



ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA
DE LA INFRAESTRUCTURA
ELÉCTRICA EN EL ALIMENTADOR
PPE-04 DEL DEPARTAMENTO DE
GUAIRÁ

Fabio Isidro Orquiola Santacruz

Tutor: Ing. Moises Britez

CORONEL OVIEDO, 11 DE JULIO 2025



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, Fabio Isidro Orquila Santacruz autor del trabajo de investigación titulado **«Análisis y propuesta de mejora de la infraestructura eléctrica en el alimentador PPE-04 del departamento de Guairá »**, declara/n que voluntariamente cede/n 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 11, del mes de julio del 2025.

.....

Firma



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido 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.

Acta Nro.: _____

Fecha: _____

Calificación: _____

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido 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 madre, por su paciencia y sabiduría. A mis hermanos, por su amistad y apoyo constante. Y a mi padre, en memoria, pues su ejemplo sigue guiándome.



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

Agradezco a la FCyT y a mi tutor, por proporcionarme los recursos y el apoyo necesarios para realizar esta investigación.



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

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

Resumen

En el presente trabajo se analiza el estado actual del alimentador PPE-04 en el departamento de Guairá, con el fin de proponer medidas de mejora orientadas a optimizar su capacidad, estabilidad y eficiencia. A partir del relevamiento de datos de campo, registros de SCADA y simulaciones eléctricas en CYME 9, se identificaron problemas de sobrecarga, desequilibrio de fases y bajas tensiones, que afectan la calidad y continuidad del servicio. Se evaluaron diferentes alternativas, como la instalación de bancos de capacitores, el balance de cargas monofásicas y la creación de un nuevo alimentador que redistribuya la demanda. Finalmente, se llevó a cabo un análisis económico-financiero, estimando costos de inversión y proyecciones de ahorro a mediano y largo plazo, lo que demostró la viabilidad técnica y económica de la propuesta. Este estudio constituye una guía práctica para fortalecer la red de distribución, mejorar la confiabilidad del suministro y respaldar la toma de decisiones en futuras expansiones de la infraestructura eléctrica del departamento de Guairá.

Palabras claves: Media Tensión, Alimentadores, Simulaciones.



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 study evaluates the current condition of the PPE-04 feeder in Guairá, aiming to propose improvement measures that enhance its capacity, stability, and efficiency. By compiling field data, SCADA logs, and conducting electrical simulations in CYME 9, the main findings revealed overloading, phase imbalance, and low voltage levels that compromise service quality and continuity. Several strategies were examined, including capacitor bank installation, single-phase load balancing, and the construction of a new feeder to redistribute demand. An economic-financial assessment was then conducted, estimating investment costs and medium- to long-term savings, confirming the technical and economic feasibility of the proposed plan. The study provides a practical roadmap for strengthening the distribution network, enhancing supply reliability, and supporting decision-making regarding future expansions of Guairá's electrical infrastructure.

Key words: Medium Voltage, Feeders, Simulation.



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

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

Índice

Introducción	1
1. Objetivos	2
1.1. Objetivos Generales	2
1.2. Objetivos Específicos	2
2. Metodología	3
2.1. Relevamiento de datos y procesamiento	3
2.2. Simulación eléctrica y modelado de la red	4
2.3. Propuesta de mejora.....	4
2.4. Análisis Económico-Financiero	5
3. Resultados y análisis	6
3.1. Análisis de datos.....	6
3.1.1. Proyección y crecimiento de la demanda.....	7
3.1.2. Demanda máxima.....	9
3.1.3. Trazados y carga instalada.....	10
3.2. Escenario inicial	13
3.2.1. Regulación de tensión.....	16
3.3. Nuevo alimentador PPE13.....	17
3.3.1. Perfil de tensión	19
3.4. Costos del nuevo alimentador.....	21



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.

3.5. Índices financieros	21
4. Conclusiones y recomendaciones	23
4.1. Recomendaciones.....	24
Referencias	25
Apéndices	26
A. Relevamiento y procesamiento de datos	26
A.1. Datos de demanda	26
A.1.1. Proyección de demanda	27
B. Escenario inicial	33
C. Alimenatador PPE13	34
D. Análisis financiero	38



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 equipos de la red.....	10
2.	Resultados del escenario inicial	13
3.	Resultados de la regulación de tensión	16
4.	Resultados del alimentador PPE4.....	18
5.	Resultados del alimentador PPE13.....	18
6.	costos de la propuesta.....	21
7.	Indices financieros del proyecto.....	22
8.	Resumen de cargas PPE4	35
9.	Resumen de cargas PPE13	36
10.	cargas de equipos PPE4	37
11.	cargas de equipos PPE13	37
12.	Ventas esperadas en el año	38
13.	Beneficios por recuperación de ENS.....	38
14.	Costo de adquisición de la energía	39
15.	Flujo de caja	39



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.	Demanda máxima del alimentador PPE-04.....	6
2.	Proyección de la demanda del alimentador	7
3.	Factor de potencia 23-10-2024	9
4.	Trazado y densidad de carga instalada del alimentador.....	11
5.	Calibres y equipos del alimentador	12
6.	Perfil de tensión a lo largo del alimentador	14
7.	Conjunción del voltaje, potencia y longitud del alimentador	15
8.	Alimentador PPE13, trazado	17
9.	Perfil de tensión PPE4	19
10.	Perfil de tensión PPE13.....	20
11.	Demanda máxima del día 23-10-2024.....	26
12.	Ubicaciones preferenciales de capacitores.....	33
13.	Toma de carga del alimentador PPE13	34

La infraestructura de distribución eléctrica desempeña un papel esencial en el desarrollo social y económico de cualquier región, pues garantiza que la energía llegue de manera segura y eficiente a hogares, comercios e industrias. En el departamento de Guairá, el alimentador PPE-04 constituye una pieza clave de la red de media tensión, abasteciendo un área que ha experimentado un crecimiento constante en su demanda eléctrica. Dicho aumento, sumado al envejecimiento de algunos equipos y la falta de modernizaciones oportunas, ha derivado en sobrecargas, desequilibrios de fases y caídas de tensión que repercuten directamente en la calidad del servicio, afectando tanto a usuarios residenciales como a empresas e instituciones locales [3].

Con el fin de mitigar estos problemas y fortalecer la confiabilidad de la red, se planteó la presente investigación, cuyo objetivo principal es analizar las condiciones actuales del alimentador PPE-04 y proponer mejoras técnicas y económicas que respondan a las exigencias actuales y futuras de la población servida. Para ello, se llevó a cabo un diagnóstico exhaustivo basado en mediciones de campo y el historial de fallas del sistema, complementado con la simulación eléctrica en un software especializado (CYME 9), lo que permitió identificar los puntos críticos de sobrecarga y las principales causas de las pérdidas técnicas.

A lo largo de este documento se detallan las etapas que conforman la investigación: la validación y procesamiento de datos, la construcción del modelo de la red, la evaluación de diferentes alternativas de mejora como la instalación de bancos de capacitores, la repotenciación de tramos y la creación de un nuevo alimentador y, finalmente, el análisis económico-financiero que respalda la factibilidad de las intervenciones propuestas. De esta forma, se busca que el trabajo no sólo aborde la dimensión técnica de la optimización de la red, sino que también apoye la toma de decisiones de planificación, ofreciendo una base sólida que promueva inversiones sostenibles y eficaces en el departamento de Guairá.

1. Objetivos

1.1. Objetivos Generales

Optimizar el desempeño del alimentador PPE-04 en el departamento de Guaira, a través del análisis detallado y la mejora de la capacidad, estabilidad y eficiencia de la red, buscando la reducción de pérdidas y mejora de los niveles de tensión.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar un relevamiento y análisis exhaustivo de los datos de demanda y las características técnicas de la red del alimentador PPE-04.
- Plantear y evaluar alternativas técnicas viables para resolver los problemas de capacidad y estabilidad identificados en el alimentador PPE-04.
- Realizar un análisis financiero de las alternativas propuestas.

2. Metodología

En este trabajo se exploran y desarrollan técnicamente alternativas para mejorar la capacidad y eficiencia del alimentador PPE-04 (en consecuencia también la confiabilidad) en el Departamento de Guairá. Para ello, se toman como base los principales indicadores de calidad de suministro en media tensión, utilizando tanto software de simulación como también análisis de datos de la red eléctrica disponibles.

De acuerdo con el objeto y la extensión del estudio, la presente investigación se clasifica como aplicada, ya que se enfoca en la búsqueda de soluciones y en la implementación de procedimientos prácticos que permitan alcanzar un objetivo definido: optimizar el desempeño y la confiabilidad del alimentador PPE-04 en términos de calidad de energía y reducción de pérdidas.

Se emplea un enfoque mixto, se puede asumir una orientación cuantitativa, porque implica el análisis de datos técnicos (mediciones de tensión, corriente, niveles de carga, pérdidas eléctricas) y la evaluación de la calidad del servicio. Por otra parte, cualitativa porque también se toman en cuenta las valoraciones y percepciones de los usuarios, técnicos y expertos del sistema eléctrico, lo cual aporta información contextual para validar y complementar los hallazgos numéricos.

2.1. Relevamiento de datos y procesamiento

En primer lugar, se unificaron registros de diferentes fuentes, como mediciones SCADA [2], informes de campo y planos de la empresa, con el objetivo de tener una base de datos coherente. Se depuraron valores atípicos por ejemplo, picos de tensión irreales y se aplicaron técnicas de interpolación o suavizado cuando fue necesario. A partir de esta consolidación, se procedió a un análisis exploratorio en el que se calcularon estadísticas descriptivas (medias, desviaciones estándar) y se generaron gráficas preliminares que evidenciaron tendencias o posibles inconsistencias. Los valores finales obtenidos sirvieron para crear un insumo sólido que respaldó el diagnóstico de desequilibrios de fase, factores de potencia relativamente bajos y caídas de tensión excesivas detectadas en la etapa de

resultados.

2.2. Simulación eléctrica y modelado de la red

Con la información ya validada, se construyó el modelo del alimentador en un software especializado (CYME 9)[1], ingresando datos topológicos, características de los conductores y cargas instaladas. Se definieron escenarios de máxima y promedio demanda, así como proyecciones de crecimiento. El flujo de potencia resultante permitió cuantificar tensiones, corrientes y pérdidas, lo que fue decisivo para reconocer, por ejemplo, los tramos que mostraban sobrecarga y los perfiles de tensión que descendían cerca del umbral mínimo permitido. Este proceso de simulación brindó una visión precisa del estado real del alimentador y sirvió como referencia para el planteamiento de intervenciones específicas, tales como la incorporación de bancos de capacitores o la implementación de un nuevo alimentador (PPE-13) que alivió notablemente los niveles de corriente en PPE-04.

2.3. Propuesta de mejora

Una vez caracterizada la red, se diseñó la alternativa enfocada en resolver los problemas de desequilibrio, factor de potencia bajo y sobrecarga. La instalación de capacitores y el balance de cargas monofásicas resultaron medidas inmediatas para disminuir pérdidas y mejorar el factor de potencia. De igual modo, se planteó la ampliación o refuerzo de determinados tramos con secciones de conductor más grandes y la construcción de una nueva línea (PPE-13) para redistribuir la demanda. Cada propuesta fue simulada de forma individual, comparando parámetros como caídas de tensión y pérdidas totales antes y después de la intervención. Esta evaluación demostró la eficacia de equilibrar la red y, sobre todo, el valor de descargar el alimentador original para mantener perfiles de tensión más aceptables y mejorar la confiabilidad del servicio.

2.4. Análisis Económico-Financiero

Finalmente, se procedió a un estudio de costos y beneficios para cada alternativa, integrando los gastos de inversión (materiales, mano de obra) y los posibles ahorros derivados de la reducción de pérdidas técnicas y penalizaciones por bajo factor de potencia. Dichos beneficios se proyectaron en un horizonte de cinco años, permitiendo el cálculo de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El análisis reveló que la propuesta general, si bien exigía una inversión inicial considerable, se traduciría en ahorros significativos a mediano plazo, reflejados en la recuperación del capital invertido. Estos resultados, a la par de la mejora en los niveles de tensión y la reducción de sobrecargas, justificaron ampliamente la factibilidad técnica y económica de las medidas planteadas.

3. Resultados y análisis

3.1. Análisis de datos

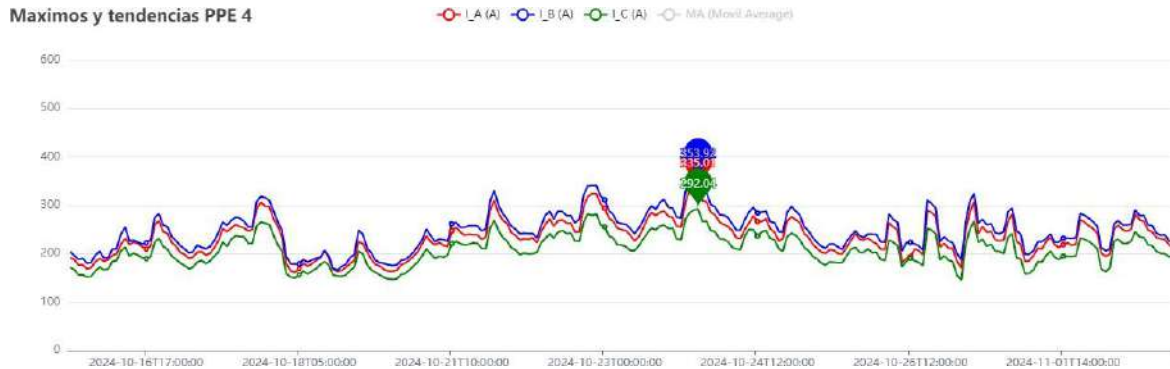


Figura 1: Demanda máxima del alimentador PPE-04

A partir de los registros proporcionados por el sistema SCADA, se obtuvieron los datos de demanda del alimentador PPE-04, cubriendo un período de observación lo suficientemente amplio (desde el 01-01-2023) para identificar las fluctuaciones y picos de carga en la red. En la Figura 1 se presenta el comportamiento de las corrientes en cada fase, destacándose un máximo alcanzado el 23 de octubre de 2024. Dicho pico corresponde a valores de 331 A, 352 A y 290 A para las fases A, B y C, respectivamente, lo cual pone de manifiesto un desequilibrio notable, calculado en alrededor del 7,85 %.

Este desbalance en la corriente no solo implica una distribución desigual de carga entre las fases, sino que además puede traducirse en un incremento de pérdidas y un estrés térmico adicional en los transformadores y equipos de maniobra. Igualmente, se observó que durante esa fecha otros alimentadores de la zona presentaron comportamientos de demanda máxima similares, lo que sugiere la existencia de factores estacionales (posiblemente vinculados a condiciones climáticas y hábitos de consumo) que influyen en la simultaneidad de los picos.

El valor máximo registrado, precisamente el 23 de octubre, sirvió como referencia para los cálculos y simulaciones llevados a cabo en este trabajo. Contar con ese escenario de máxima exigencia resultó esencial para dimensionar correctamente los elementos de la red en los modelos propuestos, así como para evaluar el nivel de confiabilidad y eficiencia del

alimentador ante condiciones de sobrecarga puntual. De esta manera, los análisis de flujos de potencia y los estudios de estabilidad realizados en capítulos posteriores se basan en este pico de demanda, permitiendo estimar de forma realista las afectaciones que podría enfrentar el alimentador en situaciones operativas extremas.

Por otra parte, el seguimiento gráfico de las corrientes—representado en la figura—evidencia cómo el alimentador PPE-04 responde a la variabilidad de la demanda a lo largo de los días. Este comportamiento, junto con el factor de desequilibrio, refuerza la necesidad de analizar posibles opciones de compensación, redistribución de carga o incluso repotenciación de conductores, con miras a mejorar tanto la calidad de suministro como la seguridad y confiabilidad de la red. Asimismo, resulta relevante monitorear la curva de carga de manera continua para anticipar futuros incrementos de demanda y planificar soluciones de refuerzo con la debida anticipación.

3.1.1. Proyección y crecimiento de la demanda

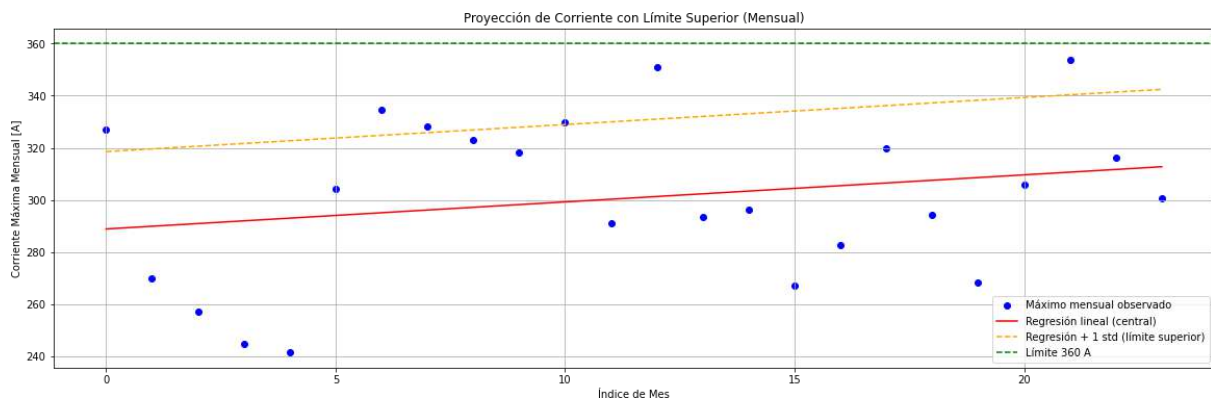


Figura 2: Proyección de la demanda del alimentador

A partir de los datos históricos de corriente máxima mensual registrados en el alimentador y su posterior análisis mediante regresión lineal, se obtuvo un modelo que estima cómo evolucionará la demanda en el tiempo. En la Figura 2 pueden observarse tres trazados relevantes:

Puntos azules (máximos mensuales observados): representan los valores reales de corriente máxima registrados cada mes.

Línea roja (regresión lineal central): muestra la tendencia promedio de crecimiento de la corriente a lo largo de los meses, calculada con base en los valores históricos.

Línea naranja (regresión + 1 desviación estándar): añade un margen por encima de la línea central equivalente a la desviación estándar de los residuales (29,73 A), reflejando un posible “peor escenario” o límite superior para el crecimiento de la demanda.

En términos numéricos, la pendiente (slope) de 1,04 A/mes indica que la corriente máxima mensual aumenta aproximadamente en un amperio adicional cada mes (véase Sección A.1.1 del Anexo), mientras que la intersección (intercept) de 288,82 A sugiere que, en el mes cero de la muestra (el punto de partida del modelo), la corriente base era cercana a 289 A. El modelo, no obstante, muestra variaciones considerables en los datos originales, evidenciadas por la desviación estándar de los residuales (29,73 A); esto implica que en determinados meses la corriente puede alejarse de la tendencia central en cerca de ± 30 A.

La línea de 360 A (verde punteada) sirve como valor de referencia para el posible límite de capacidad o punto de saturación del alimentador. El algoritmo indica que, bajo el escenario más conservador (la línea superior de la regresión), se alcanzaría ese umbral hacia el mes 39,88 (aproximadamente el mes 40). Al traducir este índice a una fecha concreta —tomando como referencia el primer mes del conjunto de datos— se proyecta que el alimentador podría llegar a los 360 A hacia fines de abril de 2026 o antes.

En términos prácticos, estos resultados sugieren que el alimentador mantiene una tendencia de crecimiento lineal de la demanda que, de no realizarse ajustes o mejoras, podría superar el umbral de diseño en un plazo aproximado de tres años desde la fecha inicial de este estudio. Este escenario se considera de máximo estrés para la red, ya que integra la desviación estándar como margen de seguridad. Por tanto, los hallazgos sirven como alerta temprana para planificar refuerzos en la infraestructura, ya sea mediante repotenciación de líneas, redistribución de cargas o incorporación de nuevas subestaciones, con el propósito de mantener la calidad y continuidad del servicio eléctrico.

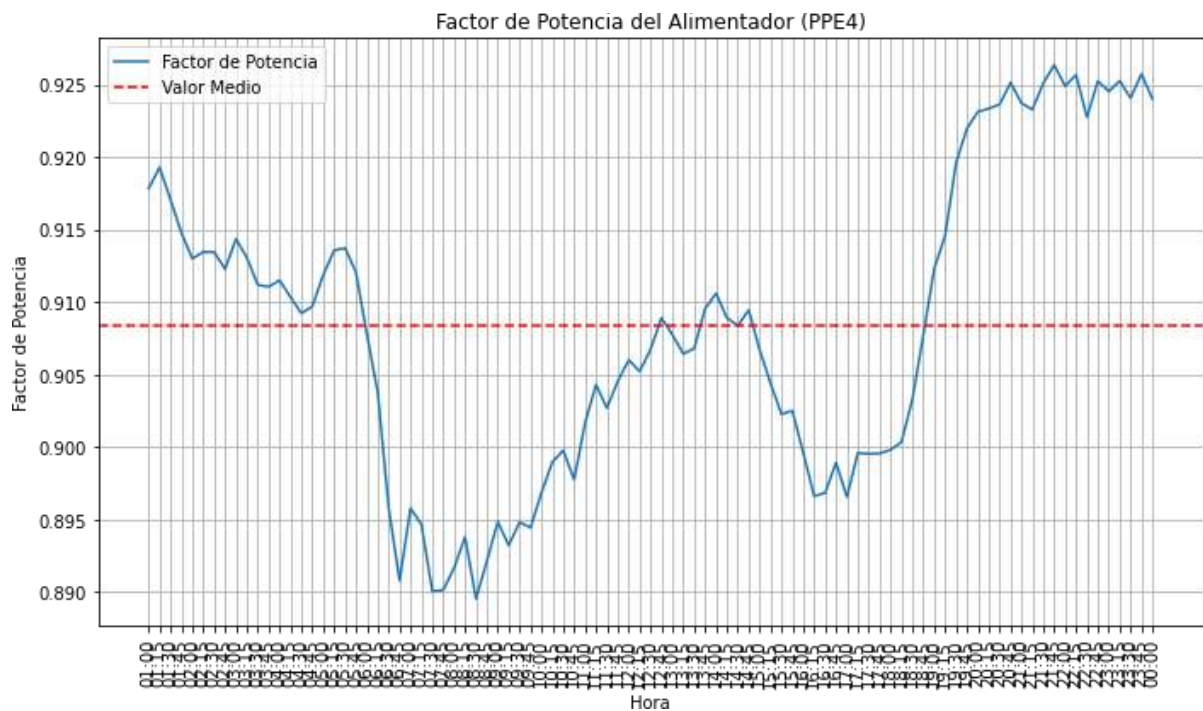


Figura 3: Factor de potencia 23-10-2024

3.1.2. Demanda máxima

En la Figura 3 se muestra la evolución del factor de potencia (FP) a lo largo del 23 de octubre de 2024, fecha en la que se registró la demanda máxima del alimentador PPE-04. A partir del análisis de estos datos, se obtuvo un promedio de 0,9083, valor que puede considerarse relativamente bajo, evidenciando un carácter inductivo de la carga. Este comportamiento sugiere la conveniencia de implementar medidas correctivas, como la instalación o ajuste de bancos de condensadores, con miras a mejorar el FP y reducir pérdidas asociadas al exceso de potencia reactiva.

Asimismo, se determinó que la demanda máxima se produjo alrededor de las 20:45 horas, generando un factor de utilización de 0,57 con respecto a la potencia instalada de 21.565 kVA en el alimentador. Esto indica que, si bien aún existe cierto margen de capacidad, el alimentador se acerca a niveles de carga que merecen atención para evitar sobrecargas en escenarios futuros de crecimiento de la demanda.

En paralelo, se consideraron equipos de maniobra en la red que cuentan con su propia medición, lo cual permite contrastar y complementar la información del alimentador. En

la Tabla 1 se registran los valores de corriente máxima para dichos equipos, mostrando que las horas pico de cada uno también se concentran entre las 20:00 y 21:00 horas, lo que coincide con la sobrecarga detectada en el alimentador principal. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de realizar un análisis integral de todos los puntos de la red para identificar posibles acciones de redistribución de carga, repotenciación de conductores o instalación de equipos auxiliares de corrección del factor de potencia.

Al contrastar los valores de corriente máxima de los equipos ETC 45710 y ETC.45750, se observa que ambas instalaciones presentan picos de demanda significativos en la franja horaria nocturna, momento en que suele aumentar el consumo residencial y comercial. Para ETC 45710, la fase S alcanza casi 300 A a las 21:00 horas, mientras que ETC.45750 evidencia sus mayores valores —alrededor de 203 A— a las 20:30 horas. Estos datos, analizados en conjunto, permiten no solo caracterizar la operación del alimentador y sus equipos asociados, sino también establecer planes de mantenimiento preventivo y optimización del servicio, de modo a mantener los niveles de calidad y confiabilidad requeridos en el suministro eléctrico.

ETC 45710		
Fase	Corriente max (A)	Hora
R	265.67	21:00
S	299.6	21:00
T	255.11	21:00
ETC 45750		
R	184.13	20:15
S	203.33	20:30
T	181.4	20:30

Tabla 1: Demanda de equipos de la red

3.1.3. Trazados y carga instalada

A partir de la información provista por el Departamento de Operación de Distribución Regional Centro (DR/DRC) de la ANDE, se dispone del trazado completo del alimentador PPE-04, así como de la distribución geográfica de la carga instalada, cuyo valor asciende a 21.565 kVA en el momento de demanda máxima. En la Figura 4 se aprecia, por un lado, la extensión de las líneas de media tensión que conforman el alimentador y, por otro, la

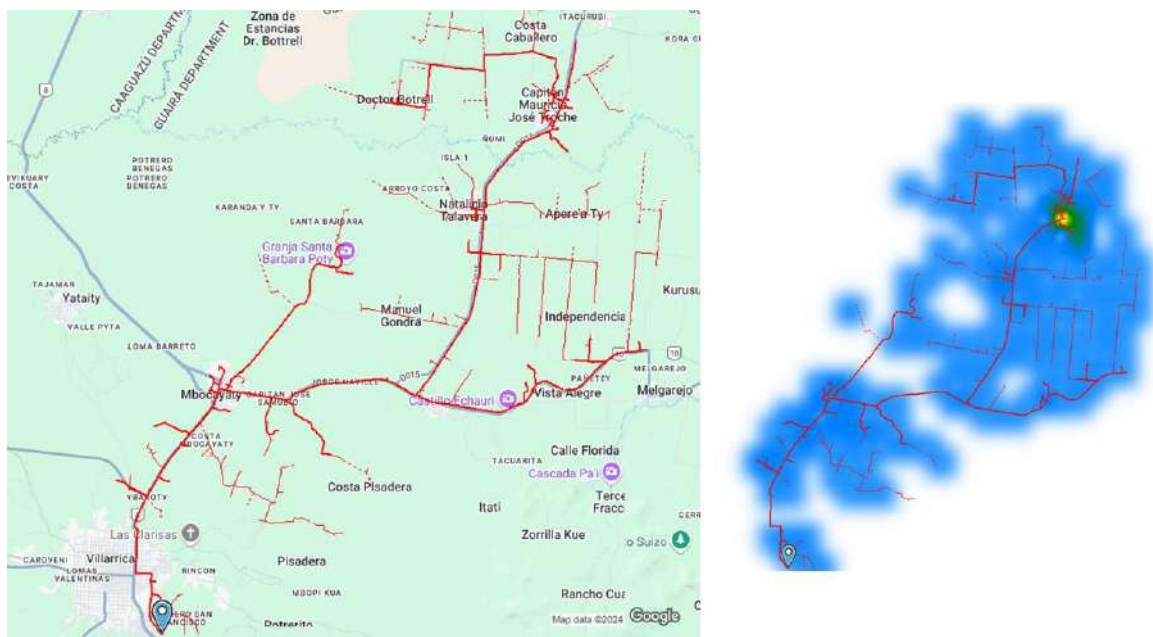


Figura 4: Trazado y densidad de carga instalada del alimentador

representación de la densidad de carga en las distintas zonas que abastece, se observa como una carga relevante es de la alcoholera Petropar con una carga instalada de 5.325 kVA (24,6% de la carga instalada en cabecera).

Los datos demuestran que, en situaciones de picos de consumo, el alimentador ha debido transferir carga hacia otra estación, al encontrarse al límite de su capacidad. Este traspaso de carga se lleva a cabo con el fin de aliviar la sobrecarga y evitar interrupciones en el servicio, no obstante, representa una solución temporal que puede incrementar los costos operativos y complicar la maniobrabilidad de la red. Además, la elevada densidad de carga en determinados tramos del alimentador sugiere la existencia de puntos críticos que requieren reforzamiento o repotenciación de líneas y transformadores.

Otro factor relevante es la configuración geográfica del alimentador, que abarca tanto zonas urbanas como rurales, presentando largos ramales con demandas dispersas. Esta morfología influye en la coordinación de protecciones y en las pérdidas técnicas, ya que las caídas de tensión tienden a aumentar a medida que se avanza hacia los extremos de la red. Asimismo, la densidad de carga, reflejada por los colores más intensos en la figura, permite identificar áreas donde sería recomendable redistribuir parte de la demanda o instalar nuevos equipos de maniobra y seccionamiento para mejorar la flexibilidad operativa.

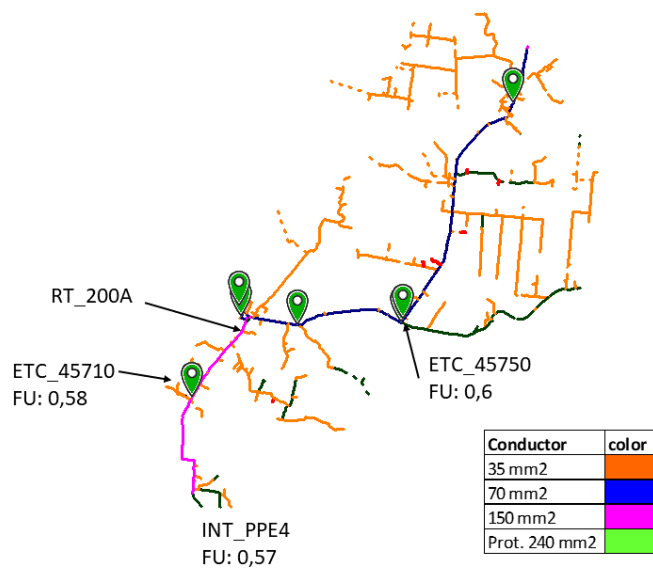


Figura 5: Calibres y equipos del alimentador

En el trazado mostrado en la Figura 5 se aprecia cómo el alimentador PPE-04 se encuentra compuesto por diferentes calibres de conductor, representados con colores específicos para facilitar su identificación. El código de colores distingue, por ejemplo, líneas en naranja (35 mm^2), en azul (70 mm^2), en fucsia (150 mm^2) y en verde (240 mm^2 con aislación), lo que permite reconocer rápidamente los tramos de mayor o menor capacidad de transporte de corriente.

Asimismo, se ubican equipos clave a lo largo del alimentador, entre ellos:

INT PPE4, que presenta un factor de utilización (FU) de 0,57, correspondiente al punto de interrupción principal del circuito.

ETC 45710, con un FU de 0,58, situado sobre troncal que utiliza, en parte, conductor 150 mm^2 (fucsia) y se conecta con otro tramo de sección menor.

ETC 45750, cuyo FU es 0,6, instalado en otro sector del alimentador donde el calibre de las líneas es de 70 mm^2 .

RT 200A, que se identifica como un punto de regulación de tensión con capacidad nominal de 200 A.

3.2. Escenario inicial

Utilizando el software CYME en su versión 9 se procedió a realizar las simulaciones de condiciones iniciales teniendo en cuenta todo lo relevado anteriormente.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR	FP	Distancia	Conectada kVA	P'erdidas	I.n
23600	23.6	13.6	331	4510.5	4105.3	1868.4	91.02		7634	569.12	53.9
23600	23.6	13.6	351.7	4791.7	4357.7	1868.4	90.94		7298	735.01	
23600	23.6	13.6	290	3951.2	3595.2	1639	90.99	0	6498	529.37	
		Ical	324.2	13253	12058	5500			21502	1833.49	

Tabla 2: Resultados del escenario inicial

En la Tabla 2 se presentan los resultados del escenario inicial obtenidos a través de las simulaciones en CYME 9. Cada una de las primeras tres filas corresponde a los valores característicos de cada fase en el punto de mayor demanda, mientras que la última fila sombreada resume los totales consolidados del alimentador. Se puede observar que la tensión línea a línea (kVLL) se mantiene en 23,6 kV y la tensión línea a neutro (kVLN) ronda los 13,6 kV. Esto confirma que, en términos nominales, el alimentador opera en el rango de voltaje previsto.

La corriente (i) difiere de una fase a otra, con valores de 331 A, 351,7 A y 290 A, lo que indica un cierto desbalance. Paralelamente, la potencia aparente (kVA) en cada fase oscila entre 3951,2 kVA y 4791,7 kVA, con potencias activas (kW) que alcanzan hasta 4357,7 kW y potencias reactivas (kVAR) en torno a 1600-1900 kVAR. El factor de potencia (FP) supera en todos los casos el 90 %, aunque se mantiene por debajo de 100 %, lo cual revela la presencia de carga inductiva en el sistema. Asimismo, se registran pérdidas significativas, totalizando 1833 kW en escenario de demanda máxima, lo que sugiere la necesidad de evaluar posibles refuerzos o correcciones para mitigar los efectos del consumo reactivo y reducir la energía disipada.

En la última fila, resaltada en la tabla, se muestran los valores consolidados de todo el alimentador en el momento de máxima demanda. Allí se aprecia que la corriente calculada (Ical) promedia 324,2 A y que la potencia total alcanza 13.253 kVA, de los cuales 12.058 kW corresponden a la parte activa y 5.500 kVAR a la reactiva. También se evidencia que la potencia conectada a lo largo de este alimentador es de 21.502 kVA, mientras que las



Figura 6: Perfil de tensión a lo largo del alimentador

pérdidas globales ascienden a 1833,49 kW. Dichos valores ilustran con claridad la magnitud de la demanda que debe atenderse y confirman que el alimentador, este experimenta un nivel de sobrecarga que podría intensificarse a medida que la demanda crezca, sobre todo si no se llevan a cabo acciones correctivas o de ampliación en la infraestructura eléctrica.

En la Figura 6 se aprecia el perfil de tensión a lo largo del alimentador PPE-04, partiendo desde la subestación (punto 0 km) hasta los extremos de la red, con cada color representando una de las tres fases. El trazado refleja de manera gráfica la disminución progresiva de la tensión a medida que se incrementa la distancia de la fuente, lo que coincide con las pérdidas eléctricas típicas en líneas de media tensión de longitud considerable. En esta simulación se registran valores máximos cercanos a 24,15 kV y mínimos en torno a 21,85 kV, lo cual pone de manifiesto un desbalance entre fases y una caída de tensión significativa, especialmente hacia los tramos finales del alimentador.

La línea en verde (VB) muestra una reducción más pronunciada, indicando que la fase B puede estar más cargada o presentar mayor resistencia en su trayecto. Las curvas en rojo y azul (VC y VA, respectivamente) siguen un patrón similar, aunque se mantienen por encima de la fase B en la mayor parte del recorrido.

También encontramos que el regulador de tensión del alimentador de 200 A, se encuentra

Longitud, Potencia activa y Voltaje

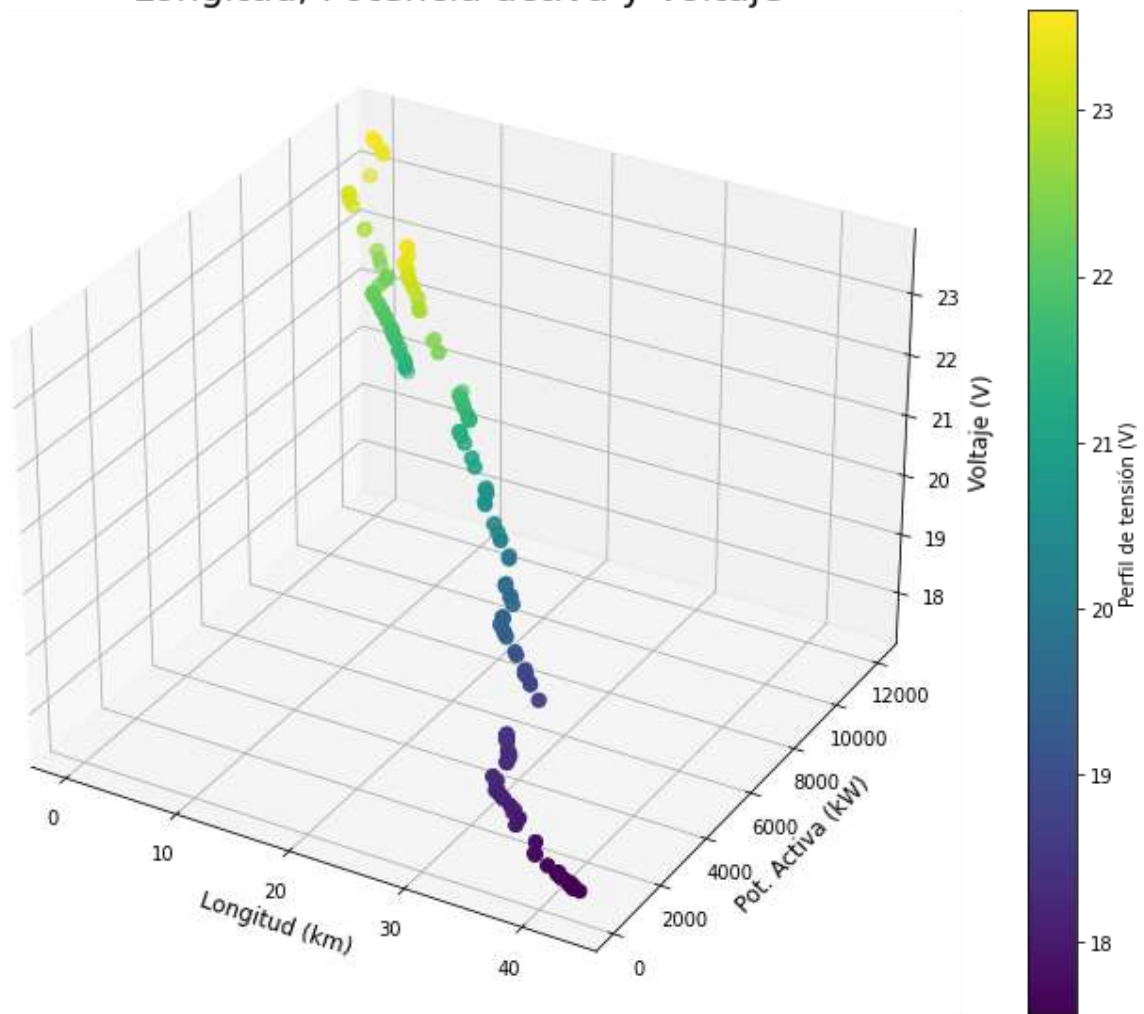


Figura 7: Conjunción del voltaje, potencia y longitud del alimentador

a un nivel de sobrecarga del 121 % en el momento de demanda máxima.

En la Figura 7 se visualiza, en un entorno tridimensional, cómo la tensión disminuye a medida que aumenta la longitud del alimentador, representada en el eje horizontal, y cómo dicha tensión se ve afectada por la potencia activa (eje de profundidad). Se identifica claramente el punto en el que el valor de voltaje cruza el umbral mínimo permitido, pero aun así el alimentador continúa proveyendo aproximadamente 7.240 kW, lo que equivale a más de la mitad de la demanda total conectada.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR	FP	Distancia	Conectada kVA	P'erdidas	I n
23600	23.6	13.6	331.3	4513.7	4156.2	1760.5	92.08		7689	490.97	17.3
23600	23.6	13.6	323.9	4413.4	4075.9	1760.5	92.35		6713	680.03	
23600	23.6	13.6	313.1	4266.1	3940.5	1634.5	92.37	0	7028	632.75	
		Ical	322.8	13193	12173	5088			21502	1803.75	

Tabla 3: Resultados de la regulación de tensión

3.2.1. Regulación de tensión

Como paso previo a las alternativas principales, se plantea la regulación de tensión como una acción inmediata a ejecutar en el alimentador PPE-04. Esta consiste principalmente en la instalación estratégica de bancos de capacitores y en el balanceo de cargas monofásicas, medidas que permiten reducir las pérdidas y mejorar ligeramente el factor de potencia sin exigir grandes inversiones de infraestructura. Dicho proceso se llevó a cabo mediante el módulo de balance de carga y ubicación óptima de capacitores del software utilizado (véase Figura 12), obteniéndose el escenario resumido en la Tabla 3.

En la tabla se listan, de manera detallada, los valores de tensión (Vp.u., kVLL, kVLN), corriente (i), potencia aparente, activa y reactiva (kVA, kW, kVAR), así como el factor de potencia (FP) y los niveles de pérdidas. Cada fila corresponde a una de las tres fases, mientras que la última fila sombreada muestra los valores globales del alimentador. A partir de estos resultados, se observa que la corriente calculada (Ical) se sitúa en torno a 322,8 A, la potencia total demandada llega a 13.193 kVA (con 12.173 kW de potencia activa), y el factor de potencia ronda el 92 %. Además, la potencia reactiva desciende a 5.088 kVAR, lo que indica un mejor aprovechamiento de la capacidad instalada.

Una de las mejoras más notorias radica en la reducción de pérdidas, que bajan a 1.803,75 kW, implicando un ahorro cercano a 30 kW con respecto al escenario anterior. Asimismo, el desequilibrio entre fases disminuye al 2 %, quedando dentro de los márgenes aceptables de operación. Si bien no se observa un cambio radical en la capacidad total del alimentador, esta intervención de corto plazo contribuye a estabilizar la red y a allanar el camino para la implementación de alternativas de refuerzo a mediano y largo plazo.

3.3. Nuevo alimentador PPE13



Figura 8: Alimentador PPE13, trazado

En este escenario se propone la construcción del alimentador PPE-13 a partir de la Estación Paso P'é, con el propósito de descongestionar el alimentador existente. Tal como se observó en los análisis previos, una de las soluciones más efectivas para mejorar la infraestructura radica en distribuir la carga, de modo que cada línea opere en niveles óptimos de demanda.

En la Figura 8 se visualiza el trazado propuesto para el nuevo alimentador, mientras que la Figura 13 ilustra el punto de toma de carga. Bajo esta configuración, la carga instalada se divide en 10.250 kVA sobre el alimentador PPE-04 y 11.252 kVA en el PPE-13, logrando así un equilibrio más adecuado entre ambos circuitos.

El nuevo alimentador contempla 9 km de línea protegida desde la Estación Paso P é hasta la salida de la ciudad de Villarrica. A continuación, se extiende otro tramo de 19,1 km de conductor de 150 mm² que se proyecta hasta las cercanías de la ciudad de Natalicio Talavera.

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR	FP	Distancia	Conectada kVA	P'erdidas	I n
23600	23.6	13.6	180.6	2461.2	2343.5	752.2	95.22		3539	68.09	40.8
23600	23.6	13.6	179.1	2440.4	2316.2	752.2	94.91		4203	73.28	
23600	23.6	13.6	137.5	1874	1782.2	579.4	95.1	0	3468	65.65	
Ical			165.8	6776	6442	2100			11252	207.02	

Tabla 4: Resultados del alimentador PPE4

Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR	FP	Distancia	Conectada kVA	P'erdidas	I n
23500	23.5	13.6	131.2	1780.4	1705.3	511.5	95.78		3260	154.71	3
23500	23.5	13.6	132.7	1800.7	1728.3	511.5	95.98		3335	177.91	
23500	23.5	13.6	132.1	1792.1	1724.6	487.5	96.23	0	3625	153.06	
Ical			132	5373	5158	1504			10250	485.68	

Tabla 5: Resultados del alimentador PPE13

En la Tabla 4 se muestran los valores de operación del alimentador PPE-04 tras la redistribución de cargas, donde la corriente en cada fase desciende de forma notable (180,6 A, 179,1 A y 137,5 A), y el factor de potencia se mantiene alrededor del 95 %. La fila sombreada al final consolida la información total, indicando una demanda aproximada de 6.776 kVA (con 6.442 kW de potencia activa) y unas pérdidas de 207,02 kW. Asimismo, la capacidad conectada se sitúa en 11.252 kVA, evidenciando que el alimentador queda con un margen razonable para atender crecimientos moderados de carga sin comprometer la calidad de servicio.

La Tabla 5 refleja los resultados obtenidos para el nuevo alimentador PPE-13, el cual asume 10.250 kVA de capacidad conectada. Se aprecia que las corrientes oscilan en torno a 131-132 A y el factor de potencia ronda el 96 %, ligeramente superior al de PPE-04. En la fila de totales, se observa una demanda de 5.373 kVA (con 5.158 kW de potencia activa) y unas pérdidas de 485,68 kW. Pese a que el alimentador es más extenso (lo cual incrementa la longitud de las líneas y, por ende, las pérdidas), la división de la carga entre los dos circuitos permite distribuir más adecuadamente la demanda, mejorando los perfiles de corriente y aliviando la sobrecarga previa.

Al contrastar ambos cuadros, se constata una reducción global de los niveles de corriente en cada alimentador y una ligera mejora en los factores de potencia, lo que repercute positivamente en la eficiencia y la confiabilidad de la red. Si bien las pérdidas absolutas del nuevo alimentador pueden parecer elevadas debido a su mayor longitud, el reparto de cargas entre PPE-04 y PPE-13 evita que un único circuito asuma todo el crecimiento de demanda, con el consecuente riesgo de sobrecargas severas y problemas de calidad de servicio. En conjunto, esta configuración garantiza una operación más estable y flexible, con posibilidades de expandir futuras ramificaciones o absorber nuevos clientes sin incurrir en caídas de tensión significativas.

Una disminución total de pérdidas en 1.111 kW en demanda máxima como principal beneficio de esta propuesta.

3.3.1. Perfil de tensión



Figura 9: Perfil de tensión PPE4

En el perfil de tensión del alimentador PPE-04 (Figura 9), se observa cómo el voltaje desciende gradualmente desde la subestación hasta los tramos finales, ubicados a unos 28 km de distancia. Las tres fases (VA en azul, VB en verde y VC en rojo) mantienen una tendencia relativamente cercana, aunque se aprecia cierta separación hacia el final,

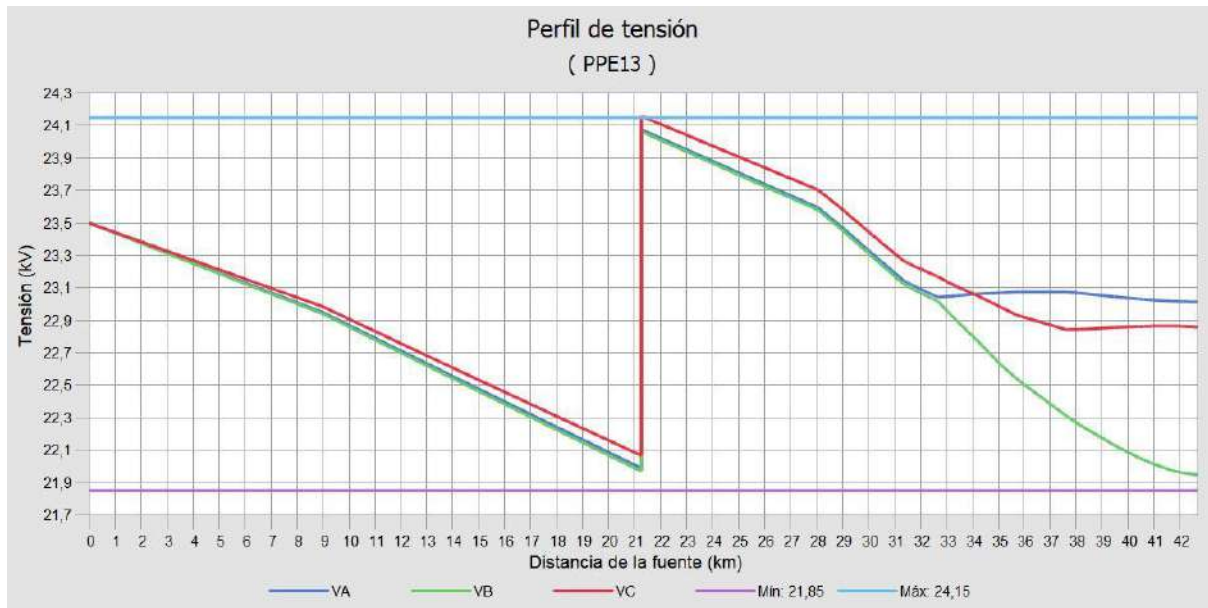


Figura 10: Perfil de tensión PPE13

especialmente en la fase B. El mínimo de referencia (21,85 kV) se sitúa en el límite inferior de la escala, por lo que, aun cuando el alimentador presenta una caída continua, no llega a traspasar ese umbral en las condiciones simuladas. Este resultado refleja una mejora significativa respecto a escenarios previos, ya que se alivia la sobrecarga y se reduce el descenso de tensión en las zonas más alejadas.

En el caso del alimentador PPE-13 (Figura 10), el trazado del perfil muestra un cambio brusco alrededor de los 20 a 21 km, punto en el que se deberá trasladar el regulador de tensión anteriormente ubicado sobre el PPE3, para alimentar la región de Natalicio Talavera. A partir de ese quiebre, las fases retoman tensiones cercanas a 23,5 kV y vuelven a decrecer conforme avanzan otros 20 km adicionales, llegando hasta los 42 km totales de recorrido. La fase C (rojo) suele ubicarse levemente por encima de la fase A (azul), mientras que la fase B (verde) presenta una disminución más pronunciada en la parte final. Aun así, se mantiene dentro del rango aceptable, sin caer por debajo del mínimo de 21,85 kV. Este comportamiento confirma que, pese a tratarse de un alimentador más extenso, la distribución de la carga entre PPE-04 y PPE-13 contribuye a conservar niveles de tensión adecuados a lo largo de toda la línea.

Descripción	Materiales	M.O.	Gs	Cantidad	Total
Construcción de Línea Subterránea de 3x240 mm ²	552,994,075	171,318,222	724,312,297	0.10	72,431,229.69
Construcción Línea Trifásica Protegida de 3x185 mm ²	389,135,380	85,313,301	474,448,681	9	4,270,038,127.20
Montaje de banco de capacitores			22,000,000	1	22,000,000.00
Construcción de Línea Trifásica 150 mm ²	128,952,000	56,235,400	185,187,400	19	3,537,079,340.00
TOTAL					7,901,548,696.89

Tabla 6: costos de la propuesta

3.4. Costos del nuevo alimentador

En la Tabla 6 se listan los elementos principales de la propuesta de construcción y mejora de la red, junto a sus costos estimados en guaraníes (Gs). La primera columna describe cada obra o componente, y a continuación se presentan los montos correspondientes a materiales, mano de obra (M.O.) y los costos totales para cada partida. La columna Cantidad especifica la longitud (en kilómetros) o el número de unidades a construir, y finalmente se presenta el Total de inversión para esa actividad.

Entre los rubros más destacados se encuentra la Construcción de Línea Subterránea de 3x240 mm^2 , con un costo unitario que integra materiales y mano de obra, además de la Construcción de Línea Trifásica Protegida de 3x185 mm^2 y la Construcción de Línea Trifásica de 150 mm^2 . También se incluye el Montaje de un banco de capacitores, cuyo fin es mejorar el factor de potencia y reducir las pérdidas en el alimentador. El monto global de la propuesta asciende a 7.901.548.696,89 Gs, lo que abarca todos los materiales, labores y equipos necesarios para llevar a cabo la modernización y ampliación de la infraestructura eléctrica propuesta

3.5. Indices financieros

A partir de la Tabla 15, flujos de fondos se aprecia la evolución de los beneficios y costos a lo largo de un horizonte de 5 años, con una inversión inicial de -7.901.548.697 Gs en el año 0. A medida que transcurre el periodo, los beneficios superan paulatinamente a los costos, generando flujos netos positivos a partir del año 1, que permiten la recuperación gradual de la inversión.

En el año 4, el flujo neto asciende a 3.255.367.950 Gs, lo que hace que el VAN acumulativo (Valor Actual Neto) se torne positivo, ubicándose en 1.245.292.703 Gs. Para el año 5, se

registra un flujo neto aún mayor, de 3.971.821.522 Gs, con un VAN acumulativo final de 5.217.114.225 Gs.

La Tabla 7 sintetiza los resultados de los indicadores financieros clave.

VAN	Gs. 1,026,965,606.25
TIR	16.28 %

Tabla 7: Indices financieros del proyecto

El Valor Actual Neto (VAN) positivo confirma que, al considerar la tasa de descuento empleada en el análisis, el proyecto genera un excedente por encima de la inversión inicial, lo que lo hace económicamente rentable. Por su parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) de 16,28 % indica que el proyecto ofrece un rendimiento superior a la tasa de descuento utilizada (12 %)[4], reforzando su viabilidad financiera. Estas cifras, en conjunto, muestran que la propuesta no solo mejora la infraestructura y calidad del servicio eléctrico, sino que también ofrece un retorno competitivo para la inversión realizada.

4. Conclusiones y recomendaciones

En función de los objetivos propuestos para la optimización del alimentador PPE-04 en el departamento de Guairá, se obtuvieron los siguientes resultados y reflexiones:

A partir de la recolección de datos de campo, registros de SCADA y el historial de mantenimientos, se logró un diagnóstico detallado de la situación actual del alimentador. El estudio de los perfiles de carga y la simulación eléctrica en CYME 9 evidenciaron desequilibrios de fases, factores de potencia inferiores al 0,95 y períodos de sobrecarga que comprometerían la calidad del servicio. Asimismo, se determinaron las secciones de línea más críticas en términos de caídas de tensión y se cuantificaron las pérdidas en escenarios de máxima demanda.

Con base en el diagnóstico, se propusieron varias soluciones para mejorar la capacidad y estabilidad del alimentador. Entre ellas destacó la redistribución de cargas mediante la creación de un nuevo alimentador (PPE-13), la instalación de bancos de capacitores y el balanceo de cargas monofásicas. Estas alternativas fueron modeladas y evaluadas en distintas simulaciones, confirmando que la combinación de medidas de refuerzo de la red con la adecuada corrección del factor de potencia redujo significativamente las pérdidas e incrementó los niveles de tensión en tramos críticos. La construcción del alimentador PPE-13, en particular, permitió descargar PPE-04 en zonas de alta demanda, contribuyendo de forma decisiva a mejorar la confiabilidad y evitar sobrecargas en el mediano plazo.

Se llevó a cabo un estudio económico que contempló las inversiones iniciales en materiales y mano de obra, así como los beneficios derivados de la reducción de pérdidas técnicas y de posibles penalizaciones por bajo factor de potencia. El cálculo de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) confirmó la viabilidad de las intervenciones; en el horizonte de cinco años considerado, los ahorros estimados superan el costo total de las obras, respaldando la rentabilidad del proyecto y su contribución a la sostenibilidad de la red de distribución.

En conjunto, las acciones emprendidas responden de manera satisfactoria a los objetivos del proyecto, puesto que optimizan el desempeño del alimentador PPE-04, incrementan la

estabilidad y la confiabilidad de la red, y disminuyen las pérdidas asociadas al transporte de energía. Gracias a la integración de los aspectos técnicos, económicos y operativos, la propuesta se erige como un paso sólido hacia la modernización de la infraestructura eléctrica en el departamento de Guairá, sentando las bases para futuras ampliaciones que acompañen el crecimiento de la demanda.

4.1. Recomendaciones

Con la realización de este trabajo se llega a las siguientes recomendaciones:

- Se sugiere llevar a cabo un mantenimiento preventivo periódico en los nuevos tramos y equipos instalados, a fin de prevenir sobrecargas y fallas imprevistas.
- Es aconsejable ampliar la vigilancia de los indicadores de calidad de servicio (tensión, factor de potencia, pérdidas) mediante mediciones sistemáticas y un mayor uso de herramientas de monitoreo en línea.
- Debe mantenerse un balance continuo de las cargas monofásicas, revisando la distribución al menos una vez al año, o cuando se incorporen nuevas demandas importantes.
- La instalación y optimización de bancos de capacitores y otros sistemas de compensación reactiva debe actualizarse conforme se incrementen las cargas, buscando mantener un factor de potencia igual o superior a 0,95.
- La construcción del alimentador PPE-13 constituye solo la primera fase de modernización; se recomienda planificar una segunda etapa de expansión si se prevé un crecimiento acelerado de la demanda.
- Se aconseja la repotenciación y protección de tramos adicionales en zonas con alto índice de fallas o con potencial desarrollo urbano e industrial.

Referencias

- [1] CYME International, *CYME Power Engineering Software User Guide*, Saint-Bruno-de-Montarville, Canadá, 2020, versión 9.
- [2] *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, IEEE Std., 2009, IEEE Std 1159-2009.
- [3] Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), “Informe sobre la expansión de la red de distribución en el departamento de Guairá,” Informe oficial, Asunción, Paraguay, 2022.
- [4] B. Mundial, “Programa de las naciones unidas para el desarrollo (pdnu)” programa de mejoramiento de la eficiencia del sector eléctrico,” *Reducción de pérdidas en la distribución de la electricidad Ecuador*, 1992.

Apéndices

A. Relevamiento y procesamiento de datos

A.1. Datos de demanda

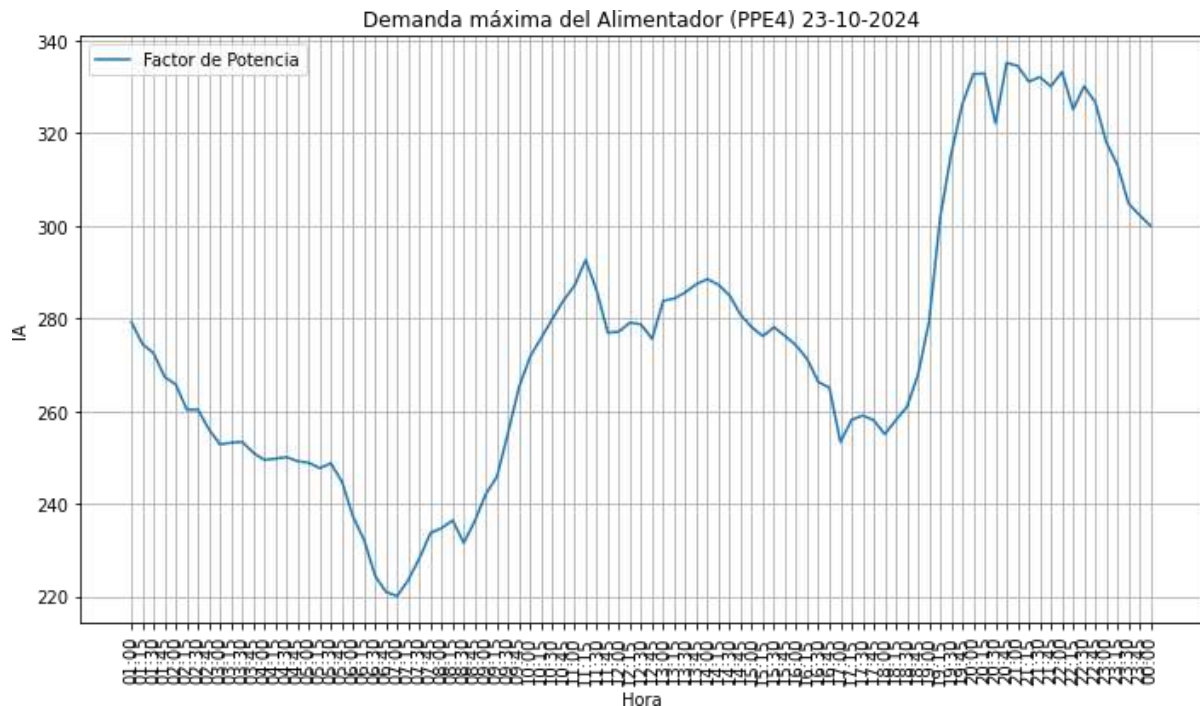


Figura 11: Demanda máxima del día 23-10-2024

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
ppe4_data = pd.read_csv("ppe4_23102024.csv")
# Calculate power factor for PPE4
ppe4_data['Power Factor'] = ppe4_data['P__ACTIVA'] / np.sqrt(
ppe4_data['P__ACTIVA']**2 + ppe4_data['P__ REACTIVA']**2
)

# Calculate mean power factor and hour of maximum demand
mean_power_factor_ppe4 = ppe4_data['Power Factor'].mean()
```

```
max_demand_index_ppe4 = ppe4_data['P_ACTIVA'].idxmax()
hour_max_demand_ppe4 = ppe4_data.loc[max_demand_index_ppe4, 'FechaGMT1']
max_demand_value_ppe4 = ppe4_data['P_ACTIVA'].max()

# Calculate utilization factor for PPE4
installed_capacity_ppe4 = 21565    # kVA
utilization_factor_ppe4 = max_demand_value_ppe4*1000 / installed_capacity_ppe4

# Plot Power Factor for PPE4
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(ppe4_data['FechaGMT1'], ppe4_data['Power Factor'], label='Factor de Potencia')
plt.axhline(y=mean_power_factor_ppe4, color='r', linestyle='--', label='Valor Medio')
plt.title('Factor de Potencia del Alimentador (PPE4)')
plt.xlabel('Hora')
plt.ylabel('Factor de Potencia')
plt.xticks(rotation=90)
plt.legend()
plt.grid()
plt.tight_layout()
plt.show()

mean_power_factor_ppe4, hour_max_demand_ppe4, max_demand_value_ppe4, utilization_fact
```

A.1.1. Proyección de demanda

```
from dotenv import load_dotenv
import os
from pymongo import MongoClient
import datetime
```

```
load_dotenv()
```

```
string_conexion_centro = (os.environ.get("CENTRO_db"))
```

```
def hoy():
```

```
    fecha_a = datetime.datetime.today()
```

```
    año = fecha_a.year
```

```
    mes = fecha_a.month
```

```
    dia = fecha_a.day
```

```
    hora = fecha_a.hour
```

```
    return hora, dia, mes, año
```

```
def date_hoy():
```

```
    fecha_a = datetime.datetime.today()
```

```
    fecha_str = fecha_a.strftime('%d/%m/%Y')
```

```
    return fecha_str
```

```
import pandas as pd
```

```
al_pos = f"E_AL0{4}"
```

```
client = MongoClient(string_conexion_centro)
```

```
coleccion= client.demanda.es
```

```
docu = list(coleccion.find({"ESTACION": "PPE", "POSICION": al_pos}))
```

```
df = pd.DataFrame(docu)
```

```
df["date"] = pd.to_datetime(df['FechaGMT'], format="%d/%m/%Y %H:%M")
```

```
df = df.sort_values("date")
```

```
df = df.reset_index(drop=True)
```

```
df = df.drop(['_id'], axis=1)
```

```
df["Maximo"] = df[["CORRIENTE_R", "CORRIENTE_S", "CORRIENTE_T"]].max(axis=1)
```

```
import pandas as pd
```

```
import numpy as np
from sklearn.linear_model import LinearRegression
import matplotlib.pyplot as plt

# -----
# Supongamos que partimos de un DataFrame "df" con:
# - 'date': fecha (datetime), indexado
# - 'Maximo': corriente máxima (entre R, S y T) en cada muestreo.
# -----

# 1. Aseguramos que 'date' sea el índice:
df.set_index('date', inplace=True)

# 2. Calculamos el máximo mensual de la columna 'Maximo'
# Utilizamos resample('M') que agrupa por fin de mes
df_monthly = df['Maximo'].resample('M').max().reset_index()

# 3. Creamos un índice de mes para usar en la regresión
df_monthly = df_monthly.sort_values('date').reset_index(drop=True)
df_monthly['month_idx'] = np.arange(len(df_monthly))

# 4. Definimos X (mes) e y (corriente máxima mensual)
X = df_monthly[['month_idx']]
y = df_monthly['Maximo'].values

# 5. Ajuste de la regresión lineal
model = LinearRegression()
model.fit(X, y)

slope = model.coef_[0]
intercept = model.intercept_
```

```
# 6. Predicción central (sin desviación)
```

```
y_pred = model.predict(X)
```

```
# 7. Cálculo de la desviación estándar de los residuales
```

```
residuals = y - y_pred
```

```
std_resid = np.std(residuals)
```

```
print(f"Slope (pendiente): {slope:.2f}")
```

```
print(f"Intercept (intersección): {intercept:.2f}")
```

```
print(f"Desviación estándar de los residuales: {std_resid:.2f}")
```

```
# 8. Línea de regresión superior (regresión + desviación estándar)
```

```
y_pred_upper = y_pred + std_resid
```

```
# 9. Cálculo del índice de mes para 360 A en la Línea superior
```

```
# 360 = slope * x + intercept + std_resid
```

```
target_current = 360
```

```
month_to_reach_360_upper = (target_current - intercept - std_resid) / slope
```

```
print(f"Índice de mes para alcanzar 360 A (límite superior): {month_to_reach_360_upper}")
```

```
# 10. Cálculo de la fecha aproximada
```

```
start_date = df_monthly.loc[0, 'date']
```

```
month_idx_int_upper = int(np.floor(month_to_reach_360_upper))
```

```
predicted_date_upper = start_date + pd.DateOffset(months=month_idx_int_upper)
```

```
print(f"Fecha aproximada (límite superior) en que podría alcanzarse 360 A: {predicted_date_upper}")
```

```
# 11. Gráfica
```

```
plt.figure(figsize=(20,6))
```

```
plt.scatter(df_monthly['month_idx'], df_monthly['Maximo'], color='blue',
label='Máximo mensual observado')
plt.plot(df_monthly['month_idx'], y_pred, color='red',
label='Regresión lineal (central)')
plt.plot(df_monthly['month_idx'], y_pred_upper, color='orange', linestyle='--',
label='Regresión + 1 std (límite superior)')
plt.axhline(y=360, color='green', linestyle='--', label='Límite 360 A')

plt.title('Proyección de Corriente con Límite Superior (Mensual)')
plt.xlabel('Índice de Mes')
plt.ylabel('Corriente Máxima Mensual [A]')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

output:

Slope (pendiente): 1.04

Intercept (intersección): 288.82

Desviación estándar de los residuales: 29.73

Índice de mes para alcanzar 360 A (límite superior): 39.88

Fecha aproximada (límite superior) en que podría alcanzarse 360 A: 2026-04-30

```
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Clean column names for easier access
data = pd.read_excel("datos kw voltaje.xlsx")
data.columns = ['Length_km', 'Active_Power_kW', 'Voltage_Profile_B']

# Create a 3D scatter plot
```

```
fig = plt.figure(figsize=(10, 8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')

# Plot the data
scatter = ax.scatter(
    data['Length_km'], data['Active_Power_kW'], data['Voltage_Profile_B'],
    c=data['Voltage_Profile_B'], cmap='viridis', s=50
)

# Add labels and a color bar
ax.set_title('Longitud, Potencia activa y Voltaje', fontsize=20)
ax.set_xlabel('Longitud (km)', fontsize=12)
ax.set_ylabel('Pot. Activa (kW)', fontsize=12)
ax.set_zlabel('Voltaje (V)', fontsize=12)
fig.colorbar(scatter, ax=ax, label='Perfil de tensión (V)')

plt.tight_layout()
plt.show()
```

B. Escenario inicial

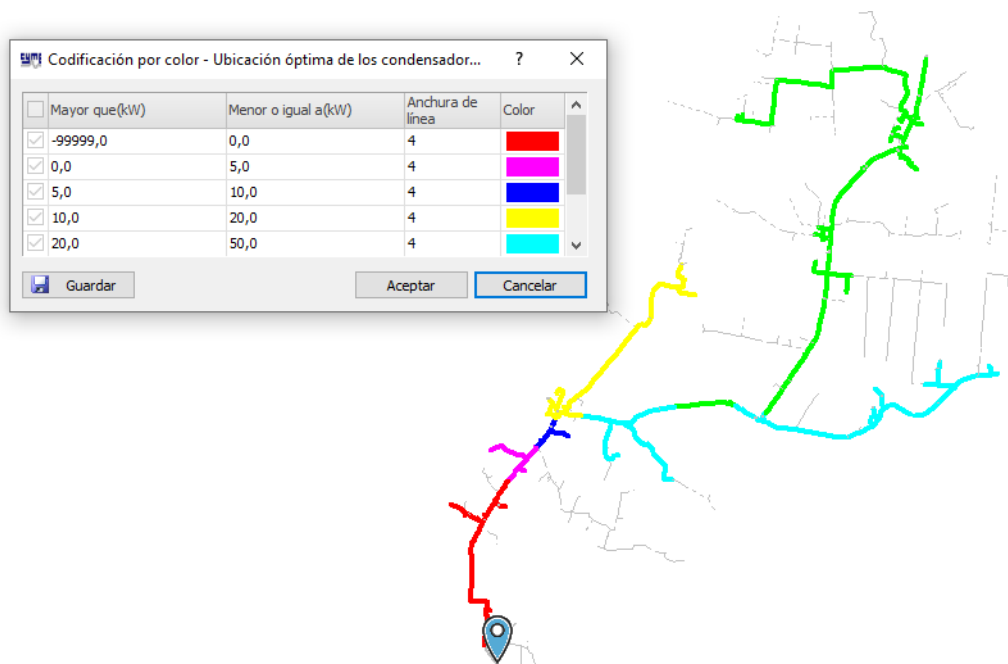


Figura 12: Ubicaciones preferenciales de capacitores

C. Alimenatador PPE13



Figura 13: Toma de carga del alimentador PPE13

Análisis y propuesta de mejora de la infraestructura eléctrica en el alimentador PPE-04 del departamento de Guairá

Alimentador: PPE04
 Fuente: NODO_PPE04_66_IN
 Tensión de fuente: 23,60 kVLL, -120,00 Grad.

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	6,442	2,100	6,776	095
Generadores	000	000	000	000
Producción total	6,442	2,100	6,776	095
Carga leída (no regulada)	6,236	2,033	6,559	095
Carga utilizada (regulada)	6,235	2,032	6,558	095
Condensadores shunt (regulados)	000	000	000	000
Reactancias shunt(reguladas)	000	000	000	000
Motores	000	000	000	000
Cargas totales	6,235	2,032	6,558	095
Capacitancia del cable	000	000	000	000
Capacitancia de la línea	000	-144	144	000
Capacitancia shunt total	000	-144	144	000
Pérdidas en las líneas	190	192	270	070
Pérdidas en los cables	017	020	026	065
Pérdidas de carga del transformador	000	000	000	000
Pérdidas en vacío del transformador	000	000	000	000
Pérdidas totales	207	212	296	070

Tabla 8: Resumen de cargas PPE4

Alimentador: PPE13

Fuente: 1

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

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	5,158	1,504	5,373	096
Generadores	000	000	000	000
Producción total	5,158	1,504	5,373	096
Carga leída (no regulada)	4,675	2,200	5,167	090
Carga utilizada (regulada)	4,672	2,201	5,165	090
Condensadores shunt (regulados)	000	-1,134	1,134	000
Reactancias shunt(reguladas)	000	000	000	000
Motores	000	000	000	000
Cargas totales	4,672	1,066	4,792	097
Capacitancia del cable	000	000	000	000
Capacitancia de la línea	000	-080	080	000
Capacitancia shunt total	000	-080	080	000
Pérdidas en las líneas	389	406	562	069
Pérdidas en los cables	097	112	148	065
Pérdidas de carga del transformador	000	000	000	000
Pérdidas en vacío del transformador	000	000	000	000
Pérdidas totales	486	518	710	068

Tabla 9: Resumen de cargas PPE13

Análisis y propuesta de mejora de la infraestructura eléctrica en el alimentador PPE-04 del departamento de Guairá

Nombre alim.	Nombre del tramo	Id equipo	Código	Carga A (%)	Potencia de paso A (kW)	Potencia de paso A (kvar)	VA (%)
PPE04	TRAMO_PPE04 17026	DEFAULT	Interruptor automático	15	2,343	752	103
PPE04	TRAMO_PPE04 17069	SC_ANDE	Interruptor seccionador	30	2,341	750	103
PPE04	102	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	00	00	000
PPE04	105	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	00	00	000
PPE04	TRAMO_PPE04 17071	SC_ANDE	Interruptor seccionador	30	2,334	743	102
PPE04	TRAMO_PPE04 17034	SC_ANDE	Interruptor seccionador	18	1,415	430	101
PPE04	TRAMO_PPE04 17171	TAVRIDA ANDE	Reconectador	15	1,122	334	101
PPE04	TRAMO_PPE04 16970	SC_ANDE	Interruptor seccionador	13	1,020	296	100
PPE04	TRAMO_PPE05 18981	TAVRIDA ANDE	Reconectador	01	52	17	100
PPE04	TRAMO_PPE05 18984	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	36	12	100
PPE04	TRAMO_PPE05 18801	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	00	00	100
PPE04	TRAMO_PPE05 19118	TAVRIDA ANDE	Reconectador	00	00	00	000
PPE04	TRAMO_PPE04 17147	SC_ANDE	Interruptor seccionador	01	50	12	100
PPE04	TRAMO_PPE04 17417	TAVRIDA ANDE	Reconectador	11	827	239	099
PPE04	TRAMO_PPE04 17427	SC_ANDE	Interruptor seccionador	11	800	232	097
PPE04	TRAMO_PPE04 17429	SC_ANDE	Interruptor seccionador	10	778	224	097
PPE04	126	TAVRIDA ANDE	Reconectador	01	81	21	097
PPE04	122	SC_ANDE	Interruptor seccionador	01	65	18	097
PPE04	139	SC_ANDE	Interruptor seccionador	01	44	13	097
PPE04	146	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	34	11	097
PPE04	199	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	00	00	000
PPE04	172	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	00	00	000
PPE04	TRAMO_PPE04 17246	SC_ANDE	Interruptor seccionador	09	696	203	097
PPE04	TRAMO_PPE04 17431	TAVRIDA ANDE	Reconectador	09	688	200	097
PPE04	TRAMO_PPE04 17502	SC_ANDE	Interruptor seccionador	00	09	06	095

Tabla 10: cargas de equipos PPE4

Nombre alim.	Nombre del tramo	Id equipo	Código	Carga A (%)	Potencia de paso A (kW)	Potencia de paso A (kvar)	VA (%)
PPE13	515	REG-200A	Regulador	66	1,616	413	105
PPE13	TRAMO_PPE04 17526	200 KVAR	Condensador shunt	96	1,575	380	102
PPE13	TRAMO_PPE04 17310	SC_ANDE	Interruptor seccionador	20	1,543	554	101
PPE13	TRAMO_PPE04 17529	SC_ANDE	Interruptor seccionador	20	1,542	554	101
PPE13	TRAMO_PPE04 17573	TAVRIDA ANDE	Reconectador	12	942	126	100
PPE13	TRAMO_PPE04 17617	SC_ANDE	Interruptor seccionador	10	776	196	100
PPE13	TRAMO_PPE04 17560	SC_ANDE	Interruptor seccionador	02	73	-139	100
PPE13	TRAMO_PPE04 17575	SC_ANDE	Interruptor seccionador	02	15	-181	100
PPE13	TRAMO_PPE04 17556	200 KVAR	Condensador shunt	93	15	-181	100
PPE13	TRAMO_PPE04 17243	SC_ANDE	Interruptor seccionador	07	467	343	101

Tabla 11: cargas de equipos PPE13

D. Análisis financiero

En esta sección se estudia el flujo de caja de la implementación de la alternativa seleccionada.

Crecimiento esperado		Venta incremental.		B1
AÑO	kW - incremental	Kw	kWh	
0	24150	500		0
1.00	25,719.75	1,034.88	9,065,505.00	2,819,372,055.00
2.00	27,391.53	1,870.77	16,387,917.83	5,096,642,443.58
3.00	29,171.98	2,760.99	24,186,287.48	7,521,935,407.41
4.00	31,068.16	3,709.08	32,491,551.17	10,104,872,413.89
5.00	33,087.59	4,718.80	41,336,657.00	12,855,700,325.79

Tabla 12: Ventas esperadas en el año

Se considera la venta a un costo general de 322 gs. el kwh. En la tabla 13 se aprecia el monto a obtener por año considerando los beneficios de la aplicación de las alternativas.

AHORRO PERDIDAS				
AÑO	kW	kWh		B2
0				
1.00	1,111.00	2,798,053.50		643,552,305.00
2.00	1,111.00	2,798,053.50		643,552,305.00
3.00	1,111.00	2,798,053.50		643,552,305.00
4.00	1,111.00	2,798,053.50		643,552,305.00
5.00	1,111.00	2,798,053.50		643,552,305.00

Tabla 13: Beneficios por recuperación de ENS

COMPRA DE ENERGÍA			
AÑO	KW	KWH	E1
1.00	1,034.88	9,065,505.00	2,085,066,150.00
2.00	1,870.77	16,387,917.83	3,769,221,099.75
3.00	2,760.99	24,186,287.48	5,562,846,121.23
4.00	3,709.08	32,491,551.17	7,473,056,769.11
5.00	4,718.80	41,336,657.00	9,507,431,109.11

Tabla 14: Costo de adquisición de la energía

	Beneficio	Costo	Año	Flujo neto	Van Acumulativo
0			-	-7,901,548,697	
1	3,462,924,360	2,105,066,150	1	1,357,858,210	-6543690487
2	5,740,194,749	3,789,221,100	2	1,950,973,649	-4592716838
3	8,165,487,712	5,582,846,121	3	2,582,641,591	-2010075247
4	10,748,424,719	7,493,056,769	4	3,255,367,950	1245292703
5	13,499,252,631	9,527,431,109	5	3,971,821,522	5217114225

Tabla 15: Flujo de caja