



**PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA
CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA DE CARGAS DE LA
ESTACIÓN CARAYAO (ES CYO) DE LA ANDE A
ESTACIONES O SUBESTACIONES ALEDAÑAS EN CASO
DE FUERAS DE SERVICIO.**

Néstor Ramón Ferreira Villamayor

Tutor: Ing. Elisa Rojas

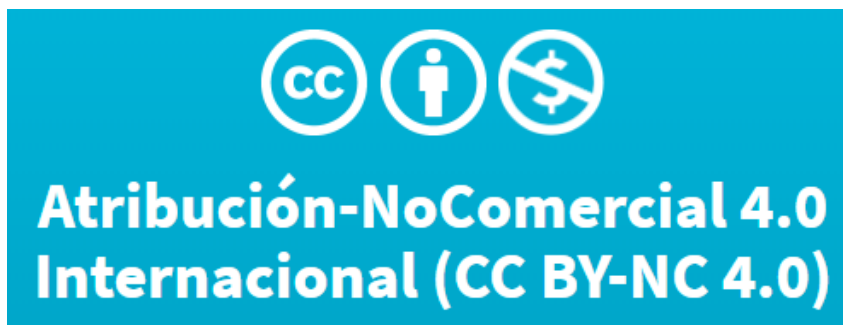
Co-tutor: Ing. Moises Britez

CORONEL OVIEDO, JUNIO 2024



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **No Comercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DERECHO DE AUTOR

Quien suscribe, Néstor Ramón Ferreira Villamayor autor del trabajo de investigación titulado «**Propuesta de alternativas para mejorar la capacidad de transferencia de cargas de la estación Carayao (ES-CYO) de la ANDE a estaciones o subestaciones aledañas en caso de fueros de servicio**», declara que voluntariamente cede a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación. En la ciudad de Coronel Oviedo a los, del mes del 2024.

.....

Firma



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Página de aprobación

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero en Electricidad aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnologías de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Acta Nro.: -----

Fecha: -----

Calificación: -----



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Dedicatoria

A mi padre Claudelino por haberme inculcado los primeros conocimientos sobre la electricidad e impulsarme a optar por esta carrera, así también por ser el sostén y el financiador principal de este sueño, desde el proceso de enseñanza aprendizaje hasta la culminación de este PFG.

A mi madre Ciria Mirtha por el apoyo constante, animarme a seguir adelante y junto con mi padre luchar cada día para que no me falte nada, por confiar siempre en mí y apoyarme para culminar esta difícil etapa de la educación universitaria.

A mi esposa Stefany y a mi hija Tamara Fiorella, por darme el apoyo emocional y estar en todos los momentos felices y complicados de la vida, por y para ustedes este logro.

A mis familiares, amigos y compañeros que fueron parte importante de este proceso.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Agradecimientos

A Dios por la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza para afrontar todas las adversidades y hoy estar disfrutando de la culminación de esta etapa.

A la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú por brindarme la oportunidad de formarme como profesional en esta carrera tan relevante.

A la Ing. Elisa Rojas y al Ing. Moisés Britez por haberme guiado con sus conocimientos y experiencias para realizar y culminar este proyecto de fin de grado.

Al Ing. César Ferreira, por acompañarme en la planificación de este PFG y a todos los docentes de la FCyT por las enseñanzas recibidas.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Resumen

El presente trabajo de investigación busca la mejora de la capacidad de transferencia de cargas de la Estación Carayao (ES-CYO) de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) a estaciones o subestaciones aledañas en caso de fuera de servicio. El objetivo general de este PFG es proponer alternativas que mejoren la capacidad de transferencia de cargas de la ES-CYO. La necesidad de garantizar un suministro eléctrico continuo y confiable es crítica para el desarrollo socioeconómico de la región. La mejora de la capacidad de transferencia de cargas en la ES-CYO es esencial para minimizar los impactos operativos en situaciones de fuera de servicio y para optimizar el uso de la infraestructura existente. Se adoptó un enfoque cuantitativo, utilizando métodos empíricos y de campo para la recolección de datos, simulación y modelado con el software CYME, y análisis estadístico y económico para evaluar la viabilidad técnica y económica de las propuestas. Se analizaron las demandas de los alimentadores, los esquemas unifilares, y las capacidades de transferencia de carga de los alimentadores VAQ-04, CZU-13 y COV-10. Las mejoras propuestas incluyen el cambio de conductores, la trifasicación de líneas y la instalación de reguladores de tensión. Estas intervenciones permitieron que los alimentadores mejorados asumieran un total de 4096.4 kW, lo que representa aproximadamente el 20.48 % del total de 20 MW de la ES-CYO. La evaluación económica mostró que el proyecto es financieramente viable, con un Valor Actual Neto (VAN) de 2,010,416,269 Gs y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 16.15 %, con recuperación de la inversión en el año 6 del horizonte de 10 años.

Palabras claves: Media Tensión, Niveles de tensión, Transferencias de cargas, Continuidad del servicio.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Abstract

This research aims to improve the load transfer capacity of the Carayao Station (ES-CYO) of the National Electricity Administration (ANDE) to neighboring stations or substations in case of service outages. The general objective of this thesis is to propose alternatives to enhance the load transfer capacity of ES-CYO. Ensuring a continuous and reliable electricity supply is critical for the socioeconomic development of the region. Improving the load transfer capacity at ES-CYO is essential to minimize operational impacts during service outages and optimize the use of existing infrastructure. A quantitative approach was adopted, utilizing empirical and field methods for data collection, simulation and modeling with CYME software, and statistical and economic analysis to evaluate the technical and economic feasibility of the proposals. The demands of the feeders, single-line diagrams, and load transfer capacities of the VAQ-04, CZU-13, and COV-10 feeders were analyzed. The proposed improvements include conductor changes, line phasing, and the installation of voltage regulators. These interventions allowed the upgraded feeders to assume a total of 4096.4 kW, representing approximately 20.48 % of the total 20 MW of ES-CYO. The economic evaluation showed that the project is financially viable, with a Net Present Value (NPV) of 2,010,416,269 Gs and an Internal Rate of Return (IRR) of 16.15 %, with investment recovery in year 6 of the 10-year horizon.

Key words: Medium Voltage, Tension levels, Load transfer capacity, Continuous electricity supply.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Índice

1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. Metodología	5
4.1. Análisis de datos	6
4.1.1. Demanda de estaciones	6
4.1.2. Demanda de alimentadores de la ES-CYO	7
4.1.3. Datos de la red	7
4.2. Escenario inicial	8
4.3. Transferencia con ES-VAQ y ES-CZU	10
4.3.1. Mejoras sobre el VAQ-04	11
4.3.2. Mejoras sobre el CZU-13	12
4.4. Transferencias con ES-COV	13
4.5. Resumen de trabajos a realizar	15
4.6. Costos	16
4.7. Beneficios	16
4.8. Indices financieros	17
5. Resultados y análisis	19
5.1. Alimentador VAQ-04	20



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

5.2. Alimentador CZU-13	21
5.3. Alimentador COV-10	22
5.4. Resultados en general	22
6. Conclusiones y recomendaciones	24
6.1. Recomendaciones	25
Referencias	26
Apéndices	27
A. Relevamiento de datos	27
A.1. Análisis de demanda y esquemas de alimentadores	27
B. Resultados	35
B.1. Resultados del escenario inicial	35
B.2. Análisis de transferencias con VAQ y CZU	40
B.3. Análisis financiero	48



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Índice de tablas

1.	Demanda de alimentadores de la ES-CYO	7
2.	Resumen de cargas en el escenario inicial	10
3.	Resumen de propuestas para mejorar las transferencias de cargas	15
4.	Resumen de pérdidas	16
5.	Flujo de caja del proyecto	18
6.	Demanda de estaciones de la zona centro verano 2023/2024	27
7.	Demanda del alimentador CYO-04	34
8.	Carga escenario inicial CYO-01	36
9.	Carga escenario inicial CYO-02	37
10.	Carga escenario inicial CYO-03	38
11.	Carga escenario inicial CYO-04	39
12.	Costos de las propuestas	48
13.	Ahorro por carga recuperada	49



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Índice de figuras

1.	Redes de la ES-CYO y estaciones adyacentes	9
2.	Toma de carga del VAQ-04, posterior a la mejora	11
3.	Toma de carga sobre alimentador CZU-13	14
4.	Toma de carga del COV-10	15
5.	Aporte de carga a la ES-CYO	19
6.	Niveles de pérdidas por unidad de producción	20
7.	Mímico CYO-01	28
8.	Demanda CYO-01 12-02-2024	28
9.	Demanda CYO-01 14-02-2024	29
10.	Demanda CYO-01 15-02-2024	29
11.	Demanda CYO-01 10-01-2024	29
12.	Mímico CYO-02	30
13.	Demanda CYO-02 07-02-2024	31
14.	Demanda CYO-02 08-02-2024	31
15.	Demanda CYO-02 07-03-2024	31
16.	Demanda CYO-02 15-03-2024	32
17.	Mímico CYO-03	32
18.	Demanda CYO-03 12-02-2024	33
19.	Demanda CYO-03 07-03-2023	33
20.	Demanda CYO-03 09-02-2024	33
21.	Mímico CYO-04	34
22.	Zonas con tensión bajo y sobre el umbral	35
23.	Demanda máxima del alimentador CZU-13	40



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

24.	Demanda máxima del alimentador VAQ-04	40
25.	Niveles de tensión del VAQ-04, en escenario inicial	41
26.	Niveles de carga del VAQ-04, con toma de carga	41
27.	Niveles de tensión, VAQ-04 y CZU-13	42
28.	Cambio de conductor VAQ-04	43
29.	Perfil de tensión del VAQ-04 posterior al cambio de conductor	43
30.	Trifasicación de linea del CYO-03	44
31.	Perfil de tensión del VAQ-04 posterior a la toma de carga	44
32.	Trifasicación del CZU-13	45
33.	Trifasicación CYO-03, localidad de Tekoha	46
34.	Perfil de tensión posterior a la toma de carga del CZU-13	46
35.	Demanda máxima del COV-10	47
36.	Trifasicación del COV-10	47
37.	Perfil de tensión del COV-10 con carga conectada	48
38.	Horas fuera de servicio de alimentadores	49

1. Introducción

El suministro eléctrico continuo y confiable es fundamental para el desarrollo socio-económico de cualquier región. En el caso de la Estación Carayao (ES-CYO) de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), garantizar la capacidad de transferencia de cargas a estaciones o subestaciones aledañas en situaciones de fuera de servicio es crucial para mantener la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico. Esta investigación nace de la necesidad de optimizar la infraestructura existente y minimizar los impactos operativos en caso de interrupciones del servicio, asegurando así una distribución eficiente y sostenible de la energía eléctrica.

La ES-CYO enfrenta limitaciones en su capacidad de transferencia de cargas, lo que compromete la continuidad del servicio eléctrico durante averías o mantenimientos. Esta situación no solo afecta la estabilidad de la red, sino que también tiene implicaciones económicas y de calidad de servicio para los usuarios finales. Es necesario identificar y proponer alternativas que mejoren esta capacidad y permitan una respuesta más eficiente ante situaciones de contingencia.

Por lo que el objetivo de este trabajo es proponer alternativas que mejoren la capacidad de transferencia de cargas de la Estación Carayao (ES-CYO) a estaciones o subestaciones aledañas en caso de fueros de servicio. Y por consiguiente se acuña la siguiente hipótesis: *La implementación de mejoras en los conductores, trifasicación de líneas y la instalación de reguladores de tensión aumentará significativamente la capacidad de transferencia de cargas de la ES-CYO, mejorando la estabilidad y continuidad del servicio eléctrico.*

La mejora de la capacidad de transferencia de cargas en la ES-CYO es esencial para minimizar los impactos operativos en situaciones de fuera de servicio y optimizar el uso de la infraestructura existente. Un suministro eléctrico continuo y confiable es crítico para el desarrollo socioeconómico de la región, y las propuestas de esta investigación buscan asegurar dicha continuidad y confiabilidad. Este trabajo se enfoca en la evaluación y mejora de la capacidad de transferencia de cargas en la ES-CYO, considerando alimentadores específicos (VAQ-04, CZU-13 y COV-10) y utilizando herramientas de simulación y modelado. No se abordarán en detalle otros aspectos del sistema eléctrico de la ANDE fuera del alcance directo de la ES-CYO y sus alimentadores aledaños.

2. Antecedentes

Análisis y Alternativas para Mejorar la Capacidad Firme en el Suministro de Energía Eléctrica en 23 kV de la Estación Coronel Oviedo (2015-2020)

Autor: Fredy Daniel Vargas Parra

Institución: Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Nacional de Caaguazú

Año: 2015

Objetivo del Trabajo: Proponer alternativas técnico-económicas para mejorar la capacidad firme en el suministro de energía eléctrica en la Estación Coronel Oviedo (ANDE).

Resultados del Proyecto: Se recomendó la inserción de un nuevo equipo de potencia, el TR-03, en la Subestación Coronel Oviedo (SE COV), basado en las siguientes observaciones:

Mayor rango de capacidad firme en comparación con las demás alternativas.

Las demás alternativas no cubrían las necesidades mínimas de energía eléctrica durante el periodo 2015 y menos en el futuro. Menor nivel de cargabilidad en los equipos de potencia durante el régimen normal de operación, posibilitando un menor valor de sobrecarga.

Menor duración de respuesta en caso de contingencia [7].

Estudio Eléctrico para Transferencias Automáticas en Alimentadores Primarios de Medio Voltaje de CNEL EP, Unidad de Negocio El Oro: Estudio de Caso del Alimentador Más Crítico Ante Falla

Autores: Christian Xavier Pulla Carpio y Henis Alexander Quiñonez Tinizhañay

Institución: Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador

Año: 2018

Objetivo del Trabajo: Buscar una solución para transferir carga del alimentador seleccionado como crítico en caso de falla o mantenimiento, distribuyendo la carga en su totalidad o parcialmente a los alimentadores aledaños.

Resultados del Proyecto: Se propuso una mejora en los alimentadores basada en el balanceo de corrientes por fase para disminuir las pérdidas de potencia en la cabecera del circuito. Esta medida mejora la distribución de corrientes en las fases, aunque no reduce las pérdidas totales. Por lo tanto, se considera una medida previa a una mejora que

involucre el cambio de elementos, la repotenciación de la red y la coordinación de las protecciones [1].

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Proponer alternativas para mejorar la capacidad de transferencia de cargas de la Estación Carayaó (ES CYO) de la ANDE a Estaciones o Subestaciones aledañas en caso de fueros de servicio.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar los esquemas unifilares de los alimentadores de la Estación de Carayaó y las subestaciones aledañas.
- Releva los niveles de carga de los Transformadores de las Estaciones y Subestaciones aledañas a la ES CYO.
- Evaluar las condiciones de los puntos de acoples entre los alimentadores de la ES CYO y las Estaciones y Subestaciones aledañas.
- Determinar las alternativas que mejoren la capacidad de transferencia de carga en caso de fueros de servicio por avería y/o mantenimiento del transformador de potencia o fuera de servicio de los alimentadores de la ES CYO.
- Realizar la evaluación económica del proyecto.

4. Metodología

El proyecto se encuadra a un enfoque cuantitativo, principalmente debido a la necesidad de recolectar y analizar datos numéricos sobre cargas, capacidades y eficiencias operativas de los alimentadores en media tensión. Además, se basa en métodos empíricos para evaluar condiciones y efectuar mediciones precisas, que son característicos de este enfoque.

Este enfoque se utiliza para cuantificar el problema mediante la generación de datos numéricos o datos que pueden ser transformados en estadísticas utilizables. Se caracteriza por el uso de instrumentos de recolección de datos, como medidores y dispositivos de monitoreo, y métodos estadísticos para analizar la información [3].

En cuanto al tipo de investigación se puede decir que este proyecto se encuentra dentro de los siguientes marcos:

- Descriptiva: Parte del proyecto implica describir las condiciones actuales de los sistemas y equipos, como los esquemas unifilares de los alimentadores y los niveles de carga de los transformadores. Este tipo de investigación busca especificar propiedades, características y perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.
- Correlacional: Se pretende evaluar cómo las interacciones entre los alimentadores y las subestaciones influyen en la eficiencia y capacidad de la red, esto forma parte de una investigación correlacional, donde se busca entender la relación entre dos o más variables dentro de un contexto específico.
- Explicativa: Al buscar determinar alternativas para mejorar la capacidad de transferencia y evaluar las condiciones de puntos de acople, se está abordando causas potenciales y efectos de problemas existentes, lo que se alinea con una investigación explicativa. Este tipo indaga sobre la causa de los fenómenos, intentando explicar por qué ocurren y cómo intervienen los diversos factores estudiados.
- Aplicada: Dado que el objetivo final es mejorar la eficiencia y capacidad operativa de la red eléctrica, este proyecto también se clasifica como investigación aplicada, que busca proponer soluciones prácticas a problemas específicos basados en evidencias y análisis.

Se utilizaron los siguientes métodos:

- Métodos empíricos y de campo: Incluyen la medición directa y observación de los componentes eléctricos y las instalaciones.
- Simulación y modelado: Utilizados para prever cómo las mejoras propuestas podrían impactar en la operación de la red.
- Análisis estadístico y económico: Necesario para evaluar la viabilidad técnica y económica de las alternativas propuestas.

4.1. Análisis de datos

En esta sección, se lleva a cabo una evaluación detallada de las demandas de los alimentadores del centro de distribución Carayao. Se analizan meticulosamente tanto sus esquemas unifilares como los de los alimentadores adyacentes. Este análisis incluye la revisión de las cargas actuales y las capacidades máximas de cada alimentador, permitiendo identificar posibles puntos de sobrecarga o ineficiencias en la distribución de la energía eléctrica. Además, se examinan las interconexiones entre los alimentadores del centro y aquellos de las áreas circundantes, con el objetivo de asegurar una operación óptima y la continuidad del servicio.

Los datos de demanda fueron recavados de la pagina web desarrollada por el departamento de operación de la regional centro [6].

4.1.1. Demanda de estaciones

En la Tabla 6, se presentan las demandas de los transformadores de potencia en la zona centro a niveles de transmisión según la Gerencia Técnica de la empresa. En relación con la distribución, las estaciones con conexiones a Carayao incluyen:

- ES-COV
- ES-SES
- ES-CZU
- ES-VAQ

De acuerdo con los factores de utilización indicados en la Tabla 6, la Estación Vaquería y el transformador TR-01 de la Estación Caaguazú son los únicos que operan por debajo del

80 % de su capacidad máxima. Los demás transformadores conectados en media tensión operan por encima de este umbral.

Esto define el alcance de esta investigación. Este proyecto se centrará principalmente en la Estación Vaquería como el punto inicial de estudio, y explorará adicionalmente posibles transferencias en otros centros de distribución.

4.1.2. Demanda de alimentadores de la ES-CYO

ESTACION	POSICION	Fecha Hora	IA (A)	IB (A)	IC (A)	Desequilibrio
CYO	E_AL01	10/1/2024 21:00	172	205	139	16.10 %
CYO	E_AL01	12/2/2024 21:00	171	205	140	16.10 %
CYO	E_AL01	14/3/2024 21:00	175.22	204.12	147.8	13.92 %
CYO	E_AL01	15/3/2024 21:00	171.65	202.4	144.14	14.66 %
CYO	E_AL02	8/2/2023 20:00	272.76	268.31	289.47	4.36 %
CYO	E_AL02	7/2/2023 20:00	269.49	267.22	287.29	4.39 %
CYO	E_AL02	15/3/2023 10:00	267.06	282.37	272.92	2.92 %
CYO	E_AL02	7/3/2023 10:00	238.11	281.41	249.87	8.86 %
CYO	E_AL03	24/1/2023 10:00	284.06	276.01	273.67	2.16 %
CYO	E_AL03	24/1/2023 09:00	246.19	225.84	228.59	5.14 %
CYO	E_AL03	9/2/2024 10:00	164.89	241.22	225.57	12.71 %
CYO	E_AL03	9/2/2024 09:00	146.99	215.75	198.09	13.35 %
CYO	E_AL04	8/1/2024 20:00	55	–	–	–
CYO	E_AL04	6/2/2024 19:30	68	–	–	–
CYO	E_AL04	14/3/2024 20:00	56	–	–	–

Tabla 1: Demanda de alimentadores de la ES-CYO

La Tabla 1 muestra los valores máximos de demanda para cada posición de los alimentadores en la estación Carayao. Es importante destacar que, debido a la falta de señal digital en el alimentador CYO-04, no es posible obtener datos de los sistemas SCADA para este. Los valores presentados se han utilizado para simular el estado inicial de estos alimentadores. En la sección A.1 se aprecian los esquemas de estos alimentadores y las curvas de demanda máxima, también se explayan los alimentadores lindantes a estos.

4.1.3. Datos de la red

Además, se recolectaron datos de la red que incluyen los tipos de líneas, cargas y equipos, así como sus trayectorias georreferenciadas. Estos datos, registrados y correlacionados en tablas, son utilizados por el software Cymdist para el modelado de las líneas de distribución eléctrica de 23 kV en este proyecto.

Se llevaron a cabo las siguientes configuraciones del software [2] con los datos obtenidos del Centro de Operación de Distribución de la ANDE.

- Configuración de CYME: Se configuraron los archivos de CYME mediante el ejecutable Cymconfig.exe. Se seleccionó la versión adecuada y se creó una nueva colección de archivos de configuración que se distribuyó a otros usuarios para promover el uso de estándares uniformes.
- Definición de la Base de Datos: Al iniciar la aplicación CYME, se estableció conexión con una base de datos que contenía información relevante sobre las redes, equipos y datos de carga. También se creó una nueva base de datos, la cual se pobló importando los datos necesarios, siguiendo las instrucciones del Asistente de la Base de Datos.
- Uso Inicial de CYME: Al abrir CYME por primera vez, las funciones de la aplicación se encontraban desactivadas hasta que se creó un nuevo estudio. Este proceso se realizó a través del menú Archivo o utilizando el icono correspondiente en la barra de herramientas.
- Carga de Circuitos: Se utilizó el diálogo «Seleccionar redes» para cargar los circuitos específicos que se deseaban analizar. Fue posible seleccionar varios alimentadores o cargar todos los disponibles en la ventana del diagrama unifilar.
- Guardar y Cerrar Estudios: Los estudios se guardaron para conservar los cambios realizados o se cerraron para permitir la apertura de nuevos estudios. Además, se guardaron estudios auto-contenidos que no requerían conexión a la base de datos original para su uso posterior.
- Actualizar la Red: Se actualizaron permanentemente en la base de datos los cambios realizados en los circuitos utilizando la opción «Actualizar red» del menú Archivo.

En la Figura 1 se aprecian las redes tratadas en este proyecto, resultado obtenido posterior a la realización de los pasos mencionados anteriormente.

4.2. Escenario inicial

Para el estudio inicial de la tesis utilizando el software CYME, se inició abriendo el programa y activando un nuevo estudio, lo que permitió cargar todas las redes eléctricas presentes al momento de su guardado. Se gestionó la visualización de redes, optando por mostrar solo la redes CYO-01, CYO-02, CYO-03 y CYO-04 para centrarse en su análisis

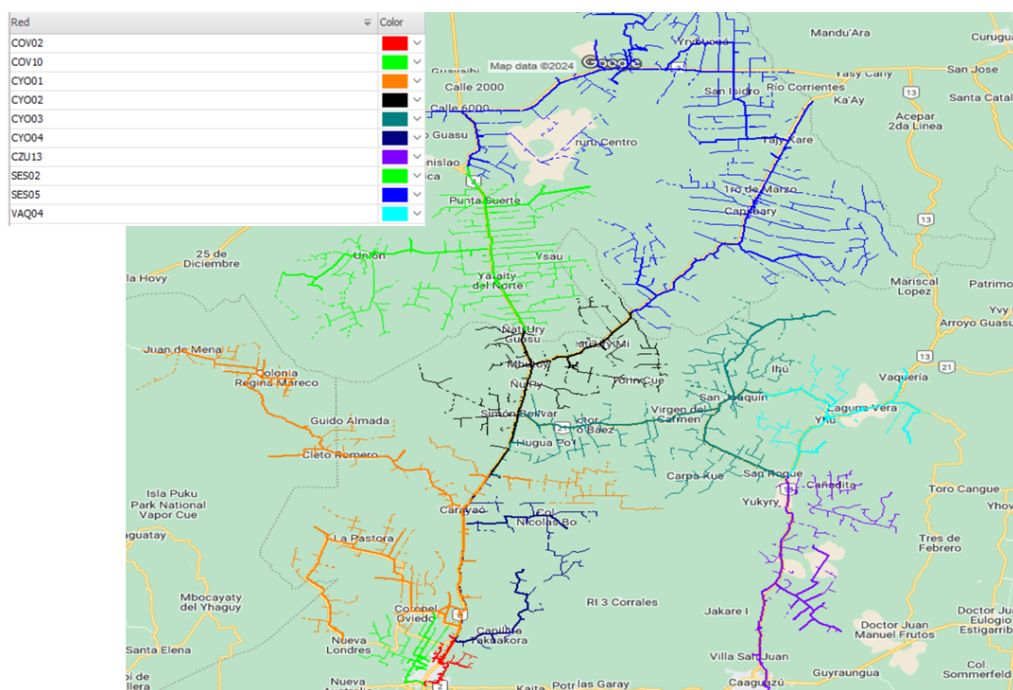


Figura 1: Redes de la ES-CYO y estaciones adyacentes

detallado. A lo largo del estudio, se guardaron los cambios como un archivo autónomo y se cerró el estudio para desactivar las herramientas de CYME. También se exploró la funcionalidad de fusionar estudios para ampliar el análisis.

En cuanto a la navegación y gestión de datos, se utilizaron herramientas de pan y zoom para ajustar la visualización en el espacio de trabajo y se realizaron búsquedas específicas para localizar componentes clave como tramos, nudos o equipos. Además, se emplearon opciones visuales para resaltar elementos seleccionados, facilitando su identificación y análisis. Estas acciones formaron la base metodológica del estudio en la tesis, aprovechando las capacidades de CYME para el análisis y modelado de redes eléctricas.

Se recopilaron los datos de demanda de los alimentadores de la subestación ES-CYO. Adicionalmente, se cargaron los datos de consumo de los grandes clientes, aquellos con una potencia contratada superior a los 400 kW. Una vez evaluada la demanda de cada alimentador, se procedió a ejecutar la función de distribución de carga. Esta función asigna la demanda a los distintos transformadores declarados en la red, asegurando así una distribución eficiente del consumo eléctrico entre los componentes de la red.

Se realizaron ajustes en los taps de los cuatro reguladores de voltaje distribuidos en todos los alimentadores de la subestación ES-CYO. Durante la evaluación inicial, se identificaron ciertas anomalías, destacando principalmente las condiciones de baja tensión en zonas específicas de la red, como se ilustra en la Figura 22. Estas condiciones anómalas no se

abordaron en profundidad en el presente estudio, dado que el enfoque principal es analizar la redistribución de cargas ante posibles interrupciones en las líneas de transmisión y distribución de la subestación ES-CYO. Además, el estudio se fundamenta en el escenario menos probable, correspondiente a la demanda máxima de estos alimentadores. Este enfoque permite evaluar la robustez del sistema bajo condiciones críticas y garantizar la continuidad del servicio en situaciones extremas.

Producción total (kW)	20089
Carga total (kW)	17454
Pérdidas totales (kW)	2635

Tabla 2: Resumen de cargas en el escenario inicial

En la Tabla 2, se presenta un resumen de las cargas iniciales correspondientes a todos los alimentadores de la estación. Para un análisis detallado de las cargas asociadas a cada alimentador conforme al modelo inicial, se ha incluido información complementaria en el apéndice. Este desglose permite una comprensión más profunda de la distribución de carga en la infraestructura de la red, facilitando así la identificación de áreas críticas y la evaluación de la capacidad del sistema bajo el escenario crítico.

4.3. Transferencia con ES-VAQ y ES-CZU

Las estaciones de Vaquería y Caaguazú están conectadas con la subestación ES-CYO a través del alimentador CYO-03. Los alimentadores VAQ-04 y CZU-13 están diseñados para manejar cargas transferidas desde el CYO-03. En este análisis, se evalúa la capacidad de estos alimentadores para absorber carga adicional y se determina la configuración óptima a considerar. Este estudio proporciona una evaluación crítica de la capacidad de respuesta y adaptabilidad de la red ante variaciones en la demanda o condiciones de operación, asegurando así la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico en las áreas afectadas.

Inicialmente, se realiza un análisis de las demandas actuales de los alimentadores VAQ-04 y CZU-13, ilustradas en las Figuras 24 y 23. Posteriormente, utilizando estos datos, se procede a modelar la distribución de la carga en dichos alimentadores. Como se evidencia en la Figura 27, estos alimentadores actualmente no poseen la capacidad suficiente para asumir la carga procedente del alimentador CYO-03. A raíz de esto se procede a proponer mejoras sobre estos alimentadores para tomar carga del CYO-03.

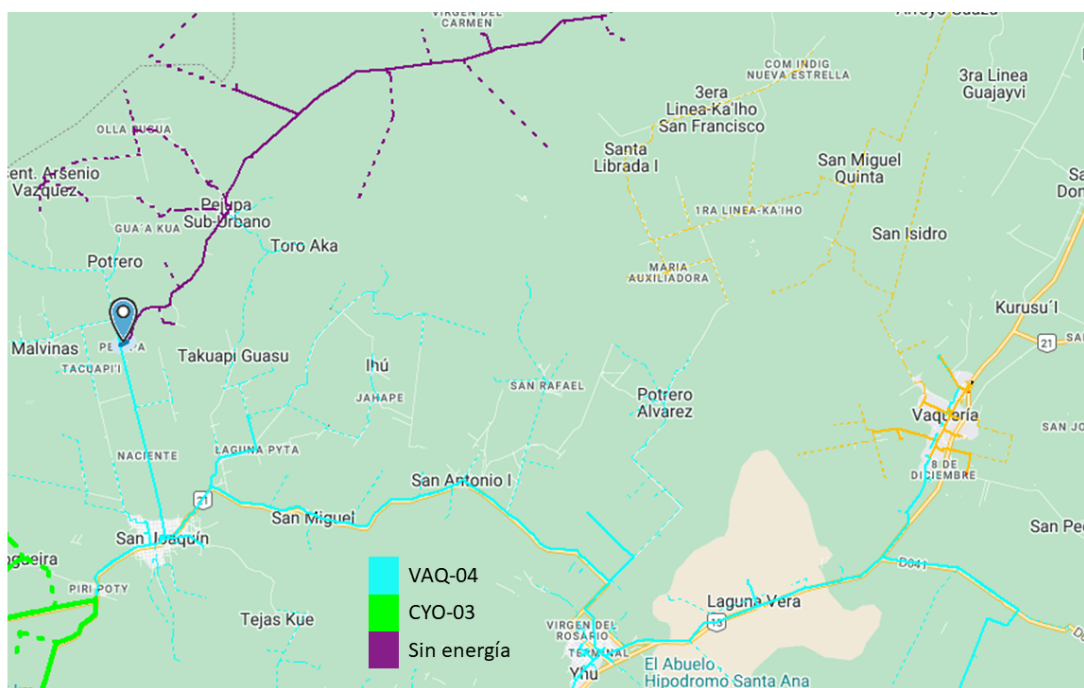


Figura 2: Toma de carga del VAQ-04, posterior a la mejora

4.3.1. Mejoras sobre el VAQ-04

El principal inconveniente del alimentador radica en la inadecuada capacidad del conductor principal, que actualmente posee una sección transversal de 35 mm^2 , extendiéndose desde la ciudad de Vaquería hasta la ciudad de Yhú, donde se observa la mayor concentración de demanda eléctrica. Este conductor está limitado a soportar una corriente nominal de hasta 152 A, situación que conduce a una reducción significativa en los niveles de tensión y culmina en condiciones críticas de sobrecarga a lo largo del trayecto principal. Como se ilustra en la Figura 26, el conductor de 35 mm^2 opera bajo un régimen de sobrecarga que excede el 80 % en los escenarios donde absorbe corriente del alimentador CYO-03. Una mejora técnica evidente sería la sustitución del conductor por uno de mayor capacidad, mitigando así las caídas de tensión y las sobrecargas en el sistema. Este bajo nivel de tensión el cual afecta directamente a la capacidad de transferencia se aprecia en la Figura 25.

Se efectuó el reemplazo de conductor en un tramo de 12 km, pasando de 3x35 mm² a 3x150 mm² desnudo, como se muestra en la Figura 28. Tras este cambio y la realización de un análisis de flujo de carga en el alimentador, se observó que la tensión a lo largo de toda la línea se mantiene dentro del rango admisible, tal como se evidencia en la Figura 29. Adicionalmente, este ajuste proporciona un margen considerable de capacidad adicional al final de la línea, lo que facilita la posibilidad de asumir cargas adicionales sin compro-

meter los estándares de calidad y confiabilidad del servicio eléctrico. Este enfoque mejora significativamente la eficiencia y la capacidad de respuesta del sistema ante variaciones en la demanda..

Otra obra considerada es la trifasicación de 3 km de línea monofásica, con conductor de 150 mm² en la localidad de Laguna Pyta distrito de San Joaquín, esto para distribuir de manera uniforme la carga monofásica de mucha demanda que abastece gran parte de la zona rural del distrito, como Guaho, Toro Aka, Jahape y Takuapi Guazu (vease Figura 30).

Se propone que el alimentador VAQ-04 asuma la carga total de la ciudad de San Joaquín, además de parte de sus localidades circundantes, como se detalla en la Figura 2. En este escenario, se contempla la desconexión exclusiva de la localidad de Pejupa, mientras que el alimentador VAQ-04 absorberá 1420 kVA. Esta cantidad representa aproximadamente el 21 % de la carga total abastecida previamente por el alimentador CYO-03. Este análisis subraya la capacidad redistributiva del alimentador VAQ-04 y su papel crucial en la estabilización de la red al asumir cargas estratégicamente distribuidas.

4.3.2. Mejoras sobre el CZU-13

En el alimentador CZU-13, se proyectan dos trifasicaciones para cargas monofásicas de alta demanda en las localidades de Cañadita, Santa Ines y San Carlos, tal como se muestra en la Figura 32. Adicionalmente, para mejorar los niveles de tensión en los alimentadores CYO-03 y CZU-13 durante la transferencia de carga, se ha considerado la trifasicación de la localidad de Tekoha en el alimentador CYO-03, como se puede ver en la Figura 33. Esta intervención abarca un total de 20 km de trifasicación utilizando conductor de 150 mm². Por último, se propone la instalación de un banco de reguladores de tensión a 13 km de la ES-CZU en el alimentador CZU-13. Este ajuste está diseñado para mejorar la regulación de tensión y capacitar al alimentador para asumir cargas adicionales según sea necesario, asegurando así una distribución de energía más estable y eficiente.

El alimentador CZU-13 asume en simulación una carga adicional de 1137 kVA, lo que representa un incremento del 17 % de la carga total previamente manejada por el alimentador CYO-03. Los niveles de tensión asociados a este escenario han sido documentados en la Figura 34. La distribución detallada de la carga adicional asumida por el CZU-13 se presenta en la Figura 3, destacando que las localidades de San Roque y Juan Sinfiriano Bogarín (anteriormente conocida como Carpa Kue) serán ahora abastecidas por este alimentador, CZU-13.

Este análisis pone de manifiesto la eficacia de las modificaciones estructurales realizadas en la red de distribución. Las intervenciones incluyen la optimización del dimensionamiento de conductores y la reconfiguración de circuitos, lo que ha permitido una mejor distribución de la carga y una gestión más eficiente del sistema.

Además, se ha proyectado que, con las transferencias de carga y las mejoras estructurales implementadas en los alimentadores, estos sistemas podrán manejar un total combinado de 2557 kVA provenientes de la subestación ES-CYO. Este incremento en la capacidad de carga no solo mejora la fiabilidad y la estabilidad del suministro eléctrico en las áreas afectadas, sino que también proporciona una mayor flexibilidad operativa para futuras expansiones y ajustes en la demanda energética.

La mejora en la eficiencia del alimentador CZU-13, junto con la adecuada planificación y mejora de las capacidades de transferencias de carga, representa un paso significativo hacia el fortalecimiento de la infraestructura eléctrica en la región, asegurando un suministro más estable y confiable para las localidades de San Roque y Juan Sinforiano Bogarín.

4.4. Transferencias con ES-COV

Se considera el alimentador COV-10, ya que este se encuentra sobre el TR-03 de la ES-COV, el cual posee potencia disponible como se aprecia en la Tabla 6.

El análisis comenzó con una evaluación detallada de la demanda en el alimentador, cuyos resultados se pueden observar en la Figura 35, donde se muestra la demanda máxima registrada. Posteriormente, se realizó un estudio de distribución de carga en dicho alimentador, el cual está conectado con el alimentador CYO-01. Aunque el CYO-01 también tiene una conexión con el alimentador COV-02, este último se encuentra en la barra A de la ES-COV y ya está experimentando sobrecarga. Por lo tanto, se ha optado por descartar el COV-02 de este estudio para evitar complicaciones adicionales y centrarse en las conexiones viables que no comprometen la estabilidad del sistema eléctrico.

Se recomienda la trifasicación de la red COV-10 en la localidad de Olegario en Coronel Oviedo, como se muestra en la Figura 36, cubriendo una distancia de 3,2 km. Esta modificación está diseñada para mejorar los niveles de tensión en la punta del alimentador, permitiendo así que este asuma toda la carga de La Pastora proveniente del CYO-01, como se ilustra en la Figura 4. El total de la carga transferida al COV-10 es de 1755 kVA, lo que representa el 26 % de la carga total del CYO-01. El perfil de tensión del alimentador COV-10 con la carga adicional transferida se detalla en la Figura 37 y se encuentra dentro del rango admisible.

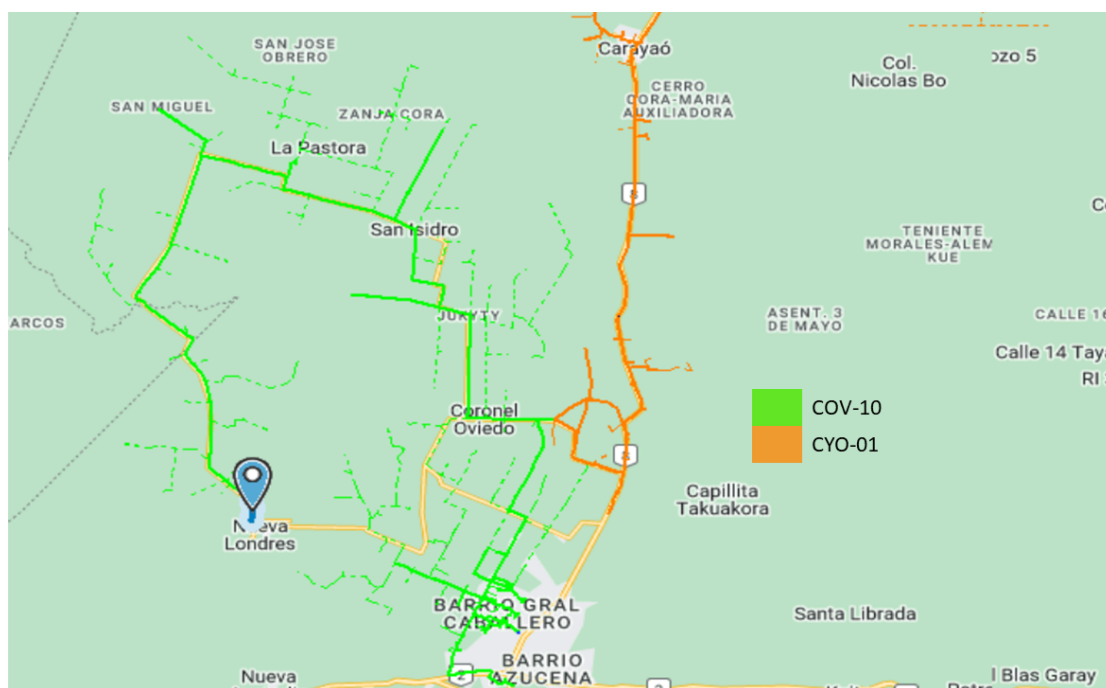


Figura 4: Toma de carga del COV-10

4.5. Resumen de trabajos a realizar

Como observación importante, no se incluyeron en el análisis las transferencias de carga relacionadas con la subestación ES-SES. De acuerdo con información del COR-C (Centro de Control de Transmisión Centro), esta estación actualmente opera con más del 80 % de su capacidad en ambas barras, además de enfrentar una sobrecarga en la línea de transmisión que conecta Carayao con San Estanislao. Debido a estas limitaciones, el estudio se centró en evaluar las posibilidades de transferencia de carga utilizando los alimentadores COV-10, VAQ-04 y CZU-13, que pertenecen a estaciones con capacidad de potencia disponible.

Alimentador	Trabajos a realizar	Cantidad	Unidad
VAQ-04	Cambio de conductor 3x35 mm ² a 3x150 mm ²	12	km
CYO-03	Trifasicación de línea monofásica	3	km
CZU-13	Trifasicación de línea monofásica	20	km
CZU-13	Instalación de RT de 200 A	1	unidad
COV-10	Trifasicación de línea monofásica	3.2	km

Tabla 3: Resumen de propuestas para mejorar las transferencias de cargas

En la Tabla 3, se detallan las diversas estrategias propuestas en este estudio para optimizar las transferencias de carga en situaciones de fuera de servicio de la estación o de los alimentadores analizados. Esta tabla resume los enfoques técnicos adoptados para mejorar

la resiliencia y la eficiencia de la red eléctrica, garantizando una distribución de energía confiable incluso bajo condiciones adversas. Estas propuestas son cruciales para minimizar los impactos operativos en el sistema y asegurar la continuidad del servicio a los usuarios finales.

4.6. Costos

Se evaluaron los costos teniendo en cuenta la Tabla 12, donde se encontró un costo total de 5,505,293,539 Gs. Esto se evalua a partir de los costos asociados a las categorías de contrato HHP de la ANDE.

4.7. Beneficios

Se consideran como beneficios principal de este proyecto la disminución de las pérdidas en operación normal de los alimentadores mejorados.

Alimentador	Perdidas E0 (kW)	Perdidas E1 (kW)	Diferencia (kW)
VAQ-04	167	49	118
CZU-13	593	547	46
COV-10	63	55	8
TOTAL			172

Tabla 4: Resumen de pérdidas

En la Tabla 4, se presentan las mejoras logradas en los niveles de pérdidas durante la operación normal, resultado de las diversas mejoras implementadas en este proyecto. Estas optimizaciones han permitido una reducción total en términos de kW por demanda máxima de 172 kW. Para monetizar estas reducciones de pérdidas, se aplica un factor cuadrático, reflejando la relación directa de las pérdidas con el cuadrado de la corriente. Esta metodología cuantifica el beneficio económico de las mejoras en términos de eficiencia energética y costos operativos reducidos, proporcionando un marco claro para la evaluación del impacto financiero de las intervenciones propuestas en la red.

Cuando se analiza la demanda media, asumiendo que la demanda máxima corresponde al 100 % y la demanda media es del 50 % (consideración del factor de carga), se pudo ajustar la corriente media proporcionalmente. Por lo que se pudo realizar el cálculo de pérdidas para demanda media:

Reducción de la corriente: Si la corriente a demanda máxima es I , a demanda media será $(0.5 \cdot I)$.

Pérdidas de potencia a demanda media: Sustituyendo en la fórmula de pérdidas

$$P_{\text{media}} = (0,5I)^2 R = 0,25I^2 R$$

Esto implica que las pérdidas de potencia a demanda media son el 25 % de las pérdidas a demanda máxima. Este factor cuadrático surge porque la relación entre la corriente y las pérdidas es cuadrática, y al reducir la corriente a la mitad, las pérdidas se reducen a un cuarto [4].

Ahora bien, se pudo calcular la energía de la siguiente forma:

$$\text{Ahorro anual en energía} = 172 \text{ kW} \times 24 \text{ horas/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{Ahorro monetario anual} = \text{Ahorro anual en energía} \times \text{Costo por kWh}$$

El ahorro anual en energía debido a la reducción de pérdidas es de 1,506,720 kWh. Con un costo por kWh de 320 guaraníes, el ahorro monetario anual se calcularía como 482,150,400 Gs. Esto representa las ganancias anuales obtenidas por la reducción de las pérdidas eléctricas gracias a las mejoras implementadas en el sistema.

Por otra parte un beneficio directo es el ahorro por recuperación de carga en condiciones de fuera de servicio, en la Figura 38 y respaldados por la Tabla 13, se observan los datos de 4 meses recabados del centro de control de operaciones de distribución de la zona, atendiendo a este valor se aproximó un valor anual de los alimentadores estudiados, además se calculó la remuneración al recuperar la carga mencionada en los apartados anteriores siendo de 69,880,760 Gs.

4.8. Índices financieros

Para este proyecto se tiene en cuenta un horizonte de 10 años, una tasa de descuento del 10 %, y un crecimiento de la carga del 10 % según datos comerciales de la institución.

En la Tabla 5 se aprecia el flujo de caja del proyecto a un horizonte de 10 años, como se puede ver la recuperación de la inversión se produce en el año 6, por otra parte los índices

Año	Flujo de Caja (Gs.)	Acumulado Gs.
0	-5,505,293,539	-5,505,293,539
1	600,246,200	-4,905,047,339
2	730,151,580	-4,174,895,759
3	873,047,498	-3,301,848,261
4	1,030,233,008	-2,271,615,253
5	1,203,137,069	-1,068,478,184
6	1,393,331,536	324,853,352
7	1,602,545,449	1,927,398,801
8	1,832,680,754	3,760,079,555
9	2,085,829,590	5,845,909,145
10	2,364,293,308	8,210,202,453

Tabla 5: Flujo de caja del proyecto

principales se calcularon [5] como siguen:

- Valor Actual Neto (VAN): 2,010,416,269 Gs.
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 16.15 %

Estos resultados muestran que el proyecto es financieramente viable con un horizonte de 10 años, ofreciendo un retorno sustancial sobre la inversión inicial. El VAN positivo y una TIR que supera la tasa de descuento del 10 % indican un buen rendimiento bajo las condiciones asumidas de crecimiento de ganancias y beneficios adicionales.

5. Resultados y análisis

La estación ES-CYO, aunque tiene conexiones potenciales con otras estaciones en la región central, presenta un escenario distinto en cuanto a la demanda de transformadores de potencia. Según los datos recopilados, de las estaciones vecinas, la ES-VAQ (Vaquería) es la que tiene menor carga, con un factor de utilización del 52 %. Le sigue el TR-01 de la ES-CZU (Caaguazú) con un 77 % de factor de utilización. Los demás transformadores de potencia con capacidad de acoplamiento registran una carga superior al 80 %. Por otro lado, la estación de Carayao opera con un factor de utilización significativamente más bajo que el resto de la zona, lo cual se atribuye principalmente al tipo de carga rural que maneja.

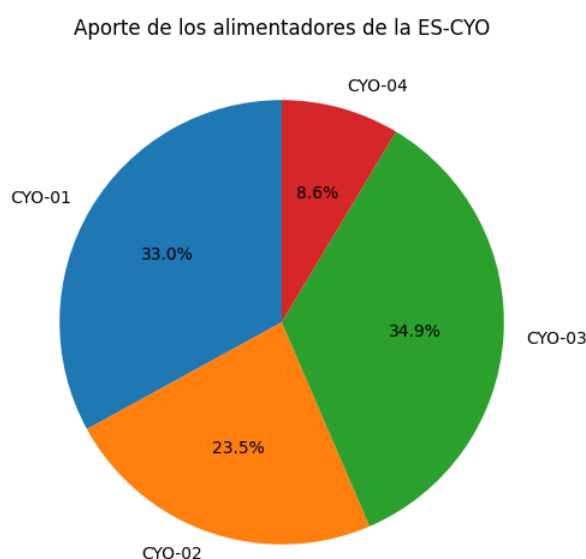


Figura 5: Aporte de carga a la ES-CYO

Se realizaron relevamientos de la demanda en los alimentadores de la ES-CYO, los cuales coincidieron con la demanda total de la estación, estableciéndose en 20 MW de producción total. El alimentador menos cargado resultó ser el CYO-04, con una producción de 1.7 MW. En contraste, el alimentador con mayor carga es el CYO-03, que abastece una extensa y distante área desde el centro de distribución, con un total de 7 MW de carga. La distribución en la producción de cada alimentador se reflejan en la Figura 5, esta situación evidencia una distribución desigual de la demanda de energía dentro de la región que abastece la estación. Aunque no se aborda directamente en este proyecto, es importante destacar que se pueden implementar mejoras para equilibrar esta carga sin necesidad de invertir recursos excesivos, mejorando directamente los niveles de pérdidas en general, traduciéndose en beneficios para el cliente y la empresa.

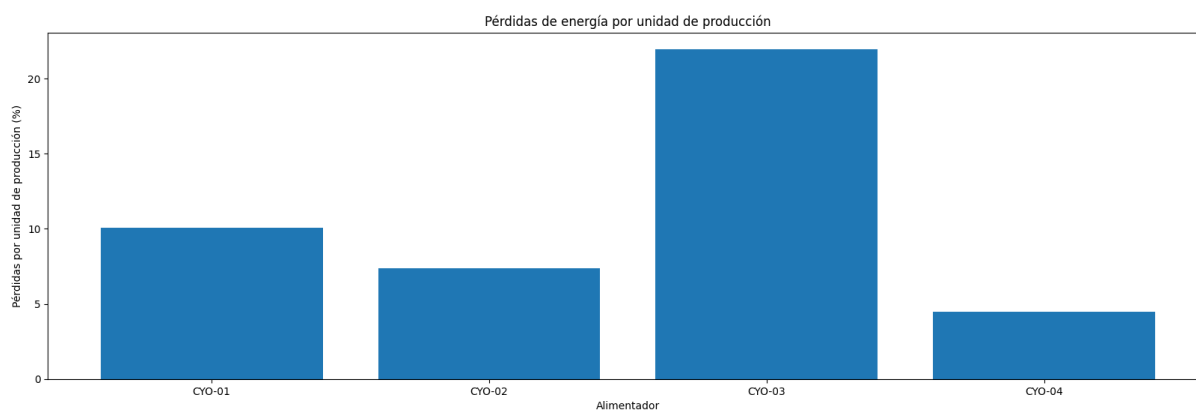


Figura 6: Niveles de pérdidas por unidad de producción

Se relevaron los datos de la red, tanto de alimentadores de la ES-CYO como también de las estaciones aledañas, se relevaron las características y trazados de las redes con sus respectivas cargas instaladas para posteriormente modelarse en el software CYME con licencia de la empresa ANDE.

La carga fue distribuida entre los diversos transformadores de distribución en la red, lo que permitió medir las pérdidas técnicas en cada alimentador, expresadas en kW durante los picos de demanda. De manera más detallada, estas pérdidas se presentan como porcentajes de la producción total de cada alimentador, tal como se muestra en la Figura 6. Notablemente, el alimentador CYO-03 registra las mayores pérdidas relativas por unidad de producción, resaltando la necesidad de un enfoque dirigido para optimizar su eficiencia, aunque no es abordado en detalle en este trabajo, se menciona debido a su relevancia para la capacidad de absorber o ceder carga en condiciones de contingencia.

Las mejoras propuestas en los alimentadores VAQ-04, CZU-13 y COV-10 tienen como objetivo principal mejorar la capacidad de transferencia de cargas de la estación Carayao (ES-CYO) a estaciones o subestaciones aledañas en caso de fuera de servicio. A continuación, se presenta un análisis detallado del impacto de estas mejoras.

5.1. Alimentador VAQ-04

Cambio de Conductor: Se reemplazó el conductor existente de 3x35 mm² por un conductor de 3x150 mm² en un tramo de 12 km.

La mejora en el conductor ha incrementado significativamente la capacidad de carga del alimentador, reduciendo las pérdidas de tensión y permitiendo una transferencia de carga más eficiente desde la ES-CYO. La capacidad adicional al final de la línea facilita la

absorción de cargas adicionales sin comprometer los niveles de calidad y confiabilidad del servicio eléctrico.

Trifasicación de Línea Monofásica: Se realizó la trifasicación de 3 km de línea monofásica en la localidad de Laguna Pyta.

Esta mejora permite una distribución más uniforme de la carga monofásica de alta demanda en la zona rural, mejorando la estabilidad y eficiencia operativa del alimentador.

Capacidad de Transferencia: Se asume 1420 kVA, lo que representa aproximadamente el 21 % de la carga total del alimentador CYO-03. La capacidad redistributiva del alimentador VAQ-04 mejora significativamente la estabilidad de la red al asumir cargas estratégicamente distribuidas, reduciendo la sobrecarga en otros alimentadores y asegurando una operación más equilibrada.

5.2. Alimentador CZU-13

Trifasicación de Líneas Monofásicas: Se trifasicaron 20 km de líneas monofásicas en las localidades de Cañadita, Santa Inés y San Carlos.

La trifasicación mejora los niveles de tensión y la capacidad del alimentador para manejar cargas adicionales, asegurando una distribución más estable.

Instalación de Banco de Reguladores de Tensión: Se instaló un banco de reguladores de tensión a 13 km de la ES-CZU.

Esta instalación mejora la regulación de tensión a lo largo del alimentador, permitiendo una mayor estabilidad y eficiencia en la transferencia de carga.

Capacidad de Transferencia: 1137 kVA, lo que representa el 17 % de la carga total del alimentador CYO-03.

Las modificaciones realizadas en el alimentador CZU-13 han permitido una mejor gestión de la carga transferida, asegurando niveles de tensión adecuados y reduciendo el riesgo de sobrecarga en la red.

5.3. Alimentador COV-10

Trifasicación de la Red: Se trifasicaron 3.2 km de línea en la localidad de Olegario en Coronel Oviedo.

La trifasicación mejora los niveles de tensión en la punta del alimentador, permitiendo que este asuma la carga adicional sin comprometer la estabilidad operativa de la red.

Capacidad de Transferencia: 1755 kVA, lo que representa el 26 % de la carga total del alimentador CYO-01.

La trifasicación y mejoras estructurales permiten al alimentador COV-10 asumir cargas adicionales de manera eficiente, reduciendo la sobrecarga en otros alimentadores y mejorando la resiliencia de la red en condiciones de fuera de servicio.

5.4. Resultados en general

Las mejoras implementadas en los alimentadores VAQ-04, CZU-13 y COV-10 han demostrado ser efectivas para aumentar la capacidad de transferencia de cargas en la estación Carayao (ES-CYO), permitiendo una distribución más equilibrada y eficiente de la energía eléctrica. Este éxito plantea una pregunta clave: ¿Por qué la trifasicación mejora la capacidad de transferencia de un alimentador? Este estudio ha evidenciado que mejorar el momento eléctrico de un alimentador contribuye a elevar los niveles de tensión al final de la línea. Una derivación monofásica de alta demanda impone un esfuerzo considerable sobre la fase que la sostiene. Con la trifasicación, esta demanda se reparte entre las tres fases, reduciendo el esfuerzo en cada una y permitiendo así una mayor capacidad para manejar carga adicional dentro de los límites permisibles.

El análisis muestra que las intervenciones han tenido un impacto positivo significativo en la capacidad operativa de la red, permitiendo manejar cargas adicionales y asegurando una continuidad del servicio en situaciones críticas. Las inversiones realizadas en la trifasicación de líneas y la mejora de conductores han resultado en una reducción de las pérdidas técnicas y un mejor manejo de la carga transferida, lo que se traduce en beneficios económicos y operativos para la empresa y los usuarios finales.

La carga total asumida por los alimentadores VAQ-04, CZU-13 y COV-10 es de 4096.4 kW, lo que representa aproximadamente **20.48 %** del total de 20 MW de la ES-CYO.

Finalmente los índices financieros indican que el proyecto es financieramente viable con

un horizonte de 10 años, ofreciendo un retorno sustancial sobre la inversión inicial.

6. Conclusiones y recomendaciones

Se realizó un análisis detallado de los esquemas unifilares de los alimentadores y subestaciones aledañas. Este análisis permitió identificar puntos críticos y oportunidades de mejora en la distribución de la carga, facilitando la planificación de las intervenciones necesarias para optimizar la capacidad de transferencia.

Los niveles de carga de los transformadores de las estaciones y subestaciones aledañas fueron relevados, destacando que las estaciones VAQ, parte de CZU y COV operan por debajo del 80 % de su capacidad máxima, lo que las convierte en candidatas ideales para asumir cargas adicionales en situaciones de fuera de servicio.

Se evaluaron las condiciones de los puntos de acople, identificando que los alimentadores VAQ-04, CZU-13 y COV-10 podían mejorarse para aumentar su capacidad de transferencia. Las intervenciones propuestas, como el cambio de conductor y la trifasicación de líneas, han mejorado significativamente las condiciones de estos puntos de acople, permitiendo una transferencia de carga más eficiente.

Las alternativas determinadas, incluyen la mejora de conductores, trifasicación de líneas y la instalación de reguladores de tensión, estos han demostrado ser efectivas en mejorar la capacidad de transferencia de carga. Estas mejoras han permitido redistribuir cargas de manera eficiente, asegurando la continuidad del servicio en situaciones de fuera de servicio.

La evaluación económica del proyecto ha mostrado que las inversiones realizadas son financieramente viables. Con un costo total de 5,505,293,539 Gs y beneficios anuales de ahorro energético de 482,150,400 Gs, además de la recuperación de carga, el proyecto es rentable con un Valor Actual Neto (VAN) de 2,010,416,269 Gs y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 16.15 %. La recuperación de la inversión se espera en el año 6 del horizonte de 10 años.

Las alternativas propuestas, que incluyen la mejora de conductores, trifasicación de líneas y la instalación de reguladores de tensión, han demostrado ser efectivas para aumentar la capacidad de transferencia de cargas. Las mejoras implementadas han permitido que los alimentadores VAQ-04, CZU-13 y COV-10 asuman un total de 4096.4 kW. Esto asegura una mayor resiliencia y estabilidad en la red eléctrica en situaciones de fuera de servicio.

6.1. Recomendaciones

- Redistribuir la carga internamente, dando mayor carga al CYO-04.
- Implementar las mejoras propuestas para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia operativa de la red, asegurando la capacidad de transferencia planteada.
- Realizar un monitoreo continuo para ajustar las estrategias de transferencia de carga según sea necesario.
- Considerar la implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y control para mejorar aún más la eficiencia operativa de la red.
- En la sección A.1 del apéndice, se detallan los esquemas unifilares y las características de los puntos de conexión entre alimentadores de las estaciones evaluadas. Se sugiere la sustitución integral de los dispositivos de seccionamiento manual por equipos con sistemas de seccionamiento remoto. Esta modificación favorecerá un control más eficiente y una respuesta operativa más ágil en la gestión de la red eléctrica.
- Continuar con la investigación teniendo en cuenta nuevos alcances no abordados en este proyecto, como la transferencia de las cargas hacia la ES-CYO.

Referencias

- [1] C. X. P. Carpio y H. A. Q. Tinizhañay, “Estudio eléctrico para transferencias automáticas en alimentadores primarios de medio voltaje de cnel ep, unidad de negocio el oro: Estudio de caso del alimentador más crítico ante falla,” 2018, buscar una solución para transferir carga del alimentador seleccionado como crítico en caso de falla o mantenimiento, distribuyendo la carga en su totalidad o parcialmente a los alimentadores aledaños.
- [2] CYME International TD, *Primeros pasos con una base de datos – CYME 8.0*, Eaton, Montreal, Quebec, octubre 2018, publicación No. IL917136ES. [Online]. Available: <https://www.eaton.com>
- [3] A. A. H. Escobar, M. P. R. Rodríguez, B. M. P. López, B. I. Ganchozo, A. J. Q. Gómez, y L. A. M. Ponce, *Metodología de la investigación científica*. 3Ciencias, 2018, vol. 15.
- [4] D. P. Kothari y I. J. Nagrath, *Modern Power System Analysis*. Tata McGraw-Hill Education, 2011.
- [5] M. R. Mete, “Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión,” *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, vol. 7, no. 7, pp. 67–85, 2014.
- [6] Operación MT PY, “Operación mt py: Sitio oficial,” 2024, accedido: 15 de junio de 2024. [Online]. Available: <http://www.operacionmt-py.org>
- [7] F. D. V. Parra, “Análisis y alternativas para mejorar la capacidad firme en el suministro de energía eléctrica en 23 kv de la estación coronel oviedo 2015-2020,” 2015, proponer alternativas técnico-económicas para mejorar la capacidad firme en el suministro de energía eléctrica en la Estación Coronel Oviedo (ANDE).

Apéndices

A. Relevamiento de datos

ES-SE	LOCAL	Pot.Inst MVA	Max MW	Fecha	F.U	Min MW	Fecha
		TR-01 3X20	28	17-ene	47 %	9	21-mar
ES	COV	TR-02 41,6	41	26-feb	98 %	6.6	11-ene
		TR-03 41,6	36	14-mar	87 %	10.4	11-ene
ES	CYO	TR-01 41,6	20	12-feb	48 %	2.8	21-mar
ES	IRO	TR-01 41,6	26	1-ene	62 %	2	11-ene
ES	SES	TR-01 41,6	40	19-ene	96 %	5.8	11-ene
		TR-02 41,6	34	14-ene	82 %	4	11-ene
ES	BSP	TR-01 41,6	24	26-feb	58 %	1.4	25-mar
		TR-01 3X20	26	20-mar	43 %	6.5	22-mar
ES	SRO	TR-02 41,6	29	1-mar	70 %	9.2	9-ene
		TR-03 41,6	33	13-ene	80 %	0.1	10-ene
ES	CZU	TR- 01 80	61	12-feb	77 %	11.2	21-mar
		TR-02 80	65	10-ene	81 %	11.1	21-mar
ES	ABA	TR-01 41,6	28	12-feb	66 %	8.8	21-mar
		TR-01 3X20	49	14-mar	82 %	11	13-ene
ES	PPE	TR-02 41,6	29	29-ene	70 %	6.8	21-mar
		TR-03 41,6	29	29-ene	70 %	3	7-feb
ES	VAQ	TR-01 41,6	22	12-feb	52 %	2	28-ene
SE	CZA	TR-01 30	23	16-ene	77 %	1	19-ene
SE	SPN	TR-01 30	26	1-ene	86 %	6.5	22-mar
SE	VIL	TR-01 20	13	25-ene	65 %	0.7	9-feb
ES	CDO	TR-01 80	67	23-feb	84 %	13.2	22-mar
SE	LCO	TR-01 30	11	30-mar	37 %	1.1	11-ene

Tabla 6: Demanda de estaciones de la zona centro verano 2023/2024

A.1. Análisis de demanda y esquemas de alimentadores

El alimentador CYO-1 con carga instalada de 18229KVA cuenta con 9 ETC de los cuales 4 tienen en punta otro alimentador, pudiendo abastecer hasta el 50 % de la carga en caso de un fuera de servicio del CYO-01 y 38 seccionadores de los cuales el 48001 es el que conecta con el CYO-1 y 3 de ellos tienen en punta otro alimentador pudiendo abastecer al 100 % de la carga en caso de un fuera de servicio del CYO-1. Los ETC con alimentadores en punta son el 48426 con el CYO-4 en punta, el 48080 con el COV-2 en punta, el 21727 con el COV-10 en punta y el 21410 con el COV-14 en punta mientras que los seccionadores

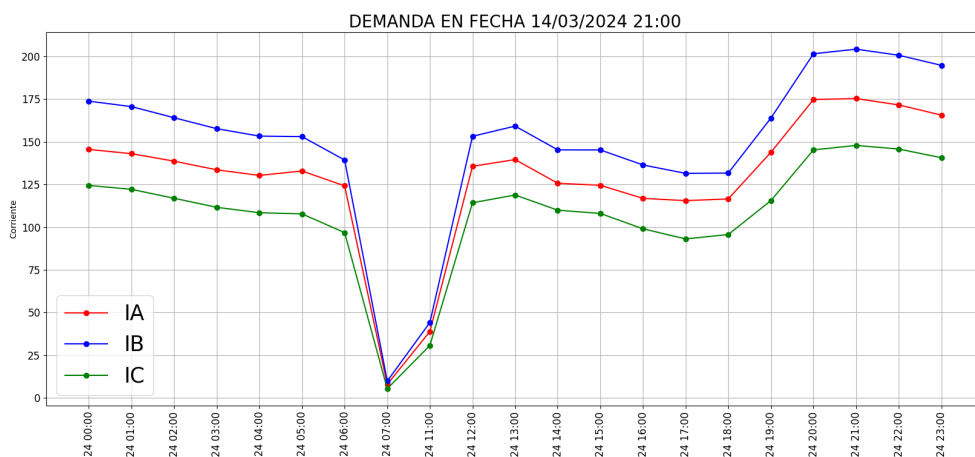


Figura 9: Demanda CYO-01 14-02-2024

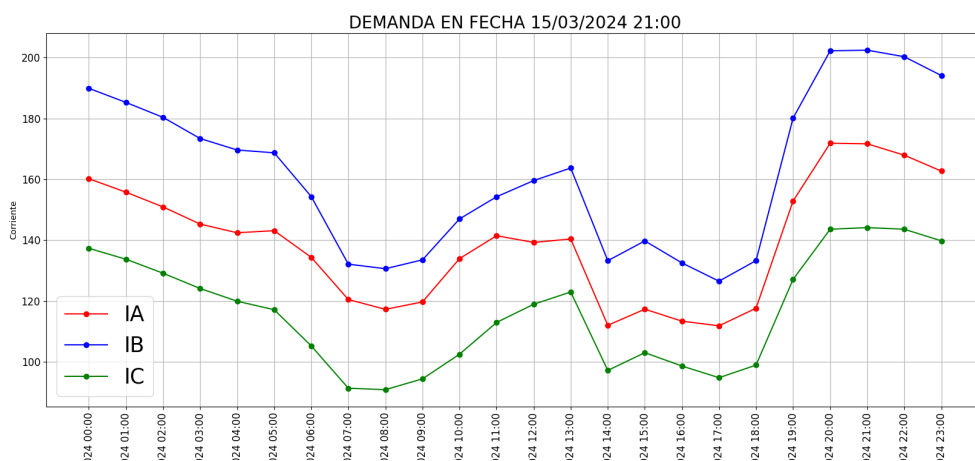


Figura 10: Demanda CYO-01 15-02-2024

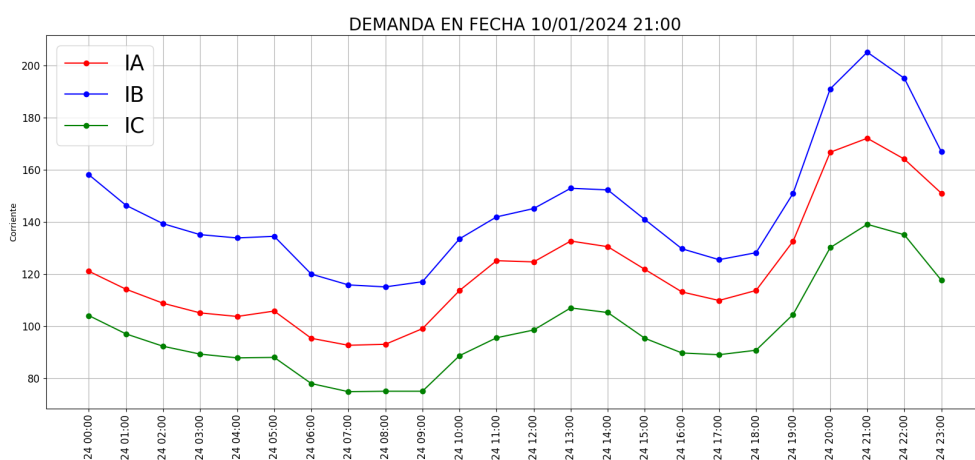


Figura 11: Demanda CYO-01 10-01-2024

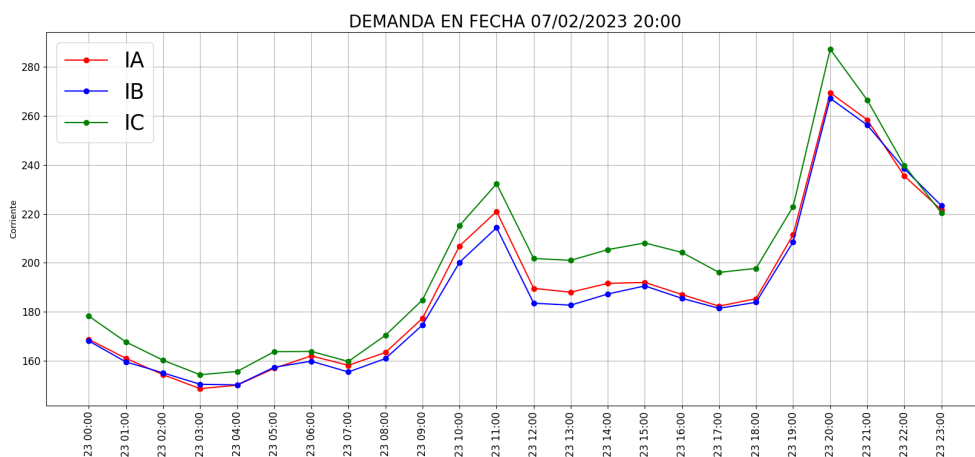


Figura 13: Demanda CYO-02 07-02-2024

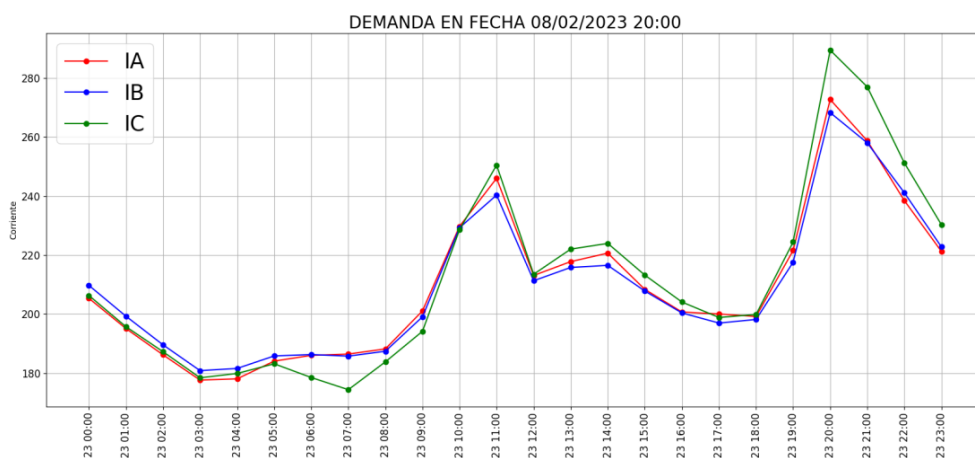


Figura 14: Demanda CYO-02 08-02-2024

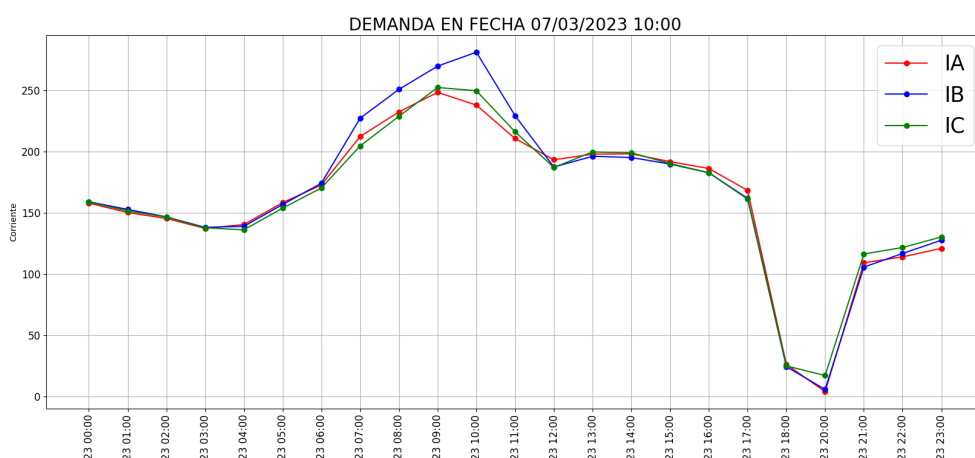


Figura 15: Demanda CYO-02 07-03-2024

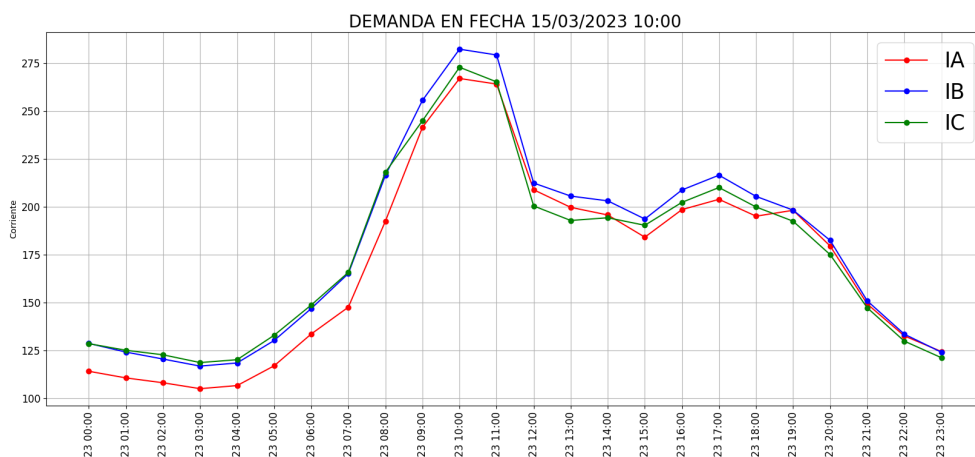


Figura 16: Demanda CYO-02 15-03-2024

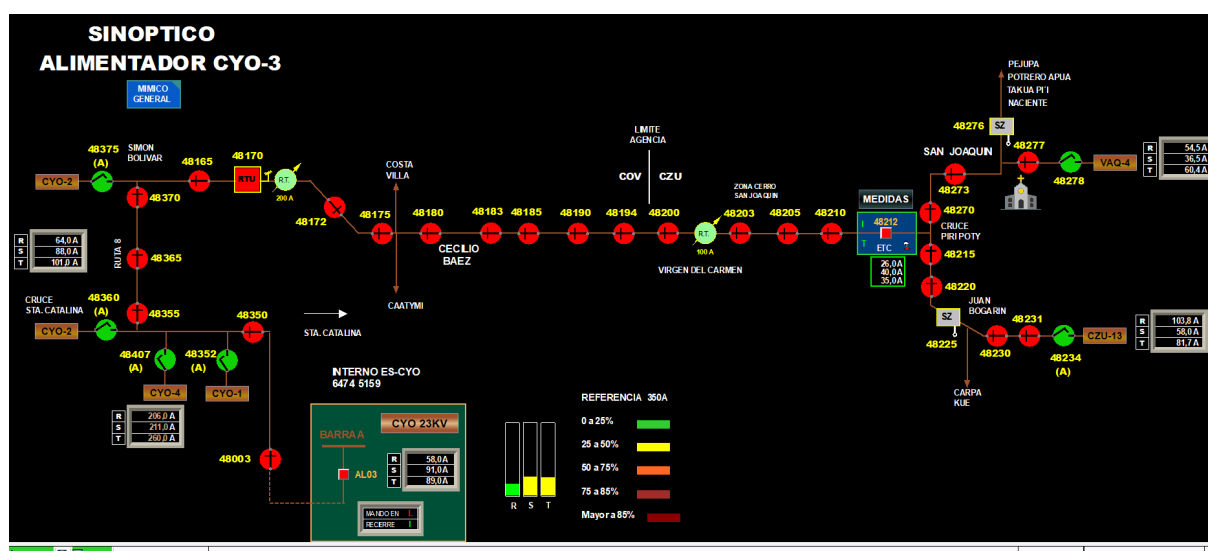


Figura 17: Mímico CYO-03

El alimentador CYO-3 con carga instalada de 11643KVA cuenta con 1 ETC y 30 seccionadores de los cuales el 48003 es el que conecta con el CYO-3 y 6 de ellos tienen en punta otro alimentador pudiendo 3 de los 6 abastecer al 100% de la carga y 3 de los 3 abastecer al 50% de la carga en caso de un fuera de servicio del CYO-3. Los seccionadores con alimentadores en punta son el 48352 con el CYO-1 en punta, el 48407 con el CYO-4 en punta, el 48360 con el CYO-2 en punta, el 48375 con el CYO-2 en punta, el 48234 con el CZU-13 en punta y 48278 con el VAQ-4 en punta.

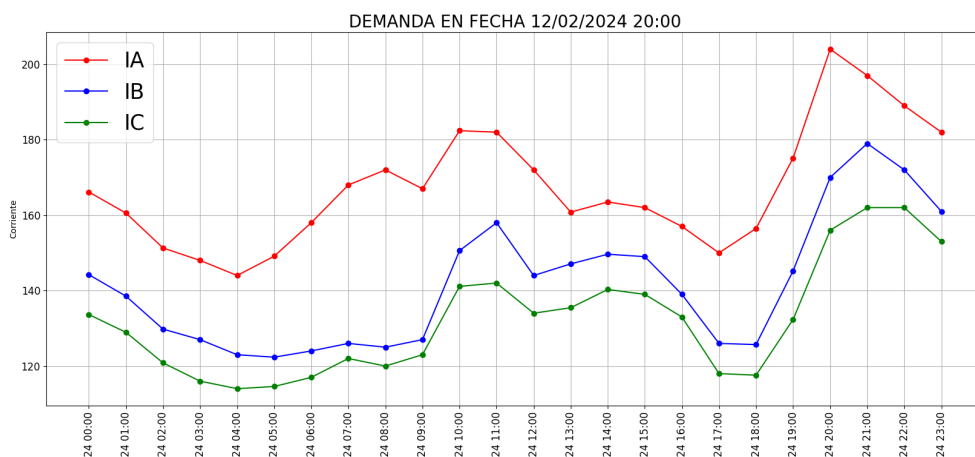


Figura 18: Demanda CYO-03 12-02-2024

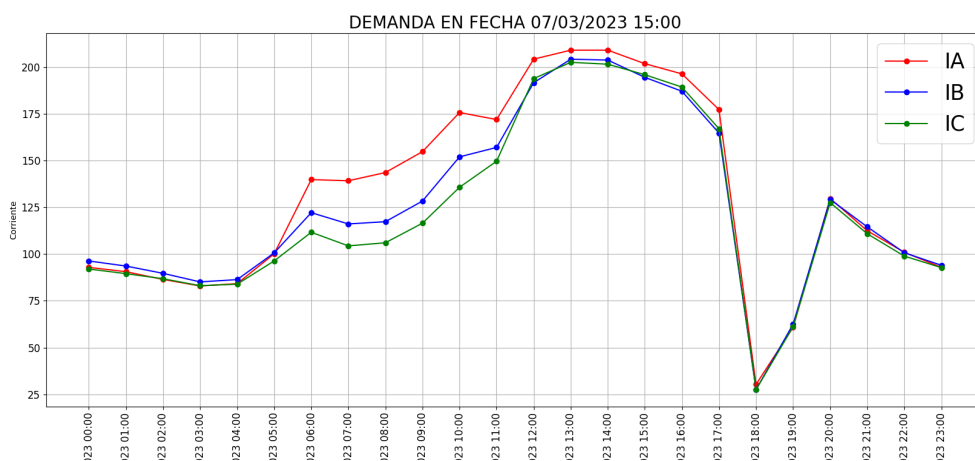


Figura 19: Demanda CYO-03 07-03-2023

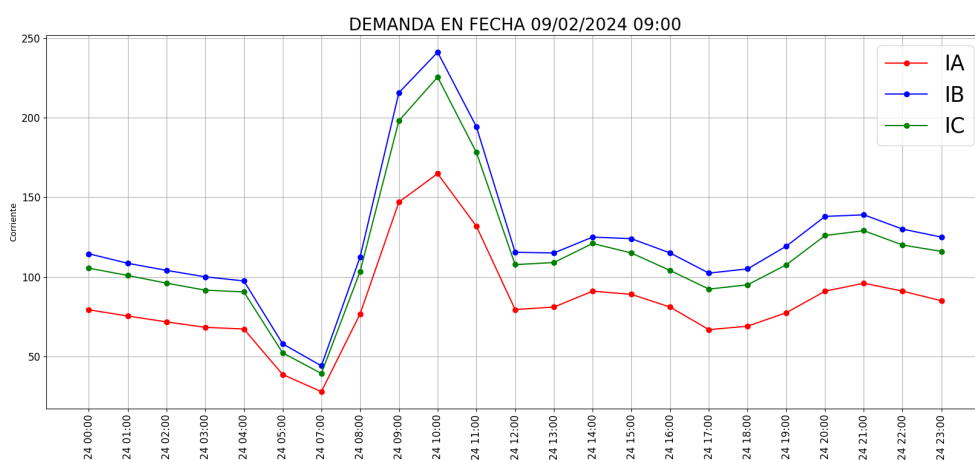


Figura 20: Demanda CYO-03 09-02-2024

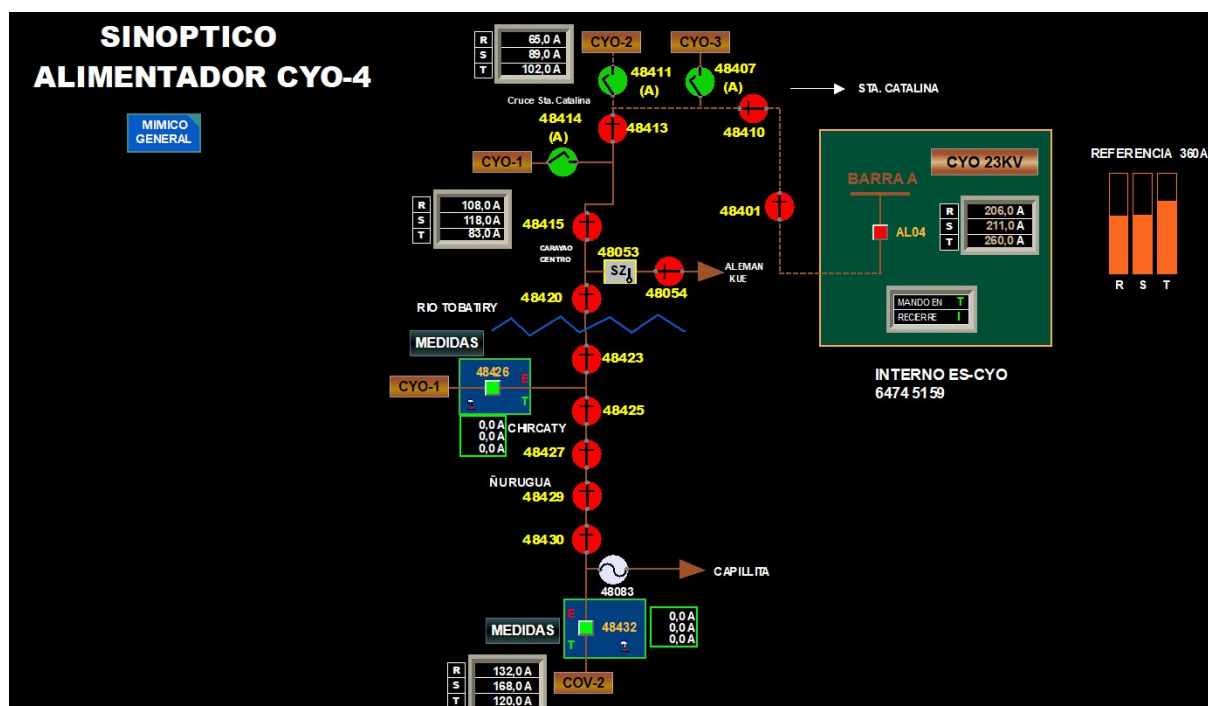


Figura 21: Mímico CYO-04

El alimentador CYO-4 con carga instalada de KVA cuenta con 2 ETC de los cuales ambos tienen en punta otro alimentador, pudiendo abastecer hasta el 50 % de la carga en caso de un fuera de servicio del CYO-04 y 14 seccionadores de los cuales el 48401 es el que conecta con el CYO-4 y 3 de ellos tienen en punta otro alimentador pudiendo abastecer al 100 % de la carga en caso de un fuera de servicio del CYO-4. Los ETC con alimentador en punta son el 48426 con el CYO-1 en punta y el 48432 con el COV-2 en punta mientras que los seccionadores con alimentadores en punta son el 48407 con el CYO-3 en punta, el 48411 con el CYO-2 en punta y 48414 con el CYO-1 en punta.

ESTACION	POSICION	Fecha Hora	Imax
CYO	E_AL04	8/1/2024 20:00	55A
CYO	E_AL04	6/2/2024 19:30	68A
CYO	E_AL04	14/3/2024 20:00	56A

Tabla 7: Demanda del alimentador CYO-04

B. Resultados

B.1. Resultados del escenario inicial

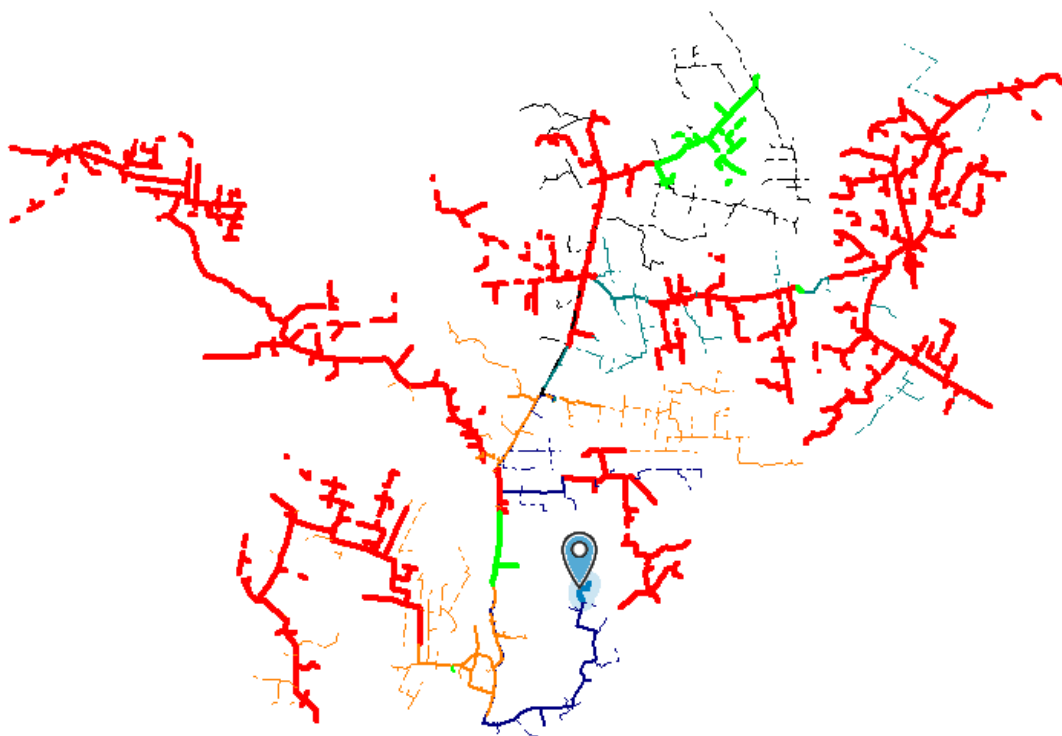


Figura 22: Zonas con tensión bajo y sobre el umbral

En la Figura 22 se aprecia en rojo las zonas con tensiones por debajo del umbral. Lo cual indica que los alimentadores de la ES-CYO requieren de mejoras en las condiciones actuales. Aunque esto no es abordado en este proyecto pues el mismo se enfoca en las transferencias de cargas a estaciones aledañas.

Alimentador: CYO01

Fuente: CYO01

Tensión de fuente: 23,50 kVLL, -120,00 Grad.

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	6,627	2,178	6,976	095
Generadores	000	000	000	000
Producción total	6,627	2,178	6,976	095
Carga leída (no regulada)	5,958	2,127	6,326	094
Carga utilizada (regulada)	5,958	2,127	6,326	094
Condensadores shunt (regulados)	000	000	000	000
Reactancias shunt(reguladas)	000	000	000	000
Motores	000	000	000	000
Cargas totales	5,958	2,127	6,326	094
Capacitancia del cable	000	000	000	000
Capacitancia de la línea	000	-414	414	000
Capacitancia shunt total	000	-414	414	000
Pérdidas en las líneas	667	464	813	082
Pérdidas en los cables	001	002	002	068
Pérdidas de carga del transformador	000	000	000	000
Pérdidas en vacío del transformador	000	000	000	000
Pérdidas totales	669	466	815	082

Tabla 8: Carga escenario inicial CYO-01

Alimentador: CYO02

Fuente: CYO02

Tensión de fuente: 23,50 kVLL, -120,00 Grad.

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	4,717	1,552	4,966	095
Generadores	000	000	000	000
Producción total	4,717	1,552	4,966	095
Carga leída (no regulada)	4,371	1,697	4,689	093
Carga utilizada (regulada)	4,370	1,697	4,688	093
Condensadores shunt (regulados)	000	-328	328	000
Reactancias shunt(reguladas)	000	000	000	000
Motores	000	000	000	000
Cargas totales	4,370	1,369	4,580	095
Capacitancia del cable	000	000	000	000
Capacitancia de la línea	000	-164	164	000
Capacitancia shunt total	000	-164	164	000
Pérdidas en las líneas	341	339	481	071
Pérdidas en los cables	006	007	010	066
Pérdidas de carga del transformador	000	000	000	000
Pérdidas en vacío del transformador	000	000	000	000
Pérdidas totales	347	346	490	071

Tabla 9: Carga escenario inicial CYO-02

Alimentador: CYO03
 Fuente: NODO_CYO03_246.IN
 Tensión de fuente: 23,50 kVLL, -120,00 Grad.

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	7,018	2,304	7,386	095
Generadores	000	000	000	000
Producción total	7,018	2,304	7,386	095
Carga leída (no regulada)	5,477	1,829	5,775	095
Carga utilizada (regulada)	5,476	1,829	5,774	095
Condensadores shunt (regulados)	000	-272	272	000
Reactancias shunt(reguladas)	000	000	000	000
Motores	000	000	000	000
Cargas totales	5,476	1,557	5,693	096
Capacitancia del cable	000	000	000	000
Capacitancia de la línea	000	-246	246	000
Capacitancia shunt total	000	-246	246	000
Pérdidas en las líneas	1,538	988	1,828	084
Pérdidas en los cables	004	004	006	070
Pérdidas de carga del transformador	000	000	000	000
Pérdidas en vacío del transformador	000	000	000	000
Pérdidas totales	1,542	992	1,833	084

Tabla 10: Carga escenario inicial CYO-03

Alimentador: CYO04
 Fuente: CYO-S4
 Tensión de fuente: 23,50 kVLL, -120,00 Grad.

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1,727	568	1,818	095
Generadores	000	000	000	000
Producción total	1,727	568	1,818	095
Carga leída (no regulada)	1,650	644	1,771	093
Carga utilizada (regulada)	1,650	644	1,771	093
Condensadores shunt (regulados)	000	000	000	000
Reactancias shunt(reguladas)	000	000	000	000
Motores	000	000	000	000
Cargas totales	1,650	644	1,771	093
Capacitancia del cable	000	000	000	000
Capacitancia de la línea	000	-151	151	000
Capacitancia shunt total	000	-151	151	000
Pérdidas en las líneas	074	069	101	073
Pérdidas en los cables	003	006	007	049
Pérdidas de carga del transformador	000	000	000	000
Pérdidas en vacío del transformador	000	000	000	000
Pérdidas totales	077	075	107	072

Tabla 11: Carga escenario inicial CYO-04

B.2. Análisis de transferencias con VAQ y CZU

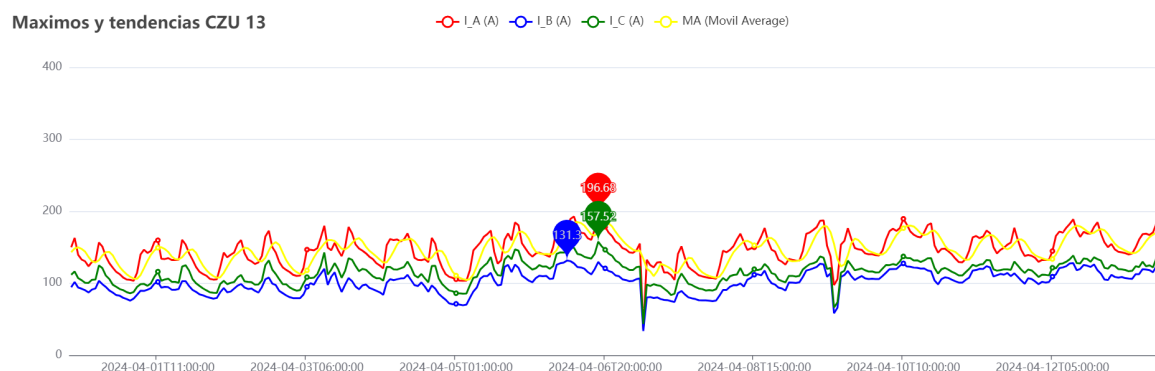


Figura 23: Demanda máxima del alimentador CZU-13

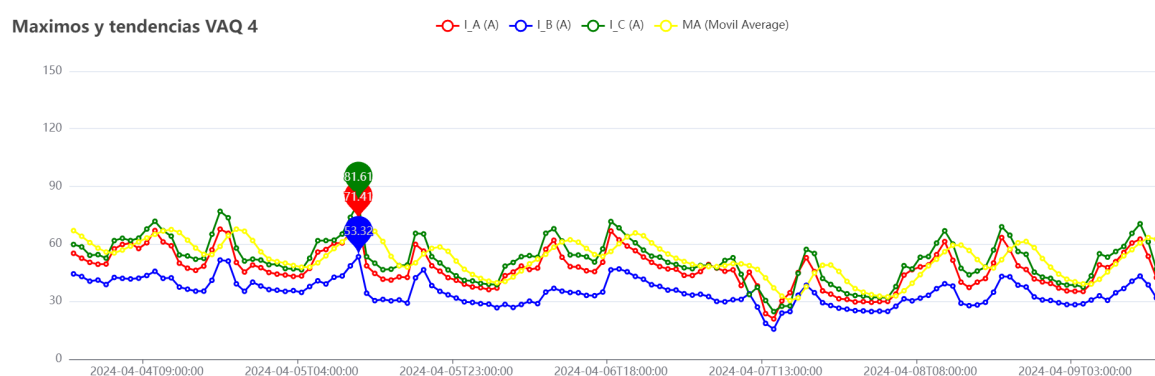


Figura 24: Demanda máxima del alimentador VAQ-04

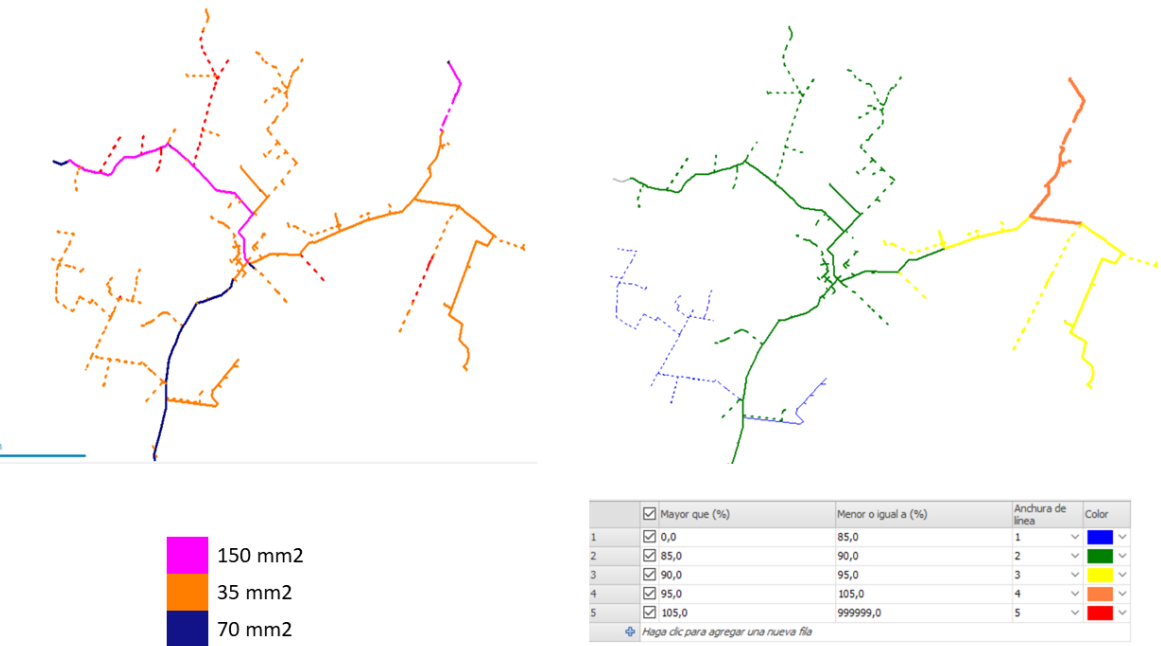


Figura 25: Niveles de tensión del VAQ-04, en escenario inicial

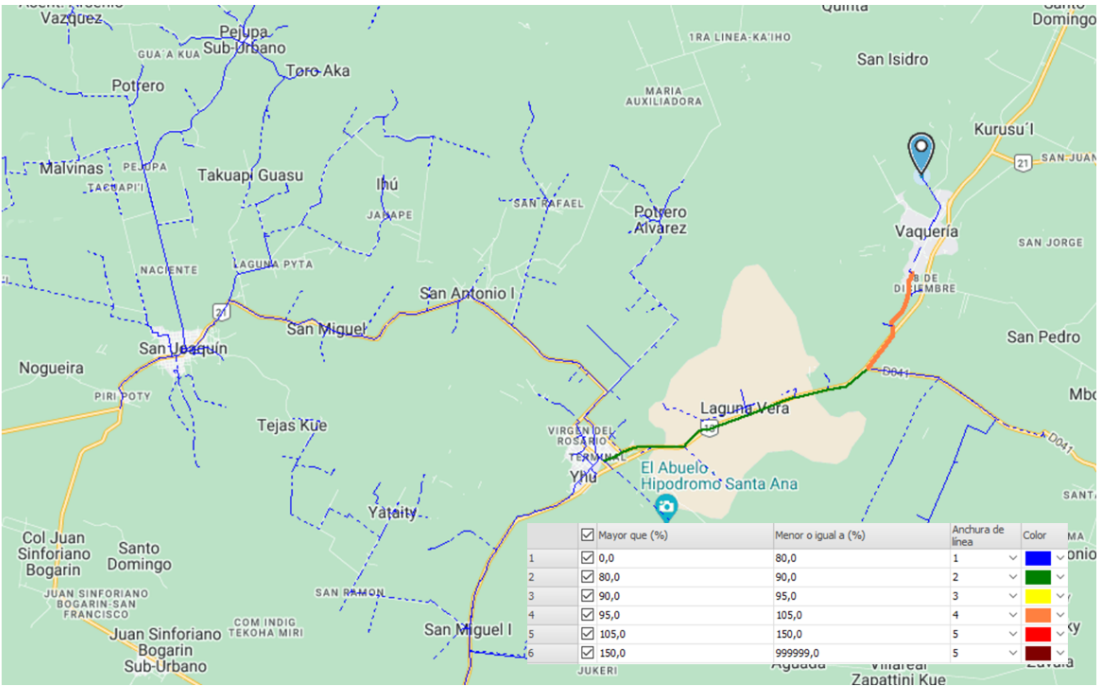


Figura 26: Niveles de carga del VAQ-04, con toma de carga

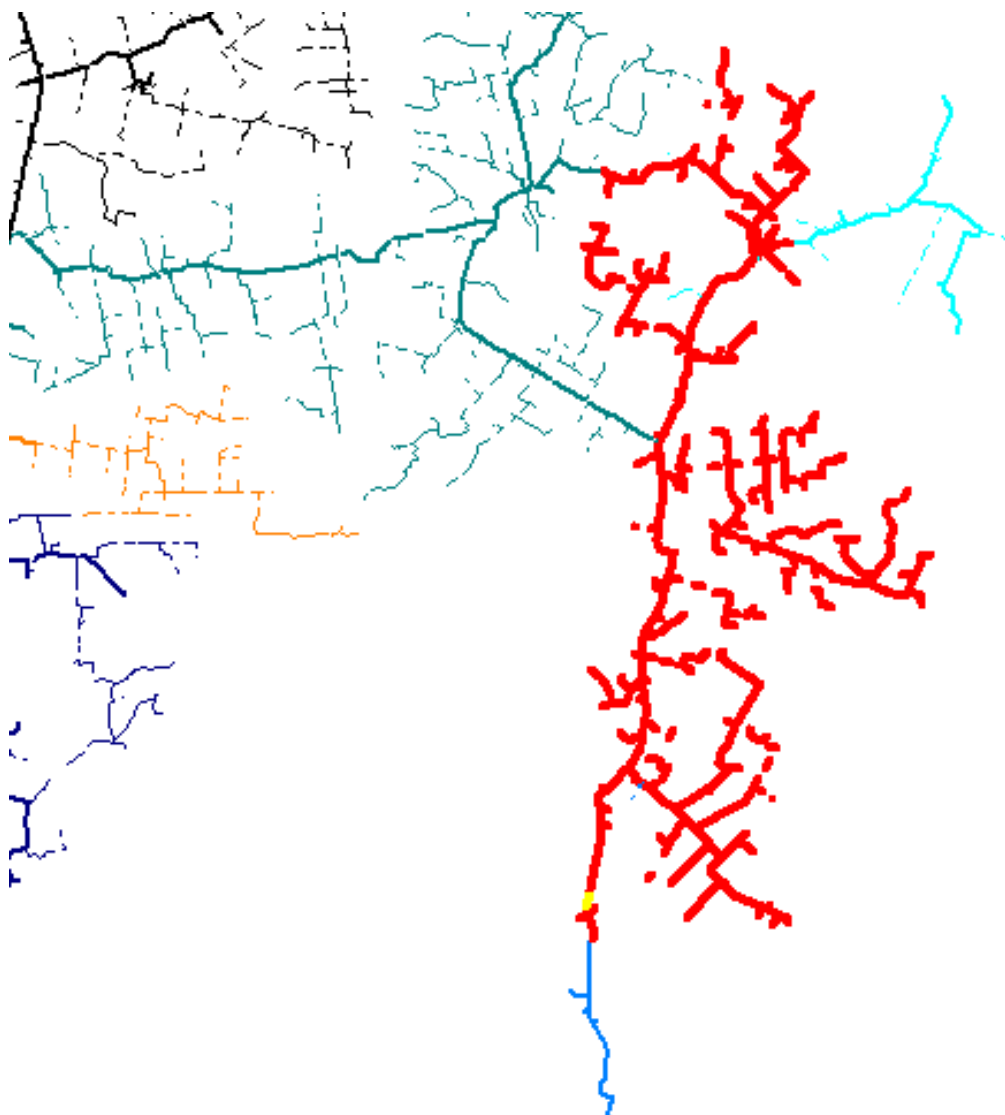


Figura 27: Niveles de tensión, VAQ-04 y CZU-13

En la Figura 27 se aprecia en rojo las zonas de los alimentadores VAQ-04 y CZU-13 bajo escenario inicial en donde los niveles se encuentran por debajo del umbral de 21800 V.

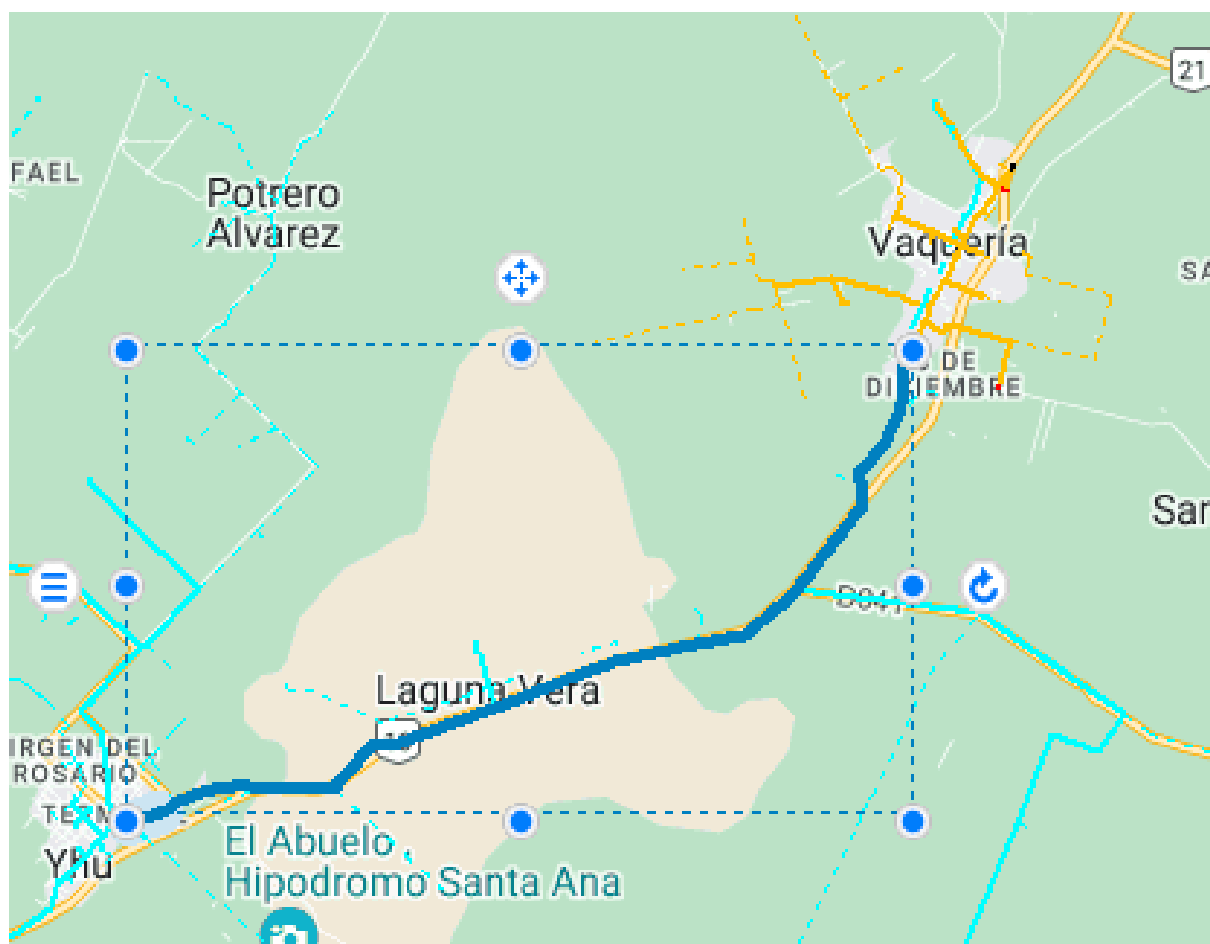


Figura 28: Cambio de conductor VAQ-04

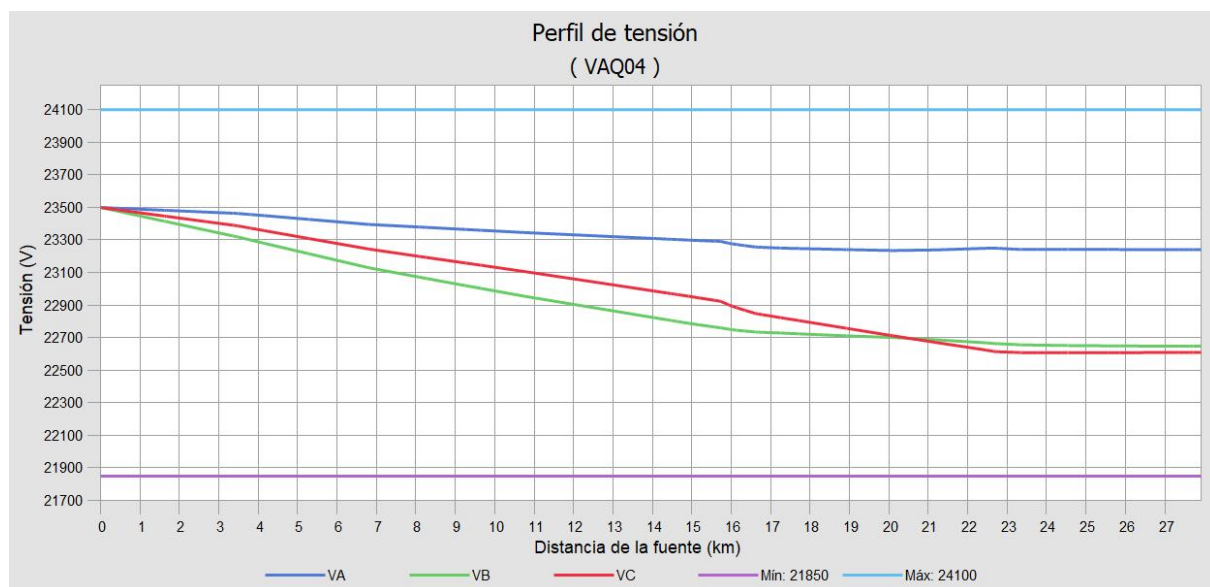


Figura 29: Perfil de tensión del VAQ-04 posterior al cambio de conductor

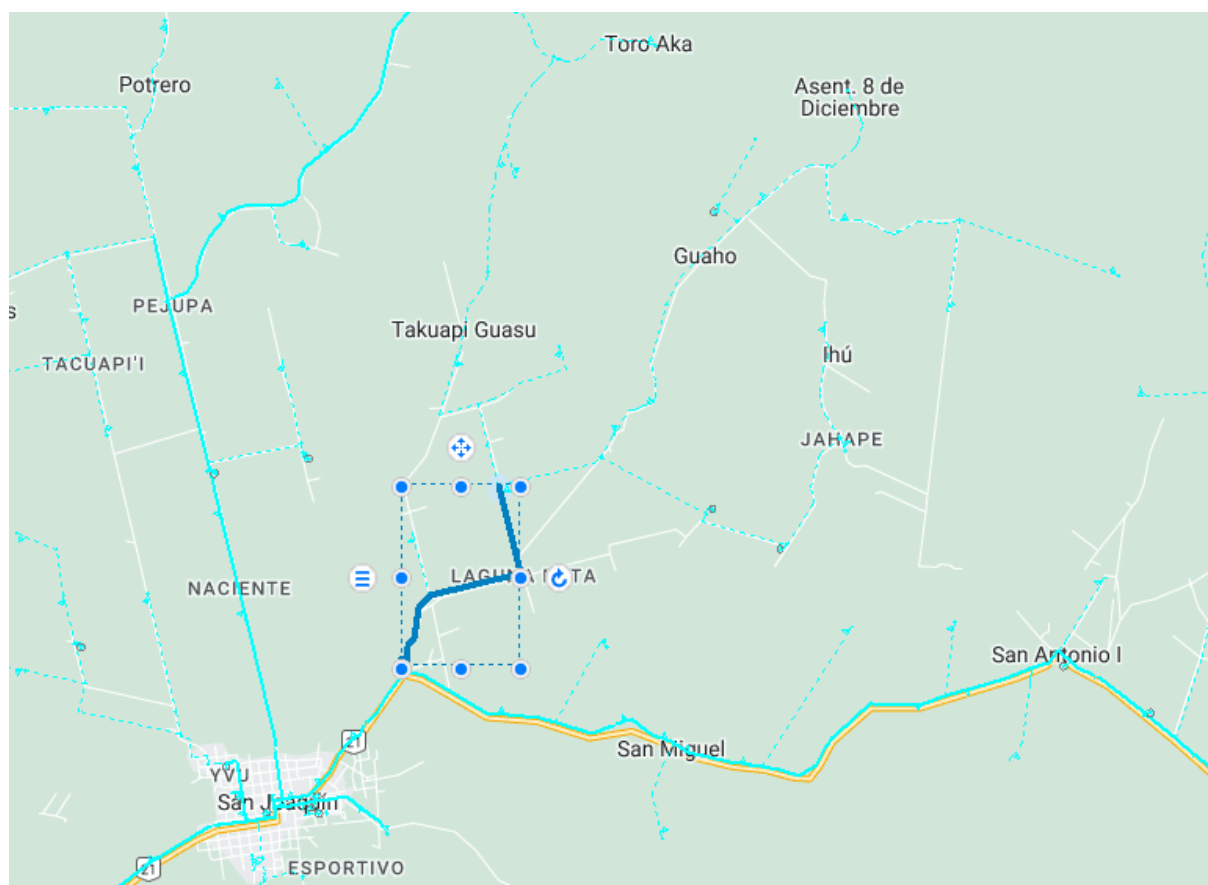


Figura 30: Trifasicación de línea del CYO-03

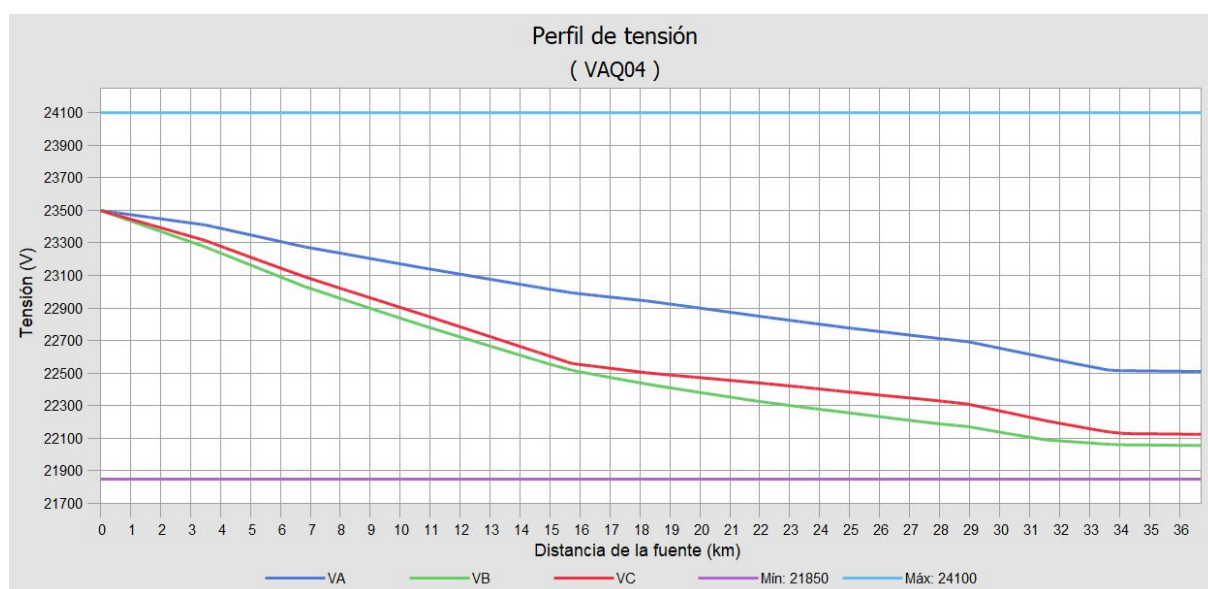


Figura 31: Perfil de tensión del VAQ-04 posterior a la toma de carga



Figura 32: Trifasicación del CZU-13



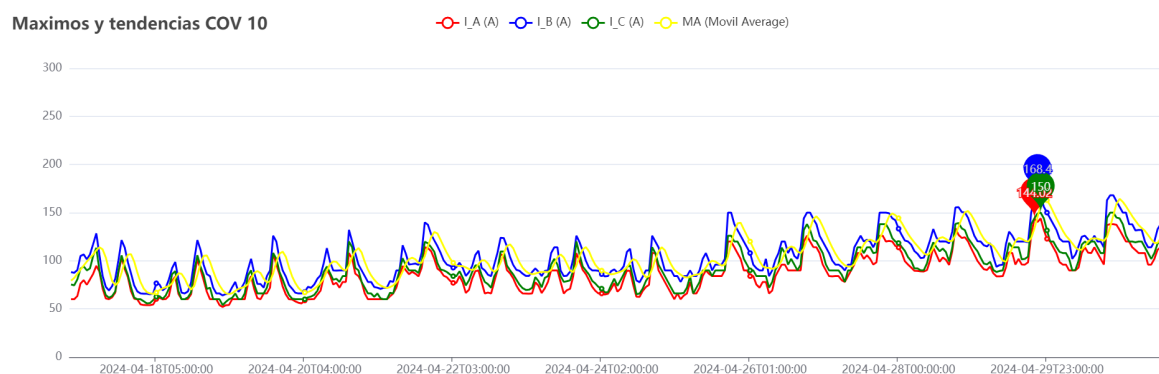


Figura 35: Demanda máxima del COV-10

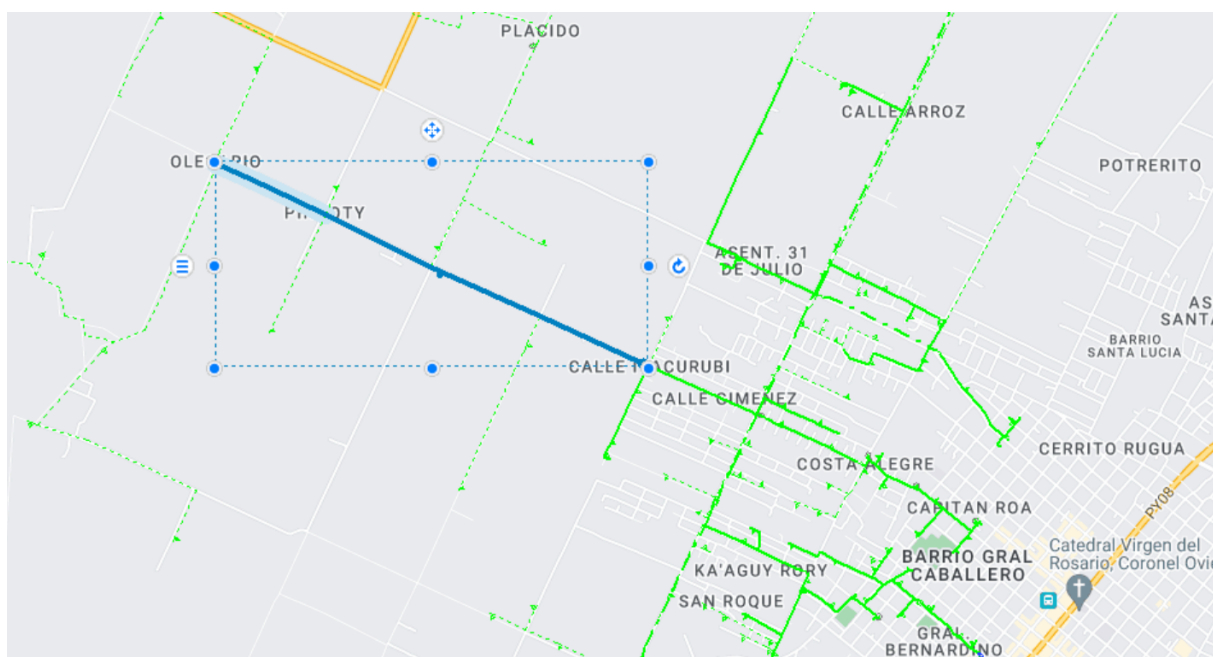


Figura 36: Trifasicación del COV-10

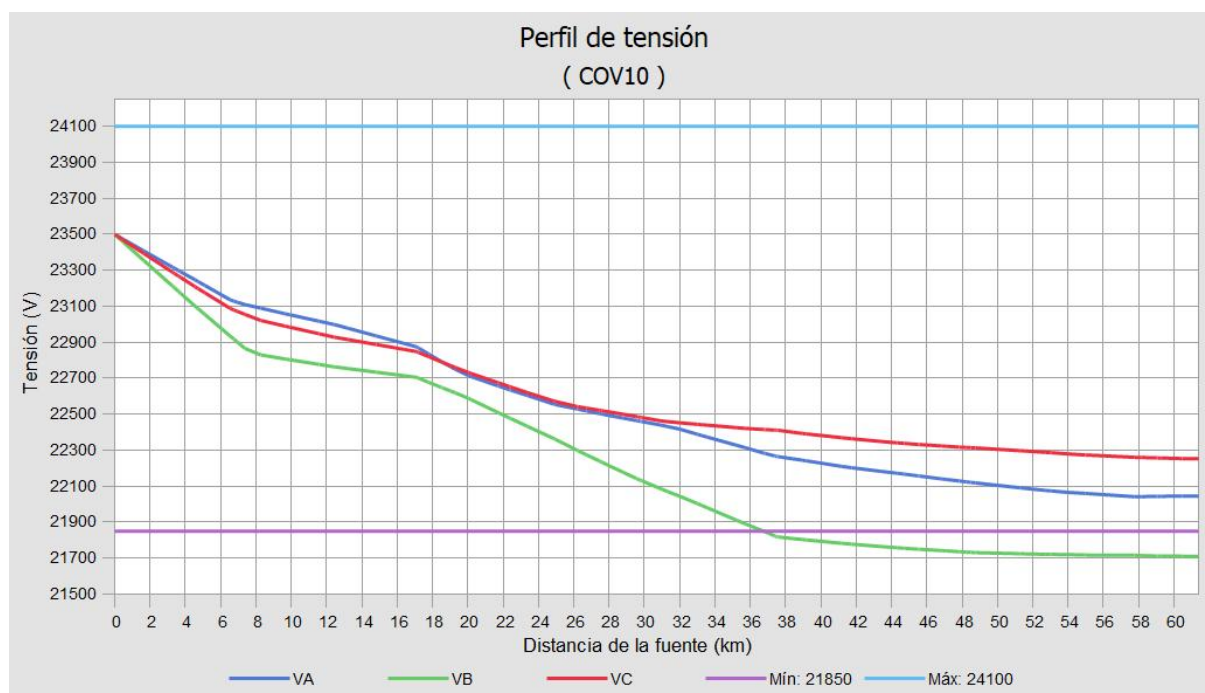


Figura 37: Perfil de tensión del COV-10 con carga conectada

B.3. Análisis financiero

Alimentador	Trabajos a realizar	Cantidad	Unidad	Costos unit. (Gs)	Costo total (Gs)
VAQ-04	Cambio de conductor 3x35 mm2 a 3x150 mm2	12	km	141,252,523	1,695,030,274.26
CYO-03	Trifasicación de linea monofásica	3	km	138,599,743	415,799,228.88
CZU-13	Trifasicación de linea monofásica	20	km	138,599,743	2,771,994,859.20
CZU-13	Instalación de RT de 200 A	1	unidad	178,950,000	178,950,000.00
COV-10	Trifasicación de linea monofásica	3.2	km	138,599,743	443,519,177.47
TOTAL					5,505,293,539.82

Tabla 12: Costos de las propuestas

```
# Datos dados
```

```
costo_por_kwh = 320 # Costo en guaraníes por kWh
```

```
perdidas_reducidas kw = 172 # Reducción de pérdidas en kW
```

```
horas_por_año = 8760 # Horas de operación por año (24 horas * 365 días)
```

Cálculo del ahorro anual en energía en kWh

$$\text{ahorro_anual_energia_kwh} = \text{perdidas_reducidas_kw} * \text{horas_por_año}$$

Cálculo del ahorro monetario anual en guaraníes

$$\text{ahorro_monetario_anual_gs} = \text{ahorro_anual_energia_kwh} * \text{costo_por_kwh}$$

ahorro_anual_energia_kwh, ahorro_monetario_anual_gs

output: (1506720, 482150400)

Alimentadores	Duración de FS (4 meses)	Aproximación año	Carga a salvar	Valor en Gs.
CYO-03	127943	1,066,191,667	1,294,969,744	41,439,031
CYO-04	48011	4,000,916,667		
CYO-01	46439	3,869,916,667	8,888,040,281	28,441,728
CYO-02	37459	3,121,583,333		
TOTAL				69,880,760

Tabla 13: Ahorro por carga recuperada

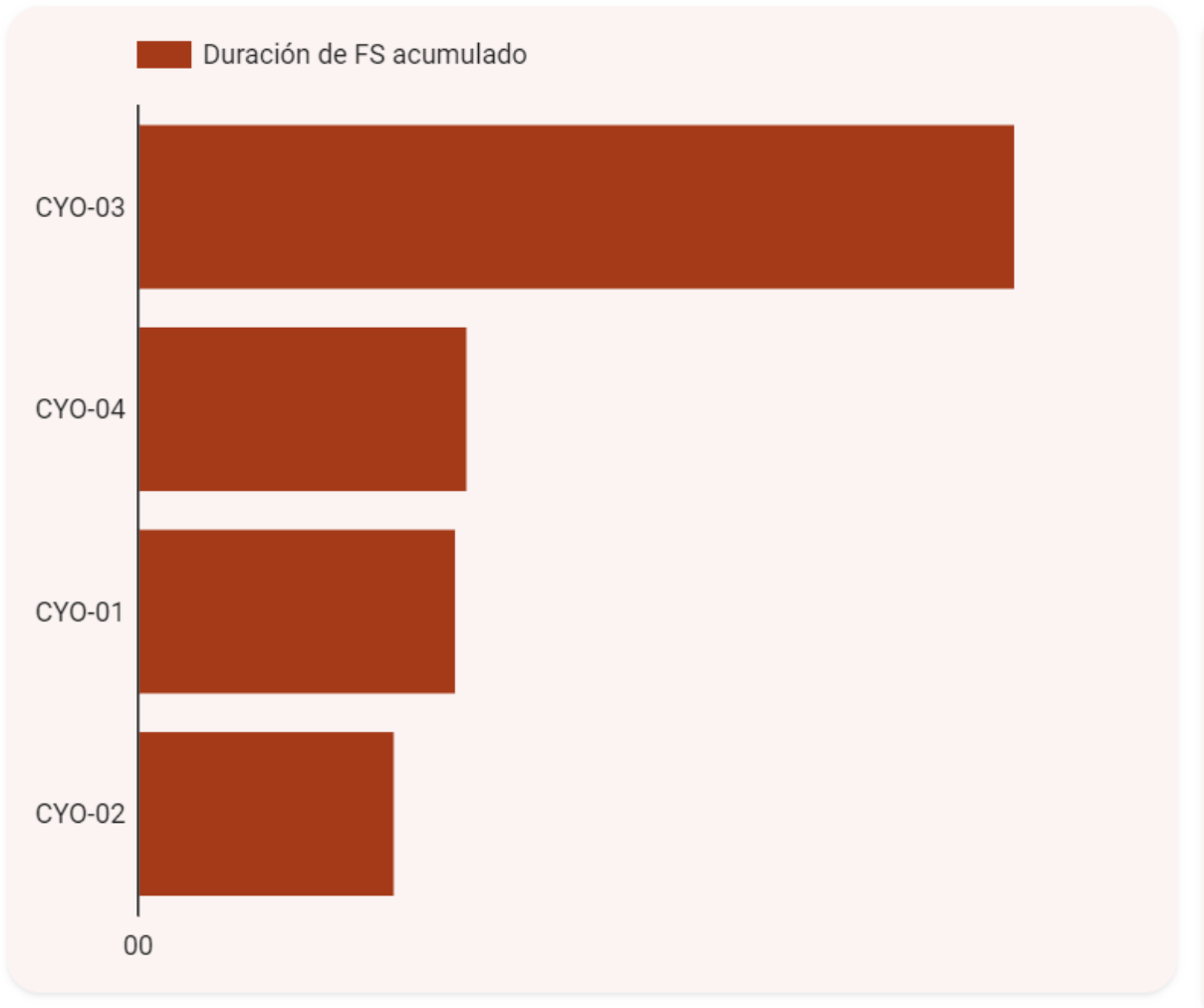


Figura 38: Horas fuera de servicio de alimentadores

```
import numpy_financial as npf

# Variables iniciales
inversion_inicial = -5_505_293_539 # Inversión inicial en guaraníes
ahorro_anual_inicial = 482_150_400 # Ahorro inicial en guaraníes
tasa_crecimiento = 0.10 # Tasa de crecimiento anual de las ganancias
beneficio_constante = 69_880_760 # Beneficio adicional constante anual en guaraníes
tasa_descuento = 0.10 # Tasa de descuento del 10%
horizonte = 10 # Horizonte temporal de 10 años

# Crear el flujo de caja inicial
flujo_de_caja = [inversion_inicial]
ganancia_actual = ahorro_anual_inicial

# Calcular el flujo de caja para cada uno de los 15 años
for _ in range(horizonte):
    ganancia_actual = ganancia_actual * (1 + tasa_crecimiento) + beneficio_constante
    flujo_de_caja.append(ganancia_actual)

# Calcular el VAN y la TIR
van = npf.npv(tasa_descuento, flujo_de_caja)
tir = npf.irr(flujo_de_caja) * 100 # Convertir a porcentaje

# Mostrar los resultados
print("Tabla de Flujo de Caja:")
for año, flujo in enumerate(flujo_de_caja):
    print(f"Año {año}: {flujo:,.2f} Gs.")

print(f"\nValor Actual Neto (VAN): {van:,.2f} Gs.")
print(f"Tasa Interna de Retorno (TIR): {tir:.2f}%")

output:

Tabla de Flujo de Caja:
Año 0: -5,505,293,539.00 Gs.
Año 1: 600,246,200.00 Gs.
Año 2: 730,151,580.00 Gs.
Año 3: 873,047,498.00 Gs.
```

Año 4: 1,030,233,007.80 Gs.

Año 5: 1,203,137,068.58 Gs.

Año 6: 1,393,331,535.44 Gs.

Año 7: 1,602,545,448.98 Gs.

Año 8: 1,832,680,753.88 Gs.

Año 9: 2,085,829,589.27 Gs.

Año 10: 2,364,293,308.19 Gs.

Valor Actual Neto (VAN): 2,010,416,268.82 Gs.

Tasa Interna de Retorno (TIR): 16.15%