 Beneficios para el usuario

Las cocinas de inducción ofrecen múltiples ventajas para los usuarios en términos de seguridad, ahorro de tiempo, comodidad y eficiencia económica. Según estudios recientes, estas cocinas no solo reducen el tiempo de cocción en comparación con las cocinas tradicionales de gas y eléctricas resistivas, sino que también disminuyen el riesgo de accidentes en el hogar debido a la ausencia de llama abierta y la generación de calor directo en el recipiente de cocción [10].

Ahorro de tiempo y comodidad

Las cocinas de inducción permiten una cocción más rápida debido a su eficiencia en la transferencia de calor. De acuerdo con un estudio de eficiencia energética, el tiempo para hervir un litro de agua en una cocina de inducción es de aproximadamente 3-4 minutos, en comparación con los 8-10 minutos que toma en una cocina de gas y los 10-12 minutos en una cocina eléctrica convencional [10].

Seguridad

- Eliminación del riesgo de fugas de gas.
- Superficies frías al tacto, reduciendo el riesgo de quemaduras.
- Apagado automático cuando no se detecta un recipiente adecuado[10].

Impacto económico

En Ecuador el uso de cocinas de inducción puede generar ahorros significativos en el gasto de energía doméstica. Según datos del Programa de Eficiencia Energética para la Cocción (PEC), el uso mensual de una cocina de inducción en un hogar promedio de 4 personas representa un consumo adicional de 80 kWh, lo que equivale a un gasto eléctrico aproximado de 4 dólares. Este costo es significativamente menor que el costo de 3 bombonas de GLP sin subsidio, que varía entre 45 y 72 dólares, dependiendo de las fluctuaciones del mercado internacional [11] [12].

Tabla 2.3 Comparación de costos entre tecnologías de cocción [10] [11] [12].

Tecnología de cocción	Consumo mensual	Costo mensual (USD)
Cocina de gas	3 bombonas GLP (Sin subsidio)	\$45.00 - \$72.00
Cocina eléctrica	150 kWh	\$9.00 - \$11.00
Cocina de inducción	80 kWh	\$4.00 - \$5.00

Preferencias y aceptación del usuario

Estudios de mercado en la ciudad de Cuenca, Ecuador han identificado varios factores que influyen en la aceptación de las cocinas de inducción:

- **Percepción positiva:** El 77.87% de los encuestados indicaron conocer sobre la tecnología de inducción, destacando su eficiencia y seguridad [10].
- **Barreras para la adopción:** A pesar del conocimiento generalizado, solo el 6.13% de los encuestados han realizado la compra, citando preocupaciones sobre el costo inicial y la compatibilidad con utensilios existentes [10].
- **Factores de compra:** La seguridad (48%), la rapidez en la cocción (32%) y la reducción en costos operativos (20%) fueron identificados como los principales motivadores para la compra [10].

2.1.5 Limitaciones y desafíos

Aunque las cocinas de inducción ofrecen múltiples beneficios, también presentan ciertas limitaciones y desafíos que pueden influir en su adopción y uso. Los principales aspectos a considerar:

Costo inicial elevado

El costo inicial de las cocinas de inducción puede ser hasta un 60% mayor que el de las cocinas de gas tradicionales. Una cocina de inducción de calidad cuesta alrededor de 300 USD, mientras que las cocinas de gas rondan los 120 USD. Además, los utensilios compatibles, que deben ser ferromagnéticos, incrementan aún más el gasto, lo que representa un obstáculo significativo para familias de bajos ingresos[13].

Un análisis financiero realizado muestra que, aunque la inversión inicial es alta, el ahorro en consumo energético puede amortizarse en un plazo de 3 a 5 años dependiendo de la tarifa eléctrica local y los subsidios disponibles.

Requerimientos eléctricos

Las cocinas de inducción demandan instalaciones eléctricas adecuadas, preferiblemente con una conexión de 220V y una capacidad mínima de 30A, lo cual no está disponible en muchas viviendas antiguas. El estudio de Garay Aquino (2021) destaca que el costo promedio de una adecuación eléctrica en Perú y en Latinoamérica en general asciende a un promedio de 150 USD, sumando un costo adicional considerable[13].

Efectos en la calidad de energía y distorsión armónica

Las cocinas de inducción, al operar con convertidores de alta frecuencia, generan armónicos que se ubican fuera del rango tradicionalmente evaluado en sistemas eléctricos. Aunque su impacto individual puede parecer bajo, el uso simultáneo de múltiples equipos similares en un mismo circuito puede provocar distorsión armónica acumulada, afectando la calidad de la señal de voltaje. Esta situación es especialmente crítica en redes residenciales con baja capacidad de filtrado, donde las perturbaciones pueden extenderse y comprometer el funcionamiento de otros equipos sensibles.

Estudios experimentales han demostrado que la distorsión armónica total (THD) en el punto de conexión de cocinas de inducción puede alcanzar valores de hasta 31 % en condiciones sin filtrado. Sin embargo, mediante la implementación de técnicas de mitigación como los filtros activos en derivación (Shunt Active Filters, SAF), estos niveles pueden reducirse a menos del 2 %, mejorando notablemente la forma de onda de corriente y reduciendo el estrés sobre la red. Este tipo de soluciones es especialmente relevante cuando se proyecta una adopción masiva de equipos de cocción por inducción en sectores residenciales[14].

Disponibilidad limitada y barreras de adopción

El mercado de cocinas de inducción es limitado en regiones rurales, donde la oferta de electrodomésticos es baja y los programas de financiamiento son escasos. Datos de encuestas realizadas en la parroquia Cañaribamba de la ciudad de Cuenca muestran que solo un 25% de los hogares en zonas rurales tiene acceso a cocinas de inducción, frente al 60% en áreas urbanas [10].

2.1.6 Tendencias e innovaciones en cocinas de inducción

Las cocinas de inducción han evolucionado notablemente en las últimas décadas, impulsadas por avances tecnológicos, mejoras en eficiencia energética y una creciente demanda de sostenibilidad en el hogar. Este apartado explora en detalle las principales innovaciones y tendencias actuales, respaldadas por estudios académicos y datos técnicos.

Innovaciones tecnológicas

Las cocinas de inducción modernas integran sistemas de control táctil, conectividad Wi-Fi y compatibilidad con asistentes virtuales como Alexa y Google Home. Marcas líderes como Bosch, Siemens y Xiaomi han lanzado modelos que permiten monitorear y ajustar la cocción desde aplicaciones móviles, mejorando la experiencia del usuario.

Además, se han desarrollado bobinas de inducción de alto rendimiento que optimizan la distribución del calor, reduciendo el consumo energético en un 15% comparado con modelos anteriores. Investigaciones muestran que estos sistemas avanzados permiten tiempos de cocción hasta un 30% más rápidos (OREU, 2020)[13].

Tendencia hacia la sostenibilidad y eficiencia

El impulso global hacia energías limpias ha fomentado la integración de cocinas de inducción con sistemas solares domésticos, permitiendo a los usuarios aprovechar la energía renovable. Un estudio de IRENA (2023) revela que el 40% de los nuevos proyectos de electrificación residencial incluyen cocinas de inducción conectadas a paneles solares [8].

Materiales avanzados

Nuevas aleaciones de cobre recubierto permiten el uso de una gama más amplia de utensilios, eliminando la limitación de materiales ferromagnéticos. Además, empresas japonesas están desarrollando superficies de cocción que combinan inducción y resistencia térmica, optimizando el consumo energético en distintos escenarios [13].

Tabla 2.4 Tabla de Innovaciones Recientes.

Innovación	Descripción
Control táctil inteligente	Gestión remota vía app, ajustes precisos y monitoreo en tiempo real
Bobinas de alta eficiencia	Distribución uniforme del calor y ahorro energético del 15%
Integración con energías renovables	Compatible con sistemas solares y redes inteligentes
Materiales de nueva generación	Utensilios de aluminio y cobre compatibles con nuevas bobinas

Análisis de mercado y proyecciones

Se estima que el mercado global de cocinas de inducción crecerá un 8% anual hasta 2030, impulsado por normativas de eficiencia energética y la creciente preferencia de los consumidores por soluciones sostenibles [8].

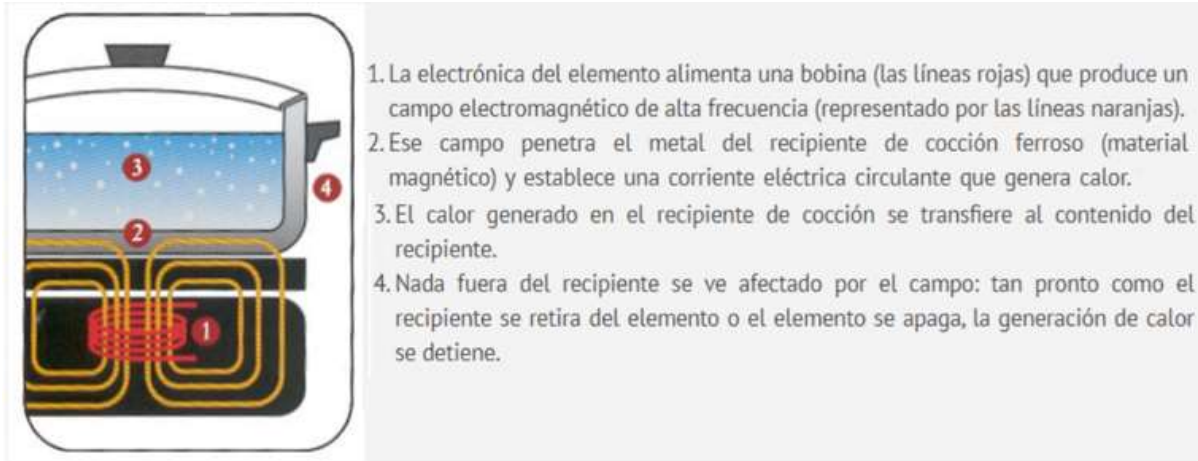


Figura 2.3 Explicación del funcionamiento de una cocina a inducción.

Fuente: <http://www.nicecook.in/facts-about-induction-cookers>

2.2 Normativas y regulaciones

2.2.1 Leyes

Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPPEE)

La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPPEE) establece el marco regulatorio para la prestación del servicio eléctrico en Ecuador, garantizando su accesibilidad, continuidad, calidad y sostenibilidad. Esta normativa define las responsabilidades del Estado en la planificación, regulación y administración del sector eléctrico, asegurando su desarrollo con criterios de eficiencia y sustentabilidad.

La LOSPPEE busca regular la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, promoviendo el uso eficiente de los recursos energéticos y el aprovechamiento de fuentes renovables. Además, busca fortalecer la gobernanza del sector mediante una estructura institucional clara y eficiente, considerando la necesidad de adaptar la infraestructura eléctrica a nuevas demandas residenciales.

Respecto al alcance de la misma, la LOSPPEE regula la participación de los sectores público y privado en la prestación del servicio eléctrico, establece mecanismos de promoción para fuentes renovables y eficiencia energética, y determina lineamientos para la expansión y modernización de la infraestructura eléctrica. También contempla la planificación del servicio eléctrico en zonas rurales y de difícil acceso, asegurando la cobertura equitativa en todo el territorio nacional, con especial atención a la incorporación de tecnologías eléctricas modernas y de alto consumo en el hogar.

La aplicación de esta ley busca la planificación de la red eléctrica y la integración de nuevas cargas, garantizando que la infraestructura de distribución y los transformadores MT/BT sean capaces de soportar la creciente demanda sin comprometer la calidad del suministro[15].

2.2.2 Reglamentos

Reglamento a la ley orgánica de competitividad energética

El Reglamento a la Ley Orgánica de Competitividad Energética (2024) regula el sector eléctrico ecuatoriano, abordando aspectos técnicos esenciales para la infraestructura de distribución MT/BT, crucial ante el aumento de demanda generado por la adopción de cocinas de inducción.

Este reglamento establece obligaciones para empresas de generación, transmisión y distribución, exigiendo calidad, confiabilidad y eficiencia en el suministro. Define al sistema de distribución como redes de hasta 138kV, incluyendo transformadores y sistemas de control, lo que es vital para evaluar el impacto técnico de nuevas cargas como las cocinas de inducción.

La planificación eléctrica considera la expansión de la red, integrando energías renovables y sistemas de almacenamiento, esenciales para garantizar estabilidad ante un consumo creciente. Las normas técnicas abarcan la gestión de costos de operación y mantenimiento, fiscalizadas anualmente, y exigen proyectos de eficiencia energética (NTE-INEN-ISO 50001) que optimicen el uso de la red y aseguren su sostenibilidad.

El reglamento también permite que terceros ejecuten proyectos de expansión, siempre que cumplan con especificaciones técnicas y aprobación de las distribuidoras. La Agencia de Regulación supervisa la conformidad técnica y la viabilidad de la red ante incrementos de demanda, como los derivados de las cocinas de inducción, asegurando que la infraestructura MT/BT se adapte y funcione eficientemente[16].

NEC-SB-IE Instalaciones Eléctricas

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SB) para Instalaciones Eléctricas, emitida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), establece los requisitos técnicos para el diseño, instalación y mantenimiento de instalaciones eléctricas residenciales, garantizando la seguridad de las personas, propiedades y la eficiencia de la infraestructura eléctrica.

El objetivo es definir lineamientos para la instalación eléctrica segura en viviendas, incluyendo sistemas de protección contra choques eléctricos, sobrecorrientes, corrientes de falla y sobrevoltajes, optimizando el consumo energético y previniendo riesgos eléctricos.

El alcance de esta norma cubre instalaciones eléctricas interiores residenciales en edificaciones nuevas, ampliaciones o modificaciones, estableciendo especificaciones sobre circuitos dedicados para equipos de alto consumo, calibres de conductores, tableros de distribución, protecciones y sistemas de puesta a tierra, asegurando la calidad y continuidad del suministro eléctrico[17].

Código: I-DICO-91.1 Instructivo para el trámite de aprobación de diseños de instalaciones eléctricas interiores para demandas inferiores a 12 kw y cargas instaladas menores a 20 kva.

El Instructivo para la Aprobación de Diseños de Instalaciones Eléctricas Interiores para Demandas Inferiores a 12 kW y Cargas Instaladas Menores a 20 kVA, emitido por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A., establece los lineamientos para la correcta presentación, evaluación y aprobación de proyectos eléctricos en edificaciones residenciales y comerciales de baja demanda energética, incluyendo aquellos que incorporan nuevos electrodomésticos de alto consumo.

Tiene como finalidad el regular los procedimientos que deben seguir los ingenieros eléctricos o electrónicos, reconocidos por el Senescyt y en libre ejercicio de la profesión, en la elaboración de estudios técnicos para garantizar la seguridad y eficiencia en las instalaciones eléctricas, considerando la integración de equipos que incrementan la demanda eléctrica en los hogares.

Este instructivo abarca proyectos de instalaciones eléctricas que requieran conexión a la red pública con cargas instaladas menores a 20 kVA y demandas inferiores a 12 kW, siendo de aplicación obligatoria para los profesionales que realizan estudios eléctricos a solicitud de los propietarios de inmuebles. Establece requisitos específicos para la correcta selección de conductores, cálculo de caídas de tensión y dimensionamiento de protecciones eléctricas, asegurando la estabilidad y seguridad del sistema eléctrico ante nuevas cargas residenciales[18].

2.2.3 Reglamentos Técnicos

Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 101 Artefactos electrodomésticos para cocción por inducción

El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101 define estándares de seguridad y eficiencia energética para las cocinas de inducción, fundamentales para asegurar su operatividad eficiente y segura en los hogares de Ecuador. Este marco normativo obliga a que estas cocinas estén construidas con materiales resistentes y diseñadas para minimizar la pérdida de calor, maximizando así su eficiencia energética al nivel de la clase A. Estas regulaciones abarcan las especificaciones técnicas necesarias para que cada unidad funcione de manera óptima, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y reduciendo los costos energéticos para los usuarios.

Además, el reglamento prohíbe la venta de cocinas de inducción que operen por debajo de un voltaje nominal de 180V, así como de cualquier aparato usado o remanufacturado, asegurando que solo dispositivos nuevos y eficientes se encuentren disponibles en el mercado. Esta medida garantiza que las cocinas de inducción no solo cumplan con las expectativas de rendimiento, sino que también apoyen la estabilidad de la red eléctrica, evitando sobrecargas que podrían comprometer la calidad del suministro de energía en los hogares. Fabricantes y distribuidores deben cumplir rigurosamente con estos requisitos para mejorar la infraestructura eléctrica doméstica y promover el consumo eficiente[19].

Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 141 (1R) requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución

El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 141 (1R) establece requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución, necesario para evaluar el impacto de las cocinas de inducción en la red MT/BT.

Este reglamento exige que los transformadores operen de manera segura, con eficiencia energética mínima, y cumplan con normas técnicas de diseño, instalación y mantenimiento. Regula las especificaciones de transformadores monofásicos y trifásicos, asegurando que la infraestructura eléctrica soporte nuevas cargas, como las cocinas de inducción, sin comprometer la calidad del suministro.

Además, prohíbe el uso de transformadores usados o remanufacturados, lo que garantiza que la red esté equipada con equipos adecuados para soportar incrementos de demanda. Las distribuidoras deben cumplir con estos requisitos para mantener la estabilidad de la red ante el aumento de consumo eléctrico[20].

RTE-236 REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 236 “CABLES DE POTENCIA AISLADOS”

El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 236 establece requisitos técnicos para cables de potencia aislados utilizados en media y alta tensión, hasta 500 kV, fundamentales para garantizar una distribución eléctrica segura y eficiente. Este reglamento es crucial ante el aumento de demanda generado por la implementación de cocinas de inducción, ya que regula la fabricación, pruebas de conformidad, rotulado y uso de materiales que no propaguen llamas.

Además, exige que los cables utilizados en instalaciones con alta afluencia de personas tengan bajo contenido de halógenos y baja emisión de humos, asegurando la protección de la infraestructura eléctrica, lo cual es vital para mantener la estabilidad de la red MT/BT frente al incremento de consumo eléctrico[21].

2.2.4 Regulaciones

ARCONEL 001/2020 Distribución y Comercialización de energía eléctrica

La Regulación ARCONEL 001/20 (2023), emitida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), establece directrices para la distribución y comercialización de energía eléctrica en Ecuador. Esta normativa es fundamental para analizar el impacto de las cocinas de inducción en los transformadores MT/BT.

Esta regulación detalla las responsabilidades de las distribuidoras para mantener y expandir la red eléctrica, garantizando la calidad y continuidad del servicio. Exige normas estrictas para la operación y mantenimiento de transformadores, incluyendo análisis de demanda, factibilidad de conexión y adecuaciones técnicas necesarias para asegurar que los transformadores tengan suficiente capacidad y protección adecuada para soportar nuevas cargas.

Además, la regulación norma la relación entre distribuidoras, transmisores y consumidores, promoviendo el desarrollo de una infraestructura eléctrica moderna y adecuada para satisfacer la creciente demanda residencial. Abarca la planificación, operación y mantenimiento de las redes de distribución, estableciendo responsabilidades claras para las empresas eléctricas en cuanto a expandir y optimizar su infraestructura. También define requisitos específicos para la conexión de nuevos consumidores, incluyendo aquellos con equipos eléctricos de alto consumo, y regula los estándares de calidad, medición y facturación para asegurar que las instalaciones residenciales cumplan con parámetros técnicos adecuados[22].

2.2.5 Normas Técnicas

INEN IEC 60335-2-6

La norma INEN IEC 60335-2-6 es la versión ecuatoriana de la norma internacional IEC 60335-2-6, que establece los requisitos de seguridad para cocinas eléctricas, incluidas las de inducción. Su propósito es garantizar una operación segura y sin riesgos de las cocinas, además de asegurar su compatibilidad con las instalaciones eléctricas residenciales. Esta norma busca principalmente proteger a los usuarios de posibles accidentes eléctricos y prevenir sobrecargas en la red, a través de directrices claras para la fabricación, instalación y uso seguro de estos equipos.

El alcance de la norma es amplio, ya que se aplica a cocinas eléctricas fijas, hornillas, parrillas y hornos domésticos, incluyendo también los modelos de inducción. Además, establece pruebas de seguridad fundamentales para verificar la resistencia térmica, el aislamiento eléctrico y la estabilidad mecánica de los equipos.

Los requisitos principales que establece la norma incluyen la seguridad eléctrica, con la definición de límites para la corriente y la tensión, protección contra fugas y cortocircuitos, así como el aislamiento adecuado de los componentes. También establece normas para la estabilidad térmica, lo que implica el uso de materiales resistentes al calor y sistemas de apagado automático en caso de sobrecalentamiento, para evitar accidentes. Además, la norma asegura la compatibilidad de las cocinas con las redes eléctricas, permitiendo su operación en redes monofásicas (220 V) y trifásicas (380 V), siempre que cuenten con circuitos dedicados y protecciones adecuadas. Finalmente, la norma requiere un etiquetado claro de los equipos, que debe incluir información sobre el consumo energético, el voltaje y advertencias de seguridad[23].

INEN IEC 61000-3-2: Límites de emisión de armónicos para equipos conectados a redes de baja tensión.

La norma INEN IEC 61000-3-2 es la versión ecuatoriana de la norma internacional IEC 61000-3-2 que, de forma implícita, regula el impacto de las cocinas de inducción en la calidad del suministro eléctrico, ya que permite un análisis en el comportamiento de estos dispositivos en términos de emisiones armónicas y su efecto en los transformadores de distribución MT/BT. Como objetivo tiene el regular las emisiones de armónicos generadas por equipos eléctricos para evitar distorsiones en la red y garantizar el funcionamiento eficiente del sistema eléctrico.

Su alcance aplica a equipos eléctricos y electrónicos con corriente de entrada ≤ 16 A por fase, clasificándolos en diferentes categorías según su nivel de emisión armónica, y establece límites específicos para electrodomésticos, iluminación y herramientas eléctricas[24].

Norma Técnica NTE-2555 seguridad en cocinas de inducción. requisitos.

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2555 establece los requisitos mínimos de seguridad para las cocinas de inducción destinadas al uso doméstico, garantizando su correcto funcionamiento sin comprometer la integridad de los usuarios ni la estabilidad de las instalaciones eléctricas.

El objetivo de esta norma es definir los lineamientos técnicos que deben cumplir las cocinas de inducción en cuanto a protección contra descargas eléctricas, sobrecalentamiento y riesgos mecánicos, asegurando su compatibilidad con la infraestructura eléctrica residencial.

El alcance de la norma se aplica a todas las cocinas de inducción con una tensión nominal no superior a 250V, comercializadas en Ecuador. No incluye cocinas mixtas o de otros tipos de tecnología de calentamiento. Establece requisitos sobre materiales, aislamiento térmico y eléctrico, sistemas de apagado automático, eficiencia energética y etiquetado de seguridad[25].

2.2.6 Planes

Plan Maestro de Electricidad 2023-2032

El Plan Maestro de Electricidad (PME) 2023-2032 es clave para el análisis del impacto de las cocinas de inducción en los transformadores de distribución, ya que establece directrices para la planificación de la red, la integración de nuevas tecnologías y la optimización del uso de la energía. La correcta implementación de estas estrategias permite prever y mitigar sobrecargas en la infraestructura eléctrica residencial. Además, el PME establece lineamientos estratégicos para la expansión, modernización y sostenibilidad del sistema eléctrico ecuatoriano, asegurando la confiabilidad del suministro y la integración de nuevas cargas, como las cocinas de inducción.

El objetivo principal del PME es garantizar la planificación eficiente del sector eléctrico mediante la optimización de generación, transmisión y distribución, con énfasis en la sostenibilidad y la inclusión de energías renovables.

En cuanto a su alcance, el PME contempla la expansión de la capacidad de generación con un enfoque en fuentes renovables, como hidroeléctrica, eólica y solar. También fortalece la red de transmisión y distribución para soportar el crecimiento de la demanda y mejorar la calidad del servicio. Asimismo, evalúa el impacto de cargas adicionales, incluyendo electrodomésticos y como afectan a los transformadores de distribución MT/BT. Finalmente, establece la implementación de programas de eficiencia energética y reducción de pérdidas en la red eléctrica[26].

Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035

El PLANEE promueve el uso eficiente de la energía, reduce cargas innecesarias en la red eléctrica y fomenta la adopción de tecnologías eficientes, como las cocinas de inducción. Este plan establece un marco estratégico para optimizar el consumo energético y garantizar la sostenibilidad del sistema eléctrico nacional.

El objetivo del PLANEE es incrementar el uso eficiente de los recursos energéticos mediante programas de eficiencia energética en todos los sectores, incluyendo el residencial, comercial e industrial, lo que contribuye a mitigar el impacto ambiental, reducir costos y optimizar el consumo eléctrico. Además, busca fortalecer la infraestructura eléctrica para soportar nuevas demandas de consumo sin comprometer su estabilidad.

El alcance del PLANEE incluye la sustitución de equipos ineficientes, el fomento de electrodomésticos de bajo consumo y la implementación de programas de eficiencia en el sector residencial, lo que afecta directamente a la demanda que soportan los transformadores de distribución. Además, abarca la modernización de la infraestructura eléctrica, la incorporación de tecnologías avanzadas para la gestión de la demanda, y plantea metas ambiciosas de reducción del consumo energético mediante incentivos y fiscalización, garantizando que nuevas cargas, como las cocinas de inducción, sean gestionadas de forma eficiente y segura.

La importancia de este plan radica en su capacidad para orientar políticas públicas y regulaciones que aseguren un suministro eléctrico confiable, minimizando riesgos de sobrecargas en los transformadores y optimizando el uso de recursos energéticos[27].

2.3 Análisis de Estudios Previos, Proyectos Pilotos y Aportes de Empresas de Distribución en Ecuador

El Programa de Cocción Eficiente (PEC) implementado en Ecuador ha sido uno de los proyectos más destacados en cuanto a eficiencia energética. La iniciativa ha promovido la transición de cocinas a gas a cocinas de inducción, que son más eficientes y seguras. Este apartado recopila, proyectos pilotos y los aportes realizados por las empresas de distribución eléctrica en el país.

2.3.1. Antecedentes y Estudios Previos

Desde su inicio en 2014, el PEC ha contado con diversos estudios de viabilidad técnica y financiera. La ex SENPLADES emitió un dictamen de prioridad en 2015, actualizando el cronograma hasta 2024, lo que permitió planificar las acciones necesarias para la transición energética en el sector residencial. Estudios técnicos evaluaron la capacidad de las redes de distribución para soportar el aumento de la demanda provocado por las cocinas de inducción.

2.3.2. Planificación y Evaluación Técnica

Desde su inicio en 2014, el PEC ha contado con diversos estudios de viabilidad técnica y financiera. La ex SENPLADES emitió un dictamen de prioridad en 2015, actualizando el cronograma hasta 2024, lo que permitió planificar las acciones necesarias para la transición energética en el sector residencial. Estudios técnicos evaluaron la capacidad de las redes de distribución para soportar el aumento de la demanda provocado por las cocinas de inducción.

2.3.3. Proyectos Pilotos

Los proyectos pilotos implementados entre 2014 y 2018 permitieron validar la factibilidad del programa. Durante este periodo, más de 595.000 cocinas fueron vendidas mediante el sistema SIPEC, con financiamiento estatal, y se realizaron canjes para beneficiarios del Bono de Desarrollo Humano. Los pilotos también analizaron el impacto en la red de distribución, destacando la necesidad de reforzar los circuitos y mejorar la infraestructura eléctrica en varias localidades.

2.3.4. Aportes de Empresas de Distribución

Las empresas de distribución eléctrica, como CNEL, CENTROSUR y EEQ, jugaron un papel crucial en la implementación del PEC. Estas empresas facilitaron la instalación de medidores a 220V, la adecuación de instalaciones domiciliarias y la gestión de financiamiento para los usuarios. Además, contribuyeron a las campañas de socialización del programa, informando a los usuarios sobre los beneficios de las cocinas de inducción y las facilidades de pago.

Dentro del informe El Programa de Cocción Eficiente (PEC) detalla los hitos alcanzados, incluyendo la instalación de más de 700.000 circuitos internos y el aporte de USD 1.091 millones para la ejecución del programa. Empresas como CNEL, CENTROSUR y EEQ gestionaron la recaudación y transferencia de fondos, asegurando la sostenibilidad financiera del PEC.

La recopilación de análisis de estudios previos, proyectos Pilotos y aportes de Empresas de Distribución en Ecuador han sido extraídos de la (PEC) [3].

3 Desarrollo

En este capítulo se delinea el enfoque metodológico y las preparaciones iniciales necesarias para evaluar el impacto potencial de las cocinas de inducción sobre los transformadores de distribución eléctrica. Antes de proceder con cálculos detallados o implementaciones técnicas, resulta esencial comprender la infraestructura existente y las particularidades de la red eléctrica, lo cual permite anticipar cómo las cocinas de inducción podrían influir en los patrones de consumo energético residencial. El análisis comienza con la selección de transformadores adecuados mediante herramientas como ArcGIS, estableciendo así una base sólida para evaluaciones posteriores. Asimismo, se introducen metodologías para el cálculo de la capacidad de los transformadores y del Factor de Caída de Voltaje (FDV), utilizando tablas y datos históricos como punto de partida para el análisis que se desarrollará.

3.1 Alcance en función de los tipos de clientes

3.1.1 Justificación del Alcance

El presente estudio se enfoca exclusivamente en el análisis del impacto de la adopción de cocinas de inducción en el sector residencial. La razón principal de esta delimitación es la diferencia sustancial en los patrones de consumo energético entre las edificaciones residenciales y las edificaciones comerciales o industriales.

Variabilidad en el consumo energético

- Las viviendas residenciales presentan patrones de consumo con picos específicos, generalmente en horarios de desayuno, almuerzo y cena, cuando se utilizan las cocinas de inducción.
- En contraste, las edificaciones comerciales e industriales tienen perfiles de carga que dependen de sus actividades operativas, con variaciones significativas según el tipo de industria o comercio.

Capacidad de los transformadores

- El estudio de la cargabilidad de transformadores en zonas industriales y comerciales, que están diseñados para soportar perfiles de demanda muy específicos y particulares, difiere significativamente del enfoque de este trabajo de titulación, que se centra en el sector residencial. Dado que un análisis detallado de la cargabilidad en contextos industriales y comerciales requiere investigaciones especializadas, este aspecto queda fuera del alcance del presente estudio.

Diferencias en la infraestructura eléctrica

- La infraestructura eléctrica de los sectores comerciales e industriales está diseñada con transformadores de mayor capacidad, subestaciones propias y sistemas de respaldo que mitigan impactos en la red.
- En cambio, en zonas residenciales, la capacidad de la infraestructura eléctrica es más limitada, y la incorporación masiva de cocinas de inducción puede generar sobrecargas que afecten la estabilidad del suministro.

Debido a estas diferencias, el análisis de la cargabilidad de transformadores en este estudio se centrará en transformadores de distribución ubicados en zonas residenciales. Se excluyen del análisis:

- Centros comerciales, supermercados y tiendas de gran superficie.
- Industrias manufactureras, talleres y fábricas.
- Oficinas y edificios administrativos con altos consumos de energía.
- Hospitales, centros educativos y otras infraestructuras con demanda especializada.

Los datos de consumo eléctrico utilizados para la modelación de la red provendrán exclusivamente de registros históricos y levantamientos de campo en zonas residenciales atendidas por la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A. en Cuenca, Ecuador.

3.1.2 Análisis Comparativo del Consumo Eléctrico

Para evidenciar las diferencias en el consumo de energía entre los distintos tipos de edificaciones, se presentan los datos en la Tabla 3.3.1:

Tabla 3.3.1 Comparación del Consumo Eléctrico Promedio por Tipo de Edificación[28],[29],[30].

Tipo de Edificación	Consumo Promedio Diario (kWh)	Consumo Promedio Mensual (kWh)	Pico de Consumo (kW)
Residencial (Viviendas)	6,7	201,4	5
Comercial (Tiendas/Oficinas)	250	7500	80
Industrial (Fábricas)	1500	45000	500

3.2 Metodología para la evaluación de la capacidad de transformadores

La metodología empleada para el cálculo de la capacidad del transformador ha sido tomada del estudio titulado “Análisis de cargabilidad de transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A. y su impacto técnico y económico” [31], Dicho estudio recopila y sistematiza criterios técnicos extraídos de diversos artículos, investigaciones y trabajos previos [32], [33], [34], [35], consolidando un enfoque integral para este propósito.

A nivel nacional, las empresas distribuidoras de electricidad han adoptado un criterio metodológico uniforme para determinar la capacidad de los transformadores de distribución. Este criterio se fundamenta en la aplicación de la ecuación (3.1):

$$TRAFO = \left(\left(\sum_{i=1}^N \frac{DMU_p}{f_{pc}} \right) \cdot f_c + \left(\sum_{j=1}^{N_{ci}} \frac{DMU_{ci}}{f_{pci}} \right) \cdot f_{c_{ci}} + AP + CE \right) \cdot \mu \quad (3.1)$$

Donde la Tabla 3.2 describe cada uno de los términos de la ecuación (3.1):

Tabla 3.2 Descripción de cada término de la ecuación (3.1).

Variable	Descripción	Unidad
TRAFO	Capacidad del Transformador	kVA
DMU_p	Demanda máxima unitaria proyectada	kW
f_{pc}	Factor de potencia de clientes	p.u
f_c	Factor de coincidencia de clientes	p.u
N	Número de clientes	U
DMU_{ci}	Demanda máxima unitaria de cocinas de inducción	kW
f_{pci}	Factor de potencia de cocinas de inducción	p.u
f_{c_{ci}}	Factor de coincidencia de cocinas de inducción	p.u
N_{ci}	Número de cocinas de inducción	U
AP	Alumbrado público	kVA
CE	Cargas especiales	kVA
μ	Factor de sobrecarga	p.u

3.2.1 Demanda máxima unitaria proyectada DMU_p

La EERCS plantea calcular la demanda máxima unitaria proyectada a 10 años mediante la ecuación (3.2). Para ello, el ingeniero encargado determinará esta demanda en función del consumo mensual estimado de energía, el cual varía según los usos finales[31].

$$DMU_p = (0.0032 \cdot kWh_{mes} + 0.2466) \cdot (1 + 1\% \cdot 10) \tag{3.2}$$

Dado que la ecuación (3.2) se basa en un modelo de regresión, no establece límites específicos por estratos, dejando en manos del proyectista la decisión sobre su aplicación.

Por su parte, la Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERSSA) anteriormente recomendaba calcular la demanda máxima unitaria proyectada considerando el área de los lotes en zonas urbanas y el tipo de usuario en áreas rurales, estableciendo su clasificación en la Tabla 3.3 [31].

En cuanto a la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), esta categoriza los estratos de acuerdo con el consumo mensual por cliente, según lo indicado en la Tabla 3.4 [31].

Tabla 3.3: Demanda Máxima Unitaria Proyectada según el área media de lotes y el tipo de usuario en zonas urbanas y rurales para EERSSA.

SECTOR URBANO		
Área promedio de lotes (m ²)	Tipo de usuario	DMUp [kVA] (10 años)
> 400	A	4,48
300 < A ≤ 400	B	2,35
200 < A ≤ 300	C	1,33
100 < A ≤ 200	D	0,82
A ≤ 100	E	0,56
SECTOR RURAL		
Tipo de sector	Tipo de cliente	DMUp [kVA] (10 años)
Periferia Ciudad	F	0,60
Centro Parroquial	G	0,50
Rural	H	0,40

Tabla 3.4: Categoría de Estrato de Consumo y Escalas de Consumo para EEQ.

Categoría de Estrato	Escalas de consumo (kWh/mes/cliente)
E	0 – 100
D	101 – 150
C	151 – 250
B	251 – 350
A	351 – 500
A1	501 – 900

Para calcular la demanda máxima unitaria basada en la categoría de estrato de consumo, se utilizan los datos mostrados en la Tabla 3.5.

En el caso de la Empresa Eléctrica Ambato (EEASA), se establece una clasificación zonal de clientes utilizando polígonos en el sistema ArcGis. Según la posición del cliente nuevo dentro del polígono, se asigna la categoría correspondiente según lo indicado en la Tabla 3.6 [26].

Tabla 3.5 Evaluación de la demanda máxima unitaria según estrato en la Empresa Eléctrica Quito (EEQ).

Categoría	Demanda Máxima Unitaria (kVA)
E	0,348
D	0,497
C	0,784
B	1,057
A	1,45
A1	2,44

Tabla 3.6 Valores de consumo mínimo y máximo por categoría de estrato considerados en la EEASA.

Categoría	Valor mínimo de consumo del estrato (kWh)	Valor máximo de consumo del estrato (kWh)
A	> 270	500
B	> 160	270
C	> 110	160
D	> 80	110
E	10	80

Una vez establecida la categoría correspondiente al usuario, se fija su demanda máxima diversificada conforme se especifica en la Tabla 3.7.

3.2.2 Determinación de factor de potencia para clientes fp_c

Todas las compañías de distribución eléctrica nacionales determinan que el factor de potencia para los clientes depende de la demanda máxima estimada, que a su vez se basa en el tipo de usuario. Esto permite que el proyectista elija el valor que considere más apropiado.

Tabla 3.7 Valores de consumo mínimo y máximo por categoría de estrato considerados en la EEASA.

Categoría	DMU (kVA)
A	6,611
B	3,832
C	2,412
D	1,731
E	1,306

No obstante, se recomienda un valor de referencia que se muestra en la Tabla 3.8 [31].

Tabla 3.8 Factores de potencia sugeridos para clientes por empresa eléctrica distribuidora.

Empresa Eléctrica	Factor de Potencia Sugerido
EERCS	0,92
EERSSA	No definido
EEQ	0,95
EEASA	0,90

3.2.3 Determinación de factor de coincidencia f_c

La Empresa Eléctrica Regional de Centro Sur (EERCS) proporciona una tabla de selección de factores de coincidencia, la Tabla 3.9, que determina estos factores basándose en el número de clientes y usando datos de simulaciones. Por su parte, la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (EERSSA) establece el factor de coincidencia para un número determinado de usuarios a través de la ecuación (3.3) [31].

$$FC = N^{-0.0944} \tag{3.3}$$

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) presenta una tabla guía, la Tabla 3.10, que lista varios factores de coincidencia ajustados según la cantidad de clientes. En contraste, la Empresa Eléctrica Ambato (EEASA) no especifica un método concreto para calcular el factor de coincidencia; no obstante, proporciona directamente las demandas máximas diversificadas según el estrato de consumo [31].

Tabla 3.9 Factor de coincidencia (p.u.) para clientes residenciales de la EERCS.

Cliente	Factor de Coincidencia	Cliente	Factor de Coincidencia	Cliente	Factor de Coincidencia
1	1	18	0,529	35	0,482
2	0,8	19	0,524	36	0,48
3	0,733	20	0,523	37	0,478
4	0,7	21	0,519	38	0,477
5	0,675	22	0,516	39	0,475
6	0,628	23	0,512	40	0,474
7	0,608	24	0,499	41	0,472
8	0,595	25	0,496	42	0,47
9	0,583	26	0,5	43	0,468
10	0,573	27	0,498	44	0,467
11	0,564	28	0,499	45	0,466
12	0,556	29	0,493	46	0,465
13	0,552	30	0,491	47	0,465
14	0,546	31	0,489	48	0,464
15	0,541	32	0,487	49	0,462
16	0,537	33	0,486	50	0,46
17	0,533	34	0,483		

3.2.4 Determinación de la demanda máxima unitaria de cocinas de inducción DMU_{ci}

La EERCS permite que el proyectista decida el valor de la demanda máxima unitaria de las cocinas de inducción, basándose en el factor de utilización que puede variar según la marca y el modelo de las cocinas. En contraste, la EERSSA clasifica las cocinas de inducción como cargas especiales y no ofrece una metodología específica para calcular su demanda máxima unitaria, delegando esta tarea al criterio del proyectista [31].

Tabla 3.10 Factor de coincidencia para clientes residenciales de la EEQ.

Cliente	Factor de Coincidencia	Cliente	Factor de Coincidencia	Cliente	Factor de Coincidencia
1	1,00	18	26,60	35	46,60
2	1,00	19	27,80	36	47,70
3	1,00	20	29,20	37	48,90
4	1,00	21	30,40	38	50,00
5	9,49	22	31,70	39	51,25
6	10,80	23	32,80	40	52,30
7	12,10	24	33,90	41	43,40
8	13,50	25	34,90	42	54,50
9	14,80	26	36,00	43	55,40
10	16,10	27	37,20	44	56,70
11	17,40	28	38,90	45	57,90
12	18,70	29	39,50	46	59,00
13	20,10	30	40,70	47	60,20
14	21,40	31	41,90	48	61,40
15	22,70	32	43,10	49	62,40
16	24,00	33	44,30	50	63,50
17	25,30	34	45,40		

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) determina la demanda máxima unitaria de las cocinas de inducción utilizando una ecuación específica (3.4).

$$DMU_{ci} = 0.6 \cdot CI \cdot FD \tag{3.4}$$

Donde:

- CI: Representa la carga instalada de una cocina de inducción.
- FD: Factor de demanda de una cocina de inducción.

En la guía de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), se recomienda usar como valores referenciales una CI de 3 kW y un FD de 0.8 [31].

Por otro lado, la Empresa Eléctrica Ambato (EEASA) utiliza la ecuación (3.5) para calcular la demanda máxima unitaria de las cocinas de inducción.

$$DMU_{ci} = CI \cdot FD \tag{3.5}$$

Donde:

- CI: Representa la carga instalada de una cocina de inducción.
- FD: Factor de demanda de una cocina de inducción.

En donde se sugiere emplear los valores de CI = 4 kW y FD = 0.8 [31].

3.2.5 Determinación del factor de coincidencia para las cocinas de inducción

$f_{c_{ci}}$

Para determinar el factor de coincidencia relacionado con cocinas de inducción, la EERCS utiliza valores derivados de simulaciones realizadas en intervalos de 30 minutos, detallados en la Tabla 3.11. La EERSSA, por su parte, delega la elección del factor de coincidencia adecuado para las cocinas de inducción al criterio del proyectista. En cuanto a la EEQ, el factor de coincidencia se establece mediante la ecuación (3.6), considerando exclusivamente la cantidad de cocinas que se van a instalar [31].

$$FC_{ci} = e^{-0.7243 \cdot N_{ci}^{-0.128443}} + 0.037 \tag{3.6}$$

La Empresa Eléctrica Ambato (EEASA) establece el factor de coincidencia para cocinas de inducción utilizando los datos que se muestran en la Tabla 3.12 [31].

Tabla 3.11 Factor de coincidencia para Cocinas de Inducción para la EERCS.

Clientes	Factor de Coincidencia
1	1,000
2	0,739
4	0,543
6	0,463
8	0,420
10	0,392
12	0,368
14	0,349
16	0,337
18	0,328
20	0,320
25	0,307
30	0,297
35	0,291

3.2.6 Determinación del factor de potencia para cocinas de inducción $f_{p_{ci}}$

Todas las compañías nacionales de distribución eléctrica indican que la selección del factor de potencia para cocinas de inducción recae en el ingeniero proyectista, quien debe optar por el valor que considere más adecuado. No obstante, ofrecen un valor de referencia que se encuentra en la Tabla 3.13 [31].

3.2.7 Determinación de alumbrado público AP

Todas las empresas eléctricas evaluadas están de acuerdo en que los aspectos del alumbrado público se determinan según el número y las características de las luminarias que se instalarán, y esta información es definida por el proyectista [31].

Tabla 3.12 Factor de coincidencia para Cocinas de Inducción de la EEASA.

Clientes	Factor de Coincidencia
1	1,000
2	0,811
4	0,541
6	0,446
8	0,405
10	0,378
12	0,370
14	0,362
16	0,354
18	0,346
20	0,338
25	0,318
30	0,297
35	0,284

Tabla 3.13 Factores de potencia sugeridos para cocinas de inducción por empresa eléctrica distribuidora.

Empresa Eléctrica	Factor de Potencia Sugerido
EERCS	0,98
EERSSA	No definido
EEQ	0,95
EEASA	1,00

3.2.8 Determinación de cargas especiales CE

Al igual que con el alumbrado público, todas las empresas eléctricas regionales establecen que las cargas especiales, ya sean comerciales o industriales, deben ser especificadas por el proyectista, quien es responsable de definir estos tipos de cargas y sus potencias nominales reales[31].

3.2.9 Determinación del factor de sobrecarga μ

Basándose en análisis de capacidad de carga y revisiones de estándares, las empresas distribuidoras de electricidad nacionales establecen los factores de sobrecarga que utilizan, los cuales están resumidos en la Tabla 3.14 [31].

Tabla 3.14 Factor de sobrecarga de empresas eléctricas a nivel nacional.

Empresa Eléctrica	Estrato	Factor de Sobrecarga
EERCS	-	0,6
EERSSA	A	0,9
	B y C	0,8
	D...H	0,7
EEQ	A y B	0,9
	C	0,8
	D y E	0,7
EEASA	-	0,76923

3.3 Metodología para la evaluación del FDV en las redes secundarias

El análisis del Factor de Caída de Voltaje (FDV) es necesario para verificar el impacto de la implementación de las cocinas de inducción, asegurando que el voltaje en todos los puntos de servicio sea adecuado para el funcionamiento eficiente de los equipos. El FDV mide la reducción del voltaje que ocurre cuando la corriente fluye a través de un conductor, y es determinante para prevenir problemas de bajo voltaje que pueden afectar la operatividad y seguridad de dispositivos conectados a la red.

La fórmula (3.7) para encontrar este factor es la siguiente

$$FDV = \frac{10 \cdot kV_{(f-n)}^2 \cdot F}{k \cdot (r \cdot \cos(\phi) + x \cdot \sin(\phi))} \tag{3.7}$$

Donde:

- $kV_{(f-n)}^2$ tensión nominal en kilovoltios (kV) que existe entre las fases y el neutro
- F El factor dependiente del tipo de sistema varía según la configuración de la red eléctrica, y se clasifica de la siguiente manera:

2; 1F2C

1, Otros

- k El factor de ajuste, que varía en función de la configuración de la red eléctrica, se clasifica de la siguiente manera:

1; 1F2C 2; 2F2C 3; 3F3C
 2; 1F3C 2; 2F3C 3; 3F4C

- r resistencia del conductor
- x reactancia del conductor
- Φ ángulo de fase entre la corriente y el voltaje

Desglosando la ecuación (3.7), el Factor de Caída de Voltaje (FDV) se ve influido principalmente por el calibre del conductor, el número de fases, la presencia de un conductor neutro y el voltaje del sistema. En resumen, los conductores de mayor calibre reducen la resistencia, lo que a su vez minimiza la caída de voltaje en líneas largas y el impacto del nuevo DMU_{ci} .

A continuación, se presentan las Tabla 3.15 a Tabla 3.18 detalladas de la empresa Centrosur que proporcionan los valores de caída de voltaje para diversas configuraciones de conductores y voltajes. Estas tablas permiten seleccionar de manera organizada los componentes y configuraciones para optimizar la eficiencia de la red secundaria y sus análisis [32].

Tabla 3.15 Factor de Caída de voltaje para cable desnudo ACSR.

ACSR														
Calibre	r_a	X_a	S	220 V				208 V				240 V		
AWG	W/Km.	D = 40 cm	Cos $j = 0.9$	<u>3F/4C</u>	<u>2F/3C</u>	1F/2C		<u>3F/4C</u>	<u>2F/3C</u>	1F/2C		1F/3C	<u>1F/2C</u>	
	50 °C.	f = 60 Hz				F = N	F < N			F = N	F < N		F = N	F < N
6	2,474	0,444	2,42	200	133	33	--	179	119	30	--	119	30	--
4	1,597	0,44	1,629	297	198	50	--	265	177	44	--	177	44	--
2	1,05	0,434	1,134	427	285	71	58	381	254	64	52	254	64	52
1/0	0,696	0,428	0,813	595	397	99	83	531	354	89	74	354	89	74
2/0	0,556	0,419	0,683	709	473	118	89	633	422	105	79	422	105	79
3/0	0,449	0,406	0,581	833	555	139	116	744	496	124	103	496	124	103
4/0	0,368	0,382	0,498	972	648	162	137	868	578	145	122	578	145	122

Tabla 3.16 Factor de Caída de voltaje para cable 5005.

5005														
Calibre	r_a	X_a	s	220 V				208 V				240 V		
AWG	W/Km.	D = 40 cm	Cos $j = 0.9$	<u>3F/4C</u>	<u>2F/3C</u>	1F/2C		<u>3F/4C</u>	<u>2F/3C</u>	1F/2C		<u>1F/3C</u>	1F/2C	
	50 °C.	f = 60 Hz				F = N	F < N			F = N	F < N		F = N	F < N
4	1,529	0,406	1,553	312	208	52	--	278	186	46	--	186	46	--
2	0,963	0,377	1,031	469	313	78	62	419	279	70	56	279	70	56
1/0	0,605	0,356	0,700	692	461	115	93	618	412	103	83	412	103	83
2/0	0,479	0,347	0,582	831	554	139	100	742	494	124	89	494	124	89
3/0	0,384	0,338	0,493	982	655	164	135	876	584	146	121	584	146	121
4/0	0,302	0,334	0,417	1160	773	193	161	1035	690	173	144	690	173	144

Tabla 3.17 Factor de Caída de voltaje para cable ASC.

ASC														
Calibre	r_a	X_a	s	220 V				208 V				240 V		
AWG	W/Km.	D = 40 cm	Cos $j = 0.9$	<u>3F/4C</u>	<u>2F/3C</u>	1F/2C		<u>3F/4C</u>	<u>2F/3C</u>	1F/2C		<u>1F/3C</u>	1F/2C	
	50 °C.	f = 60 Hz				F = N	F < N			F = N	F < N		F = N	F < N
4	1,750	0,407	1,752	276	184	46	--	246	164	41	--	164	41	--
2	1,100	0,378	1,155	419	279	70	55	374	249	62	50	249	62	50
1/0	0,690	0,359	0,777	623	415	104	83	556	371	93	75	371	93	75
2/0	0,550	0,352	0,648	746	497	124	89	666	444	111	80	444	111	80
3/0	0,440	0,343	0,546	887	591	148	122	792	528	132	109	528	132	109
4/0	0,350	0,335	0,461	1050	700	175	145	937	625	156	130	625	156	130

Tabla 3.18 Factor de Caída de voltaje para cable de Cobre.

COBRE														
Calibre	r_a	X_a	s	220 V				208 V				240 V		
AWG	W/Km.	D = 40 cm	$\cos j = 0.9$	3F/4C	2F/3C	1F/2C		3F/4C	2F/3C	1F/2C		1F/3C	1F/2C	
	50 °C.	f = 60 Hz				F = N	F < N			F = N	F < N		F = N	F < N
8	2,362	0,434	2,315	209	139	35	--	187	124	31	--	124	31	--
6	1,485	0,416	1,518	319	213	53	--	285	190	47	--	190	47	--
4	0,943	0,393	1,020	475	317	79	--	424	283	71	--	283	71	--
2	0,599	0,377	0,703	688	459	115	94	614	409	102	84	409	102	84
1/0	0,377	0,360	0,496	975	650	163	134	870	580	145	120	580	145	120
2/0	0,299	0,351	0,422	1147	765	191	143	1024	683	171	128	683	171	128
3/0	0,237	0,342	0,362	1336	891	223	188	1192	795	199	168	795	199	168
4/0	0,188	0,333	0,314	1540	1027	257	219	1375	916	229	196	916	229	196

3.3.1 Límites normativos de caída de tensión aplicados por CENTROSUR

La Empresa Eléctrica Centro Sur C.A. (CENTROSUR) establece un límite máximo de 6 % de caída de tensión en redes de distribución urbana y un 4,5% en redes de distribución rurales, como criterio para asegurar la calidad del suministro eléctrico. Este valor es coherente con lo definido por otras empresas distribuidoras del país, como la Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERSSA), cuyos márgenes permitidos se resumen en la Tabla 3.19 [18].

Tabla 3.19 Límites técnicos de caídas de voltaje aceptadas por la EERCS.

Tipo de red	Área urbana	Área rural
Red primaria	3.5 %	7.0 %
Red secundaria	6 %	4.5 %

3.4 Elección de los transformadores a evaluar

Para poder realizar esta evaluación del impacto de la implementación total de cocinas a inducción fueron seleccionados tres transformadores en diferentes zonas residenciales específicas, evaluando la capacidad de los transformadores de distribución en distintos estratos en el cantón Cuenca, provincia del Azuay, atendida por la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A.

La selección de estos transformadores es el resultado de un análisis previo bajo los siguientes criterios:

- Que los transformadores sean de diferentes estratos
- Que al menos existan un porcentaje de cocinas de inducción
- Que el número de usuarios sea similar entre si ya que es esencial que el tamaño de los grupos de usuarios sea homogéneo para el proceso de muestreo
- Que los transformadores sean únicamente de distribución y su red asociada no sea subterránea.

3.5 Recopilación de datos actuales de la red

En esta sección se presenta la recopilación de datos históricos de consumo eléctrico para tres transformadores específicos, con información obtenida a través del Geovisor Técnico de la Centro Sur. Este análisis incluye detalles clave como la potencia instalada, el nivel de cargabilidad, la cantidad de clientes conectados y el consumo total registrado en cada transformador.

Los datos proporcionan una visión detallada del estado actual de los transformadores y su desempeño en la red de distribución, lo que permite evaluar su eficiencia y capacidad operativa. A continuación, se presentan las características principales de cada transformador, junto con su ubicación y otros parámetros relevantes.

3.5.1 TRANSFORMADOR ESTRATO B



Figura 3.1. Fotografía tomada al transformador TR_3F_29641 del estrato B.

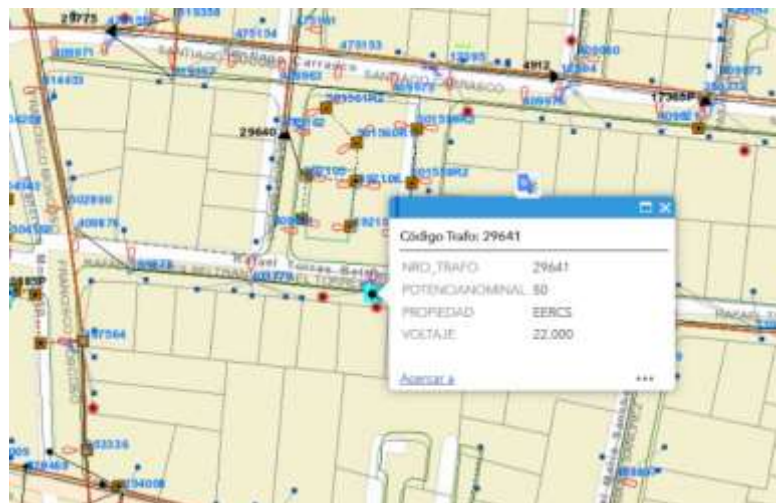


Figura 3.2. Imagen tomada desde el portal Geovisor del transformador TR_3F_29641 del estrato B.

Código: TR_3F_29641-50-C

No Transformador: 29641

Subtipo: Transformador Trifásico en Poste

Tipo: Distribución

Propiedad: EERCS

Potencia: 50 KVA

Alimentador: 0323

Voltaje: 22.0 kV

Voltaje Secundario: 220 V

Cantidad de Clientes: 29

Cantidad de luminarias: 5

Cargabilidad: 57%

Suma de consumo de clientes conectados: 8776.67 KWh

Ubicación: <https://maps.app.goo.gl/Ve1Z8HRWa4dPEWkt7>

3.5.2 LINEA DE DISTRIBUCIÓN ASOCIADO AL TRANSFORMADOR DEL ESTRATO B

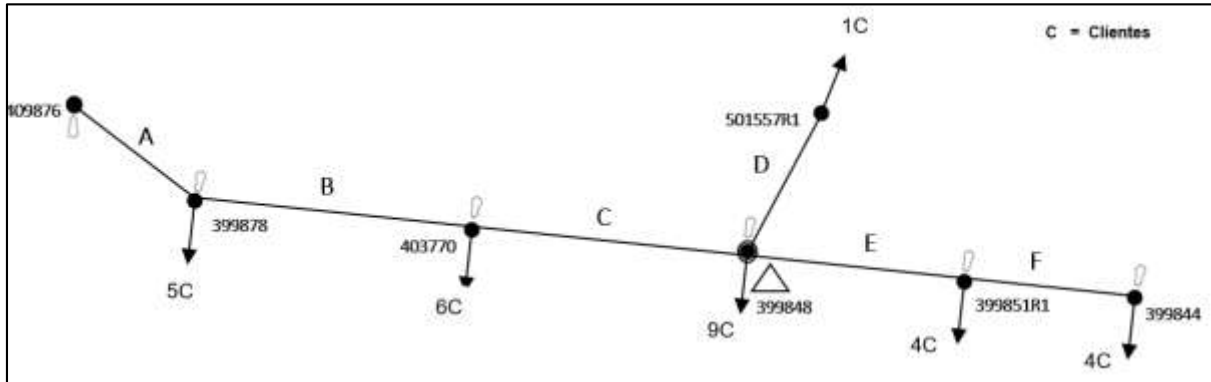


Figura 3.3. Modelamiento de la red de distribución asociada al transformador TR_3F_29641 del estrato B.

- Tramo A: Poste 409876 - Poste 399878
 Subtipo: Tramos BTA Bifásico
 Uso: Alumbrado Público
 Voltaje: 220V
 Configuración de conductores: 2F2C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
 Longitud: 18.69m
- Tramo B: Poste 399878 - Poste 403770
 Subtipo: Tramo BTA Trifásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 220V
 Configuración de conductores: 3F4C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 34.14m
- Tramo C: Poste 403770 - Poste 399848
 Subtipo: Tramo BTA Trifásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 220V
 Configuración de conductores: 3F4C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 34.47m
- Tramo D: Poste 399848 (Transformador) - Poste 501557R1
 Subtipo: Acometida BTA Bifásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 220V
 Configuración de conductores: 2F3C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 3x6

Longitud: 32.31m

- Tramo E: Poste 399878 (Transformador) - Poste 399851R1
Subtipo: Tramo BTA Trifásico
Uso: Distribución
Voltaje: 220V
Configuración de conductores: 3F4C
Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
Longitud: 27.64m
- Tramo F: Poste 399851R1 - Poste 399844
Subtipo: Tramo BTA Trifásico
Uso: Distribución
Voltaje: 220V
Configuración de conductores: 3F4C
Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
Longitud: 20.56m

3.5.3 TRANSFORMADOR ESTRATO C



Figura 3.4. Fotografía tomada al transformador TR_1F_3513 del estrato C.

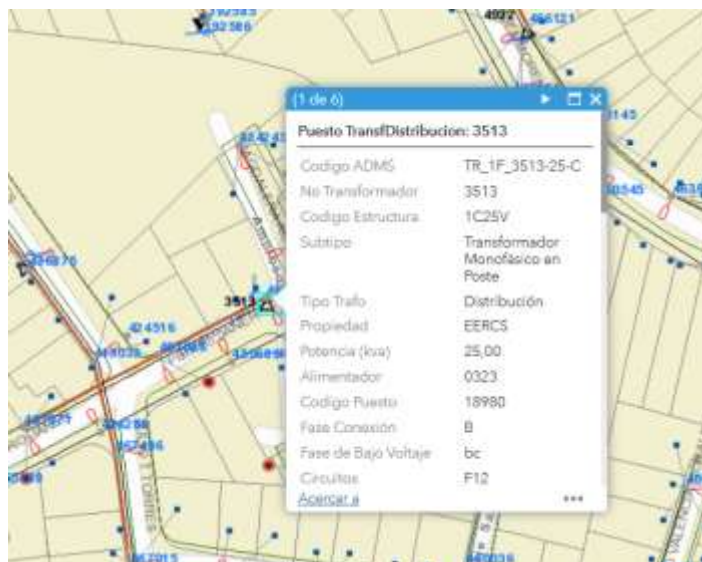


Figura 3.5. Imagen tomada desde el portal Geovisor del transformador TR_1F_3513 del estrato C.

Codigo: TR_1F_3513-25-C
 No Transformador: 3513
 Subtipo: Transformador Monofásico en Poste
 Tipo: Distribución
 Propiedad: EERCS
 Potencia: 25 KVA
 Alimentador: 0323
 Voltaje: 12.7 kV
 Voltaje Secundario: 240 V
 Cantidad de Clientes: 25
 Cantidad de luminarias: 16
 Cargabilidad: 64.70%
 Suma de consumo de clientes conectados: 4103.92 KWh
 Ubicación: <https://maps.app.goo.gl/1Nue78vjqrCt58fv6>

3.5.4 LINEA DE DISTRIBUCIÓN ASOCIADO AL TRANSFORMADOR DEL ESTRATO C

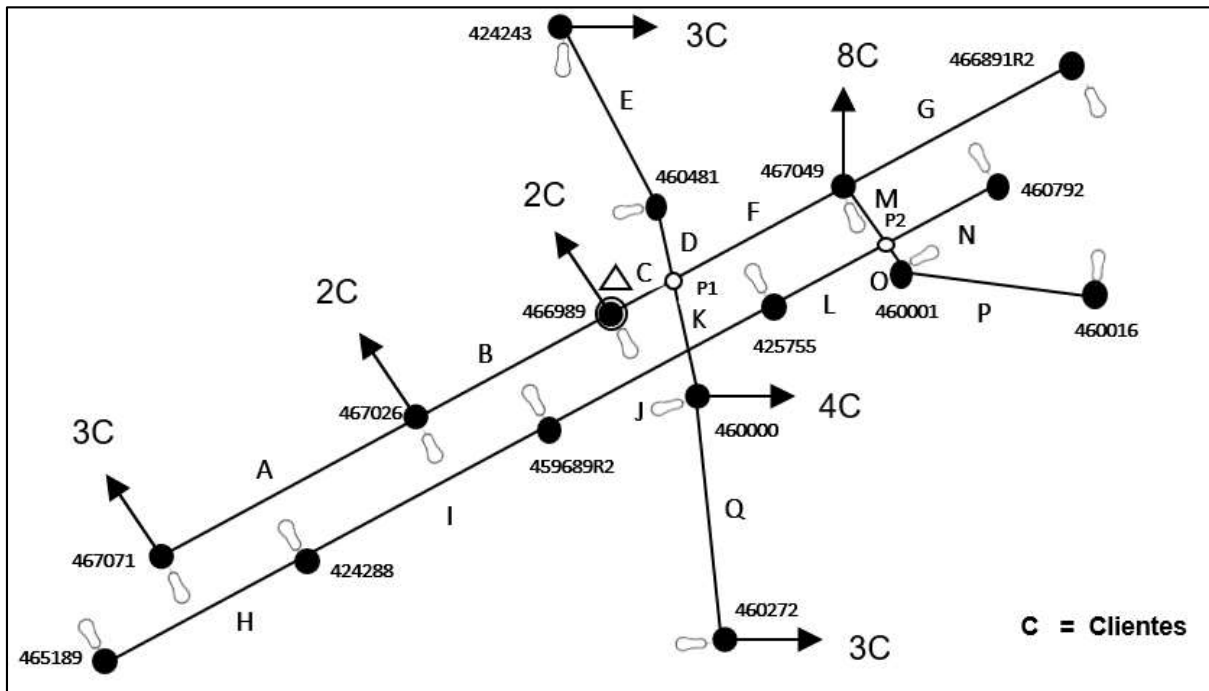


Figura 3.6. Modelamiento de la red de distribución asociado al transformador TR_1F_3513 del estrato C.

- Tramo A: Poste 467071 - Poste 467026
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Longitud: 38.25m
- Tramo B: Poste 467026 - Poste 466989
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Longitud: 30.55m
- Tramo C: Poste 466989 - P1(punto de conexión)
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 9.03m

- Tramo D: Poste P1 - Poste 460481
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 9.8m
- Tramo E: Poste 460481- Poste 424243
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 28.37m
- Tramo F: P1(punto de conexión) - Poste 467049
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 25.44m
- Tramo G: Poste 467049 - Poste 466891R2
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 35.58m
- Tramo H: Poste 465189 - Poste 424288
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Alumbrado Público
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F2C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
 Longitud: 29.73m

- Tramo I: Poste 424288- Poste 459689R2
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Alumbrado Público
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F2C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
 Longitud: 37.25m

- Tramo J: Poste 459689R2 - Poste 425755
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Alumbrado Público
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F2C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
 Longitud: 33.67m

- Tramo K: P1(punto de conexión) - Poste 460000
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Distribución
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F3C
 Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
 Código del Conductor Neutro: ACRS.2
 Longitud: 14.91m

- Tramo L: Poste 425755 – P2(punto de conexión)
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Alumbrado Público
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F2C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
 Longitud: 16.98m

- Tramo M: P2(punto de conexión) - Poste 467049
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Alumbrado Público
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F2C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
 Longitud: 9.14m

- Tramo N: P2(punto de conexión) - Poste 460792
 Subtipo: Tramo BTA Monofásico
 Uso: Alumbrado Público
 Voltaje: 240V
 Configuración de conductores: 1F2C
 Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4

Longitud: 17.77m

- Tramo O: P2(punto de conexión) - Poste 460001
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Alumbrado Público
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F2C
Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
Longitud: 3.11m
- Tramo P: Poste 460001 - Poste 460016
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Alumbrado Público
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F2C
Código del Conductor Fase: MUL.AL. 2x4
Longitud: 27.69m
- Tramo Q: Poste 460000 - Poste 460272
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 32.82m

3.5.5 TRANSFORMADOR ESTRATO D



Figura 3.7. Fotografía tomada al transformador TR_1F_25947 del estrato D

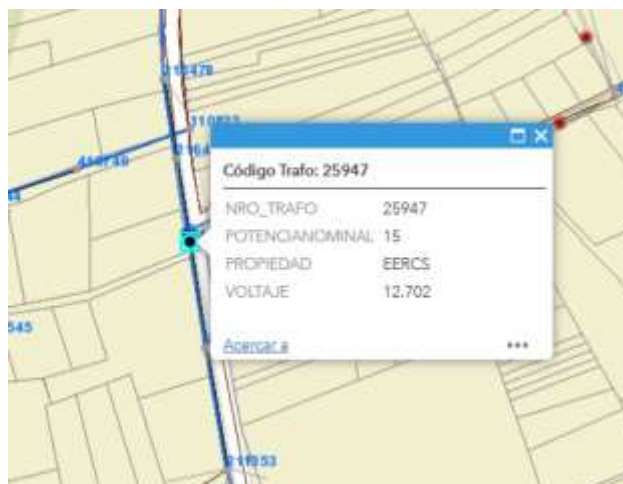


Figura 3.8. Imagen tomada desde el portal Geovisor del transformador TR_1F_25947 del estrato D

Codigo: TR_1F_25947-15-A
 No Transformador: 25947
 Subtipo: Transformador Monofásico en Poste
 Tipo: Distribución
 Propiedad: EERCS
 Potencia: 15 KVA
 Alimentador: 0723
 Voltaje: 12.7 kv
 Voltaje Secundario: 240 V
 Cantidad de Clientes: 27
 Cantidad de luminarias: 9
 Cargabilidad: 51%
 Suma de consumo de clientes conectados: 1926.91 KWh
 Ubicación: <https://maps.app.goo.gl/rDH26EGGN8dSkNvN8>

La información del estado actual de los transformadores se toma directamente desde el GEOVISOR TECNICO de la centro sur [36], donde se observa en tiempo real cada uno de los parámetros importantes de los mismos.

3.5.6 LINEA DE DISTRIBUCIÓN ASOCIADO AL TRANSFORMADOR DEL ESTRATO D

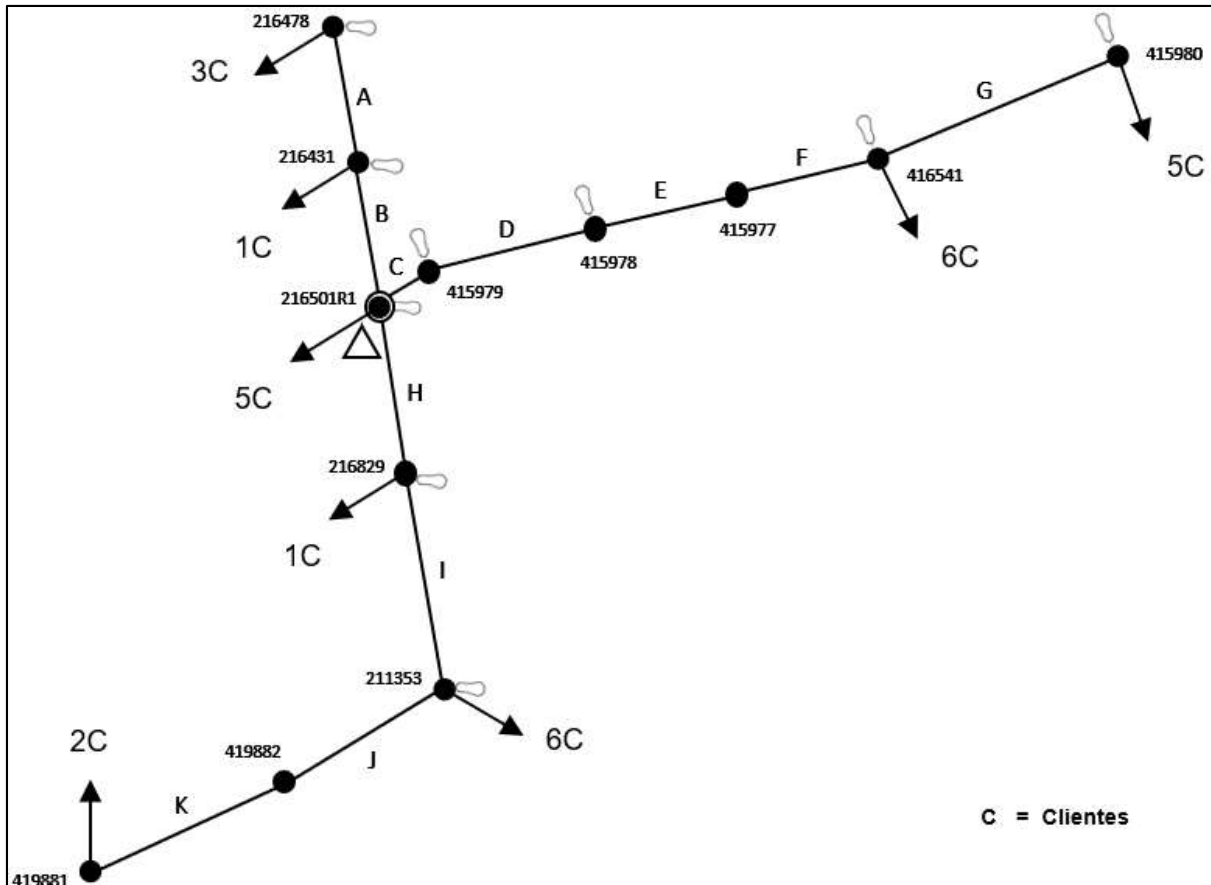


Figura 3.9. Modelamiento de la red de distribución asociada al transformador TR_1F_25947 del estrato D.

- Tramo A: Poste 216478 - Poste 216431
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
Longitud: 36.29m
- Tramo B: Poste 216431 - Poste 216501R1
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.1/0

Longitud: 38.88m

- Tramo C: Poste 216501R1 - Poste 415979
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.2
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 14.76m
- Tramo D: Poste 415979 - Poste 415978
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.2
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 46.26m
- Tramo E: Poste 415978 - Poste 415977
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.2
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 39.99m
- Tramo F: Poste 41597 - Poste 416541
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.2
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 39.04m
- Tramo G: Poste 416541 - Poste 415980
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.2
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 70.8m

- Tramo H: Poste 216501R1 - Poste 216829
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
Longitud: 48.89m
- Tramo I: Poste 216829 - Poste 211353
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.1/0
Longitud: 56.51m
- Tramo J: Poste 211353 - Poste 419882
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.2
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 51.84m
- Tramo K: Poste 419882 - Poste 419881
Subtipo: Tramo BTA Monofásico
Uso: Distribución
Voltaje: 240V
Configuración de conductores: 1F3C
Código del Conductor Fase: ACRS.2
Código del Conductor Neutro: ACRS.2
Longitud: 61.84m

3.6 Levantamiento de información en campo en transformadores de distintos estratos

El levantamiento de información se realiza directamente en campo para evaluar la variabilidad y las particularidades de transformadores ubicados en tres distintos estratos socioeconómicos. Esta evaluación se efectuó mediante una encuesta estructurada meticulosamente, destinada a capturar datos específicos y relevantes que influyen en la capacidad de cada transformador, considerando su ubicación y el estrato socioeconómico al que presta servicio.

Descripción de la Metodología de Encuesta

La encuesta fue diseñada con el objetivo de obtener un conocimiento detallado sobre las condiciones operativas de la red asociada, el tipo de cocina, el tiempo de cocción y las posibles implementaciones recientes de cocinas de inducción, así como características técnicas relevantes. Cada encuesta fue administrada de manera personal, visitando cada sitio para recoger los datos necesarios de manera precisa y sistemática.

Sección 1: Datos Generales

- ¿A que parroquia pertenece su residencia?
- Tipo de vivienda:
 - Casa unifamiliar
 - Departamento
 - Conjunto residencial
- Antigüedad de la vivienda
 - Menos de 5 años
 - 5-10 años
 - 11-20 años
 - Más de 20 años
- Estrato socioeconómico
 - Estrato B
 - Estrato C
 - Estrato D

Sección 2: Uso de Cocinas

- Tipo de cocina utilizada actualmente
 - Gas
 - Eléctrica convencional
 - Cocina de Inducción, especificar potencia:
- Motivo principal de elección del tipo de cocina
 - Costo
 - Seguridad
 - Eficiencia energética
 - Disponibilidad

- Tiempo aproximado de uso por sesión
 - Menos de 30 minutos
 - 30-60 minutos
 - 1-2 horas
 - Más de 2 horas

Sección 3: Condiciones de la Red Eléctrica

- ¿De forma local, ha sufrido interrupciones eléctricas en su zona en los últimos 6 meses?
 - Si
 - No
- ¿Ha notado fluctuaciones de voltaje en su vivienda?
 - Si
 - No
- ¿Considera que el servicio eléctrico local es suficiente para cubrir sus necesidades actuales?
 - Si
 - No
- Comentarios adicionales

Resultados de las Encuestas realizadas por estrato:

Estrato B

Tipo de cocina utilizada

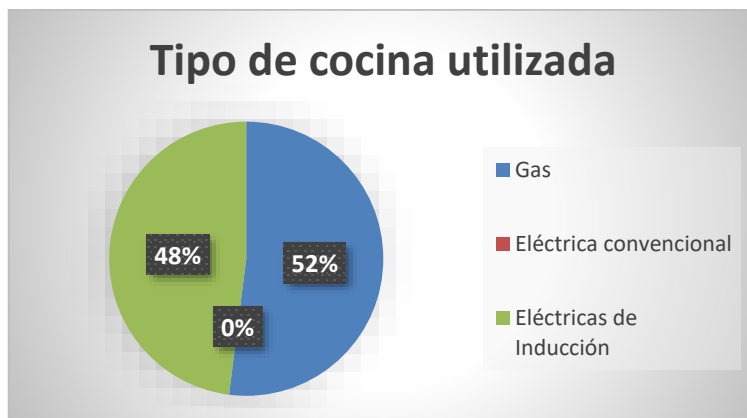


Figura 3.10. Resultados de tipo de cocina para estrato B.

Motivo principal de elección del tipo de cocina

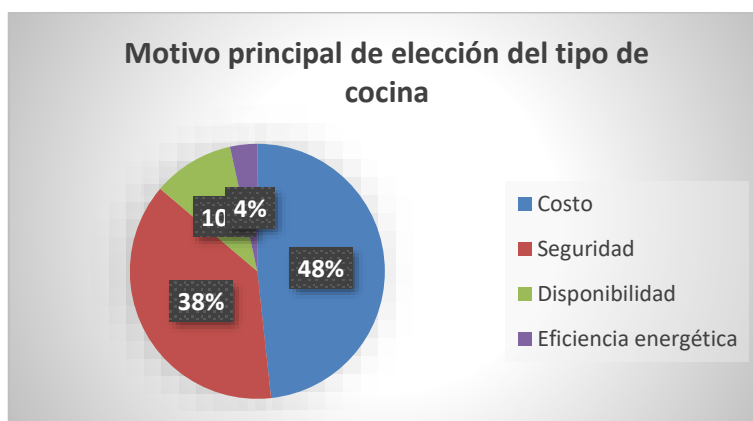


Figura 3.11. Resultados del motivo principal de elección del tipo de cocina para estrato B.

Tiempo aproximado de uso por sesión

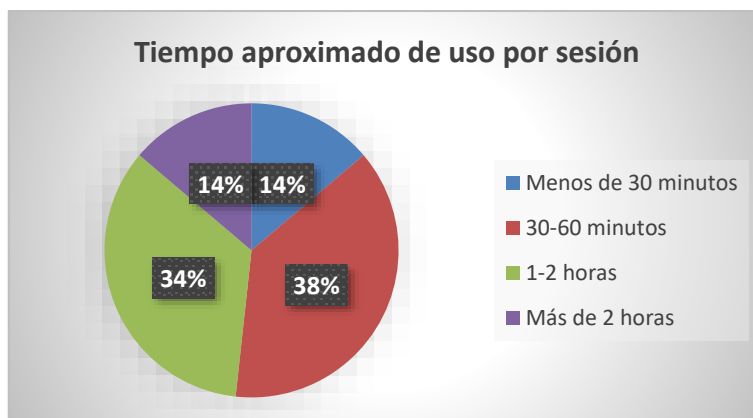


Figura 3.12. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato B.

¿Interrupciones de servicio eléctrico en los últimos 6 meses?

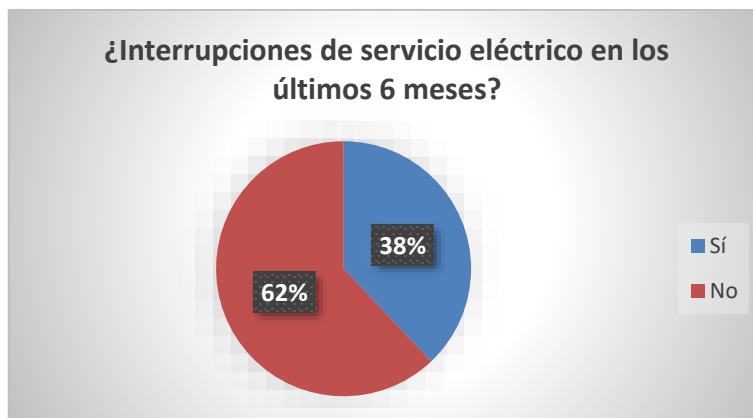


Figura 3.13. Resultados de últimas interrupciones en el servicio eléctrico en los últimos seis meses para estrato B.

¿Fluctuaciones de voltaje?



Figura 3.14. Resultados para fluctuaciones en estrato B.

¿Considera que el servicio eléctrico local es suficiente para cubrir sus necesidades actuales?

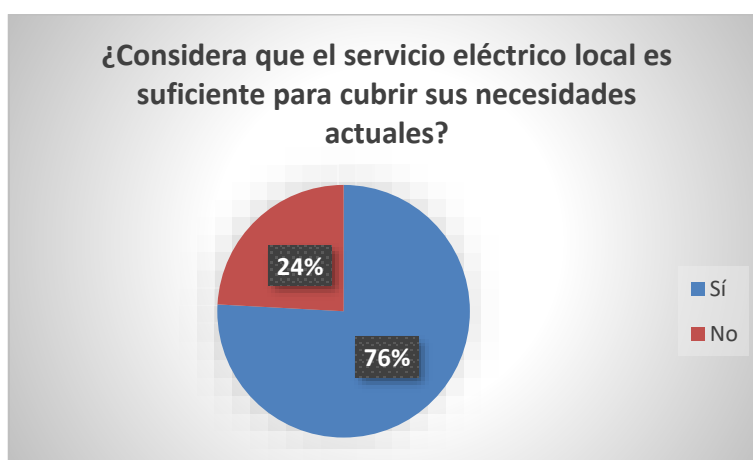


Figura 3.15. Resultados sobre opinión de suficiencia energética en estrato B.

Estrato C

Tipo de cocina utilizada

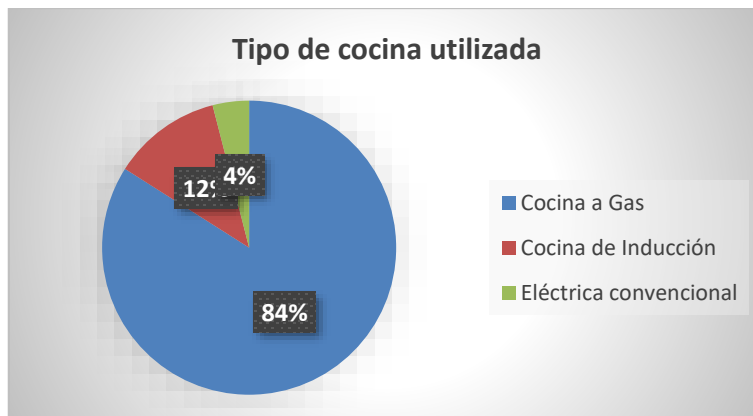


Figura 3.16. Resultados de tipo de cocina para estrato C.

Motivo principal de elección del tipo de cocina

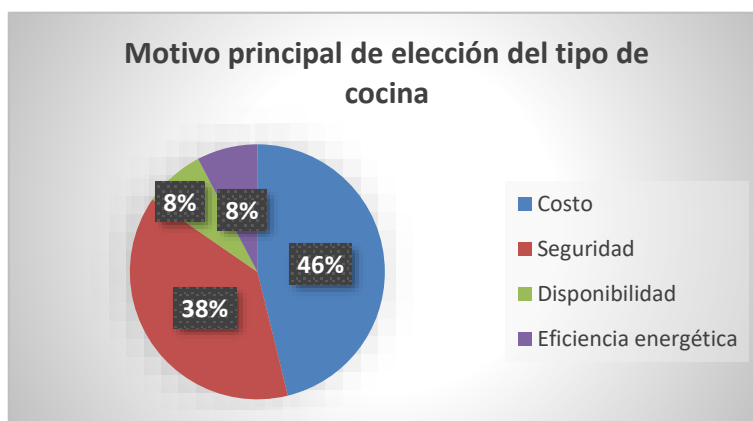


Figura 3.17. Resultados del motivo principal de elección del tipo de cocina para estrato C.

Tiempo aproximado de uso por sesión

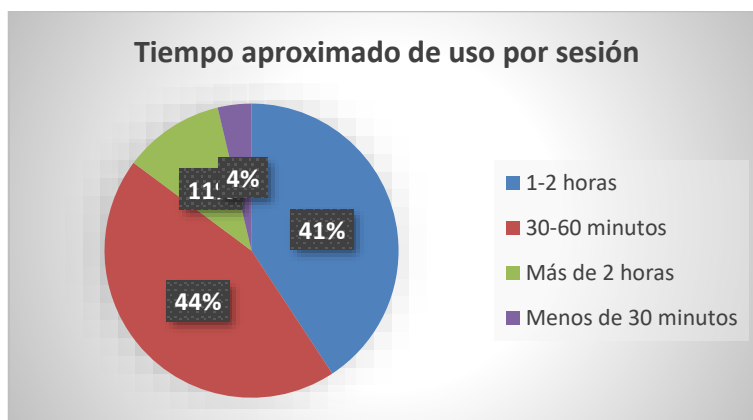


Figura 3.18. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato C.

¿Interrupciones de servicio eléctrico en los últimos 6 meses?

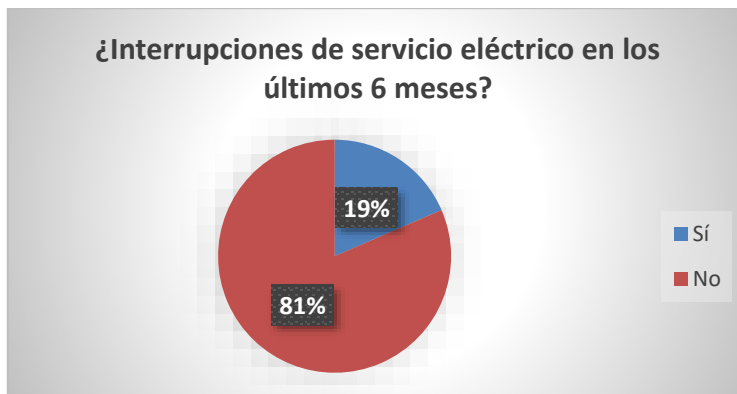


Figura 3.19. Resultados de últimas interrupciones en el servicio eléctrico en los últimos seis meses para estrato C.

¿Fluctuaciones de voltaje?



Figura 3.20. Resultados para fluctuaciones en estrato C.

¿Considera que el servicio eléctrico local es suficiente para cubrir sus necesidades actuales?

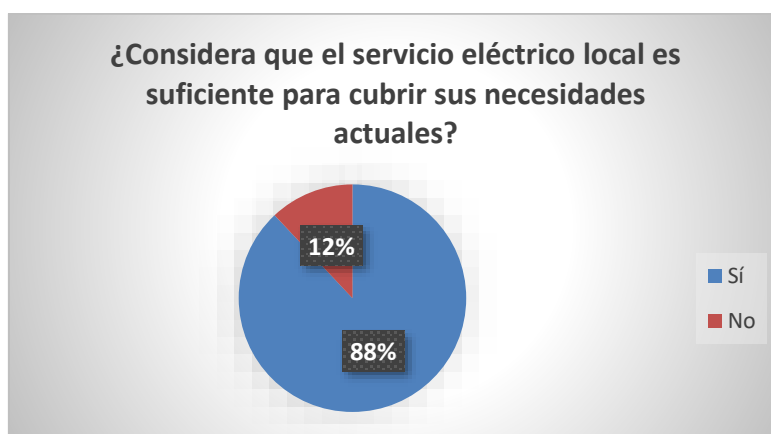


Figura 3.21. Resultados sobre opinión de suficiencia energética en estrato C.

Estrato D

Tipo de cocina utilizada

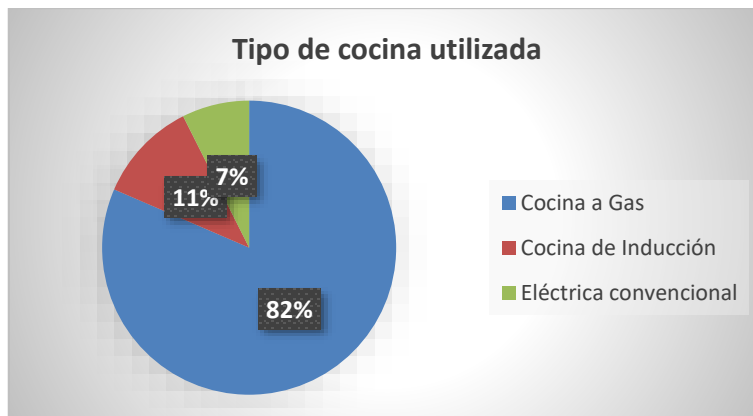


Figura 3.22. Resultados de tipo de cocina para estrato D.

Motivo principal de elección del tipo de cocina

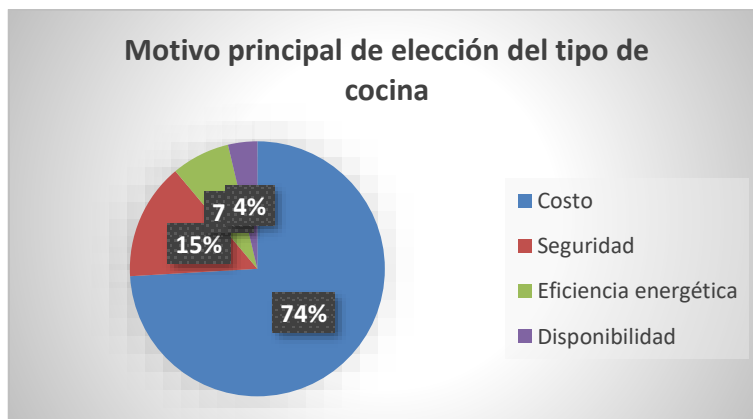


Figura 3.23. Resultados del motivo principal de elección del tipo de cocina para estrato D.

Tiempo aproximado de uso por sesión

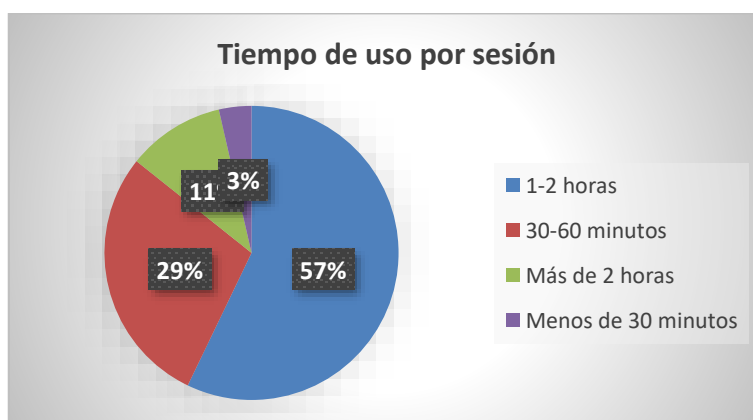


Figura 3.24. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato D.

¿Interrupciones de servicio eléctrico en los últimos 6 meses?

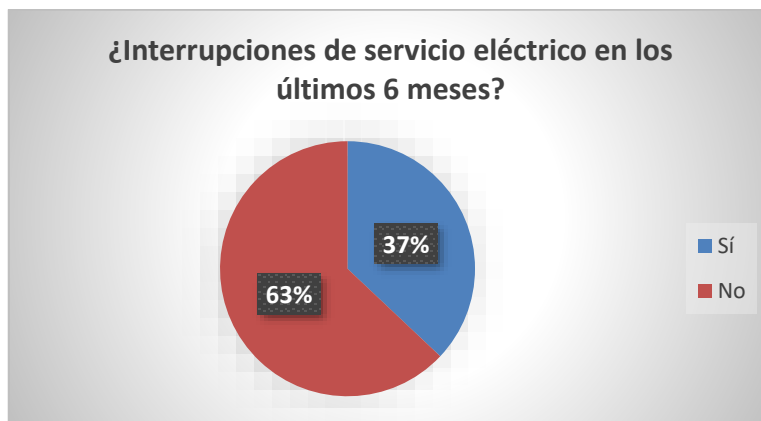


Figura 3.25. Resultados para el tiempo aproximado de uso por sesión para estrato D.

¿Fluctuaciones de voltaje?

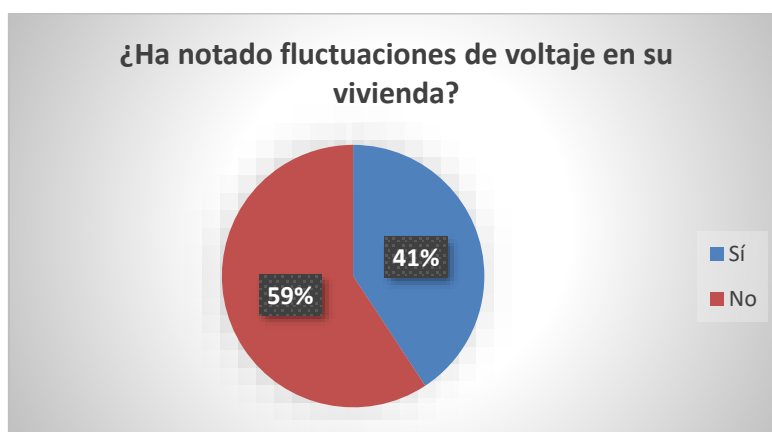


Figura 3.26. Resultados para fluctuaciones en estrato D.

¿Considera que el servicio eléctrico local es suficiente para cubrir sus necesidades actuales?

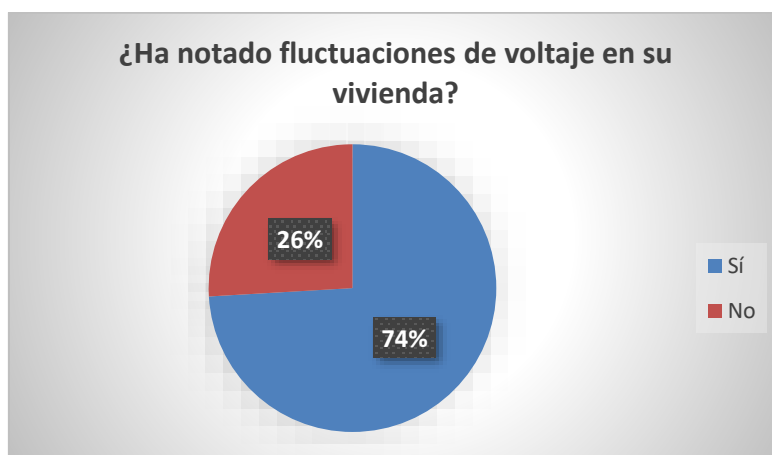


Figura 3.27. Resultados sobre opinión de suficiencia energética en estrato D.

4 Evaluación del impacto de las cocinas de inducción en la red eléctrica antes y después de su implementación

El modelamiento de la red de distribución eléctrica tiene como objetivo representar de forma precisa la topología del sistema y todos sus componentes, como líneas, transformadores, ramales y cargas, de manera que se permita analizar su comportamiento bajo distintas condiciones operativas y niveles de demanda.

En este estudio, la simulación se orienta al cálculo de pérdida de energía y caída de voltaje acumulada, una variable clave para evaluar la calidad del suministro eléctrico. Para ello se emplea un software especializado, ETAP, que realiza este cálculo de forma más precisa y automatizada, utilizando algoritmos de flujo de carga (*power flow*) para determinar las pérdidas de voltaje en cada tramo de la red. Este enfoque moderno se compara con el método tradicional utilizado por la EERCS, basado en hojas de cálculo en Excel.

A diferencia de estudios previos que abordan el impacto de la electrificación residencial desde un enfoque general o mediante modelos separados [37], este trabajo incorpora una metodología integral basada en datos reales de consumo, levantamientos técnicos en campo y simulaciones con herramientas profesionales. Esta combinación permite analizar con mayor precisión los efectos de la implementación de cocinas de inducción sobre transformadores y líneas de distribución, considerando además diferencias entre estratos socioeconómicos. De esta manera, se aporta una herramienta replicable para la planificación operativa local, superando las limitaciones de aproximaciones teóricas o centralizadas. Los valores utilizados en los escenarios de simulación fueron definidos conforme a lineamientos técnicos aplicados por empresas distribuidoras como EERCS, EEQ y EEASA.

Se consideraron variables representativas de las condiciones reales de operación de la red, incluyendo la demanda máxima unitaria proyectada Tabla 3.3 y el factor de coincidencia de clientes Tabla 3.9, así como el factor de potencia de clientes Tabla 3.8 y el número total de usuarios. Además, se incluyeron variables asociadas al uso de cocinas de inducción, tales como la demanda máxima unitaria de cocinas de inducción (3.4), su factor de coincidencia Tabla 3.11, su factor de potencia Tabla 3.13 y el número de cocinas de inducción. También se consideraron las cargas de alumbrado público y cargas especiales, así como un margen de sobrecarga Tabla 3.14 representado mediante el factor μ .

Diagrama metodológico del análisis desarrollado en el estudio

La Figura 4.1 presenta de forma esquemática el proceso metodológico aplicado en el presente estudio. Este abarca desde la recopilación de datos y caracterización de la red, hasta la simulación en ETAP y el análisis numérico en Julia, permitiendo evaluar de manera integral el impacto de la implementación de cocinas de inducción en transformadores de distribución pertenecientes a distintos estratos residenciales.

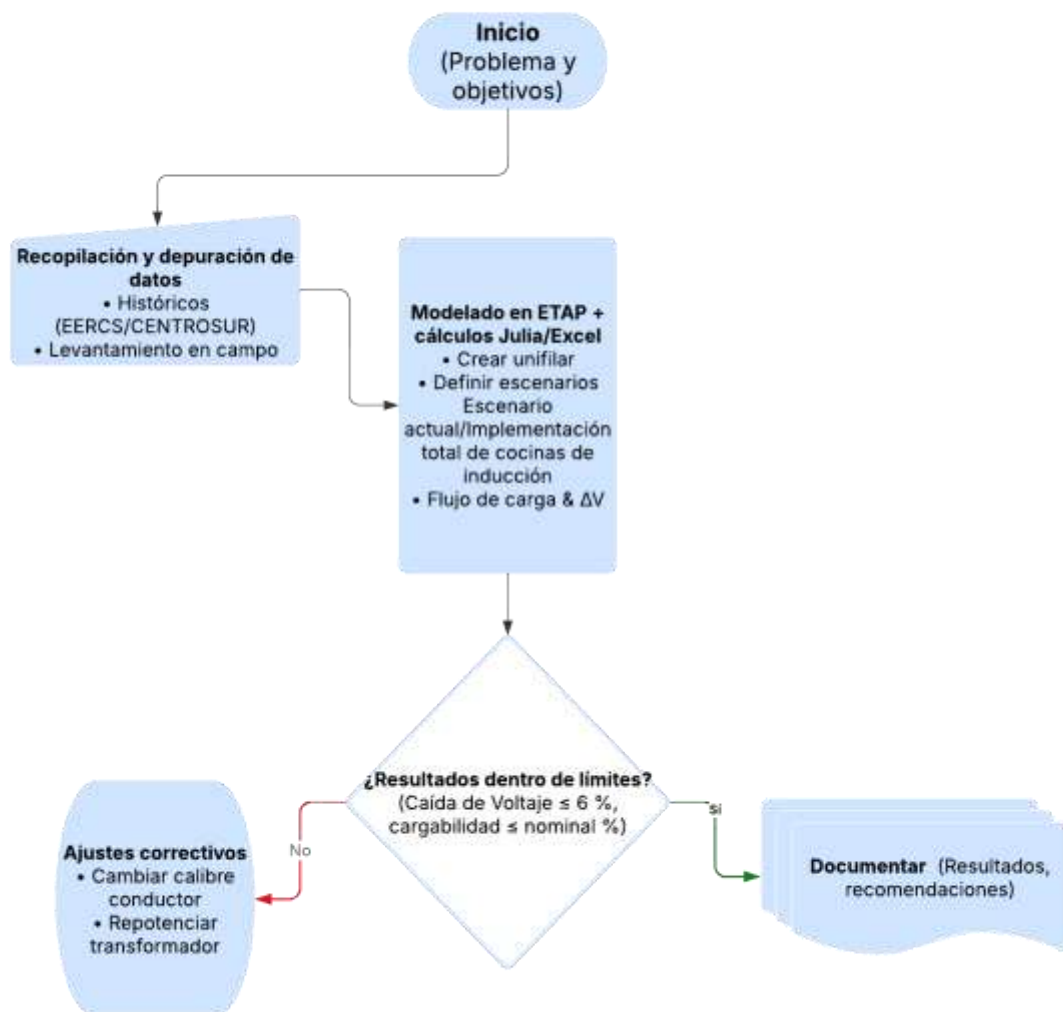


Figura 4.1. Diagrama metodológico del análisis desarrollado en el estudio.

Parámetros y Consideraciones para la Simulación del Sistema de Distribución en ETAP

Para modelar la red fue necesario tomar en consideración diversos aspectos técnicos que garantizan una representación realista del sistema y permiten realizar simulaciones precisas, los mismo que se detallan a continuación.

Red Eléctrica (Barra infinita)

- El punto de alimentación se simula como una barra infinita, en el software utilizado se lo representa por “POWER GRID” al cual se le da un valor de potencia muy alto simulando de esta forma una red estable y robusta ante variaciones.

Transformador Reductor

- Para simular el transformador de distribución se utiliza el elemento del software “2-WINDING TRANSFORMER”.
- Valores reales de potencia 50KVA para el estrato B, 25KVA para el estrato C y 15 KVA para el estrato D.
- Conexiones, debido a que el transformador del estrato B es el único trifásico en este análisis, se debe configurar su conexión el cual es $\Delta - Y$ con neutro en el centro estrella, para los otros dos al ser monofásicos no se necesita especificar la conexión.
- Se le asigna los valores típicos de impedancia de un transformador de distribución sugeridos por el mismo ETAP, ($\%Z, X/R$) tanto para la secuencia positiva, negativa y cero.
- Se asigna los valores de tensión primarios (22KV, 12.7, 12.7) y secundarios (220V, 240V, 240V) respectivamente.

Postes

- Los nodos de la red se representan con el elemento “BUS”, que normalmente en la red física corresponden a los postes, al cual solo es necesario darle el nivel de tensión el cual es el mismo que el voltaje secundario de su transformador correspondiente.

Líneas de distribución

- Para modelar el comportamiento de los conductores de tramo a tramo, se utilizó únicamente el elemento “CABLE”, ya que se trata de un sistema de distribución. La parametrización de cada tramo se basó en el levantamiento de información obtenido a través de Geoportal Tabla 4.1, donde se especifican los tipos de conductor utilizados en cada fase, así como el conductor correspondiente al neutro. ETAP cuenta con las respectivas bibliotecas de conductores normalizados, lo cual facilita la asignación precisa de propiedades eléctricas a cada segmento de la red.

Tabla 4.1 Tabla de conductores utilizada en los sistemas de Distribución de la EERCS.

Código de Conductor	Descripción Técnica
ACRS.1/0	Alambre de Aleación de Aluminio 1/0 AWG
ACRS.3/0	Alambre de Aleación de Aluminio 3/0 AWG
ACRS.2	Alambre de Aleación de Aluminio #2 AWG
MUL.AL. 2x4	Multiplexado de Aluminio 2x4 mm ²
MUL.AL. 3x6	Multiplexado de Aluminio 3x6 mm ²

Cargas

- Para modelar las cargas se utiliza el elemento “STATIC LOAD”, asignándole el valor de potencia y el tipo de conexión (monofásica o bifásica).
- Para lo que es alumbrado público todas fueron modeladas como lámparas de 200W.
- Para las cargas residenciales en el estado actual, se ha considerado el efecto de las cocinas de inducción mediante la incorporación de su demanda y su factor de coincidencia. La determinación de la demanda máxima unitaria no se realizó mediante valores fijos, sino a partir del consumo mensual de energía de cada usuario, utilizando

un modelo de ajuste potencial basado en datos de campañas de medición, como se detalla en los apartados 5.1 y 5.4 del Estudio de Investigación de la Carga de CENTROSUR [38]. Esta metodología permitió estimar la potencia en función del número de usuarios y sus hábitos de consumo, integrando así el impacto real de las cocinas de inducción en la red.

- Para las cargas residenciales con la implementación total de cocinas a inducción por cada estrato, el valor de su potencia (kVA) fue tomada según el número de usuarios mediante **Anexo B: Cuadro de demandas máximas diversificadas EERCS**, el cual dependerá directamente del número de usuarios.

Adicionalmente, se incluye el análisis de la capacidad del transformador principal, con el fin de verificar su comportamiento frente al escenario de mayor demanda, como es la incorporación de cocinas de inducción en los diferentes estratos, así como en el escenario actual. El cálculo se realiza empleando el lenguaje de programación JULIA, utilizado exclusivamente para la ejecución de operaciones numéricas asociadas a la estimación de cargabilidad. Este software fue seleccionado por su facilidad para automatizar cálculos repetitivos con precisión. Para este análisis, se toma como referencia la línea base previamente calculada, fundamentada en la caracterización de la demanda por estrato socioeconómico. Dicha base fue establecida conforme a criterios y factores técnicos definidos por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. (CENTROSUR), lo que permite contrastar de manera precisa la capacidad operativa de los transformadores bajo condiciones actuales frente a los distintos escenarios de demanda.

4.1 Evaluación del escenario actual de la red

4.1.1 Modelamiento de la red y simulación del caso de estudio en ETAP

En este primer escenario se analiza la red en su estado actual, considerando únicamente las cocinas de inducción que ya han sido implementadas por ciertos usuarios. Para ello, se emplea el software ETAP, el cual permite realizar cálculos precisos y automatizados de caída de tensión en cada barra del sistema, mediante algoritmos de flujo de carga (power flow). Esta funcionalidad posibilita determinar tanto las pérdidas de voltaje en cada tramo como las caídas acumuladas a lo largo de la red. Gracias a esta capacidad, es posible evaluar el comportamiento real del sistema bajo las condiciones actuales de carga, identificando los niveles de caída de tensión y el desempeño de la red sin introducir nuevas fuentes de demanda.

4.1.1.1 Estrato B

Se presenta el modelado del sistema de distribución correspondiente al estrato B en su estado actual, el cual incluye el transformador, los tramos de red y las cargas asociadas a usuarios residenciales y luminarias; a continuación, se muestra en la Figura 4.2, que sirve como base para el análisis del comportamiento de la red bajo condiciones reales de operación.

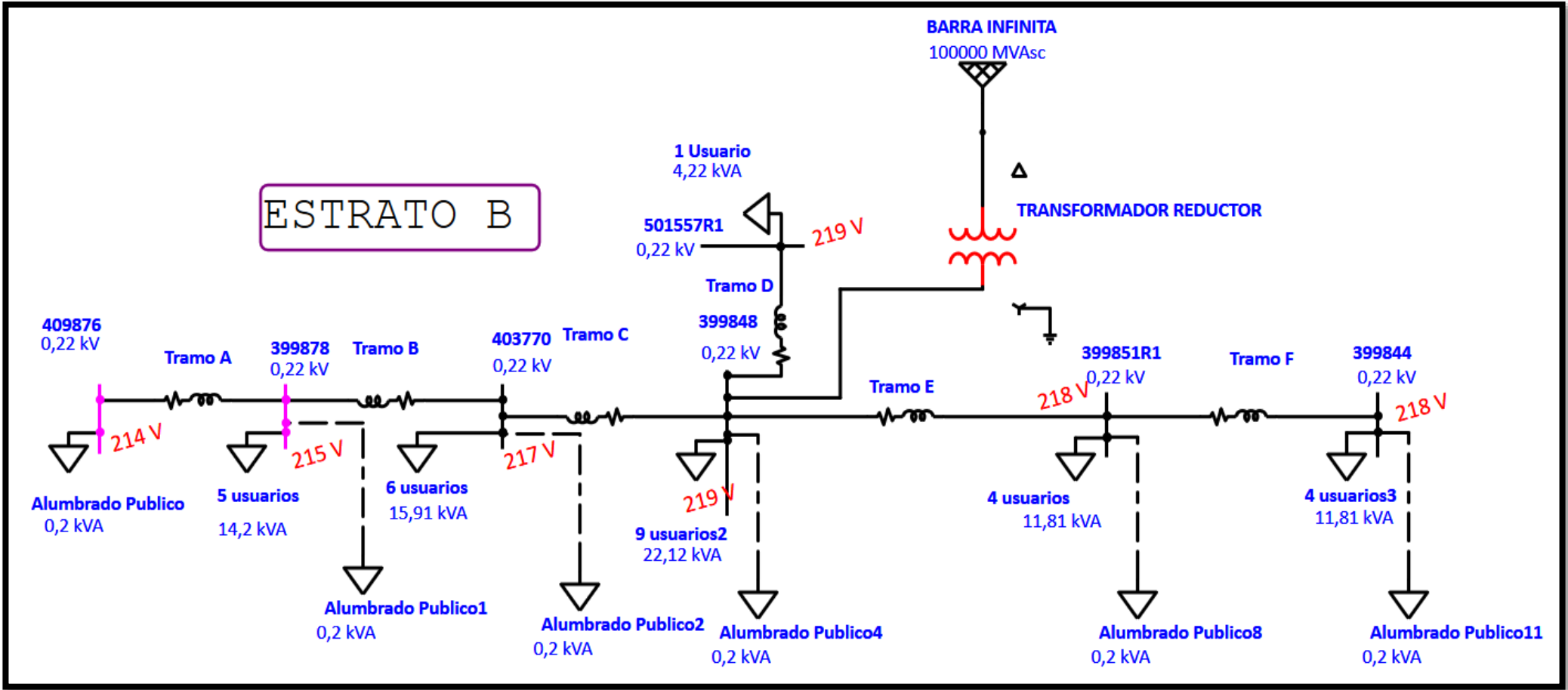


Figura 4.2 Diagrama del sistema de distribución estrato B simulado en ETAP en estado actual

Una vez ejecutada la simulación del flujo de carga en ETAP para el escenario actual del estrato B, se obtienen los resultados de caída de tensión en las barras (Tabla 4.2), los cuales permiten evaluar el desempeño de la red en condiciones reales de operación.

Tabla 4.2 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato B, en estado actual.

Poste (Bus ID)	Voltaje Nominal (kV)	Voltaje [%]	% Caída de Tensión acumuladas	Voltaje [V]
409876	0,22	98,53	2,05	215,5
399878	0,22	98,57	2,01	215,6
403770	0,22	98,86	1,15	217,5
501557R1	0,22	98,87	0,22	219,5
399851R1	0,22	99,12	0,6	218,7
399844	0,22	98,98	0,74	218,4

De forma complementaria al análisis realizado en ETAP, se calcula la caída de tensión acumulada del estrato B en su estado actual mediante la hoja de Excel utilizada por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, con el fin de contrastar los resultados obtenidos bajo condiciones reales de operación.

Tabla 4.3 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato B, en estado actual.

TRAMO	LONG. (m)	# ABON.	Al.Púb. (W)	CARGA (kVA)	FASES	AWG	F.D.V.	kVA·m	PARCIAL (%)	ACUM. (%)
409876 – 399878	18,69	0	0,2	0,20	2	4	198	4	0,02	2,14
399878 – 403770	34,14	5	0,4	12,46	3	1/0	595	425	0,71	2,12
403770 – 399848	34,47	11	0,6	24,38	3	1/0	595	840	1,41	1,41
399848 – 501557R1	32,31	1	0	3,21	3	1/0	595	104	0,17	0,17
399848 – 399851R1	27,64	8	0,4	20,85	3	1/0	595	282	0,47	0,47
399851R1 – 399844	20,56	4	0,2	10,20	3	1/0	595	210	0,35	0,82

4.1.1.2 Estrato C

Se presenta el modelado del sistema de distribución correspondiente al estrato C en su estado actual, considerando el transformador, los tramos de red y las cargas de usuarios residenciales y luminarias; se muestra en la Figura 4.3 que sirve como base para el análisis del comportamiento de la red bajo condiciones reales de operación

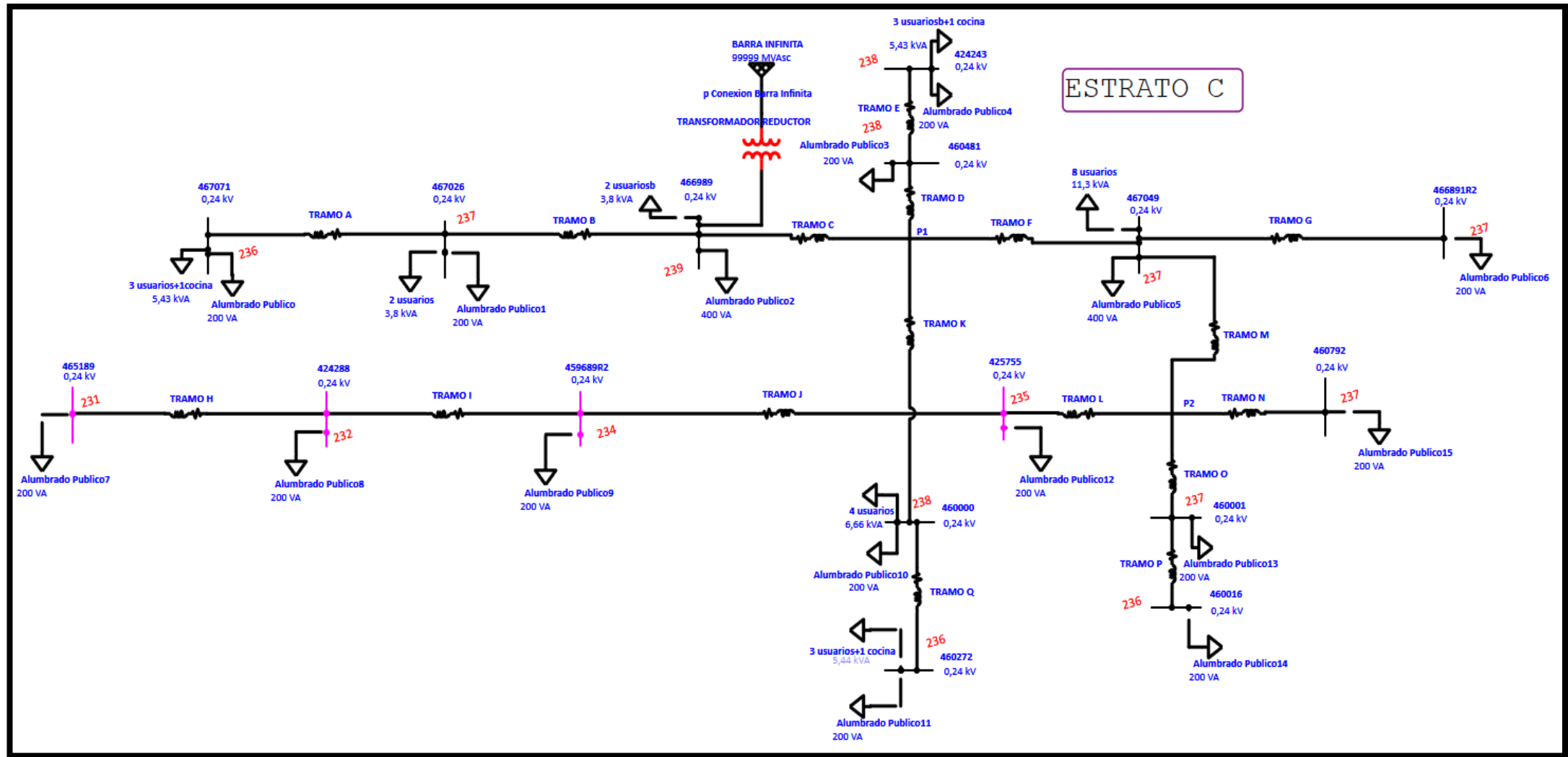


Figura 4.3 Diagrama del sistema de distribución estrato C simulado en ETAP en estado actual.

Una vez ejecutada la simulación del flujo de carga en ETAP para el escenario actual del estrato C, se obtienen los resultados de caída de tensión en las barras, los cuales permiten evaluar el comportamiento de la red en condiciones reales de operación.

Tabla 4.4 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato C en estado actual.

Poste (Bus ID)	Voltaje Nominal (kV)	Voltaje [%]	% Caída de Tensión acumuladas	Voltaje [V]
467071	0,24	98,52	1.48	237,7
467026	0,24	98,87	1.13	237,7
P1	0,24	98,94	1.06	238,1
460481	0,24	99,16	0.84	238,6
424243	0,24	99,04	0.96	237,7
467049	0,24	98,3	1.70	237,3
466891R2	0,24	98,92	1.08	238,6
465189	0,24	96,37	3.63	231,3
424288	0,24	96,72	2.40	232,1
459689R2	0,24	97,6	2.10	234,2
460000	0,24	99,05	1.30	237,4
425755	0,24	97,9	1.39	235
P2	0,24	98,7	1.32	236,9
460792	0,24	98,61	1.41	236,7
460001	0,24	98,68	1.50	236,8
460016	0,24	98,5	1.4	236,4
460272	0,24	98,42	1.58	236,4

De forma complementaria al análisis realizado en ETAP, se calcula la caída de tensión acumulada del estrato C en su estado actual mediante la hoja de Excel utilizada por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, con el fin de contrastar los resultados obtenidos bajo condiciones reales de operación.

Tabla 4.5 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato C en estado actual.

TRAMO	LONG. (m)	# ABON.	Al.Púb. (W)	CARGA (kVA)	FASES	AWG	F.D.V.	kVA·m	PARCIAL (%)	ACUM. (%)
467071 – 467026	38,25	3	0,2	5,69	2	1/0	354	216	0,61	1,96
467026 – 466989	30,55	5	0,2	8,53	2	1/0	354	252	0,71	1,35
466989 – P1	9,03	18	2,4	23,89	2	1/0	354	227	0,64	0,64
P1 – 460481	9,8	3	0,4	4,31	2	1/0	354	41	0,12	0,76
460481 – 424243	28,37	3	0,2	5,49	2	1/0	354	154	0,44	1,20
P1 – 467049	25,44	8	0,4	11,81	2	1/0	354	298	0,84	1,48
467049 – 466891R2	35,08	0	0,2	0,25	2	1/0	354	7	0,02	1,50
465189 – 424288	29,73	0	0,4	0,25	1	4	44	12	0,27	3,16
424288 – 459689R2	37,25	0	0,4	0,5	1	4	44	15	0,34	2,89
459689R2 – 425755	22,05	0	0,6	0,75	1	4	44	20	0,45	2,55
425755 – P2	14,91	7	0,4	10,61	2	1/0	354	157	0,44	1,08
P2 – 460792	16,98	0	0,8	1	1	4	44	14	0,32	2,10
467049 – P2	9,14	0	1,4	1,4	1	4	44	13	0,30	1,78
P2 – 460001	17,77	0	0,2	0,25	1	4	44	4	0,09	1,87
460001 – 460016	13,01	0	0,4	0,5	1	4	44	1	0,02	1,80
460016 – 460000	27,69	0	0,2	0,25	1	4	44	6	0,14	1,94
460000 – 460272	32,82	3	0	5,69	2	1/0	354	178	0,50	1,58

4.1.1.3 Estrato D

Se presenta el modelado del sistema de distribución correspondiente al estrato D en su estado actual (Figura 4.4), considerando el transformador, los tramos de red y las cargas asociadas a usuarios residenciales y luminarias. A partir de este modelado, se identifican caídas de tensión críticas en varios puntos de la red.

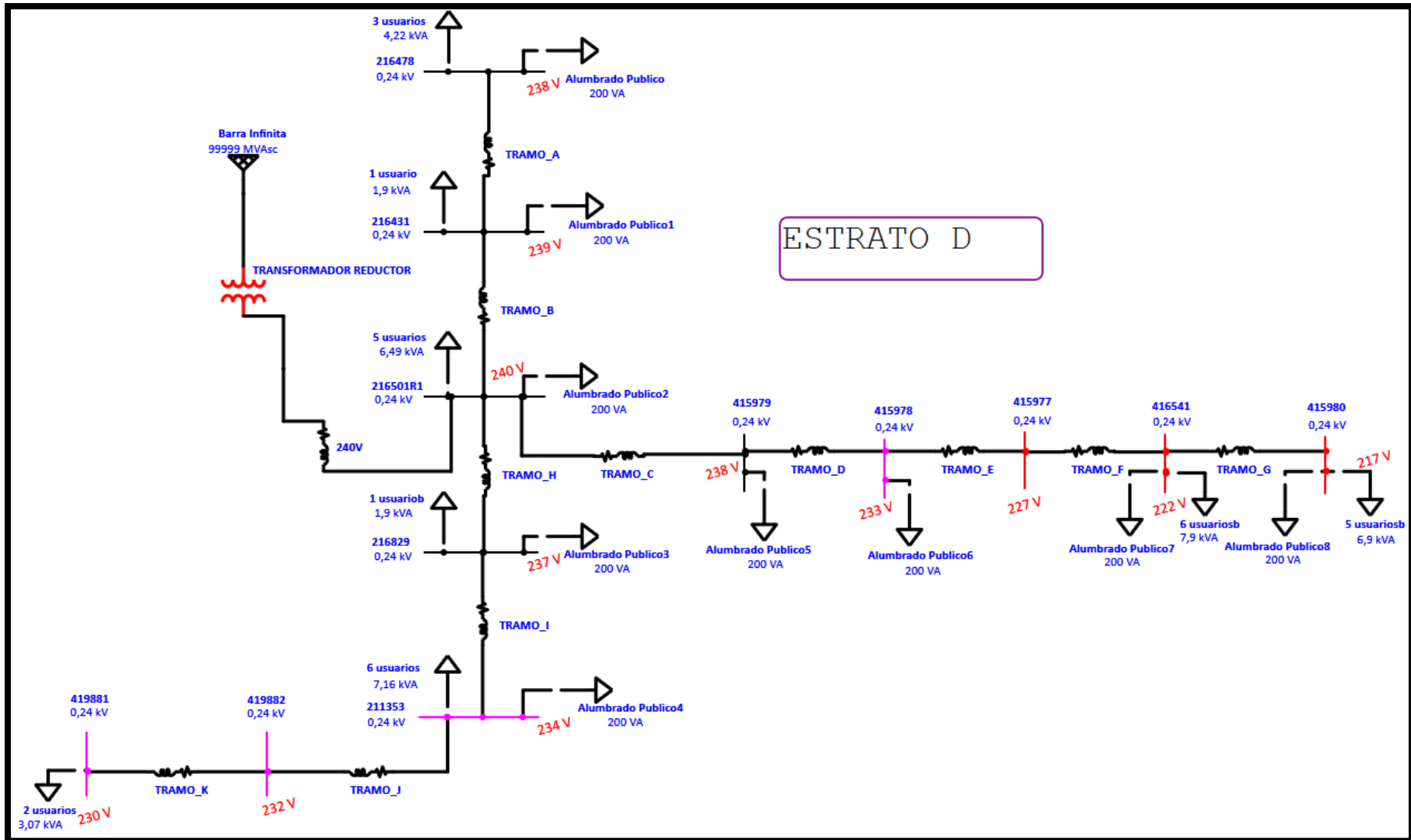


Figura 4.4 Diagrama del sistema de distribución estrato D simulado en ETAP en estado actual

Una vez ejecutada la simulación del flujo de carga en ETAP para el escenario actual del estrato D, se obtienen los resultados de caída de tensión en las barras, los cuales permiten evaluar el comportamiento de la red en condiciones reales de operación. Los resultados revelan caídas de tensión significativas en varios tramos, superando los límites recomendados, lo que confirma la presencia de deficiencias en el sistema que deben ser abordadas mediante una intervención técnica adecuada.

Tabla 4.6 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato D en estado actual.

Poste (Bus ID)	Voltaje Nominal (kV)	Voltaje [%]	% Caída de Tensión Acumulado	Voltaje [V]
216478	0,24	99,36	0,64	238,5
216431	0,24	99,7	0,3	239,3
415979	0,24	99,32	0,68	238,4
415978	0,24	96,91	3,09	232,6
415977	0,24	94,57	5,43	227
416541	0,24	92,43	7,57	230,2
415980	0,24	90,47	9,53	221,8
216829	0,24	98,85	1,15	237,3
211353	0,24	97,34	2,66	233,6
419882	0,24	96,66	3,34	232
419881	0,24	95,91	4,09	232

De forma complementaria al análisis realizado en ETAP, se calcula la caída de tensión acumulada del estrato D en su estado actual mediante la hoja de Excel utilizada por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, con el fin de contrastar los resultados obtenidos bajo condiciones reales de operación. Este análisis permite corroborar la existencia de caídas de tensión considerables en varios tramos de la red, confirmando la necesidad de aplicar medidas correctivas para mejorar el desempeño eléctrico del sistema.

Tabla 4.7 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato D en estado actual.

TRAMO	LONG. (m)	# ABON.	Al.Púb. (W)	CARGA (kVA)	FASES	AWG	F.D.V.	kVA·m	PARCIAL (%)	ACUM. (%)
216478 – 216431	36,29	3	0,2	3,28	2	1/0	354	119	0,34	0,85
216431 – 216501R1	38,88	4	0,4	4,63	2	1/0	354	180	0,51	0,51
216501R1 – 415979	14,76	11	0,8	14,08	2	2	254	208	0,82	0,82
415979 – 415978	46,26	11	0,6	13,88	2	2	254	642	2,53	3,35
415978 – 415977	39,99	11	0,4	13,68	2	2	254	547	2,15	5,50
415977 – 416541	39,04	11	0,4	13,68	2	2	254	534	2,10	7,60
416541 – 415980	70,8	5	0,2	7,19	2	2	254	509	2,00	9,60
216501R – 216829	48,89	9	0,4	10,45	2	1/0	354	511	1,44	1,44
216829 – 211353	56,51	8	0,4	9,50	2	1/0	354	537	1,52	2,96
211353 – 419882	51,84	2	0	3,08	2	2	254	160	0,63	3,59
419882 – 419881	61,84	2	0	3,08	2	2	254	190	0,75	4,34

4.1.2 Cálculo de la capacidad del transformador en el estado actual

En el marco de la metodología previamente desarrollada, se aborda a continuación el cálculo de la capacidad del transformador en el estado actual, sin considerar la implementación generalizada de cocinas de inducción, lo que permite establecer una referencia operativa que servirá como base para la evaluación comparativa frente a escenarios de mayor demanda.

4.1.2.1 Utilización del software Julia en el escenario actual

Se utilizó el software Julia, el mismo que permite calcular la capacidad de los transformadores, aplicando la ecuación (3.1). Para ello, se implementó un script, es decir, un conjunto de instrucciones programadas que recibe como entrada los valores de demanda, factores de potencia, coincidencia, alumbrado, cantidad de usuarios, estrato, y devuelve como salida el valor estimado de capacidad del transformador en kVA. Esta implementación facilitó la ejecución sistemática y ágil de los cálculos requeridos para los distintos escenarios analizados. En este caso, Julia fue empleado únicamente como herramienta de apoyo para ejecutar con mayor agilidad y precisión la fórmula establecida, facilitando el procesamiento numérico necesario para los diferentes estratos.

Los resultados se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Resultados calculados mediante Julia del estado de los transformadores en estado actual

Estrato	Número de Usuarios	Total, de Cocinas	Capacidad estimada KVA	Transformador Instalado KVA	Cargabilidad %
B	29	15	24,2047	50	48,4095
C	25	3	11,6129	25	46,4517
D	27	5	9,5870	15	63,9138

4.2 Evaluación de escenarios de carga con implementación de cocinas de inducción

4.2.1 Modelamiento de la red y simulación del caso de estudio

En este segundo escenario, se evalúa la red bajo una condición de carga máxima teórica, asumiendo la incorporación de cocinas de inducción en la totalidad de los usuarios residenciales. ETAP, el software utilizado para este análisis, realiza este cálculo de una manera más precisa y automatizada, utilizando algoritmos de flujo de carga (power flow) para determinar las pérdidas de voltaje en cada tramo de la red. Esto permite simular el impacto potencial de esta nueva carga sobre el perfil de voltaje, anticipando posibles puntos críticos en el sistema y determinando si la red, en su estado actual, puede soportar la electrificación completa del parque de cocción sin afectar la calidad del suministro.

4.2.1.1 Estrato B

Se modela el sistema de distribución correspondiente al estrato B considerando una penetración total de cocinas de inducción, incluyendo el transformador y los tramos que alimentan a usuarios residenciales y luminarias; a continuación, en la Figura 4.5 se presenta el diagrama unifilar simulado en ETAP que sirve de base para el análisis de cargabilidad y caída de tensión.

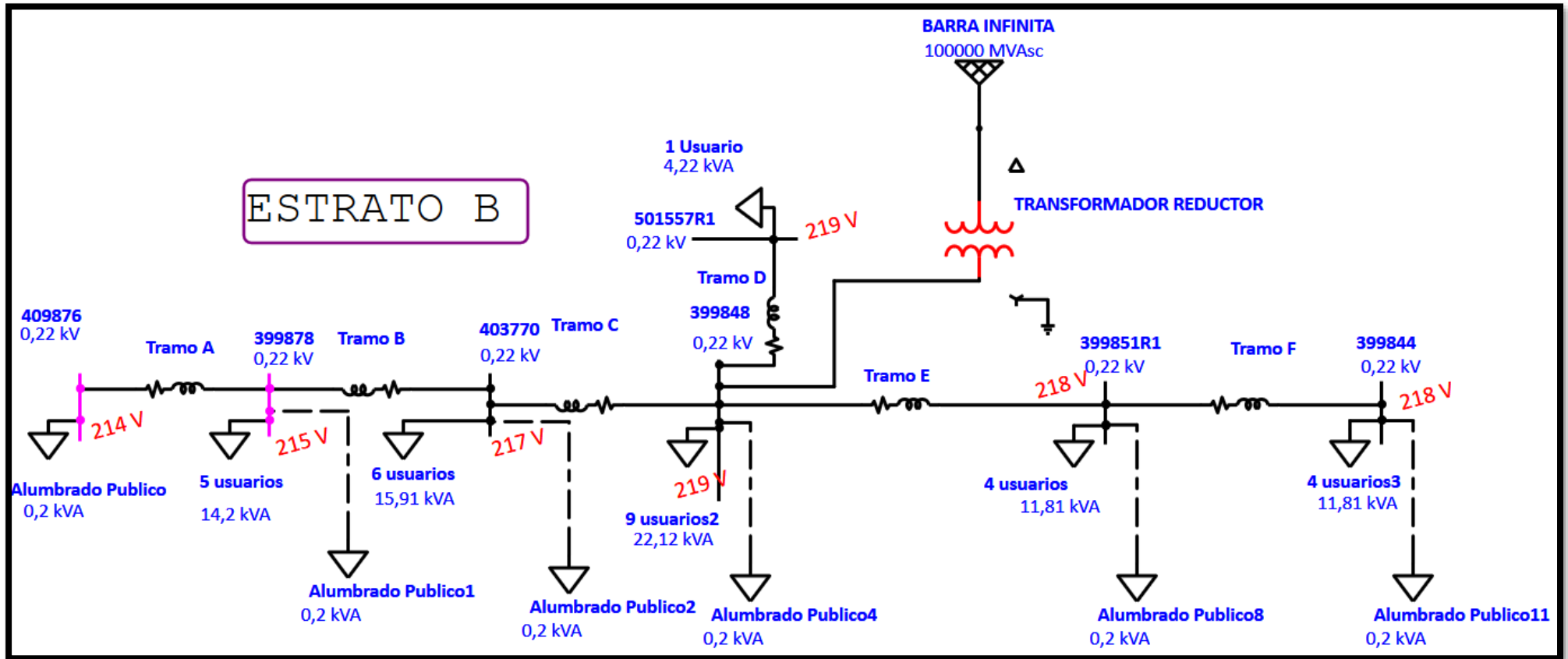


Figura 4.5 Diagrama del sistema de distribución estrato B simulado en ETAP, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

Una vez ejecutada la simulación del flujo de carga en ETAP para el escenario de máxima demanda en el estrato B, se obtienen los resultados de caída de tensión acumulada por barra, los cuales sirven como base para el análisis técnico del comportamiento de la red.

Tabla 4.9 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato B, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

Poste (Bus ID)	Voltaje Nominal (kV)	Voltaje [%]	% Caída de Tensión acumuladas	Voltaje [V]
409876	0,22	97,50	2,50	214,5
399878	0,22	97,53	2,47	214,6
403770	0,22	98,54	1,46	216,8
501557R1	0,22	99,53	0,47	219,0
399851R1	0,22	99,10	0,90	218,0
399844	0,22	98,92	1,08	217,6

De forma complementaria al análisis en ETAP, se realiza el cálculo de la caída de tensión acumulada mediante la hoja de Excel utilizada por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, con el objetivo de contrastar los resultados obtenidos para el estrato B bajo el escenario de máxima demanda.

Tabla 4.10 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato B, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

TRAMO	LONG. (m)	# ABON.	Al.Púb. (W)	CARGA (kVA)	FASES	AWG	F.D.V.	kVA·m	PARCIAL (%)	ACUM. (%)
409876 – 399878	18,69	0	0,2	0,20	2	4	198	4	0,02	2,41
399878 – 403770	34,14	5	0,4	14,64	3	1/0	595	500	0,84	2,39
403770 – 399848	34,47	11	0,6	26,73	3	1/0	595	921	1,55	1,55
399848 – 501557R1	32,31	1	0	4,22	3	1/0	595	136	0,43	0,43
399848 – 399851R1	27,64	8	0,4	20,49	3	1/0	595	445	0,75	0,75
399851R1 – 399844	20,56	4	0,2	16,11	3	1/0	595	331	0,56	1,31

4.2.1.2 Estrato C

Se modela el sistema de distribución correspondiente al estrato C considerando la adopción total de cocinas de inducción, incluyendo el transformador y los tramos que alimentan a los usuarios residenciales y luminarias; a continuación, en la Figura 4. se presenta el diagrama unifilar simulado en ETAP que sirve de base para el análisis de cargabilidad y caída de tensión.

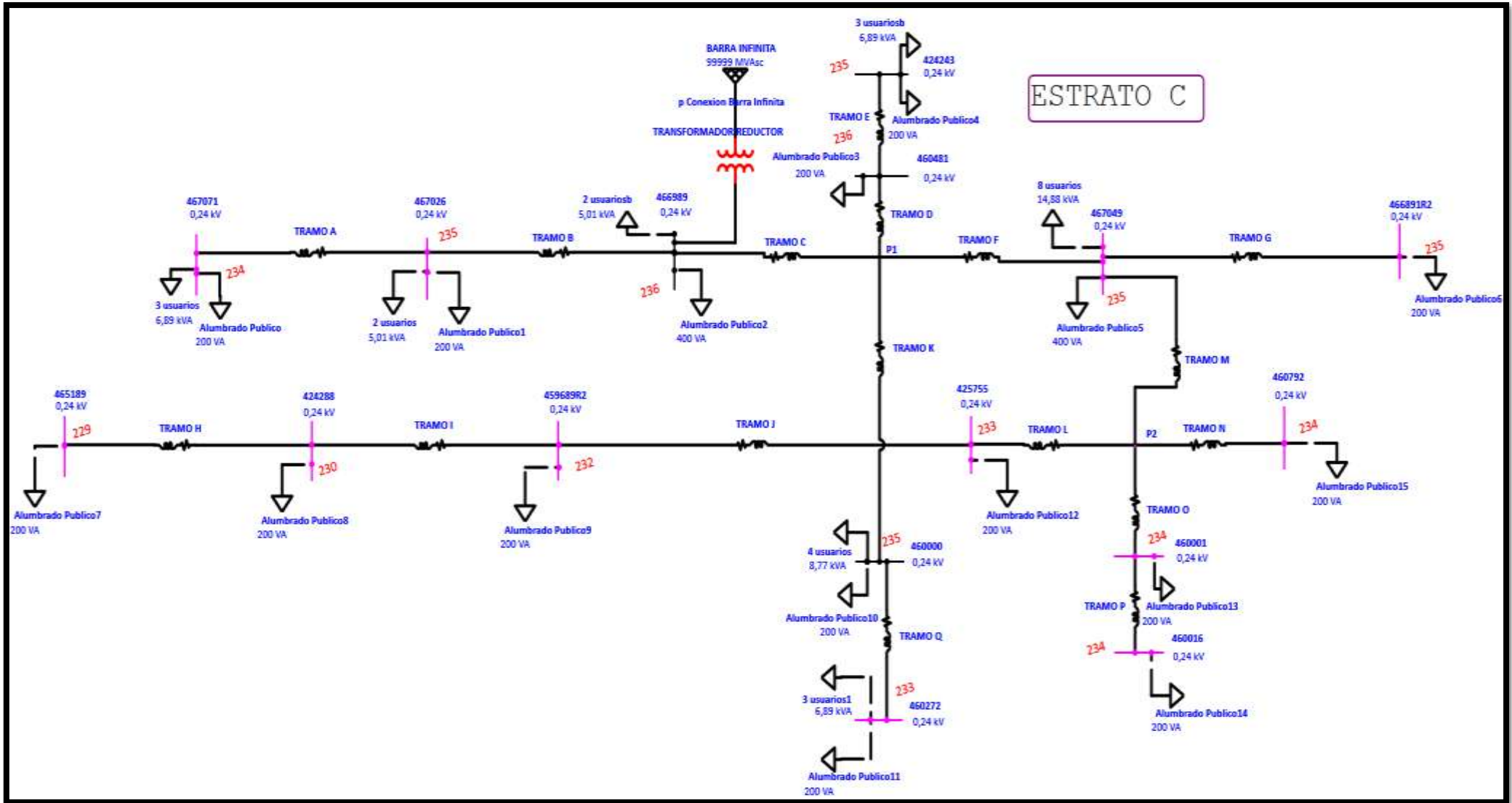


Figura 4.6 Diagrama del sistema de distribución estrato C simulado en ETAP, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

Una vez ejecutada la simulación del flujo de carga en ETAP para el escenario de máxima demanda en el estrato C, se obtienen los resultados de caída de tensión en las barras, los cuales sirven como base para el análisis técnico del comportamiento de la red.

Tabla 4.11 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato C, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

Poste (Bus ID)	Voltaje Nominal (kV)	Voltaje [%]	% Caída de Tensión acumuladas	Voltaje [V]
467071	0,24	97,92	2,08	235,0
467026	0,24	98,87	1,64	236,2
P1	0,24	98,78	1,22	237,1
460481	0,24	98,73	1,27	237,0
424243	0,24	98,58	1,42	236,6
467049	0,24	98,30	1,57	236,2
466891R2	0,24	98,42	1,58	236,2
465189	0,24	96,19	3,81	230,8
424288	0,24	96,73	3,27	232,2
459689R2	0,24	97,11	2,89	233,1
460000	0,24	98,59	1,41	236,0
425755	0,24	97,41	2,59	233,8
P2	0,24	98,21	1,79	235,7
460792	0,24	98,12	1,88	235,5
460001	0,24	98,19	1,81	235,7
460016	0,24	98,01	1,99	235,2
460272	0,24	97,80	2,20	234,7

De forma complementaria al análisis en ETAP, se realiza el cálculo de la caída de tensión acumulada mediante la hoja de Excel utilizada por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, con el objetivo de contrastar los resultados obtenidos para el estrato C bajo el escenario de máxima demanda.

Tabla 4.12 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción. estrato C.

TRAMO	LONG. (m)	# ABON.	Al.Púb. (W)	CARGA (kVA)	FASES	AWG	F.D.V.	kVA·m	PARCIAL (%)	ACUM. (%)
467071 – 467026	38,25	3	0,2	7,09	2	1/0	354	271	0,77	2,52
467026 – 466989	30,55	5	0,2	10,77	2	1/0	354	329	0,93	1,75
466989 – P1	9,03	18	2,4	32,26	2	1/0	354	291	0,82	0,82
P1 – 460481	9,8	3	0,4	5,41	2	1/0	354	53	0,15	0,97
460481 – 424243	28,37	3	0,2	7,09	2	1/0	354	201	0,57	1,54
P1 – 467049	25,44	8	0,4	15,28	2	1/0	354	389	1,10	1,92
467049 – 466891R2	35,58	0	0,2	0,20	2	1/0	354	7	0,02	1,94
465189 – 424288	29,73	0	0,4	0,40	1	4	44	12	0,27	3,60
424288 – 459689R2	37,25	0	0,4	0,40	1	4	44	15	0,34	3,33
459689R2 – 425755	33,67	0	0,6	0,60	1	4	44	20	0,45	2,99
425755 – P2	14,91	7	0,4	13,50	2	1/0	354	201	0,57	1,39
P2 – 460792	16,98	0	0,8	0,80	1	4	44	14	0,32	2,54
467049 – P2	9,14	0	1,4	1,40	1	4	44	13	0,30	2,22
P2 – 460001	17,77	0	0,2	0,20	1	4	44	4	0,09	2,31
460001 – 460016	3,11	0	0,4	0,40	1	4	44	1	0,02	2,24
460016 – 460000	27,69	0	0,2	0,20	1	4	44	6	0,14	2,38
460000 – 460272	32,82	3	0,2	7,09	2	1/0	354	233	0,66	2,05

4.2.1.3 Estrato D

Se modela el sistema de distribución correspondiente al estrato D considerando una adopción total de cocinas de inducción, incluyendo el transformador y los tramos que alimentan a los usuarios residenciales y luminarias; a continuación, en la Figura 4.7 se presenta el diagrama unifilar simulado en ETAP que sirve de base para el análisis de cargabilidad y caída de tensión. Además, se debe tomar en cuenta que es necesario corregir la caída de voltaje mediante el uso de nuevas líneas de cable calibre 3/0 para los tramos afectados, con el fin de mantener los niveles de tensión dentro de los límites normativos y garantizar un suministro eficiente.

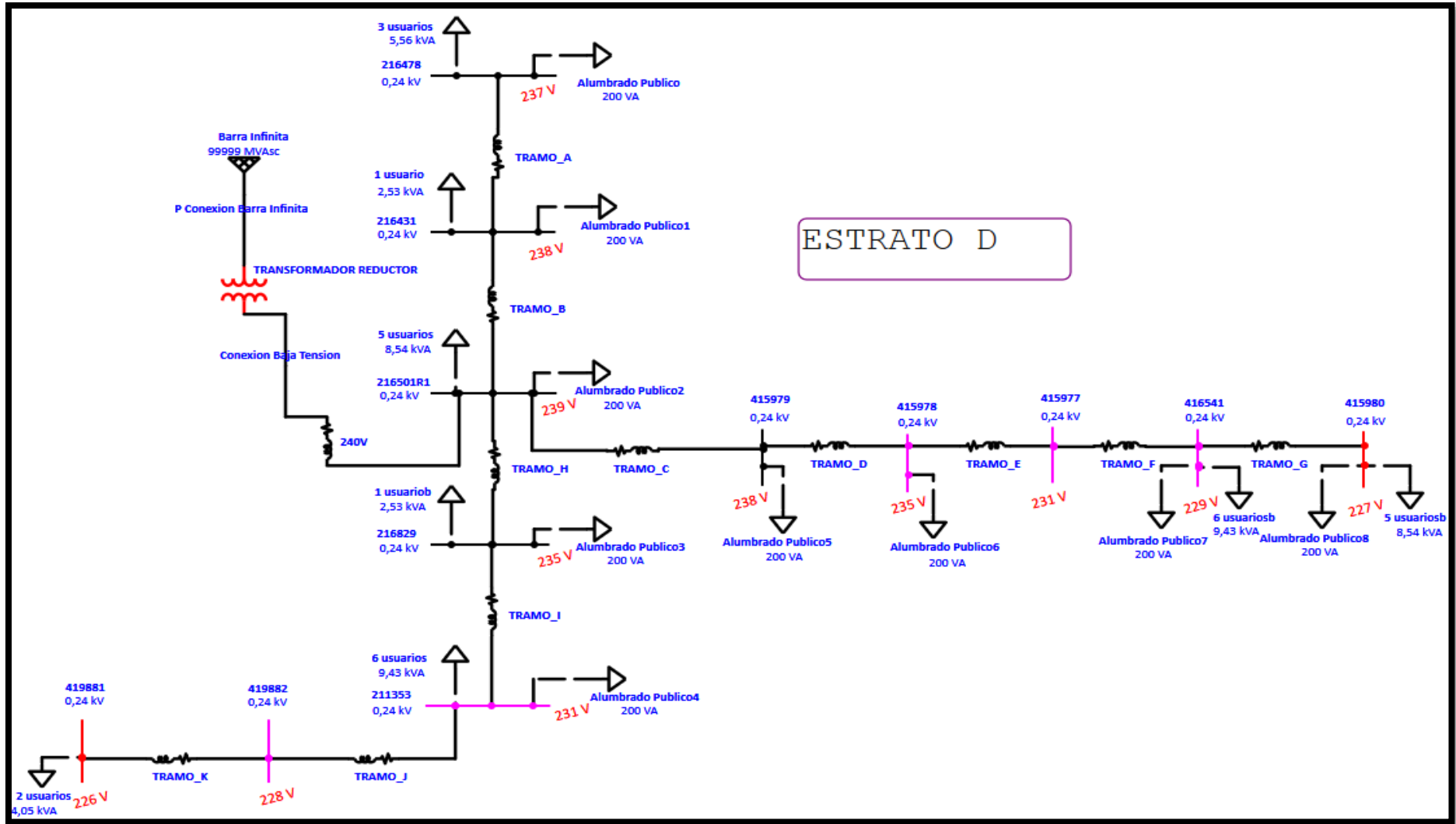


Figura 4.7. Diagrama del sistema de distribución estrato D simulado en ETAP, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

Una vez ejecutada la simulación del flujo de carga en ETAP para el escenario de máxima demanda en el estrato D, se obtienen los resultados de caída de tensión en las barras, los cuales sirven como base para el análisis técnico del comportamiento de la red, en estos resultados se considera la actualización de los conductores a cables calibre 3/0 en los tramos críticos.

Tabla 4.13 Resultados de la caída de tensión acumulada una vez corrido el flujo de potencia en ETAP estrato D, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

Poste (Bus ID)	Voltaje Nominal (kV)	Voltaje [%]	% Caída de Tensión Acumulado	Voltaje [V]
216478	0,24	98,76	1,24	237,0
216431	0,24	99,2	0,8	238,0
415979	0,24	99,36	0,64	238,4
415978	0,24	97,79	2,21	234,6
415977	0,24	96,45	3,55	231,4
416541	0,24	95,57	4,43	229,3
415980	0,24	94,76	5,24	227,4
216829	0,24	98,03	1,97	235,2
211353	0,24	96,07	3,93	230,5
419882	0,24	95,19	4,81	228,4
419881	0,24	94,22	5,78	226,1

De forma complementaria al análisis en ETAP, se realiza el cálculo de la caída de tensión acumulada mediante la hoja de Excel utilizada por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, con el objetivo de contrastar los resultados obtenidos para el estrato D bajo el escenario de máxima demanda. Este cálculo considera también los ajustes implementados en la red para mejorar el perfil de voltaje, permitiendo validar la efectividad de las medidas propuestas.

Tabla 4.14 Resultados de la caída de tensión acumulada calculado mediante la hoja de Excel utilizado por EERCS estrato D, con todos los usuarios simulados con cocinas de inducción.

TRAMO	LONG. (m)	# ABON.	Al.Púb. (W)	CARGA (kVA)	FASES	AWG	F.D.V.	kVA·m	PARCIAL (%)	ACUM. (%)
216478 – 216431	36,29	3	0,2	4,25	2	1/0	354	154	0,44	1,10
216431 – 216501R1	38,88	4	0,4	5,96	2	1/0	354	232	0,66	0,66
216501R1 – 415979	14,76	11	0,8	16,48	2	3/0	496	243	0,49	0,49
415979 – 415978	46,26	11	0,6	16,28	2	3/0	496	753	1,52	2,01
415978 – 415977	39,99	11	0,4	16,08	2	3/0	496	643	1,30	3,31
415977 – 416541	39,04	11	0,4	16,08	2	3/0	496	628	1,27	4,58
416541 – 415980	70,8	5	0,2	8,74	2	3/0	496	619	1,25	5,83
216501R – 216829	48,89	9	0,4	13,63	2	1/0	354	666	1,88	1,88
216829 – 211353	56,51	8	0,2	12,18	2	1/0	354	688	1,94	3,82
211353 – 419882	51,84	2	0	4,05	2	2	254	210	0,83	4,65
419882 – 419881	61,84	2	0	4,05	2	2	254	250	0,98	5,63

4.2.2 Cálculo de la capacidad del transformador con la incorporación total de cocinas a inducción

En el marco de la metodología previamente desarrollada, se aborda a continuación el cálculo de la capacidad del transformador considerando la incorporación total de cocinas de inducción, lo que permite identificar las nuevas exigencias operativas respecto al estado actual.

4.2.3 Utilización del software Julia con la incorporación total de cocinas de inducción

Para el escenario de implementación total de cocinas de inducción, se utilizó nuevamente el programa en Julia, adaptando las entradas de la ecuación (3.1) para considerar el número total de cocinas igual a la cantidad de usuarios. Se ajustaron los factores relacionados específicamente a las cocinas de inducción manteniendo el resto de parámetros de usuarios y estratos constantes. De esta forma, se obtuvo la nueva capacidad requerida de los transformadores ante una electrificación completa de la cocción en los hogares. En este caso, Julia fue empleado únicamente como herramienta de apoyo para ejecutar con mayor agilidad y precisión la fórmula establecida, facilitando el procesamiento numérico necesario para los escenarios.

Los resultados se presentan en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Resultados calculados mediante Julia del estado de los transformadores con implementación total de cocinas a inducción.

Estrato	Número de Usuarios	Total, de Cocinas	Capacidad estimada KVA	Transformador Instalado KVA	Cargabilidad %
B	29	29	28,4859	50	56,9719
C	25	25	19,5264	25	78,1058
D	27	27	13,2105	15	88,0906

5 Análisis de resultados

5.1 Análisis de resultados de las encuestas por estrato

Las encuestas aplicadas a los tres estratos socioeconómicos (B, C y D) revelan diferencias puntuales en el uso de cocinas, motivos de elección, hábitos de cocción y percepción del servicio eléctrico. Estos datos complementan el análisis técnico del comportamiento de la red, proporcionando una perspectiva sobre la viabilidad y una visión general de la implementación masiva de cocinas de inducción.

En cuanto al tipo de cocina utilizada, se observa que el estrato B presenta una elevada adopción de cocinas de inducción, alcanzando un 48% de los encuestados, mientras que el 52% restante aún utiliza cocinas a gas. Este resultado contrasta con lo evidenciado en los estratos C y D, donde el uso del gas sigue siendo dominante. En el estrato C, el 84% de los hogares usa cocina a gas, el 12% ha migrado a la inducción y el 4% utiliza cocinas eléctricas convencionales. En el estrato D, la situación es aún más marcada: el 82% de los usuarios se mantiene con cocinas a gas, el 11% ha adoptado la inducción, y un 7% utiliza cocinas eléctricas convencionales. Estos datos muestran que el estrato B está más avanzado en la transición energética, posiblemente debido a mejores condiciones económicas o mayor acceso a información y financiamiento.

Respecto al motivo principal de elección del tipo de cocina, el factor económico predomina en todos los estratos. En el estrato B, aunque el 48% eligió su cocina por el costo, también se destacan motivos como la seguridad (38%) y en menor medida la eficiencia energética (4%). El estrato C también refleja esta tendencia, con un 46% que prioriza el costo y un 38% que valora la seguridad. En el estrato D, la diferencia es aún más clara: el 74% de los encuestados eligió su cocina por razones económicas, dejando muy por detrás a la seguridad (15%) y a la eficiencia energética (7%). Esto evidencia que, pese a la promoción de los beneficios técnicos y ambientales de las cocinas de inducción, el precio de adquisición y operación sigue siendo el principal determinante en la decisión de compra, especialmente en contextos de menores ingresos.

En cuanto al tiempo de uso por sesión, se evidencian hábitos similares entre los tres estratos. En el estrato B predominan las sesiones de entre 30 minutos y 2 horas, con un 38% de usuarios que cocinan entre 30 y 60 minutos y un 34% que lo hacen entre 1 y 2 horas. El estrato C muestra una distribución ligeramente más dispersa, mientras que en el estrato D el 57% de los usuarios cocina entre 1 y 2 horas por sesión. Estos patrones permiten establecer perfiles de carga bastante homogéneos, lo que favorece la precisión de las simulaciones y evaluaciones de impacto y evidencia posibles estudios de la capacidad utilizada.

Sobre la percepción de la continuidad del servicio eléctrico, el estrato C presenta la mejor evaluación, con solo un 19% de los usuarios que reportan haber sufrido interrupciones en los últimos seis meses. En el estrato B, este valor se eleva al 38%, mientras que en el estrato D alcanza el 37%. Estos datos reflejan una mayor estabilidad del suministro en sectores de clase media (estrato C), mientras que los otros dos grupos muestran una experiencia más variada, posiblemente por condiciones topográficas, infraestructura o densidad de carga.

La percepción sobre fluctuaciones de voltaje sigue un patrón similar. En el estrato B solo un 14% ha notado este problema, y en el C un 12%, mientras que en el estrato D, el 41% de los encuestados reporta haber sufrido variaciones de tensión. Esta diferencia sugiere que las zonas menos consolidadas presentan una infraestructura más vulnerable, lo cual se debe considerar especialmente si se prevé un aumento de carga producto de la electrificación de la cocción y en general.

Finalmente, la mayoría de los encuestados en todos los estratos considera que el servicio eléctrico actual es suficiente para cubrir sus necesidades. En el estrato C la percepción positiva alcanza el 88%, seguida por el estrato B con el 76% y el D con el 74%. Aunque los valores son mayoritariamente favorables, el estrato D también concentra los porcentajes más altos de percepción negativa, lo que se alinea con los mayores reportes de fluctuaciones de voltaje e interrupciones.

5.2 Impacto en la demanda y capacidad de la red

El análisis de la capacidad operativa de los transformadores de distribución, tanto en el escenario actual como en el de implementación total de cocinas de inducción, demuestra que la cargabilidad se mantiene dentro de márgenes técnicamente aceptables. En el estado actual, los transformadores presentan una utilización moderada de 48.41 % en el estrato B, 46.45 % en el estrato C y 63.91 % en el estrato D, lo que refleja una infraestructura con suficiente reserva operativa para atender el posible incremento en la demanda.

Al simular un escenario con un 100 % de implementación de cocinas de inducción en los hogares, se registra un aumento en la demanda de potencia. En este nuevo contexto, la cargabilidad de los transformadores se eleva a 56.97 % en el estrato B, 78.10 % en el estrato C y 88.09 % en el estrato D. Si bien se evidencia una mayor exigencia operativa, especialmente en el estrato D, ningún transformador alcanza su límite nominal, lo que indica que la red aún puede absorber esta demanda adicional sin comprometer su funcionamiento.

Es importante señalar que el uso de la cocina de inducción se concentra en horarios específicos del día, como la mañana, el mediodía y la noche. Por esta razón, su demanda máxima no necesariamente coincide con el pico general del consumo residencial, que tiende a presentarse en horas nocturnas. Esta diferencia en los perfiles de carga evita la superposición de picos, lo que contribuye a disminuir el impacto inmediato sobre la capacidad de los transformadores y la red, tal como se refleja en los escenarios simulados.

Considerando todos los resultados, se puede observar que, si bien la infraestructura actual muestra una capacidad razonable para soportar una transición gradual hacia el uso de cocinas de inducción, existen una limitación importante en sector específico como el encontrado en el estrato D. En este caso, las simulaciones revelan caídas de tensión críticas bajo condiciones de máxima demanda, lo que compromete la calidad del suministro eléctrico y pone en evidencia la necesidad de reforzar la red mediante la actualización de conductores y otros elementos técnicos. Aunque algunos transformadores aún operan por debajo de su capacidad nominal, estos problemas de tensión indican que la planificación debe considerar también el perfil de voltaje para garantizar una operación eficiente y confiable del sistema.

5.3 Comparación de escenarios:

Con el fin de evaluar el comportamiento técnico de la red de distribución ante nuevas condiciones de carga, se realiza una comparación entre el estado actual de los sistemas eléctricos de los estratos B, C y D, en un escenario hipotético de máxima exigencia, en el que todos los usuarios adoptan cocinas de inducción. El análisis incluye resultados obtenidos mediante simulaciones en el software ETAP, así como cálculos aplicados con el método tradicional que emplea la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, a través de hojas de Excel. Esta comparación permite observar el impacto en la caída de tensión acumulada en cada nodo de conexión, identificando afectaciones en la calidad del servicio, especialmente en el estrato D, donde inicialmente se detectaron caídas de tensión críticas. No obstante, tras la aplicación de medidas correctivas como la actualización de conductores a cable 3/0 en los tramos más comprometidos, se logró mitigar significativamente estas deficiencias, mejorando el perfil de voltaje y confirmando la viabilidad técnica de avanzar hacia una transición energética sostenible en la zona analizada.

5.3.1 Estado actual de la red con respecto al estado de la red ante la implementación total de cocinas a inducción

Estrato B

En el análisis realizado para el estrato B, los resultados de simulación en ETAP permiten identificar una evolución progresiva de la caída de tensión acumulada en los distintos puntos de la red ante un escenario de máxima exigencia. En el estado actual, las caídas de tensión se mantienen por debajo del umbral técnico del 6% en la zona urbana, aunque algunos postes ya superan el 2%. Al incorporar la carga adicional correspondiente a la adopción total de cocinas de inducción, se observa un incremento generalizado en estos valores, siendo el poste 409876 el más afectado, con una caída de tensión acumulada del 2,50%.

Este comportamiento se valida también mediante los cálculos realizados con la hoja de Excel de la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, cuyas estimaciones muestran una tendencia coherente con los resultados obtenidos en ETAP. En ambos casos, los datos revelan una sensibilidad moderada de ciertos puntos de la red ante el aumento de carga, lo cual refuerza la importancia de realizar un seguimiento preventivo y considerar posibles mejoras en la infraestructura para evitar afectaciones en la calidad del servicio.

Tabla 5.1 Comparación de la caída de tensión acumulada en el estrato B: escenario sin cocinas vs con cocinas de inducción, resultados simulados en ETAP y calculados en Excel.

Poste	ETAP Estado Actual (%)	ETAP Con Cocinas (%)	Δ ETAP (%)	Excel Estado Actual (%)	Excel Con Cocinas (%)	Δ Excel (%)	Δ ETAP vs Excel (%)
409876	2,05	2,50	0,45	2,14	2,41	0,27	0,09
399878	2,01	2,47	0,46	2,12	2,39	0,27	0,08
403770	1,15	1,46	0,31	1,41	1,55	0,14	-0,09
501557R1	0,22	0,47	0,25	0,17	0,43	0,06	0,03
399851R1	0,6	0,90	0,3	0,47	0,75	0,28	0,15
399844	0,74	1,08	0,34	0,82	1,31	0,49	0,34

Estrato C

A continuación, se presenta la comparación de la caída de tensión acumulada en el estrato C bajo dos escenarios: estado actual y con adopción total de cocinas de inducción. Para este análisis se emplearon simulaciones en ETAP y cálculos en Excel según la metodología utilizada por CENTROSUR.

Los resultados muestran un incremento moderado en la caída de tensión con la nueva carga, alcanzando hasta un 3.81 % en ciertos postes. Aunque la mayoría de valores se mantienen dentro de los límites técnicos, se identifican puntos sensibles que podrían requerir atención. La correspondencia entre ambas metodologías valida la confiabilidad del análisis realizado.

Tabla 5.2 Comparación de la caída de tensión acumulada en el estrato C: escenario sin cocinas vs con cocinas de inducción, resultados simulados en ETAP y calculados en Excel.

Poste	ETAP Estado Actual (%)	ETAP Con Cocinas (%)	Δ ETAP (%)	Excel Estado Actual (%)	Excel Con Cocinas (%)	Δ Excel (%)	Δ ETAP vs Excel (%)
467071	1,48	2,08	0,6	1,96	2,52	0,56	-0,44
467026	1,13	1,64	1,64	1,35	1,75	0,4	-0,11
P1	1,06	1,22	1,22	0,64	0,82	0,18	-0,4
460481	0,84	1,27	1,27	0,76	0,97	0,21	0,3
424243	0,96	1,42	1,42	1,20	1,54	0,34	-0,12
467049	1,7	1,57	-0,13	1,48	1,92	0,44	-0,35
466891R2	1,08	1,58	0,5	1,50	1,94	0,44	-0,36
465189	3,63	3,81	0,18	3,16	3,60	0,44	0,21
424288	3,28	3,27	-0,01	2,89	3,33	0,44	-0,06
459689R2	2,4	2,89	0,49	2,55	2,99	0,44	-0,1
460000	0,95	1,41	0,46	1,08	1,39	0,31	0,02
425755	2,1	2,59	0,49	2,10	2,54	0,44	0,05
P2	1,3	1,79	0,49	1,78	2,52	0,74	-0,73
460792	1,39	1,88	0,49	1,87	1,75	-0,12	0,13
460001	1,32	1,81	0,49	1,80	0,82	-0,98	0,99
460016	1,5	1,99	0,49	1,94	0,97	-0,97	1,02
460272	1,58	2,20	0,62	1,58	1,54	-0,04	0,66

Estrato D

El estrato D representa un caso particular dentro del análisis, ya que presentó una caída de tensión acumulada significativamente mayor en comparación con otros sectores, incluso en el estado actual de carga. Esta condición motivó una evaluación detallada mediante simulaciones en ETAP y cálculos en Excel, siguiendo la metodología empleada por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR. Dado su comportamiento, este tramo de red requiere especial atención en la planificación operativa, ya que evidencia una mayor sensibilidad ante incrementos de demanda.

En el estado actual, varios tramos evidencian caídas de tensión elevadas, alcanzando hasta un 9 % en los casos más críticos. Para el escenario con cocinas de inducción, se aplicaron correcciones en los tramos más comprometidos mediante la actualización de conductores, lo

que permitió reducir significativamente las caídas y mejorar el perfil de voltaje en toda la red. La coherencia entre los resultados de ETAP y Excel respalda la validez técnica del análisis y demuestra la efectividad de las medidas implementadas.

Tabla 5.3 Comparación de la caída de tensión acumulada en el estrato D: escenario sin cocinas vs con cocinas de inducción, resultados simulados en ETAP y calculados en Excel.

Poste	ETAP Estado Actual (%)	ETAP Con Cocinas (%)	Δ ETAP (%)	Excel Estado Actual (%)	Excel Con Cocinas (%)	Δ Excel (%)	Δ ETAP vs Excel (%)
216478	0,64	1,24	0,6	0,85	1,10	0,25	0,14
216431	0,3	0,8	0,5	0,51	0,66	0,15	0,14
415979	0,68	0,64	-0,04	0,82	0,49	-0,33	0,15
415978	3,09	2,21	-0,8	3,35	2,01	1,34	0,2
415977	5,43	3,55	-1,88	5,50	3,31	-2,19	0,24
416541	7,57	4,43	-3,14	7,60	4,58	-3,02	-0,15
415980	9,53	5,24	-4,29	9,60	5,83	-3,77	-0,59
0216829	1,15	1,97	0,82	1,44	1,88	0,44	0,09
211353	2,66	3,93	1,27	2,96	3,82	0,86	0,11
419882	3,34	4,81	1,47	3,59	4,65	1,06	0,16
419881	4,09	5,78	1,69	4,34	5,63	1,29	0,15

Por consiguiente, y en términos generales, la Tabla 5.4 presenta los principales resultados técnicos obtenidos en los escenarios base y con cocinas de inducción para los tres estratos evaluados.

Tabla 5.4 Comparación de cargabilidad y caída de tensión por estrato: escenario actual vs implementación completa de cocinas de inducción

Estrato	Cargabilidad Transformador Actual (%)	Cargabilidad con Cocinas (%)	Máxima Caída de Tensión Base (%)	Máxima Caída de Tensión con Cocinas (%)	Observaciones Generales
B	48,41%	56,97%	~2,05%	~2,50%	Impacto moderado, dentro del límite técnico.
C	46,45%	78,11%	~3,63%	~3,81%	Impacto moderado, dentro del límite técnico.
D	63,91%	88,09%	Hasta 9,53% (antes de mejoras)	Hasta 5,78% (después de mejoras)	Riesgo de calidad en suministro, se aplicaron mejoras.

5.4 Validación de modelos computacionales

Para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos, se realiza la validación de los modelos empleados en Julia y ETAP. En el caso de Julia, los cálculos de capacidad de transformadores fueron verificados utilizando datos reales y fórmulas aplicadas por empresas distribuidoras, asegurando coherencia con la normativa técnica vigente, es decir se emplea para cálculo netamente matemático, más no emplea como tal un modelo computacional. En cuanto a ETAP, si se emplea un modelo computacional completo, desde la simulación de cada elemento de la red, hasta la utilización de librerías propias de sistemas de distribución de esta forma se contrastaron los resultados de caída de tensión simulada con los cálculos obtenidos mediante hojas de Excel utilizadas por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, determinando el error relativo tramo a tramo. Este análisis permitió ajustar los parámetros del modelo y confirmar su validez para representar adecuadamente el comportamiento eléctrico de la red.

5.4.1 Validación de Caída de Tensión - Estrato B (Estado Actual)

En el caso del estrato B, se observan errores relativos generalmente inferiores al 6 % en los primeros tramos, lo cual es aceptable dentro del margen permitido por CENTROSUR para zonas urbanas Tabla 3.19 Sin embargo, en tramos con valores muy bajos de caída (<0.5 %), el error relativo tiende a aumentar considerablemente debido al denominador pequeño en el cálculo, aunque su impacto absoluto sigue siendo bajo. Esta variación es esperada y no representa una desviación crítica en la validación general del modelo.

Tabla 5.5. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato B (estado actual)

Poste	ETAP (%)	Excel (%)	Error Relativo	Error Absoluto (%)
409876	2.05	2.14	4.21	0.09
399878	2.01	2.12	5.19	0.11
403770	1.15	1.41	18.44	0.26
501557R1	0.22	0.17	29.41	0.05
399851R1	0.60	0.47	27.66	0.13
399844	0.74	0.82	9.76	0.08

5.4.2 Validación de Caída de Tensión - Estrato C (Estado Actual)

La tabla presenta los resultados de validación del modelo ETAP para el estrato C en su estado actual. Se observa que, aunque algunos tramos presentan errores relativos elevados como en el tramo 466989–P1 con 65,62 %, el error absoluto se mantiene bajo (1,01 V), por lo que no representa una afectación significativa. La mayoría de los tramos presentan errores absolutos por debajo de los 0,6 V, lo cual confirma la consistencia del modelo dentro del margen normativo de 6 % (14,4 V en 240 V) la Tabla 3.19.

Tabla 5.6. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato C (estado actual)

Poste	ETAP (%)	Excel (%)	Error Relativo	Error Absoluto (%)
467071	1.48	1.96	24.49	0.48
467026	1.13	1.35	16.30	0.22
P1	1.06	0.64	65.62	0.42
460481	0.84	0.76	10.53	0.08
424243	0.96	1.20	20.00	0.24
467049	1.70	1.48	14.86	0.53
466891R2	1.08	1.50	28.00	0.42
465189	3.63	3.16	14.87	0.47
424288	2.40	2.89	16.96	0.49
459689R2	2.10	2.55	17.65	0.45
460000	1.30	1.08	20.37	0.53
425755	1.39	1.10	33.81	0.29
P2	1.32	1.78	25.84	0.46
460792	1.41	1.87	24.60	0.46
460001	1.50	1.80	16.67	0.3
460016	1.4	1.94	45.03	0.54
460272	1.58	1.58	0.00	0.00

5.4.3 Validación de Caída de Tensión - Estrato D (Estado Actual)

Se presenta la validación del modelo computacional en ETAP para el estrato D en su estado actual. Los resultados de caída de tensión simulados se contrastan con los valores calculados mediante la hoja de Excel utilizada por CENTROSUR. La comparación tramo a tramo revela que, aunque algunos errores relativos superan el 20 %, como en los tramos 216478–216431 y 216431–216501R1, los errores absolutos no superan los 0,50 V, lo cual se considera técnicamente aceptable. En los tramos con mayores caídas absolutas, como 415978–415977, la diferencia entre métodos es mínima, reforzando la validez del modelo dentro de los límites establecidos por la normativa (4,5 % para zonas rurales) la Tabla 3.19.

Tabla 5.7. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato D (estado actual)

Tramo	ETAP (%)	Excel (%)	Error Relativo	Error Absoluto (%)
216478	0.64	0.85	24.71	0.21
216431	0.30	0.51	41.18	0.21
415979	0.68	0.82	17.07	0.14
415978	3.09	3.35	7.76	0.26
415977	5.43	5.50	1.27	0.07
416541	7.57	7.60	0.39	0.03
415980	9.53	9.60	0.73	0.07
0216829	1.15	1.44	20.14	0.29
211353	2.66	2.96	10.14	0.3
419882	3.34	3.59	6.96	0.25
419881	4.09	4.34	5.76	0.25

5.4.4 Validación de Caída de Tensión - Estrato B (Implementación total de cocinas de inducción)

En este escenario se valida el comportamiento del modelo de ETAP ante una condición de máxima demanda, simulando la incorporación total de cocinas de inducción en el estrato B. Al comparar los resultados con los cálculos realizados en Excel, se observa que los errores relativos se mantienen bajos en la mayoría de tramos (entre 3 % y 6 %). No obstante, en el tramo 399848–501557R1 se presenta un error relativo elevado (104,35 %) debido a una caída de tensión muy baja en el valor base. Sin embargo, el error absoluto en ese tramo es de solo 0,53 V, lo que no compromete la validez del modelo. En general, los resultados se mantienen dentro de los márgenes aceptables definidos por CENTROSUR (Tabla 3.19).

Tabla 5.8. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato B (implementación total de cocinas de inducción)

Poste	ETAP (%)	Excel (%)	Error Relativo	Error Absoluto (%)
409876	2.50	2.41	3.73	0.09
399878	2.47	2.39	3.35	0.08
403770	1.46	1.55	5.81	0.09
501557R1	0.43	0.47	8.51	0.04
399851R1	0.90	0.75	20.00	0.15
399844	1.08	1.31	17.56	0.23

5.4.5 Validación de Caída de Tensión - Estrato C (Implementación total de cocinas de inducción)

En este escenario se evalúa el comportamiento del modelo computacional en ETAP ante una electrificación completa del parque de cocción en el estrato C. La comparación con los resultados calculados en Excel revela errores relativos elevados en algunos tramos, como en 466989–P1 (48,78 %) y P1–460481 (30,93 %), debido a caídas de tensión pequeñas que amplifican el porcentaje. Sin embargo, el error absoluto en estos tramos no supera los 1.0 V, por lo que no compromete la validez técnica del modelo. Confirmando que todos los valores se encuentran dentro del margen permisible de CENTROSUR (6 %) (Tabla 3.19).

Tabla 5.9. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato C (implementación total de cocinas de inducción)

Tramo	ETAP (%)	Excel (%)	Error Relativo	Error Absoluto (%)
467071	2.08	2.52	17.46	0.44
467026	1.64	1.75	6.29	0.11
P1	1.22	0.82	48.78	0.4
460481	1.27	0.97	30.93	0.3
424243	1.42	1.54	7.79	0.12
467049	1.57	1.92	18.23	0.35
466891R2	1.58	1.94	18.56	0.36
465189	3.81	3.60	5.83	0.21
424288	3.27	3.33	1.80	0.06
459689R2	2.59	2.99	13.38	0.3
460000	1.79	1.39	28.78	0.4
425755	1.88	2.10	10.48	0.22
P2	1.81	2.22	18.47	0.41
460792	1.89	2.31	13.85	0.42
460001	1.61	2.24	37.05	0.63
460016	1.78	2.38	33.61	0.6
460272	2.20	2.05	7.32	0.15

5.4.6 Validación de Caída de Tensión - Estrato D (Implementación total de cocinas de inducción)

En este escenario se evalúa la precisión del modelo de ETAP frente a una condición de máxima demanda en el estrato D, considerando la implementación total de cocinas de inducción. La comparación con los resultados de Excel muestra que algunos tramos presentan errores relativos elevados, como en 216501R1–415979 (30,61 %), atribuibles a valores bajos de caída de tensión. Sin embargo, el error absoluto nunca supera los 0,6 V, lo cual se encuentra muy por debajo del límite técnico de 4,5 % establecido para zonas rurales por CENTROSUR (~10.8 V en 240 V) (Tabla 3.19). En todos los tramos, el comportamiento del modelo se considera válido y confiable, incluso en condiciones extremas de carga.

Tabla 5.10. Comparación de la caída de tensión entre ETAP y Excel para el estrato D (implementación total de cocinas de inducción).

Tramo	ETAP (%)	Excel (%)	Error Relativo	Error Absoluto (%)
216478	1.24	1.10	12.73	0.14
216431	0.80	0.66	21.21	0.14
415979	0.64	0.49	30.61	0.15
415978	2.21	2.01	9.95	0.2
415977	3.55	3.31	7.25	0.24
416541	4.43	4.58	3.28	0.15
415980	5.24	5.83	10.12	0.59
0216829	1.97	1.88	4.79	0.09
211353	3.93	3.82	2.88	0.11
419882	4.81	4.65	3.44	0.16
419881	5.78	5.63	2.66	0.15

5.5 Identificación de sobrecargas y problemas en la calidad de la energía.

El análisis realizado no evidenció sobrecargas en ninguno de los transformadores evaluados, incluso bajo el escenario de máxima exigencia, correspondiente a la implementación total de cocinas de inducción. Los niveles de cargabilidad alcanzados fueron de 56.97 % en el estrato B, 78.10 % en el estrato C y 88.09 % en el estrato D, todos dentro de márgenes operativos aceptables. Esto demuestra que la infraestructura actual es técnicamente capaz de absorber una mayor demanda sin incurrir en condiciones críticas de sobrecarga.

Sin embargo, el estrato D presenta un valor de cargabilidad cercano al 90 %, lo cual se aproxima a un umbral de atención técnica. Esta situación no representa una alerta inmediata, pero sí requiere la implementación de un esquema de monitoreo continuo que permita anticiparse a escenarios de sobrecarga provocados por un crecimiento no previsto de la demanda. En este contexto, se recomienda considerar medidas a mediano plazo como la redistribución de cargas o la ampliación de capacidad instalada para garantizar la sostenibilidad del servicio.

Respecto a la calidad de la energía, las encuestas indican que la mayoría de usuarios no percibe fluctuaciones de voltaje ni interrupciones frecuentes. La percepción general sobre la suficiencia del suministro eléctrico es positiva en todos los estratos, y esta se complementa con la estabilidad observada durante la simulación del flujo de carga. No obstante, en el estrato D se identificaron casos puntuales de fluctuaciones de voltaje, posiblemente asociadas a cargas concentradas en los extremos del sistema, a condiciones particulares de los conductores o a vanos de longitud considerable entre los diferentes puntos de conexión.

En cuanto a la caída de tensión, los resultados de simulación en ETAP muestran que, en los estratos B y C, las pérdidas se mantienen dentro de los límites normativos ($\leq 6\%$ en baja tensión en zonas rurales y hasta 4,5% en zonas rurales [18]), con máximos de 2.5 % y 3.8 % respectivamente, incluso bajo condiciones de máxima demanda. Sin embargo, en el estrato D, las caídas de tensión acumuladas llegaron hasta 5.78 %, evidenciando condiciones más críticas que, aunque aún dentro del rango permitido, se aproximan al límite técnico.

Cabe destacar que en el estrato D se aplicaron medidas de mitigación, como el reemplazo de conductores por cables calibre 3/0 en los tramos más comprometidos, lo que permitió reducir las caídas de tensión acumuladas en varios sectores. A pesar de estas mejoras, se recomienda monitorear continuamente el comportamiento de la red, especialmente en zonas periféricas con alta demanda instantánea, como las generadas por el uso simultáneo de cocinas de inducción.

En conjunto, estos hallazgos confirman que, si bien la red está operando dentro de los parámetros técnicos aceptables, existen tramos cuya condición se acerca a niveles críticos. Por tanto, se sugiere considerar intervenciones focalizadas como la repotenciación de líneas, la reconfiguración de tramos o la instalación de nuevos centros de transformación, especialmente en áreas con expansión urbana o con alta penetración de tecnologías eléctricas de alto consumo.

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Resumen de hallazgos clave

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas realizadas en los tres estratos residenciales (B, C y D) permitieron identificar patrones específicos de uso y percepción del servicio eléctrico. Del total de encuestados, el 74.2 % indicó preferencia por cocinas a gas, mientras que un 25.8 % manifestó usar cocinas de inducción, siendo el estrato B el que presentó la mayor proporción de adopción eléctrica (41.7 % de usuarios con cocinas de inducción). Asimismo, el 82.5 % de los encuestados expresó satisfacción con la calidad del servicio eléctrico, y solo el 17.5 % reportó interrupciones frecuentes o fluctuaciones de voltaje. Estos datos reflejan que, desde la perspectiva del usuario, la red actual es percibida como confiable y adecuada para las necesidades domésticas, aunque se identificaron casos puntuales de inestabilidad en zonas periféricas o con infraestructura limitada.

Desde el punto de vista técnico, la evaluación de cargabilidad en los transformadores bajo el escenario actual (sin cocinas de inducción) arrojó niveles de utilización que oscilan entre 39.16 % y 61.83 %, lo que representa un uso parcial de la capacidad instalada. Al simular la implementación total de cocinas de inducción, las cargabilidades aumentaron de manera significativa, alcanzando un máximo del 83.46 % en el transformador del estrato D. A pesar de este incremento, ninguna unidad superó el 100 % de su capacidad nominal, lo que confirma un margen operativo disponible para absorber nuevas cargas sin comprometer la seguridad operativa de la red. Esto refuerza la viabilidad técnica de la transición hacia la electrificación de la cocción.

En cuanto al comportamiento del voltaje, las simulaciones evidenciaron que en el escenario actual ya existen sectores con caídas de tensión superiores al límite normativo del 6 % establecido por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR. En el estrato D, específicamente, se detectaron tramos con caídas de hasta 9.6 %, asociadas a conductores subdimensionados y trayectos extensos.

Frente a este panorama, se procedió a implementar medidas correctivas en el estrato D, consistentes en la actualización de los conductores más críticos mediante el uso de cable calibre 3/0. Esta intervención permitió corregir las caídas de tensión tanto en el escenario actual como en el de máxima demanda, garantizando un perfil de voltaje aceptable en toda la red.

En conjunto, estos hallazgos demuestran que la red de distribución analizada posee un margen técnico suficiente, no solo en términos de capacidad, sino también en lo relativo a la calidad del voltaje, siempre que se ejecuten mejoras localizadas en zonas vulnerables. Lo anterior constituye una base sólida para una transición energética efectiva, sostenible y sin deterioro en la prestación del servicio eléctrico residencial. Experiencias internacionales, como la propuesta desarrollada en Perú para impulsar la implementación masiva de cocinas de inducción como parte de una estrategia de transformación de la matriz energética [13], refuerzan la pertinencia de seguir fortaleciendo iniciativas ya existentes en el Ecuador, como el Programa de Cocción Eficiente (PEC). En este sentido, las recomendaciones técnicas planteadas en este estudio podrían enriquecerse con políticas públicas sostenidas, incentivos

económicos adecuados y un marco regulatorio que siga promoviendo la adopción continua de tecnologías eléctricas eficientes en el sector residencial.

6.2 Medidas propuestas para optimizar la red eléctrica

El análisis realizado evidenció que, si bien la red actual no presenta sobrecargas ni caídas de tensión fuera de los rangos normativos, el escenario con plena adopción de cocinas de inducción pone en evidencia zonas que podrían requerir intervención técnica a mediano plazo, particularmente en el estrato D. En este contexto, se proponen las siguientes medidas técnicas para optimizar la red eléctrica:

- Seguimiento de transformadores en zonas críticas: En casos como el del estrato D, donde la cargabilidad es cercana a la nominal, resulta aconsejable establecer un monitoreo continuo del transformador para evaluar su desempeño operativo en el tiempo. Este seguimiento permitiría identificar oportunamente signos de degradación térmica y aplicar medidas preventivas que aseguren la operación dentro de márgenes seguros. Se recomienda, además, implementar estrategias de mantenimiento predictivo que contribuyan a extender la vida útil del equipo y evitar fallas inesperadas.
- Reconfiguración de la topología de red: La creación de ramales secundarios o la segmentación de líneas extensas puede contribuir significativamente a disminuir pérdidas eléctricas, mejorar perfiles de tensión y permitir un mejor manejo de la carga en condiciones de expansión de la demanda.
- Uso de conductores con menor impedancia por unidad de longitud: Se propone actualizar los tramos con mayor caída de tensión utilizando conductores de mayor sección transversal o materiales con mejor conductividad, como fue el caso de la sustitución por cables calibre 3/0 en los tramos más críticos del estrato D. Esta medida debe priorizar sectores con alta densidad de carga o con una demanda residencial intensiva.
- Incorporación de herramientas de análisis predictivo: La integración de software especializado como ETAP en los procesos de planificación eléctrica permite anticipar problemas futuros de sobrecarga o degradación del servicio. Estas herramientas, combinadas con proyecciones de crecimiento poblacional y adopción tecnológica, fortalecen la toma de decisiones desde un enfoque técnico y preventivo.

Implementar estas medidas de forma planificada y progresiva permitirá fortalecer la red eléctrica para enfrentar con mayor seguridad los retos de una electrificación creciente. Así, se podrá asegurar un servicio continuo, de calidad y adaptado a las nuevas demandas de los usuarios

6.3 Propuestas de mejora de la calidad de la energía

Si bien las encuestas evidenciaron una percepción positiva del servicio eléctrico por parte de los usuarios, los resultados técnicos obtenidos en las simulaciones muestran que la calidad de la energía podría verse comprometida en condiciones de alta demanda, particularmente en lo referente a perfiles de tensión. En este sentido, se propone lo siguiente para fortalecer la calidad del suministro:

- Refuerzo de tramos con caídas de tensión cercanas al límite normativa: En sectores como el estrato D, donde algunos tramos alcanzaron caídas acumuladas de hasta 5.78 % bajo escenarios de máxima demanda, se recomienda el reemplazo de conductores por calibres mayores como los cables 3/0 ya implementados en los tramos críticos o la implementación de derivaciones cortas que reduzcan la distancia eléctrica efectiva.
- Instalación de sistemas de monitoreo permanente de tensión: Para mejorar la estabilidad del servicio, una opción efectiva es incorporar equipos que permitan observar en tiempo real cómo se comporta el voltaje en distintos puntos de la red, especialmente en los más alejados. Esto ayudaría a detectar a tiempo cualquier anomalía que las simulaciones por sí solas no logren prever. Actualmente, existen herramientas que pueden apoyar este tipo de gestión, como el GeoVisor de CENTROSUR, que ofrece una visualización georreferenciada del estado de la red eléctrica. Su integración con datos reales de medición permitiría a los técnicos tomar decisiones más acertadas, priorizando las zonas que requieren intervención y asegurando así una mejor calidad de energía para los usuarios.
- Campañas de mantenimiento preventivo en puntos de conexión críticos: La acumulación de conexiones flojas, corrosión en empalmes y terminales deteriorados puede producir caídas de voltaje localizadas. Se sugiere la inspección periódica de estos elementos en las zonas con mayor variación de tensión, a fin de reducir riesgos operativos y mejorar la confiabilidad del servicio.
- Validación en campo de los niveles de voltaje simulados: Se sugiere realizar mediciones directas en los puntos con mayor caída simulada por los distintos softwares utilizados en el sector eléctrico, a fin de contrastar los modelos con condiciones reales y ajustar los parámetros de impedancia y carga utilizados en el software. Este tipo de validación o análisis contribuirá a mejorar la precisión de las simulaciones futuras y a sustentar decisiones técnicas con mayor fundamento.
- Consideración de distorsión armónica en sectores con alta concentración de cargas electrónicas: Aunque este estudio no incluyó un análisis específico sobre distorsión armónica, es relevante considerar que la incorporación masiva de dispositivos como cocinas de inducción puede alterar la calidad de la onda eléctrica en redes residenciales al operar con electrónica de potencia que genera armónicos capaces de afectar el desempeño de otros aparatos conectados, por lo que se sugiere tomar en cuenta este aspecto en futuras evaluaciones técnicas incorporando mediciones y estrategias de mitigación según corresponda

Estas medidas apuntan a conservar y mejorar la calidad de la energía suministrada, anticipándose a los efectos de una demanda creciente y garantizando un servicio confiable, estable y ajustado a los estándares técnicos establecidos.

6.4 Líneas de investigación futura

Con base en los resultados y hallazgos de este estudio, se proponen las siguientes líneas de investigación futura, orientadas a profundizar y complementar el análisis del impacto de las cocinas de inducción en la red de distribución eléctrica.

6.4.1 Evaluación de la calidad de energía en redes residenciales:

Una línea de investigación futura relevante es el estudio del impacto que podría tener la incorporación masiva de cocinas de inducción sobre la calidad de la energía en redes residenciales. Estos equipos, al operar con electrónica de potencia, pueden generar armónicos y deformaciones en la forma de onda que no fueron objeto de análisis en el presente trabajo. Si bien no se evidencian afectaciones actuales, explorar estas variables mediante mediciones específicas permitiría anticipar posibles efectos negativos y fortalecer el diseño técnico de futuras expansiones.

6.4.2 Evaluación de tecnologías Smart Grid aplicadas al uso de cocinas de inducción en diferentes estratos:

Se propone como línea futura de investigación la evaluación del impacto de las tecnologías Smart Grid en la integración y gestión del uso de cocinas de inducción, diferenciando su aplicación según los distintos estratos socioeconómicos. Esto permitiría analizar cómo herramientas como la medición inteligente, la respuesta a la demanda y el monitoreo en tiempo real pueden optimizar el desempeño de la red eléctrica y análisis de cargabilidad en transformadores. Además, se podrían identificar estrategias específicas para cada estrato que favorezcan una adopción más eficiente y sostenible de las cocinas de inducción en el contexto residencial.

6.4.3 Integración de tecnologías complementarias:

Se plantea investigar el impacto de tecnologías emergentes como generación fotovoltaica residencial, almacenamiento energético y medidores inteligentes en redes con alta penetración de cocción eléctrica. Su incorporación podría mejorar el aprovechamiento de la infraestructura actual y reducir el estrés operativo sobre los transformadores.

La evolución de los sistemas de distribución requiere la incorporación de tecnologías que no solo mejoren la eficiencia operativa, sino que también permitan una mejor adaptación frente al aumento progresivo de la demanda residencial. Los sistemas de almacenamiento energético a nivel domiciliario, la generación distribuida desde puntos cercanos al consumo,

y los medidores inteligentes son herramientas clave para fortalecer el monitoreo y control de la red.

Estas tecnologías podrían tener un efecto directo en la estabilización de los perfiles de voltaje, especialmente en zonas con redes extensas o con alta concentración de equipos de alta demanda como cocinas de inducción.

El almacenamiento energético, por ejemplo, permitiría reducir la carga en horarios pico mediante el uso de energía previamente almacenada, mientras que la generación distribuida, aunque no necesariamente renovable puede aliviar la presión sobre los transformadores al abastecer parcialmente la carga local.

Por su parte, los medidores inteligentes ofrecen la capacidad de registrar y reportar condiciones anómalas en tiempo real, incluyendo caídas de voltaje que no siempre son captadas por métodos tradicionales de monitoreo. Esta información permitiría una respuesta técnica más precisa, así como una planificación más efectiva en futuras ampliaciones o repotenciaciones de la red.

Investigar y evaluar la integración de estas tecnologías desde un enfoque técnico y económico permitirá identificar su viabilidad y el impacto real que podrían tener en la calidad del servicio, la reducción de pérdidas eléctricas y la optimización de la infraestructura existente.

6.5 Conclusiones generales

La transición hacia cocinas de inducción representa una mejora significativa en términos de eficiencia energética, seguridad doméstica y reducción de emisiones contaminantes. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), su adopción masiva podría reducir en un 40 % las emisiones de CO₂ al 2040. Además, al no producir combustión, se evita la liberación de gases contaminantes en espacios interiores, mejorando la calidad del aire en el hogar. Su eficiencia energética, superior al 90 %, y el menor tiempo de cocción la convierten en una alternativa técnica viable y socialmente beneficiosa, especialmente en zonas urbanas en crecimiento.

Las simulaciones realizadas evidencian que la integración de cocinas de inducción conlleva un aumento en la carga de los sistemas eléctricos de distribución, particularmente en los estratos con mayor número de usuarios y redes más extensas. Sin embargo, los niveles de cargabilidad de los transformadores se mantuvieron dentro de márgenes aceptables (máximo 88.09 % en el estrato D), lo cual demuestra que la red puede absorber esta nueva demanda en un escenario de implementación total. Si bien se identificaron incrementos en la caída de tensión en ciertos tramos, los valores no comprometen la operación del sistema, lo que valida la factibilidad técnica de esta transición energética.

La comparación entre los cálculos realizados mediante hojas de Excel (método tradicional utilizado por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR) y las simulaciones en ETAP demuestra diferencias importantes en la precisión y nivel de detalle. ETAP permite analizar el comportamiento eléctrico tramo a tramo, incorporando parámetros como impedancias específicas, conexiones bifásicas y cargas desequilibradas, mientras que el método tradicional tiende a simplificar estos aspectos. Esta diferencia metodológica evidencia la

importancia de utilizar herramientas avanzadas para el diagnóstico y planificación de redes, especialmente frente a nuevas condiciones de carga como la cocción eléctrica.

La implementación total de cocinas de inducción constituye una política energética estratégica para Ecuador, al permitir una disminución progresiva del subsidio al gas licuado de petróleo (GLP), que representa una carga fiscal significativa. Este cambio promovería el aprovechamiento de la generación hidroeléctrica nacional y reduciría la dependencia del país de combustibles fósiles importados. Desde una perspectiva económica, ambiental y de seguridad energética, este tipo de transición fortalece la soberanía energética del Ecuador y contribuye al cumplimiento de metas de sostenibilidad a largo plazo.

De acuerdo con los resultados de las encuestas realizadas en las parroquias urbanas y rurales de Cuenca, la mayoría de los usuarios reconoce los beneficios en seguridad, rapidez y ahorro energético que ofrecen las cocinas de inducción. No obstante, el costo inicial de los equipos, la necesidad de adecuaciones eléctricas, como la instalación de tomas de 220V y la falta de utensilios compatibles son factores limitantes, especialmente en hogares de estratos bajos. Esto sugiere que para una implementación realmente efectiva y equitativa se requiere no solo mejoras técnicas, sino también políticas de subsidio, financiamiento y educación ciudadana.

La validación de los modelos computacionales utilizados en este estudio, tanto en el entorno de simulación ETAP como en los cálculos programados en Julia, evidencia una adecuada correspondencia con los resultados obtenidos mediante las metodologías tradicionales aplicadas por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR. En el caso de ETAP, se observó que el error absoluto promedio fue inferior a 0,6 V en todos los estratos y escenarios, y el error máximo no superó los 1,1 V, valores muy por debajo de los márgenes normativos de caída de tensión establecidos para redes urbanas y rurales. Aunque algunos tramos presentaron errores relativos elevados, estos se explican por caídas pequeñas que amplifican el porcentaje sin comprometer la fidelidad técnica del modelo. En el caso de Julia, los resultados de capacidad de transformadores fueron coherentes con los factores técnicos definidos por CENTROSUR, lo que confirma la validez de ambos enfoques como herramientas confiables para el análisis de cargabilidad y comportamiento eléctrico de la red.

Referencias

- [1] F. Odoi-Yorke, «A systematic review and bibliometric analysis of electric cooking: evolution, emerging trends, and future research directions for sustainable development», *Sustain. Energy Res.*, vol. 11, n.º 1, p. 24, jun. 2024, doi: 10.1186/s40807-024-00119-x.
- [2] Programa PEC, “Programa Emblemático de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en el Sector Residencial – PEC: Situación actual y alternativas”, presentación institucional, CNEL/MERNNR, Ecuador, 2018. [Presentación PowerPoint].
- [3] M. Villafuerte, «Subsecretaria de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica Dirección de Gestión y Promoción de Proyectos de Eficiencia Energética PROYECTO: K016 MEER, Programa de Cocción Eficiente», 2023.
- [4] «El Gobierno Nacional continúa con la entrega de cocinas de inducción: alrededor de 25.000 se entregaron hoy en ocho provincias – Ministerio de Inclusión Económica y Social». Accedido: 18 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.inclusion.gob.ec/el-gobierno-nacional-continua-con-la-entrega-de-cocinas-de-induccionalrededor-de-25-000-se-entregaron-hoy-en-ocho-provincias/>
- [5] N. O. Romero-Arismendi, J. C. Olivares-Galvan, R. Escarela-Perez, J. L. Hernandez-Avila, V. M. Jimenez-Mondragon, y F. Gonzalez-Montañez, «Multidisciplinary Review of Induction Stove Technology: Technological Advances, Societal Impacts, and Challenges for Its Widespread Use», *Technologies*, vol. 12, n.º 10, p. 206, oct. 2024, doi: 10.3390/technologies12100206.
- [6] L. C. Meng, K. W. E. Cheng, y K. W. Chan, “Heating performance improvement and field study of the induction cooker,” Proc. 3rd Int. Conf. Power Electronics Systems and Applications (PESA), Hong Kong, Jun. 2009. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/224585986>
- [7] C. F. Gould *et al.*, «Climate and health benefits of a transition from gas to electric cooking», *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 120, n.º 34, p. e2301061120, ago. 2023, doi: 10.1073/pnas.2301061120.
- [8] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Renewables-Based Electric Cooking: Climate Commitments and Finance,” Abu Dhabi, 2023. [Online]. Available: <https://www.irena.org/publications/2023/Jul/Renewables-based-electric-cooking>
- [9] P. Ravillard, E. Chueca, M. Weiss, A. Levy, M. Tolmasquim, y M. Hallack, «Removing barriers to clean cooking programs in Latin America», *Energy Sustain. Dev.*, vol. 73, pp. 247-262, abr. 2023, doi: 10.1016/j.esd.2023.02.006.
- [10] D. Armijos Vera, “El comportamiento de compra de las cocinas de inducción en la parroquia Cañaribamba del Cantón Cuenca,” Trabajo de titulación, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6839>

- [11] «Precio del cilindro de gas aumentará desde el 1 de abril, el Gobierno dice que “es necesario”», Primicias. Accedido: 18 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/precio-cilindro-gas-ecuador-daniel-noboa/>
- [12] «El subsidio del gas entra en la discusión de la focalización, Ministro de Finanzas dice que una familia podría tener un tanque de gas subsidiado al mes», El Universo. Accedido: 18 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/el-subsidio-del-gas-entra-en-la-discusion-de-la-focalizacion-ministro-de-finanzas-dice-que-una-familia-podria-tener-un-tanque-de-gas-subsidiado-al-mes-nota/>
- [13] J. M. Garay Aquino, “Propuesta de implementación de cocinas de inducción para electrificación de la matriz energética peruana,” Tesis de licenciatura, Universidad Continental, Huancayo, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10201>
- [14] Dixant Bikal Sapkota, Bivek Shiwakoti, y Np, «Effects of High Frequency Harmonics due to Induction-Based Household Devices on the Power System (Review Paper)», 2024, doi: 10.13140/RG.2.2.23386.52160.
- [15] Asamblea Nacional del Ecuador, Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), Registro Oficial Suplemento N.º 350, Quito, Ecuador, 16-dic-2015. [En línea]. Disponible en: LEY-DE-ELECRICIDAD.pdf [Accedido: 19-feb-2025].
- [16] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, Decreto Ejecutivo N.º 1204, Quito, Ecuador, 24-sep-2020. [En línea]. Disponible en: REGLAMENTO_GENERAL_DE_LA_LEY_ORGANICA_DE_EFICIENCIA_ENERGÉTICA.pdf [Accedido: 19-feb-2025].
- [17] A. Iza, J. Díaz, M. Paredes y D. Cisneros, Colaboración en la elaboración del capítulo de normativa técnica para el diseño de redes eléctricas, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Cuenca, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: Iza et al. - Colaboración en la Elaboración del Capítulo.pdf [Accedido: 26-feb-2025].
- [18] Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A., Dirección de Ingeniería y Construcción (DICO), Instructivo para el trámite de aprobación de diseños de instalaciones eléctricas interiores para demandas inferiores a 12 kW y cargas instaladas menores a 20 kVA, Cuenca, Ecuador, nov. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.centrosur.gob.ec/wp-content/uploads/2019/11/I-DICO-91.1-INSTRUCTIVO-PARA-EL-TR%C3%81MITE-DE-APROBACI%C3%93N-DE-DISE%C3%91OS-DE-INSTALACIONES-EL%C3%89CTRICAS-INTERIORES-PARA-DEMANDAS-INFERIORES-A-12-KW-Y-CARGAS-INSTALADAS-MENORES-A-20-KVA..pdf> [Accedido: 19-feb-2025].
- [19] Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101 “Artefactos electrodomésticos para cocción por inducción”, Resolución No.

- 17035, Ministerio de Industrias y Productividad, Subsecretaría de la Calidad, Quito, Ecuador, 02-feb-2017. [En línea]. Disponible en: RTE-101.pdf [Accedido: 10-jul-2025].
- [20] Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), Subsecretaría de la Calidad, Primera Revisión del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 141 (1R): Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución, Resolución No. 18 037, Quito, Ecuador, 25-ene-2018. [En línea]. Disponible en: RTE-141-1R.pdf [Accedido: 10-jul-2025].
- [21] Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), Subsecretaría de la Calidad, Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 236: “Cables de potencia aislados”, Resolución No. 14 522, Ministerio de Industrias y Productividad, Quito, Ecuador, 19-dic-2014
- [22] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), Regulación Nro. ARCONEL-001/2020 “Distribución y comercialización de energía eléctrica”, Resolución Nro. ARCONEL-006/2020, Quito, Ecuador, 19-jun-2020. [En línea]. Disponible en: Documento_Regulación-Nro-ARCONEL-001-20-Distribución-y-comercialización-de-energía-eléctrica.pdf [Accedido: 19-feb-2025].
- [23] «INEN IEC 60335-2-6». Accedido: 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://u.dianyuan.com/bbs/u/35/1131701429.pdf>
- [24] International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 61000-3-2:2018. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), 5th ed., Geneva, Suiza, ene. 2018. [En línea]. Disponible en: IEC-61000-3-2-2018.pdf [Accedido: 19-feb-2025].
- [25] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), NTE INEN 2555: Cocinas de inducción – Requisitos de seguridad y métodos de ensayo, 1ra ed., Quito, Ecuador, ago. 2015. [En línea]. Disponible en: Norma-Tecnica-NTE-2555-Seguridad-cocinas-de-Induccion.html [Accedido: 10-jul-2025].
- [26] «Plan Maestro de Electricidad – Ministerio de Energía y Minas». Accedido: 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>
- [27] «PLAN NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2016-2035 | ARIAE». Accedido: 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ariae.org/servicio-documental/plan-nacional-de-eficiencia-energetica-2016-2035>
- [28] F. J. Zarco-Soto, I. M. Zarco-Soto, S. S. S. Ali, y P. J. Zarco-Periñán, «Energy consumption in buildings: A compilation of current studies», *Energy Rep.*, vol. 13, pp. 1293-1307, jun. 2025, doi: 10.1016/j.egyr.2024.12.069.
- [29] National Development and Reform Commission (NDRC), “Monthly statistics of induction cookers in use in China,” NDRC, China, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://en.ndrc.gov.cn>
- [30] M. Baquero y F. Quesada, «Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador», *MASKANA*, vol. 7, n.º 2, pp. 147-165, dic. 2016, doi: 10.18537/mskn.07.02.11.

- [31] J. I. Sánchez Vásquez y J. I. Ulloa Rodas, «Análisis de cargabilidad de transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Centro Sur CA y su impacto técnico y económico», sep. 2024, Accedido: 11 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45458>
- [32] Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (EERSSA), Normas técnicas para el diseño de redes eléctricas urbanas y rurales, 2da ed., Loja, Ecuador, mar. 2022. [En línea]. Disponible en: NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS URBANAS Y RURALES EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.pdf [Accedido: 08-abr-2025].
- [33] Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. (EEASA), Guías de diseño – Parte III: Redes eléctricas de distribución MT y BT, 1ra ed., Ambato, Ecuador, ene. 2015. [En línea]. Disponible en: GUÍAS DE DISEÑO PARTE III EEASA.pdf [Accedido: 08-abr-2025].
- [34] Empresa Eléctrica Quito S.A. (EEQ), Normas para sistemas de distribución – Parte A: Guía de diseño de redes de distribución, 1ra ed., Quito, Ecuador, abr. 2016. [En línea]. Disponible en: NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN – PARTE A GUÍA DE DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EEQ.pdf [Accedido: 08-abr-2025]
- [35] M. Molina, S. Zambrano, P. Quituisaca y E. Molina, “Dimensionamiento de transformadores de distribución MT/BT,” Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A., Departamento de Estudios Técnicos - DIPLA, Cuenca, Ecuador, Informe técnico, dic. 2016.
- [36] «Geovisor Técnico». Accedido: 26 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://geoportal2.centrosur.gob.ec/geoportal/apps/webappviewer/index.html?id=f34445b81c814dc89b472ab6e5d9fe06>
- [37] S. Zambrano, B. Jaramillo, J. Cárdenas, M. A. Mejía, A. Padilha-Feltrin, y J. D. Melo, «Análisis Espacio Temporal del Impacto al Sistema de Distribución de Nuevos Tipos de Carga con Alto Consumo de Energía: Caso de Estudio en CENTROSUR con la Cocina de Inducción», *Rev. Téc. Energ.*, vol. 14, n.º 1, ene. 2018, doi: 10.37116/revistaenergia.v14.n1.2018.162.
- [38] CENTROSUR, «Estudio de Investigación y Caracterización de la Carga a Nivel de Clientes y Estaciones de Transformación de CENTROSUR». Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., 20 de febrero de 2024.

Anexos

6.6 Anexo A: Tabulación de Encuestas

6.6.1 Encuestas Estrato B

Barrio	Cliente	Tipo de vivienda	Antigüedad de la vivienda	Estrato socioeconómico	Tipo de cocina utilizada	Motivo principal de elección	Tiempo de uso por sesión	¿Interrupciones en los últimos 6 meses?	¿Fluctuaciones de voltaje?	¿El servicio eléctrico es suficiente?
Huayna Cápac	1875384	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato B	Cocina a Gas	Costo	< 30 min	Si	No	Sí
Huayna Cápac	3197225	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato B	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	Si	No	Sí
Huayna Cápac	363531	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato B	Cocina a Gas	Disponibilidad	30-60 minutos	Si	No	Sí
Huayna Cápac	10004629	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato B	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	Si	No	Sí
Huayna Cápac	363526	Conjunto residencial	11-20 años	Estrato B	Cocina a Gas	Costo	Más de 2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	343515	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	4311981	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina a Gas	Disponibilidad	30-60 minutos	No	Sí	Sí
Huayna Cápac	363572	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato B	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	No
Huayna Cápac	363580	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato B	Cocina a Gas	Eficiencia energética	Más de 2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	10042517	Conjunto residencial	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina a Gas	Seguridad	1-2 horas	Si	No	No
Huayna Cápac	10042520	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato B	Cocina a Gas	Seguridad	1-2 horas	Si	No	No

Huayna Cápac	1194208	Conjunto residencial	11-20 años	Estrato B	Cocina de Inducción (2200W)	Costo	30-60 minutos	Si	No	Sí
Huayna Cápac	1194216	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato B	Cocina de Inducción (2200W)	Disponibilidad	30-60 minutos	Si	No	Sí
Huayna Cápac	364109	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina de Inducción (2200W)	Seguridad	Más de 2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	364117	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Barrio Sagrario	364125	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Costo	30-60 minutos	No	Sí	Sí
Huayna Cápac	364133	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Costo	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	1275981	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Costo	30-60 minutos	No	Sí	Sí
Huayna Cápac	1834944	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Seguridad	Menos de 30 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	3520491	Conjunto residencial	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Seguridad	1-2 horas	Si	No	Sí
Huayna Cápac	10090500	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato B	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	Si	No	Sí
Huayna Cápac	3520483	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato B	Cocina de Inducción (3200W)	Seguridad	1-2 horas	Si	No	Sí

Huayna Cápac	3645058	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato B	Cocina de Inducción (3200W)	Eficiencia energética	Menos de 30 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	364075	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina a Gas	Costo	Menos de 30 minutos	No	No	No
Huayna Cápac	364141	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato B	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	1455765	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Seguridad	1-2 horas	No	No	No
Huayna Cápac	364059	Conjunto residencial	Menos de 5 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Costo	Menos de 30 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	364067	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Costo	1-2 horas	No	Sí	Sí
Huayna Cápac	4107330	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato B	Cocina de Inducción (1800W)	Seguridad	Más de 2 horas	No	No	No

6.6.2 Encuestas Estrato C

Parroquia	Cliente	Tipo de vivienda	Antigüedad	Estrato	Tipo de cocina utilizada	Motivo de elección	Tiempo de uso	Interrupciones	Fluctuaciones	Servicio Suficiente
Huayna Cápac	4595823	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	Sí	No	Sí
Huayna Cápac	356345	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	1-2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	356352	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato C	Cocina de Inducción (2200)	Costo	1-2 horas	No	Sí	Sí
Huayna Cápac	3059177	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	Más de 2 horas	Sí	No	No
Huayna Cápac	356519	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato C	Cocina de Inducción (1800)	Eficiencia energética	1-2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	356386	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	3272523	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	356360	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	Más de 2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	356378	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	No	No	Sí

Huayna Cápac	356642	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	Menos de 30 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	356659	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Disponibilidad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	356667	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	4386439	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	4232062	Conjunto residencial	11-20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	Sí	Sí
Huayna Cápac	4232088	Conjunto residencial	Menos de 5 años	Estrato C	Cocina a Gas	Eficiencia energética	1-2 horas	No	No	No
Huayna Cápac	357558	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	Más de 2 horas	Sí	No	Sí
Huayna Cápac	357566	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	4280640	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	356527	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	356618	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	1-2 horas	No	No	No

Huayna Cápac	356626	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato C	Eléctrica convencional	Disponibilidad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	4470469	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato C	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí
Huayna Cápac	3077302	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato C	Cocina de Inducción (3200)	Costo	30-60 minutos	Si	Sí	Sí
Huayna Cápac	356600	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Huayna Cápac	356535	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato C	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	Si	No	Sí

6.6.3 Encuestas Estrato D

Barrio	Cliente	Tipo de vivienda	Antigüedad de la vivienda	Estrato socioeconómico	Tipo de cocina utilizada	Motivo principal de elección	Tiempo de uso por sesión	¿Interrupciones en los últimos 6 meses?	¿Fluctuaciones de voltaje?	¿El servicio eléctrico es suficiente?
Sidcay	1077445	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Sidcay	1983949	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Sidcay	1077460	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	No	No	Sí
Sidcay	3115342	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	No
Sidcay	1077858	Conjunto residencial	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	Más de 2 horas	Sí	Sí	Sí
Sidcay	10071010	Conjunto residencial	5-10 años	Estrato D	Cocina a Gas	Eficiencia energética	1-2 horas	Sí	Sí	Sí
Sidcay	1077866	Conjunto residencial	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Seguridad	1-2 horas	No	Sí	No
Sidcay	1077833	Conjunto residencial	Más de 20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	Sí	Sí	No
Sidcay	1983931	Conjunto residencial	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	Sí	Sí	Sí
Sidcay	10048734	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	No
Sidcay	10048226	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Sidcay	5020946	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí

Sidcay	1077825	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato D	Eléctrica convencional	Seguridad	Más de 2 horas	Sí	No	Sí
Sidcay	1077494	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	Sí	Sí
Sidcay	1077817	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	Sí	Sí
Sidcay	3025053	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato D	Cocina de Inducción (3200W)	Disponibilidad	Más de 2 horas	Sí	Sí	No
Sidcay	1077502	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina de Inducción (2400W)	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Sidcay	3115177	Casa unifamiliar	Menos de 5 años	Estrato D	Cocina de Inducción (3600W)	Costo	Menos de 30 minutos	No	No	Sí
Sidcay	625723	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Eficiencia energética	30-60 minutos	Sí	No	Sí
Sidcay	4250676	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Seguridad	1-2 horas	No	No	Sí
Sidcay	2129708	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	Sí	No	No
Sidcay	1077890	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	Sí	Sí	Sí
Sidcay	4190237	Casa unifamiliar	5-10 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	30-60 minutos	No	No	Sí
Sidcay	3618840	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí
Sidcay	1077882	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Seguridad	30-60 minutos	No	No	Sí

Sidcay	1077908	Casa unifamiliar	Más de 20 años	Estrato D	Eléctrica convencional	Costo	Más de 2 horas	Sí	Sí	No
Sidcay	1057916	Casa unifamiliar	11-20 años	Estrato D	Cocina a Gas	Costo	1-2 horas	No	No	Sí

6.7 Anexo B: Cuadro de demandas máximas diversificadas EERCS

# DE CLIENTES	ESTRATO "A1" 501 - 1000 kWh	ESTRATO "A" 311 - 500 kWh	ESTRATO "B" 181 - 310 kWh	ESTRATO "C" 111 - 180 kWh	ESTRATO "D" 61 - 110 kWh	ESTRATO "E" 1 - 60 kWh
	DMD (kVA)	DMD (kVA)	DMD (kVA)	DMD (kVA)	DMD (kVA)	DMD (kVA)
1	6,16	5,70	4,22	3,13	2,53	2,06
2	9,85	9,12	6,75	5,01	4,05	3,29
3	13,54	12,53	9,28	6,89	5,56	4,53
4	17,24	15,96	11,81	8,77	7,08	5,76
5	20,78	19,23	14,24	10,57	8,54	6,95
6	23,65	21,60	15,91	11,75	9,43	7,62
7	26,49	24,34	17,97	13,30	10,70	8,67
8	29,56	27,20	20,09	14,88	11,98	9,72
9	32,40	29,92	22,12	16,41	13,23	10,76
10	35,25	32,62	24,14	17,92	14,47	11,77
11	38,10	35,29	26,13	19,42	15,68	12,77
12	40,94	37,98	28,13	20,91	16,89	13,76
13	44,01	40,82	30,23	22,48	18,16	14,80
14	46,85	43,50	32,23	23,97	19,37	15,79
15	49,70	46,17	34,21	25,45	20,58	16,78
16	52,55	48,82	36,18	26,92	21,77	17,75
17	55,39	51,47	38,14	28,38	22,94	18,71
18	58,24	54,13	40,12	29,86	24,14	19,69
19	60,87	56,60	41,96	31,23	25,26	20,61
20	63,93	59,40	44,02	32,75	26,48	21,60
21	66,56	61,89	45,88	34,15	27,62	22,53
22	69,41	64,52	47,83	35,59	28,79	23,48
23	71,81	66,84	49,57	36,91	29,87	24,38
24	72,25	67,78	50,40	37,66	30,58	25,06
25	74,44	69,98	52,07	38,95	31,65	25,96
26	78,82	73,65	54,69	40,80	33,07	27,04
27	81,45	76,15	56,56	42,20	34,21	27,99
28	85,17	79,35	58,86	43,85	35,50	28,98
29	86,48	80,92	60,11	44,87	36,39	29,78
30	89,11	83,34	61,90	46,20	37,46	30,65
31	91,74	85,82	63,75	47,58	38,58	31,57
32	94,37	88,29	65,59	48,96	39,70	32,49
33	96,99	90,76	67,42	50,33	40,82	33,40
34	99,40	93,00	69,09	51,57	41,82	34,22
35	102,03	95,46	70,91	52,93	42,92	35,13
36	104,44	97,76	72,64	54,23	43,99	36,00
37	107,07	100,21	74,45	55,58	45,08	36,90
38	109,47	102,50	76,17	56,87	46,14	37,77
39	112,10	104,95	77,98	58,22	47,23	38,66
40	114,51	107,23	79,68	59,50	48,27	39,52
41	116,92	109,51	81,39	60,78	49,31	40,37
42	119,33	111,79	83,08	62,05	50,35	41,23
43	121,52	113,91	84,68	63,26	51,34	42,05
44	124,14	116,33	86,47	64,59	52,41	42,92
45	126,77	118,75	88,25	65,91	53,48	43,78
46	129,18	121,10	90,03	67,26	54,59	44,71
47	131,81	123,52	91,81	68,58	55,65	45,57
48	134,43	125,92	93,58	69,89	56,70	46,43
49	136,62	128,02	95,15	71,07	57,67	47,23
50	139,03	130,27	96,82	72,32	58,68	48,05
51	141,66	132,77	98,69	73,72	59,83	49,00
52	143,85	134,86	100,25	74,90	60,79	49,79
53	146,04	136,94	101,81	76,07	61,74	50,58
54	148,88	139,59	103,77	77,53	62,93	51,54
55	151,07	141,66	105,32	78,69	63,88	52,33
56	153,70	144,04	107,07	79,98	64,90	53,15
57	155,89	146,23	108,73	81,25	65,96	54,04

6.8 Anexo C: Código de programación implementado en Julia para determinar la cargabilidad de los transformadores en los diferentes estratos

```

# Proyección cocinas estrato B
# Función para el calculo según la fórmula
function calcular_valor(DMUp, N, fpc, Fc, DMUci, fpci, fcci, AP, u)
    return ((DMUp * N / fpc) * Fc + ((N * DMUci / fpci) * fcci) + AP) *
u
end

# Valores para Estado Actual
EB = 350
DMUpB_F = (0.0032*EB + 0.2466)*(1 + 0.01*10)
fpcB_F = 0.92
FcB_F = 0.512
NuB_F = 29
DMUciB_F = 1.92
fpciB_F = 0.98
fcciB_F = 0.343
APB_F = 1
u_F = 0.6
UcB_F = 15

# Valores para Implementación completa
DMUpB_C = (0.0032*EB + 0.2466)*(1 + 0.01*10)
fpcB_C = 0.92
FcB_C = 0.512
NuB_C = 29
DMUciB_C = 1.92
fpciB_C = 0.98
fcciB_C = 0.303
APB_C = 1
u_C = 0.6
UcB_C = 29

# Calcular capacidades estimadas
F22 = ((NuB_F * DMUpB_F / fpcB_F) * FcB_F + ((UcB_F * DMUciB_F /
fpciB_F) * fcciB_F) + APB_F+5) * u_F
C22 = ((NuB_C * DMUpB_C / fpcB_C) * FcB_C + ((UcB_C * DMUciB_C /
fpciB_C) * fcciB_C) + APB_C+5) * u_C

# Transformador instalado (estrato B)
transformador_instalado = 50

# Calcular cargabilidad (Capacidad estimada / Transformador instalado *
100)
cargabilidad_F = (F22 / transformador_instalado) * 100
cargabilidad_C = (C22 / transformador_instalado) * 100

```

```

# Mostrar resultados
println("Resultados para Estado Actual (15 cocinas):")
println("Capacidad estimada KVA: ", round(F22, digits=4))
println("Transformador instalado KVA: ", transformador_instalado)
println("Cargabilidad (%): ", round(cargabilidad_F, digits=4))
println()
println("Resultados para Implementación completa (29 cocinas):")
println("Capacidad estimada KVA: ", round(C22, digits=4))
println("Transformador instalado KVA: ", transformador_instalado)
println("Cargabilidad (%): ", round(cargabilidad_C, digits=4))

# Proyección cocinas estrato C
# Función para el calculo según la fórmula
function calcular_valor(DMUp, N, fpc, Fc, DMUci, fpci, fcci, AP, u)
    return ((DMUp * N / fpc) * Fc + ((N * DMUci / fpci) * fcci) + AP) * u
end

# Valores para Estado Actual
EB = 160
DMUpC_F = (0.0032*EB + 0.2466)*(1 + 0.01*10)
fpcC_F = 0.92
FcC_F = 0.512
NuC_F = 25
DMUciC_F = 1.92
fpciC_F = 0.98
fcciC_F = 0.406
APC_F = 5.2
u_F = 0.6
UcC_F = 3

# Valores para Implementación completa
DMUpC_C = (0.0032*EB + 0.2466)*(1 + 0.01*10)
fpcC_C = 0.92
FcC_C = 0.519
NuC_C = 25
DMUciC_C = 1.92
fpciC_C = 0.98
fcciC_C = 0.318
APC_C = 5.2
u_C = 0.6
UcC_C = 25

# Calcular capacidades estimadas
F22 = ((NuC_F * DMUpC_F / fpcC_F) * FcC_F + ((UcC_F * DMUciC_F / fpciC_F) *
fcciC_F) + APC_F+0) * u_F

```

```

C22 = ((NuC_C * DMUpC_C / fpcC_C) * FcC_C + ((UcC_C * DMUciC_C / fpciC_C) *
fcciC_C) + APC_C+0) * u_C

# Transformador instalado (estrato C)
transformador_instalado = 25

# Calcular cargabilidad (Capacidad estimada / Transformador instalado * 100)
cargabilidad_F = (F22 / transformador_instalado) * 100
cargabilidad_C = (C22 / transformador_instalado) * 100

# Mostrar resultados
println("Resultados para Estado Actual (3 cocinas):")
println("Capacidad estimada KVA: ", round(F22, digits=4))
println("Transformador instalado KVA: ", transformador_instalado)
println("Cargabilidad (%): ", round(cargabilidad_F, digits=4))
println()
println("Resultados para Implementación completa (25 cocinas):")
println("Capacidad estimada KVA: ", round(C22, digits=4))
println("Transformador instalado KVA: ", transformador_instalado)
println("Cargabilidad (%): ", round(cargabilidad_C, digits=4))

# Proyección cocinas estrato D
# Función para el calculo según la fórmula
function calcular_valor(DMUp, N, fpc, Fc, DMUci, fpci, fcci, AP, u)
    return ((DMUp * N / fpc) * Fc + ((N * DMUci / fpci) * fcci) + AP) * u
end

# Valores para Estado Actual
EB = 100
DMUpD_F = (0.0032*EB + 0.2466)*(1 + 0.01*10)
fpcD_F = 0.92
FcD_F = 0.498
NuD_F = 27
DMUciD_F = 1.44
fpciD_F = 0.98
fcciD_F = 0.67
APD_F = 1.8
u_F = 0.6
UcD_F = 5

# Valores para Implementación completa
DMUpD_C = (0.0032*EB + 0.2466)*(1 + 0.01*10)
fpcD_C = 0.92
FcD_C = 0.498
NuD_C = 27
DMUciD_C = 1.44
fpciD_C = 0.98

```

```
fcciD_C = 0.28
APD_C = 1.8
u_C = 0.6
UcD_C = 27

# Calcular capacidades estimadas
F22 = ((NuD_F * DMUpD_F / fpcD_F) * FcD_F + ((UcD_F * DMUciD_F / fpciD_F) *
fcciD_F) + APD_F+0) * u_F
C22 = ((NuD_C * DMUpD_C / fpcD_C) * FcD_C + ((UcD_C * DMUciD_C / fpciD_C) *
fcciD_C) + APD_C+0) * u_C

# Transformador instalado (estrato D)
transformador_instalado = 15

# Calcular cargabilidad (Capacidad estimada / Transformador instalado * 100)
cargabilidad_F = (F22 / transformador_instalado) * 100
cargabilidad_C = (C22 / transformador_instalado) * 100

# Mostrar resultados
println("Resultados para Estado Actual (5 cocinas):")
println("Capacidad estimada KVA: ", round(F22, digits=4))
println("Transformador instalado KVA: ", transformador_instalado)
println("Cargabilidad (%): ", round(cargabilidad_F, digits=4))
println()
println("Resultados para Implementación completa (27 cocinas):")
println("Capacidad estimada KVA: ", round(C22, digits=4))
println("Transformador instalado KVA: ", transformador_instalado)
println("Cargabilidad (%): ", round(cargabilidad_C, digits=4))
```