

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: -----

Dedicatoria:

Mi padre Oscar Céspedes, por ser mi ejemplo a seguir ayudándome siempre a lo largo de mi trayectoria estudiantil y profesional, demostrándome que no importa las adversidades que se presenten, con dedicación y sacrificio no hay metas imposibles.

Mi madre María Aguilera, por su amor incondicional y paciencia, y enseñarme que ser un buen profesional es importante, pero ser una buena persona es esencial, pues el éxito en la carrera se mide con logros, pero el éxito en la vida se mide mediante las huellas que dejamos en los corazones de los demás.

Mis hermanos, Liz y Oscar, por creer en mí y ser fuente de inspiración y superación.

Compañeros y amigos, por las veces que me tendieron la mano de manera desinteresada y no haberme dejado solo en todos estos años de estudio.

Agradecimientos

En primer lugar, a mi tutor de tesis Prof. Ingeniero Luis Rodríguez Alum, por su invaluable orientación y apoyo durante todo el proceso de desarrollo de este proyecto, por sus recomendaciones y propuestas que han sido fundamentales para mi crecimiento académico y el logro de este importante hito.

En segundo lugar, al Ingeniero Moises Britez, por compartir sus conocimientos y experiencias, guiándome a encontrar soluciones creativas a los desafíos que se presentaban, sin su apoyo y aportaciones en este tramo final no hubiera sido posible la culminación de este trabajo.

Por último, pero no menos importante, un entero agradecimiento a mis profesores y a esta prestigiosa universidad, la cual me acogió en sus aulas por todos estos años.

Resumen

Los alimentadores de media tensión en 23 kV, son el ente fundamental en la distribución de energía eléctrica desde los centros de transformación a los diferentes puntos de una región donde se sirven a los clientes, este servicio destaca por dos parámetros que indican nivel de tensión e índices de desequilibrio de voltaje. Este trabajo tiene como objetivo central la propuesta de alternativas para mejorar estos índices y asimismo llevar a cabo un estudio de flexibilidad operativa de los alimentadores ELA-3 y ELA-4. Primeramente se relevaron y evaluaron datos característicos de estos alimentadores, para realizar consecuentemente simulaciones utilizando el software CYME, proponiendo dos alternativas, las cuales consistieron en la regulación de tensión y mejoras en estas redes, se obtuvo resultados dentro de los límites establecidos en ambos escenarios, como criterio para seleccionar la mejor alternativa se tuvo en cuenta además de los índices mencionados, los niveles de pérdidas técnicas y el crecimiento de la demanda. Por otro lado, se propuso la utilización de equipos de maniobras para mejorar la operación en regímenes de contingencias, encontrando una recuperación de carga mínima del 24 %.

Palabras claves: Media tensión, Desbalance de tensión, Niveles de tensión, Operación.

Abstract

The medium voltage feeders at 23 kV are the fundamental entity in the distribution of electrical energy from the transformation centers to different points in a region where customers are served. This service stands out for two parameters that indicate voltage level and voltage imbalance indices. The main objective of this work is to propose alternatives to improve these indices and also carry out a study of operational flexibility for the ELA-3 and ELA-4 feeders. Firstly, characteristic data of these feeders were surveyed and evaluated to subsequently perform simulations using CYME software. Two alternatives were proposed, which consisted of voltage regulation and network improvements. Results were obtained within the established limits in both scenarios. As a criterion for selecting the best alternative, in addition to the mentioned indices, technical losses levels and demand growth were also taken into account. On the other hand, the use of maneuvering equipment was proposed to improve operation in contingency situations, resulting in a minimum load recovery of 24 %.

Key words: Medium tension, Tension unbalance, Tension levels, Operation.

Índice general

1. Introducción	1
I Revisión Bibliográfica	3
2. Marco teórico	4
2.1. Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)	4
2.1.1. Generación	4
2.1.2. Transmisión	5
2.1.3. Sistema de Distribución	5
2.2. Generalidades de los Sistemas de Distribución	6
2.3. Clasificación de las Redes de Distribución primaria	7
2.3.1. Redes de Distribución Aéreas	7
2.3.2. Tipos de redes Aéreas	10
2.3.3. Redes Primarias de Distribución	12
2.3.4. Configuración de los Sistemas de Distribución Primarios	13
2.4. Regulación de Tensión en líneas de Distribución	16

2.4.1.	Métodos de corrección de los niveles de tensión en redes de distribución	19
2.4.2.	Banco de capacitores	20
2.4.3.	Instalación de Auto-booter	21
2.4.4.	Instalación de Reguladores de Tensión	22
2.4.5.	Cambio de conductores	28
2.4.6.	Construcción de nuevos alimentadores	28
2.4.7.	Elevación de la tensión nominal del circuito	28
2.4.8.	Regulación en barras de la Estación alimentadora	29
2.4.9.	Construcción de nuevas Estaciones Eléctricas	29
2.5.	Introducción al software de Simulación de Redes eléctricas de Distribución CYMDIST	30
2.6.	Calidad del suministro Eléctrico	33
2.6.1.	Suministro Eléctrico	34
2.6.2.	Distribuidora	34
2.6.3.	Calidad del Suministro	34
2.6.4.	Parámetros de Calidad Vigentes a Nivel Regional	36
2.7.	Métodos de Evaluación Económica	40
2.7.1.	Análisis costo/beneficio	40
2.7.2.	Flujo de caja proyectada	41
2.7.3.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	41
2.7.4.	Valor Presente Neto (VPN)	42

2.7.5. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)	42
II Resumen Ejecutivo	44
3.	45
3.1. Descripción del trabajo	45
3.1.1. Métodos y Técnicas utilizadas	45
3.2. Justificación	45
3.3. Finalidad del proyecto	46
3.4. Metas	46
3.5. Objetivos	47
3.5.1. Objetivo general	47
3.5.2. Objetivos específicos	47
3.6. Beneficiarios	47
3.7. Producto	48
3.8. Localización física y cobertura espacial	48
3.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas	48
3.10. Recursos necesarios	49
3.10.1. Recursos humanos	49
3.10.2. Recursos materiales	49
3.11. Costos	49
3.12. Beneficios	50

3.13. TIR y VAN	50
III Ingeniería de Diseño	52
4. Relevamiento de datos	53
4.1. Análisis de demanda	53
4.2. Relevamiento de cargas y líneas	57
5. Propuesta de alternativas	60
5.1. Escenario base	60
5.1.1. ELA-3 perfil base	61
5.1.2. ELA-4 perfil base	62
5.2. Regulación de tensión	64
5.2.1. Balance de carga	64
5.2.2. Banco de capacitores	66
5.2.3. Regulador de tensión	66
5.3. Mejoras de los alimentadores	67
5.4. Flexibilidad operativa	70
5.4.1. Equipos telecomandados	71
5.4.2. Bloques de carga e instalación de equipos	72

IV	75
6. Resultados y Discusión	76
7. Conclusiones	78
8. Recomendaciones	79
Apéndice	79
A. Apéndices	80
A.1. Relevamientos	80
A.2. Simulaciones	84
A.2.1. Escenario base	84
A.2.2. Regulación de tensión	85
A.2.3. Mejoras en el alimentador	88
A.2.4. Flexibilidad operativa	90
A.3. Análisis financiero	93
Referencias	95

Lista de abreviaturas

- MT: Media tensión.
- FP: Factor de potencia.
- SC: Seccionador cuchilla.
- ETC: Equipo tele-comandado.
- KV: Kilo voltios.
- KW: Kilo watts.
- KVA: Kilo volt-amper.
- KVAr: kilo Volt-amper reactivo.
- RT: Regulador de tensión.
- BC: Banco de capacitores.
- ANDE: Administración Nacional de Electricidad.
- ES-ELA: Estación Eusebio Ayala.
- ETC: Equipos Telecomandados.

Glosario de términos

Alimentador: Componente de la red de media tensión que, derivada directamente de la estación, constituida por la troncal y los ramales.

Troncal de alimentador: Parte principal del alimentador, derivada directamente de la subestación, caracterizada por la mayor sección de los conductores.

Estación: Conjunto de instalaciones electromecánicas que sirve para transformar la energía eléctrica en sus valores de tensión y de corriente (elevando o disminuyendo), manteniendo constante el valor de la frecuencia.

Conductores: Material eléctrico que ofrece poca resistencia al paso de la electricidad. Alambre o cordón compuesto por varios alambres, destinado a transmitir la electricidad.

Carga: Cantidad de potencia dada o recibida en un punto sobre un intervalo de tiempo.

Tensión: La tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

Perfil de tensión: Conjunto de configuraciones de frecuencia y tensión eléctrica que define los parámetros de funcionamiento aceptables de operación de la red que asegura el cumplimiento normativo y la interoperabilidad con la empresa pública de servicio eléctrico.

Contingencia: Realización de maniobras que cambian el estado de los componentes del sistema eléctrico realizado en forma local, manual o tele-comandado, con el propósito de modificar el estado o condición de funcionamiento de los mismos.

Explotación: Conjunto de elementos o instalaciones destinados a sacar provecho de un producto final brindado u ofrecido.

Índice de tablas

2.1. Posibilidades de Regulación porcentual de tensión en base a corriente circulante	24
2.2. Reguladores de tensión utilizados en la ANDE	24
2.3. Variación porcentual de tensión en distintos niveles de tensión	38
2.4. Límite de desequilibrio porcentual de tensión	39
3.1. Costos de mejoras en los alimentadores	50
3.2. Flujo de caja de la alternativa propuesta	51
5.1. Maniobras de contingencia, ELA-3 y ELA-4	74
A.1. Resumen de demanda del alimentador ELA-3	80
A.2. Resumen de demanda del alimentador ELA-7	80
A.3. Conductores del alimentador ELA-3	82
A.4. Conductores del alimentador ELA-4	82
A.5. Carga conectada	83
A.6. Resumen de mejoras de pérdidas en regulación de tensión	88
A.7. Venta de energía ELA-3 y ELA-4	93

A.8. Ahorro en pérdidas	94
A.9. Compra de la energía anual	94

Índice de figuras

2.1. Esquema del sistema radial simple	14
2.2. Sistema radial con recurso	15
2.3. Elevación de tensión mediante capacitores en derivación	21
2.4. Cambiador de taps del regulador de tensión	23
2.5. Esquema de conexión y desfase de la conexión en estrella	25
2.6. Esquema de conexión y desfase angular de la conexión en triángulo cerrado	26
2.7. Esquema de conexión y desfase angular de conexión triángulo abierto . . .	27
2.8. Entorno del programa Cymdist	31
4.1. Demanda máxima ELA-3	54
4.2. Demanda máxima ELA-7	54
4.3. Descomposición temporal ELA-3	55
4.4. Descomposición temporal ELA-7	55
4.5. Demanda máxima ELA-4	56
4.6. Recorrido de los alimentadores ELA-3 y ELA-4	58
5.1. Perfil de tensión en escenario base del ELA-3	61

5.2.	Perfil de desbalance de tensión ELA-3, base	61
5.3.	Perfil de tensión en escenario base del ELA-4	62
5.4.	Perfil de desbalance de tensión ELA-4, base	63
5.5.	Desequilibrio de tensión ELA-4 posterior al balance de carga	65
5.6.	Perfil de tensión del ELA-3 posterior al balance de carga	65
5.7.	Perfil de tensión ELA-4, con regulador de tensión	66
5.8.	Perfil de tensión del ELA-3, mejoras	69
5.9.	Perfil de tensión del ELA-4, mejora	70
5.10.	Equipo telecomandado, instalado por ANDE	72
5.11.	Propuesta de instalación de equipos telecomandados	73
A.1.	Descomposición temporal de la demanda del ELA-4	81
A.2.	Calibres de conductores troncales de los alimentadores ELA-3 y ELA-4	81
A.3.	RT y BC sobre el alimentador ELA-3	83
A.4.	Capacidad del conductor vs corriente, ELA-3	84
A.5.	Capacidad del conductor vs corriente, ELA-4	84
A.6.	Valores en cabeceras de alimentadores	85
A.7.	Balance de carga, resultados	85
A.8.	Ubicación óptima de BC sobre el ELA-4	86
A.9.	Niveles de tensión y ubicación de RT, ELA-4	87
A.10.	Desequilibrio de voltaje ELA-4 posterior al RT	87
A.11.	Cambio de conductor troncal del ELA-3	88

A.12.Cambio de conductor ELA-4 y transferencia de bloque de carga	89
A.13.Densidad de carga conectada	90
A.14.Escenario inicial de equipos de maniobra y protección	91
A.15.Perfil de tensión del ELA-3 en contingencia	91
A.16.Desequilibrio de voltaje en tranferencia máxima del ELA-3	92
A.17.Perfil de tensión COV-14, contingencia	92
A.18.Carga sobre troncal de 70 mm ² , COV-14	93

Capítulo 1

Introducción

La Estación de Eusebio Ayala, ubicada en el departamento de Cordillera cuenta con 6 alimentadores actualmente, 2 de estos son los denominados ELA-3 y ELA-7 (actualmente ELA-4) los cuales abastecen de energía eléctrica a las ciudades de Valenzuela, Itacurubi de la Cordillera, Santa Elena y Mbokajaty. El desempeño de estos alimentadores actualmente no es el deseado pues presentan deficiencias en cuanto al producto técnico que ofrecen, concretamente en los niveles y balances de tensión ya que estos se encuentran fuera de los rangos exigidos por entes reguladores y la ANDE, sin mencionar que la confiabilidad brindada no es óptima pues la configuración existente no presenta una flexibilidad operativa la cual posibilite las transferencias de cargas para maniobras en caso de contingencias.

Como objetivo general se tiene la propuesta de alternativas para mejorar los niveles de tensión y desequilibrio de voltaje presentados en estos alimentadores y su flexibilidad operativa. Con lo cual se consigue mejorar estos niveles y la recuperación de cargas importantes en caso de eventos sobre los mismos, beneficiando a los clientes de esta región y la propia empresa mejorando la percepción por parte de sus usuarios. Se desarrollan tres líneas de investigación atacando parámetros de tensión y desequilibrio, seguido de una propuesta de mejora en la maniobrabilidad.

En el capítulo 2 se desarrollan los conceptos teóricos revisados para la elaboración de este proyecto.

En el capítulo 3 se proyecta el resumen ejecutivo donde se establecen las metodologías utilizadas para el logro de los objetivos, se desarrollan los análisis financieros sobre la alternativa seleccionada.

En el capítulo 4 se relevan todos los datos que caracterizan a las redes estudiadas, demanda, cargas y se evalúan buscando tendencias, periodicidad y ruidos en los datos demanda específicamente, se acuden a bases de datos comerciales para mejorar la actualización de cargas conectadas a la red.

En el capítulo 5, habiendo evaluado los datos se procede a realizar las simulaciones en escenario inicial y de las propuestas planteadas, también se propone la instalación de equipos con el objetivo de mejorar la operación y la recuperación ante eventos de fallas de estos alimentadores.

Parte I

Revisión Bibliográfica

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)

Definida como: Una red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas y/o líneas de transmisión de potencia, incluyendo el equipo asociado, conectado eléctricamente o mecánicamente a la red. Ha de entenderse, entonces, un SEP, como el conjunto de elementos que constituyen la red eléctrica de potencia siendo su función: Generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica hasta los usuarios, bajo ciertas condiciones y requerimientos.

2.1.1. Generación

La generación de la Energía Eléctrica se realiza en nuestro país en Centrales Eléctricas donde se produce la transformación de un tipo de energía primaria (hidráulica, térmica, solar, atómica, etc.) en otro tipo de energía secundaria, en este caso en Energía Eléctrica, por medio de unidades generadoras eléctricas. La Energía Eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) de la ANDE es de origen hidráulico casi en su totalidad, considerando la misma proviene de las Centrales hidroeléctricas de Itaipu, Yacyreta y Acaray.

Se cuenta también con centrales de generación de Energía Eléctrica provenientes de centrales térmicas, en donde se aprovecha la energía contenida en el vapor de agua, o la energía contenida en ciertos combustibles fósiles como el gas oil, fuel oil, etc. Así también su uso mayormente se da en casos eventuales de emergencia por diversas fallas temporales que puedan darse en el SIN. En otros países se puede encontrar la generación de energía a partir de Centrales eólicas, atómicas, entre otros; en nuestro país no son utilizadas este tipo de generación por parte de la ANDE.

2.1.2. Transmisión

La Energía Eléctrica generada en las Centrales Hidroeléctricas debe ser transportada hasta los puntos de consumo; gran parte de los puntos de consumo se encuentran alejados de las centrales de generación, este transporte de energía se realiza con tensiones elevadas considerando las distancias y por razones técnico- económicas, costos de estructuras y conductores.

Considerando los valores de tensión obtenidos a la salida del patio de maniobras: 220 kV y 500 kV, estos valores son utilizados en el sistema de transmisión de manera a poder llegar a los Centros de Distribución de manera a poder disminuir el nivel de tensión para la Sub-transmisión en 66 kV o para distribución primaria en 23 kV, de manera a suministrar energía eléctrica en Media Tensión para zonas urbanas, suburbanas y rurales.

2.1.3. Sistema de Distribución

Se encuentra formado por un conjunto de equipos que posibilitan energizar de manera segura y confiable una cantidad determinada de cargas, en distintos niveles de tensión. La red de media tensión es conocida también como red primaria y la tensión de suministro es de 23 kV.

Las redes de distribución pueden ser aéreas, subterráneas o mixtas predominando el tipo aéreo, principalmente considerando la diferencia de costos entre los tipos de redes. Los

usuarios de energía eléctrica en este nivel de tensión son las industrias de mediano y gran porte, comercio y residencias urbanas y rurales.

2.2. Generalidades de los Sistemas de Distribución

La distribución de energía eléctrica debe realizarse de tal manera que el cliente reciba un servicio continuo, sin interrupciones, con un valor de tensión adecuado que le permita operar sus aparatos eficientemente, y que la forma de onda senoidal sea pura, es decir que esté libre de armónicas. La distribución de energía eléctrica debe llevarse a cabo con redes bien diseñadas que soporten el crecimiento propio de la carga, y que además sus componentes sean de la mejor calidad para que resistan el efecto del campo eléctrico y los efectos de la intemperie a que se verán sometidas durante su vida útil. Las redes eléctricas deben ser proyectadas y construidas de manera que tengan la flexibilidad suficiente para ampliarse progresivamente con cambios mínimos en las construcciones existentes, y así asegurar un servicio adecuado y continuo para la carga presente y futura al mínimo costo de operación.

Los conceptos anteriores obligan al ingeniero de redes de distribución a guiarse en la toma diaria de decisiones, bajo una normatividad estricta, de tal manera que por citar un ejemplo; los calibres de los alimentadores no cambien continuamente, ni sean muy variados, y se prevea la ruta de las troncales con un cierto grado de confiabilidad que asegure no estar retirando ni cambiando cables continuamente. En lo que se refiere a la construcción y operación de las redes de distribución éstas deben construirse y operarse con personal especializado que realice estas actividades con calidad y de manera confiable. Cabe señalar que una red eléctrica bien diseñada, construida, mantenida y operada, es garantía de un buen servicio para el cliente [7].

2.3. Clasificación de las Redes de Distribución primaria

2.3.1. Redes de Distribución Aéreas

En las líneas aéreas los conductores podrán ser de cobre, aluminio u otras aleaciones que cuenten con las características eléctricas y mecánicas adecuadas; podrán ser desnudos, protegidos o aislados. Tendrán una tensión asignada en el caso del conductor protegido y aislado, mientras que en el conductor desnudo podrá ser utilizado en las líneas de media tensión o de baja tensión, indistintamente, solo debiendo considerar los aisladores requeridos para los diferentes niveles de tensión (MT o BT) [5].

De manera a alcanzar una mayor calidad en el servicio, el ente encargado de la distribución de la Energía Eléctrica debe analizar alternativas buscando aumentar la confiabilidad en el suministro a sus clientes. De esta manera podemos considerar a las redes protegidas como una buena opción a la hora de implementar líneas de distribución.

Las líneas aéreas de distribución primaria están constituidas por:

Interruptores de alimentadores.

Se encuentran ubicados en los locales de las Sub-Estaciones y pueden ser del tipo intemperie o del tipo interior. Los tipos de interruptores utilizados son de pequeño volumen de aceite (en la actualidad ya no se emplea este tipo de interruptor, pudiendo así que aun quede alguno en servicio) algunos con cámara de extinción de arco voltaico en hexafluoruro de Azufre (SF₆) e interruptores con cámara de extinción en vacío.

Columnas.

Las líneas de MT aéreas van sostenidas por columnas que pueden ser de acero o de hormigón armado.

Conductores

Las líneas aéreas utilizan conductores desnudos de aleación de aluminio o de cobre, de

distintas secciones normalizadas. Los cables subterráneos son también de aleación de aluminio o de cobre con aislación sintética (PVC reticulado) para los cables de 23 kV.

Estructuras.

Los conductores de las líneas aéreas van suspendidos y aislados de los sostenes por estructuras conformadas por crucetas de madera, aisladores de porcelana o de vidrio templado, con accesorios de fijación como ser las manos francesas, pernos de varias medidas, bulones, tuercas, arandelas, etc.

Seccionadores fusibles.

Son elementos de protección que operan en los casos de cortocircuito, produciendo la apertura del circuito bajo falla. Normalmente se instalan en las derivaciones y en las acometidas de usuarios con suministro en Media Tensión. El tipo más utilizado en líneas aéreas es el de expulsión.

Seccionadores de línea.

Son elementos de maniobra instalados sobre el troncal y en el ramal del alimentador y generalmente son del tipo cuchilla, siendo operables con tensión y carga, a través de un elemento de maniobra extintor del arco eléctrico, conocido como «loadbuster». Existen además los seccionadores «bajo carga» de accionamiento tripolar.

Seccionadores bajo carga.

Es el aparato mecánico de conexión, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales del circuito, incluyendo eventualmente condiciones específicas de sobrecarga, así como soportar, pero no interrumpir, por un lapso especificado, corrientes anormales, tales como las de cortocircuito.

Regulador de tensión.

Es un equipo eléctrico que tiene a la entrada una tensión eléctrica de un valor variable y mantiene a la salida una tensión regulada.

Reconectador.

Es un dispositivo de protección instalado sobre la troncal del alimentador o en ramales de cierta longitud y tiene la particularidad de responder a una curva corriente-tiempo de tipo hiperbólica definida, es decir que, al aumentar la corriente circulante por encima de un valor prefijado, el dispositivo abre sus contactos y vuelve a cerrar en un cierto tiempo (recierre). Esta operación puede repetirse hasta 3 veces; quedando abierto en forma permanente únicamente si persiste la avería, aislando así el tramo bajo falla.

Descargadores.

Se denominan, en general descargadores de sobretensión a los dispositivos destinados a descargar a tierra las sobretensiones producidas por; descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas, que se descargarían sobre los aisladores deteriorando el aislamiento, ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico y en muchos casos desperfectos en los transformadores.

Banco de capacitores.

Es un conjunto de capacitores que se encuentran interconectados con las líneas de manera a compensar la potencia reactiva generada a lo largo de la línea de distribución, pueden estar conectados de forma serie o paralelo, las líneas de distribución aérea primaria.

Seccionalizador.

Es un dispositivo que realiza la apertura del circuito eléctrico, es decir, abre sus contactos estando el circuito desenergizado, considerando que no tiene la capacidad de aislar la falla por sí solo; normalmente se lo utiliza en conjunto con un reconectador o algún dispositivo que tenga las funciones de reconexión (interruptores).

Malla de Puesta a Tierra.

La red de conexión a tierra suministra protección al equipo que puede quedar expuesto a tensiones peligrosas cuando se presentan fallas a tierra en la instalación. Estas tensiones dependen básicamente de 2 factores: La corriente de falla a tierra que depende del sistema de potencia al cual se conecta; y la resistencia de puesta a tierra de la malla que depende de la resistividad del suelo, del calibre de los conductores de la malla, su separación, su

profundidad de enterramiento y la resistividad superficial del piso.

La conexión a tierra siempre será verificada midiendo en todo caso la resistividad del terreno. Pueden ser construidas mallas de puesta a tierra, las cuales deben cumplir las siguientes condiciones:

- La variación de la resistencia, debido a cambios ambientales, debe ser tal que la corriente de falla a tierra, en cualquier momento, sea capaz de producir el disparo de las protecciones. Normalmente se toma el valor de la corriente de falla
- El tiempo máximo de duración de la falla en segundos se toma de los tiempos de operación de las curvas características de los fusibles.
- Al pasar la corriente de falla durante el tiempo máximo de falla, no deben existir calentamientos excesivos.
- Debe conducir las corrientes de falla sin provocar gradientes de potencial peligrosos entre puntos vecinos.
- Debe ser resistente a la corrosión [3].

2.3.2. Tipos de redes Aéreas

Red aérea compacta.

Son tendidos de líneas eléctricas aéreas donde se emplean conductores cubiertos en una configuración compacta, separados por espaciadores de forma romboidal y sustentados por un cabo mensajero, con esta configuración se aporta seguridad a las prestaciones con reducciones sustanciales en la salida de servicio, y la posibilidad de integrar ternas múltiples en los mismos postes.

Red aérea aislada.

Esta tecnología se presenta como opción para su utilización en redes de distribución. Se encuentra ampliamente empleada en Baja Tensión desde hace bastante tiempo con muy buen desempeño.

Las características del conjunto pre ensamblado a tener en cuenta se determinan considerando los requerimientos mecánicos, el clima de utilización, el vano medio, tipo de ubicación de postes, así también las condiciones de servicio.

Las líneas aéreas aisladas tienen un costo de inversión inicial mayor a las de los tipos desnudos o protegidos, pero cuenta a favor las ventajas técnicas que presenta, como ser menores costos de mantenimiento y un menor costo social por la reducción de cortes de servicio de Energía Eléctrica y protección del medio ambiente. Por lo que pueden ser consideradas técnica y económicamente aptas para el uso.

Red aérea con conductores desnudos.

Estos conductores deberán ser resistentes a las acciones de la intemperie, así como en caso de uniones o empalmes de materiales diferentes deberán de realizarse con materiales adecuados que impidan la corrosión. La elección del conductor desnudo para la instalación en un proyecto depende de un tema económico, involucrando a su vez los costos de instalación de la línea y a los requerimientos financieros relacionados con la operación del sistema (pérdida de energía, tasa de interés sobre el capital y amortizaciones).

En los conductores utilizados en líneas de MT, la proporción de Aluminio y Acero en la fabricación puede variar, de manera a obtener valores de alta capacidad de conducción y resistencia mecánica óptimas para el uso determinado.

Redes de Distribución Subterránea.

Se denominan líneas o redes de distribución subterráneas a aquellas en donde los conductores son instalados por debajo del nivel del suelo. Se diferencian de las líneas aéreas por los costos de instalación y mantenimiento, por lo que es necesario realizar ejecución de zanjas, señalización, conductores especiales, equipos electromecánicos; sin embargo, presentan la ventaja de que no resultan peligrosas o de que causen problemas en los centros urbanos, como así también a lo referente al ordenamiento estético dentro de las ciudades [4].

Los componentes de una línea subterránea son los siguientes:

Canalización (zanjas). Se entiende por canalización a la excavación a efectuarse dentro del área del proyecto, para la colocación de los conductos de energía y comando. Registros. Estructuras subterráneas visitable (con acceso a personal) ligada al banco de ductos en la cual se alojan los empalmes del cable de distribución (registro para empalme); se realizan los cambios de dirección de la trayectoria de la línea de distribución (registro de deflexión); y se realizan las transiciones aéreas-subterráneas (registro de transición).

Tapas de registros. Piezas sólidas que se aloja sobre la estructura (registro), que permite el acceso a su interior para manipular los cables.

Conductores. Componentes de un sistema, capaz de permitir el paso continuo de una corriente eléctrica cuando es sometido entre los dos puntos a una diferencia de potencial.

Sistema de puesta a tierra. Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que unen los equipos eléctricos con el suelo o terreno. Comprende la puesta a tierra y todos los elementos puestos a tierra.

Losetas de H° A°. Estructuras de hormigón rígida y plana que permite resistir las fuerzas mecánicas aplicadas [4].

Redes Mixtas.

Este sistema es muy parecido al sistema aéreo, siendo diferente únicamente en que los cables desnudos sufren una transición a cables aislados. Dicha transición se realiza en la parte alta del poste y el cable aislado es alojado en el interior de ductos para bajar del poste hacia un registro o pozo y conectarse con el servicio requerido. Este tipo de sistema tiene la ventaja de eliminar una gran cantidad de conductores, favoreciendo la estética del conjunto, disminuyendo notablemente el número de fallas en el sistema de distribución y por ende aumentando la confiabilidad del mismo [5].

2.3.3. Redes Primarias de Distribución

Son las encargadas de llevar la Energía Eléctrica desde los Centros de Distribución hasta los transformadores de distribución. Se encuentra compuesto por: la troncal y el ramal.

2.3.3.1. Troncal

Es el tramo de mayor capacidad del alimentador que transmite la energía eléctrica desde los Centros de Distribución de potencia a los ramales.

2.3.3.2. Ramal

Es la parte que, a través de un troncal, es energizado por el alimentador primario, y donde se encuentran conectados los transformadores de distribución. En general, son de calibre menor al troncal.

Los alimentadores primarios normalmente se estructuran en forma radial, en un sistema de este tipo la forma geométrica del alimentador semeja la de un árbol, donde por el grueso del tronco, el mayor flujo de la energía eléctrica se transmite por toda una troncal, derivándose a la carga a lo largo de los ramales.

2.3.4. Configuración de los Sistemas de Distribución Primarios

2.3.4.1. Sistemas Radiales

En la configuración radial, las ramificaciones emergen desde la canalización troncal de energía (recordando la forma de una antena o espina de pescado) sin cerrarse sobre sí misma ni regresar a la troncal. La confiabilidad del suministro de esta configuración es limitada. Al producirse una falla en la línea troncal interrumpe el flujo de energía hacia todos los consumidores dependientes del sistema.

Considerando diferentes factores como la longitud de líneas y cargas conectadas, el control del perfil de tensiones puede verse comprometido, pudiendo ser necesaria la inyección de potencia desde el terminal extremo. A la hora de evaluar el suministro en términos de continuidad en este tipo de redes, esta puede ser mejorada mediante una configuración y coordinación correcta de las protecciones en los ramales y la troncal, así como de las troncales entre sí. Sin embargo, la tendencia de estas redes es la de evolucionar hacia una

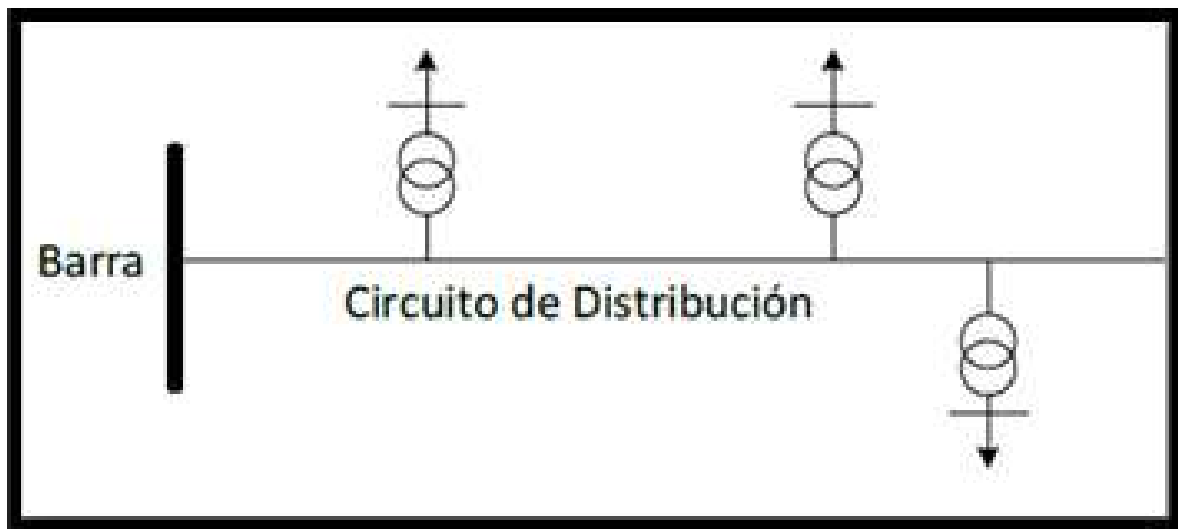


Figura 2.1: Esquema del sistema radial simple

configuración de red mallada [8].

La principal ventaja de un arreglo radial es que son simples y económicos, siendo su principal desventaja que cualquier problema generalmente deja a un número de usuarios fuera de servicio hasta que el problema se resuelva. Dentro de los sistemas radiales podemos encontrar los siguientes tipos.

Sistema radial simple Es aquel en el que el flujo de potencia tiene un solo sentido, de la fuente hacia la carga. Es el tipo más simple de alimentación y el más utilizado, pero presenta baja confiabilidad, debido a la falta de recursos de maniobra en casos de pérdida del circuito de distribución de energía; en compensación, su costo de implementación es menor, comparado con otros sistemas.

Sistema radial con recurso Es aquel sistema donde el sentido del flujo de potencia puede variar de acuerdo a las condiciones de carga. Este tipo de sistema presenta un costo mayor debido principalmente a los equipos más costosos. Este sistema es aquel en el cual, un respaldo del sistema es dado completamente con llaves para transferir la carga al sistema de respaldo en el caso de que uno de los cables (troncal) falle.

Debe ser tenido en cuenta donde se requiera alta confiabilidad del servicio. Este puede

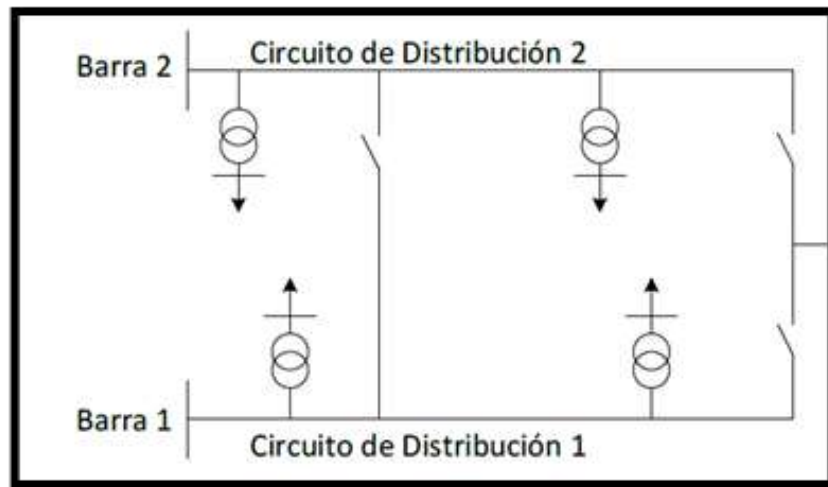


Figura 2.2: Sistema radial con recurso

seccionarse por medio de interruptores/llaves, localizados en las líneas de entrada y salida de la carga [1].

Estos sistemas pueden ser alimentados de una o más fuentes de suministro, de manera a mejorar la confiabilidad del sistema.

Dependiendo de la posición de los seccionadores colocados entre los circuitos de distribución y de las funciones de maniobra, este sistema puede ser operado como:

- Sistema radial en anillo abierto.
- Sistema radial selectivo [10].

Sistemas Mallados En este sistema se logra mejorar la confiabilidad en relación a los sistemas radiales y en anillo, considerando la existencia de dos fuentes de suministro de energía eléctrica, lográndose mantener también las tensiones en valores prácticamente constantes [11].

Aquí la corriente de cortocircuito es mayor a la del Sistema Radial lo que conlleva a un esquema de protecciones más complejo, debido a la necesidad de identificar con selectividad los tramos que presentan fallas.

Este sistema es mayormente utilizado en zonas con alta densidad de carga y donde la continuidad del suministro de energía eléctrica sea determinante. El arreglo en malla es bastante confiable pero también costoso.

2.3.4.2. Sistema en anillo o bucle

En este sistema podremos encontrar más de una trayectoria entre las fuentes y la carga, es decir, es una configuración intermedia entre la red radial y los sistemas mallados.

En este sistema se construye un alimentador principal a través de un área de desarrollo progresivo, derivándose en un punto del sistema y enlazándose con éste en otro punto. Mediante la ubicación de seccionadores en puntos estratégicos se puede alimentar al cliente desde diferentes direcciones. El sistema en anillo tiene mejor continuidad de servicio que el sistema radial, pero con algunas interrupciones cortas durante las maniobras de transferencias. Es recomendado para áreas comerciales y de condominios residenciales.

La alimentación en anillo debe ser operada con un punto abierto aproximadamente en la mitad del mismo; todos los cables permanecen energizados, aunque un segmento del cable no conduce corriente. Se debe tener cuidado de que las fases sean claramente identificadas en ambos extremos ya que el enlace entre fases diferentes puede conducir a accidentes peligrosos para el personal, para el sistema y los equipos de distribución [1].

2.4. Regulación de Tensión en líneas de Distribución

Para mantener las tensiones del circuito de distribución dentro de los límites permisibles es necesario tener bajo control, es decir, incrementar la tensión en el circuito cuando es muy bajo y reducirlo cuando es muy alto. En los sistemas de distribución hay un gran número de recursos que pueden ayudar a la regulación de tensión, entre los que se cuentan los siguientes:

a) Uso de los reguladores de tensiones de los generadores.

- b) Instalación de equipo de regulación de tensión en las subestaciones de distribución.
- c) Instalación de capacitores en las subestaciones de distribución.
- d) Balanceo de cargas en los alimentadores.
- e) Incremento de la sección de los conductores.
- f) Cambio de la sección del alimentador de monofásica a polifásica (trifásica).
- g) Transfiriendo cargas a nuevos alimentadores.
- h) Instalando nuevas subestaciones y alimentadores.
- i) Aplicando reguladores de tensiones en los alimentadores primarios.
- j) Conectando capacitores en paralelo en los alimentadores primarios.
- k) Instalando capacitores serie en los alimentadores primarios.

La selección del camino a seguir depende básicamente de las necesidades del sistema en particular [8].

Las redes de distribución son bien conocidas por su alta relación R/X, y las caídas significativas de tensión que hay en ellas, pueden causar pérdidas de energía sustanciales a lo largo de los alimentadores, dichas pérdidas son directamente proporcionales al cuadrado de la distancia y de la potencia transmitida, e inversamente proporcionales al cuadrado de la tensión.

Se estima que hasta un 13 % de la generación total de energía se pierde en las redes de distribución, parte de esta pérdida es causada por la corriente reactiva que fluye en la red. El perfil de tensión en toda la línea de distribución debe mantenerse en niveles aceptables para garantizar la fiabilidad del servicio, entre otras cuestiones. La reducción de pérdidas en instalaciones de distribución y transporte es un factor importante en la valoración económica de una instalación, ya que estas pérdidas representan un costo económico oculto.

Respondiendo a estas exigencias, se buscan soluciones que permitan brindar a los clientes

continuidad y calidad en el servicio.

Esto lleva a las empresas proveedoras de energía eléctrica a realizar inversiones para corregir los problemas mencionados. Para ello, se han desarrollado varias técnicas que permiten la optimización del sistema de distribución y que a su vez presentan diversas ventajas. Entre estas técnicas podemos mencionar:

- a) Compensación Capacitiva en Derivación o Shunt WEDFV.
- b) Reguladores de Tensión.
- c) Líneas en Paralelo.
- d) Compensación Capacitiva Serie.
- e) Otros.

La implementación de cualquiera de las opciones mencionadas anteriormente, puede traer consigo un impacto en algunos aspectos del sistema:

- a) Ayuda al control de la tensión a lo largo del sistema de transporte y distribución.
- b) Descarga de las líneas de transporte y los transformadores de potencia.
- c) Reducción del nivel de pérdidas del sistema.
- d) Un menor costo de energía eléctrica.
- e) Aumento en la capacidad del sistema.
- f) Mejora en la calidad de la tensión.
- g) Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.
- h) Aumento de la vida útil de las instalaciones [14].

2.4.1. Métodos de corrección de los niveles de tensión en redes de distribución

2.4.1.1. Equilibrio de fases

A través de la redistribución de cargas en las fases, de tal manera que el equilibrio de corriente sea conseguido a lo largo de todo el alimentador, pueden ser alcanzados niveles de tensión satisfactorios.

La distribución irregular de cargas en las fases podrá causar una sobrecarga en el transformador de la SE, regulador de tensión, etc., mismo que la carga total sea inferior a la potencia nominal de los equipamientos. Si el alimentador atiende solamente las cargas trifásicas, él estará normalmente equilibrado; en el caso en que la incidencia de transformadores en ramales monofásicos fuera grande debe ser procurado una distribución de carga monofásica tal que la corriente en el inicio del alimentador y a lo largo de toda su longitud quede equilibrada.

El equilibrio debe ser alcanzado a lo largo de toda la longitud del circuito y principalmente en horario de carga máxima, cuando ocurren las mayores caídas de tensión. Como referencia, se puede adoptar 20 % para el máximo desequilibrio, calculado por la relación entre la corriente de la fase más cargada por el valor medio de la corriente, o sea [3] :

$$DESEQ = \left(\frac{I_{F(MAX)}}{I_{F(MED)}} - 1 \right) * 100 \quad (2.1)$$

Dónde:

DESEQ: Desequilibrio de fases (%)

IF(MAX): Corriente en la fase más cargada

IF(MED): Valor medio de la corriente

Reconfiguración de fases Las extensiones de red primaria o las interconexiones existentes entre los alimentadores crean buenas condiciones a la transferencia de carga, posibilitando un alivio de los alimentadores más cargados, y mayor cargamento de los alimentadores en condiciones más favorables [3].

Conversión de circuitos monofásicos a trifásicos En los alimentadores monofásicos la caída de tensión en la fase es adicionada a la caída de tensión en el neutro, debido al retorno de la corriente, resultando en una caída de tensión relativamente alta, pudiendo ser 6 veces mayor cuando consideramos el mismo alimentador trifásico.

El lanzamiento de fase en un alimentador monofásico, o parte de él, permitirá, por tanto, un crecimiento de carga bastante elevada comparado al circuito original. Instalación de Bancos de Capacitores de derivación.

2.4.2. Banco de capacitores

Los bancos de capacitores cuando son instalados en el sistema de distribución causan una elevación de tensión a lo largo del alimentador, ocurriendo la máxima elevación en el punto de su instalación. La Figura 7 muestra de manera ilustrativa el efecto de la aplicación de banco de capacitores en un alimentador. La corriente capacitiva fluyendo en la reactancia serie del circuito causa una elevación de tensión dada por la ecuación:

$$\Delta V = (kVAr)(d)(X)/(10(kV)^2) \quad (2.2)$$

Donde: ΔV : Elevación porcentual de tensión

kVAr: Potencia trifásica instalada en capacitores (kVAr)

d : Distancia de la SE al punto de instalación del banco de capacitores (Km)

X : Reactancia inductiva de los conductores del alimentador (ohm/Km)

kV : Tensión nominal entre fases (kV)



Figura 4.18 – Ejemplo de un sistema radial [18]

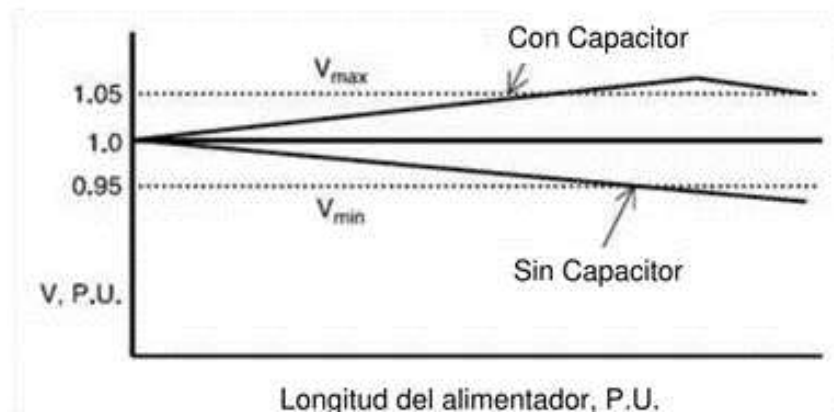


Figura 2.3: Elevación de tensión mediante capacitores en derivación

Los bancos de capacitores instalados con la finalidad de regulación de tensión son provistos de comandos automáticos accionados por relés, que pueden ser: horario, de tensión, de corriente, de temperatura o dispositivos conjugados.

Los bancos de capacitores fijos son instalados con el objetivo de obtener una elevación de tensión constante y una reducción de la faja de variación de tensión, esto porque la elevación de tensión proveniente de los capacitores es independiente de la corriente de carga del alimentador [3].

2.4.3. Instalación de Auto-booster

El auto-booster es un auto transformador regulador con 4 pasos de regulación, que aumenta o disminuye la tensión en pasos de 1.5 o 2.5 % conforme la unidad sea de 6 o 10 %. Su instalación a la red es hecha con la intención de bajar o elevar la tensión, o sea, su franja de operación puede ir de 0 a +10 % o de -10 % a 0, en cuanto los reguladores de tensión pueden actuar en una faja de $\pm 10\%$.

El auto-booster posee un mecanismo más simple, siendo su costo cerca de 30 % a 50 % del costo del regulador. Su proyecto fue desarrollado con el propósito de ser aplicado para

regulación de tensión en áreas de baja densidad de carga. En la mayoría de los casos, el auto-booster es aplicado en alimentadores con regulación de tensión de retaguardia. En una red de distribución desde que la variación de tensión se da solamente en un sentido, teniéndose como referencia la tensión que se desea regular, el auto-booster también podrá ser utilizado, mismo cuando no exista regulación de retaguardia [7].

2.4.4. Instalación de Reguladores de Tensión

Consideraciones generales Los transformadores reguladores de tensión corrigen las variaciones de tensión y reducen la faja de esta variación en aquellos alimentadores en los que son instalados. En sistemas de distribución se utilizan con frecuencia los reguladores de tensión por pasos, que no es más que un transformador especial de dos devanados donde el devanado secundario se convierte en un devanado serie cuando es configurado como un autotransformador.

El devanado serie es construido con un número de derivaciones para que un aparato interruptor pueda moverse a lo largo de las derivaciones y por lo tanto regular la tensión del lado de la carga, más comúnmente con cambios por pasos de tensión de 5-8 % de la tensión de línea. La Figura ilustra los componentes básicos de un regulador, incluyendo el control y sus entradas sensoras [3].

Selección del Regulador Para la aplicación adecuada de reguladores es necesario que la faja de regulación escogida (elevación o reducción de tensión introducida por el regulador) sea suficiente para corregir la variación de tensión en el punto de su instalación, y además compensar la caída de tensión del alimentador más allá del punto de su instalación. Por razones económicas la máxima faja de regulación fue padronizada en $\pm 10\%$, pudiendo ser ajustada para los valores de $\pm 5\%$, $\pm 6,25\%$, $\pm 7,5\%$, $\pm 8,75\%$ y $\pm 10\%$, siendo la elevación o reducción de tensión hecha a través de 32 pasos «Taps» de $5/8\%$ cada uno. En el sistema de distribución de CEMIG son utilizados reguladores de tensión tipo de pasos monofásicos, en bancos trifásicos conectados en estrella aterrada. El cálculo de la potencia de las unidades monofásicas requeridas para una determinada aplicación es

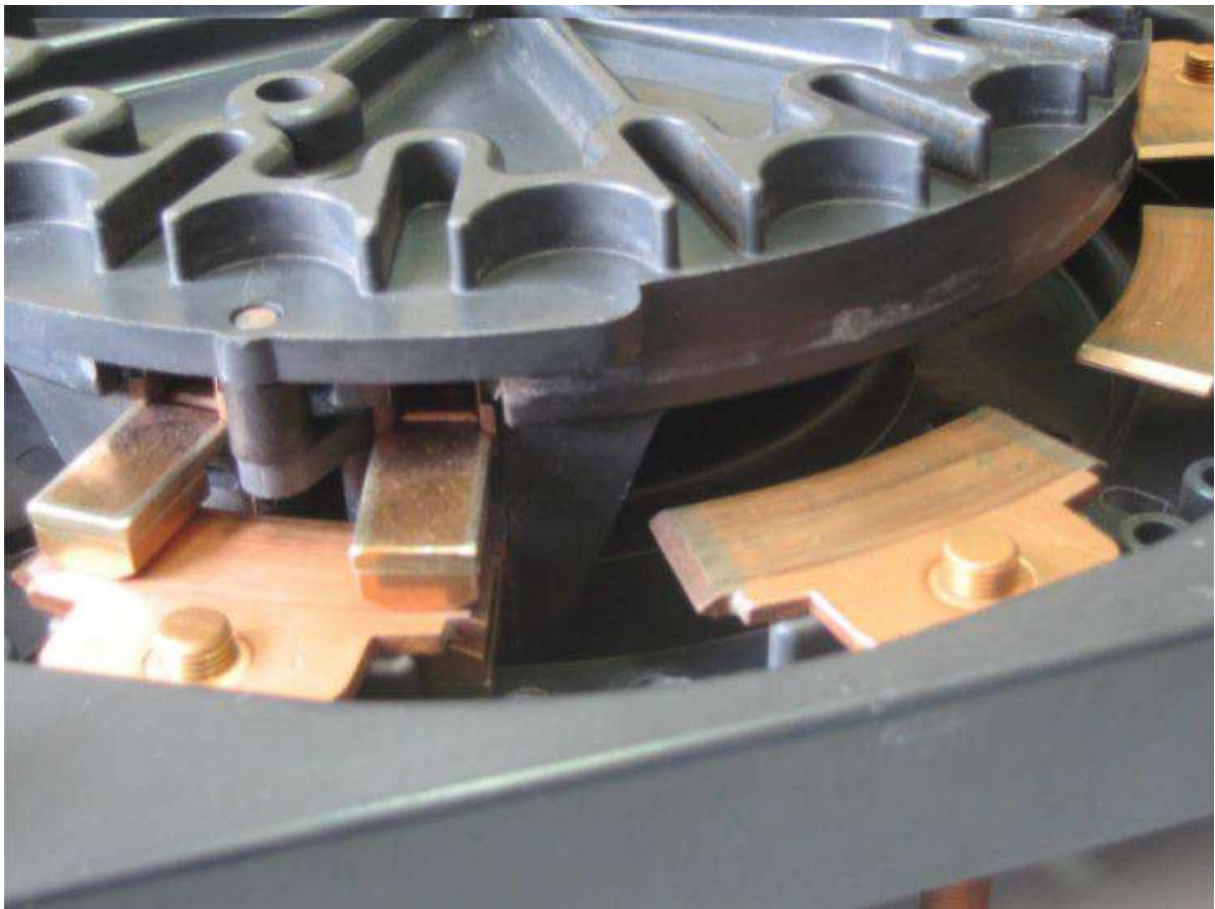


Figura 2.4: Cambiador de taps del regulador de tensión, fuente: Cooper

hecho utilizándose la ecuación de abajo.

$$Potencia\ del\ Regulador = (FR * kVA) / (N * 100) \quad (2.3)$$

Donde:

Potencia del Regulador: Potencia de las unidades monofásicas (kVA)

FR: Máxima faja porcentual de regulación (10 %)

kVA: Demanda del alimentador en el punto de la instalación del regulador.

N= 1 para el sistema monofásico y 3 para el sistema trifásico.

La reducción de faja de regulación posibilita aumentar la capacidad del regulador, de acuerdo con la tabla siguiente [1]:

CARACTERISTICAS	VALORES PORCENTUALES				
FAJA DE REGULACIÓN	10	8.75	7.5	6.25	5
CORRIENTE NOMINAL	100	110	120	135	160

Tabla 2.1: Posibilidades de Regulación porcentual de tensión en base a corriente circulante

Reguladores Utilizados en la ANDE

POTENCIA (kVA)	230	460	660
CORRIENTE (A)	100	200	300

Tabla 2.2: Reguladores de tensión utilizados en la ANDE

2.4.4.1. Tipos de conexiones en grupo de reguladores

Existen distintos tipos de conexiones para los reguladores a utilizarte, normalmente estos son puestos en bancadas de tres reguladores de manera a ofrecer mayor confiabilidad al

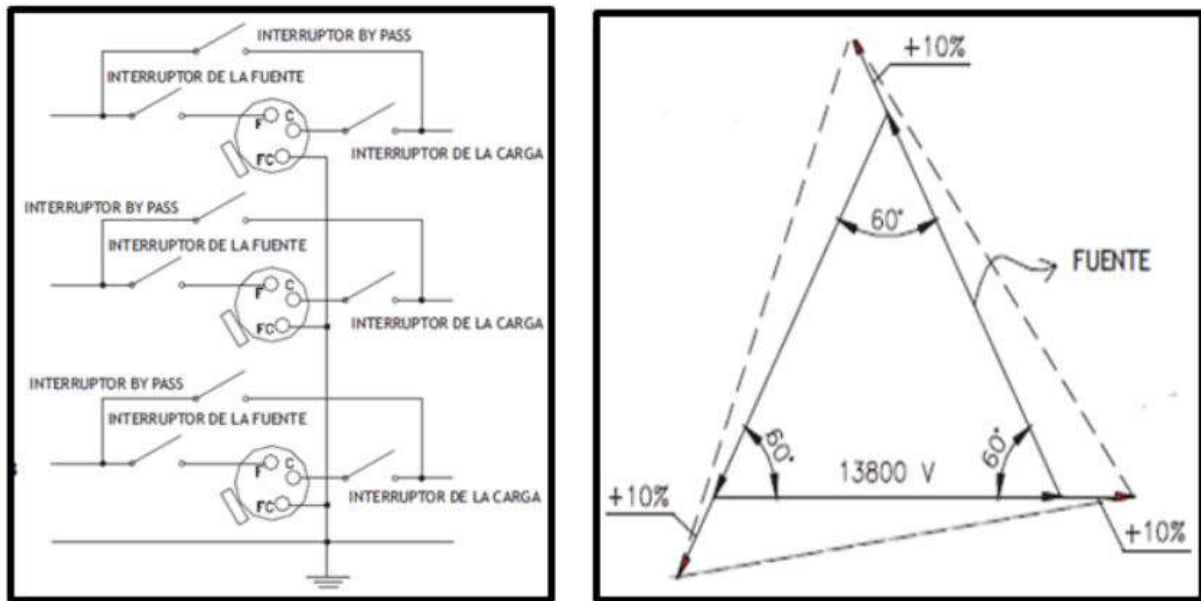


Figura 2.5: Esquema de conexión y desfase de la conexión en estrella

sistema, a continuación, se exponen los distintos tipos de conexiones dependiendo del tipo de configuración de la red.

Conexión en estrella Si el grupo de reguladores está conectado en estrella, se recomienda que la fuente también esté necesariamente en estrella, para que la corriente del neutro, debido a posibles desequilibrios de carga del grupo, tenga el camino a tierra cerrado y por tanto, a la fuente. Si la fuente está en triángulo y el grupo de reguladores, en estrella, el neutro virtual de la conexión estrella se desplaza en el caso de que la carga se desequilibre y el grupo de reguladores entra en una sucesión de conmutaciones. Por lo general, en el grupo, algunos reguladores del grupo van a la posición de máxima elevación y otros, a la de máxima reducción [6].

Características:

- Neutro aterrizado para el flujo de la corriente de desbalance.
- Regulación independiente de fases.
- 3 reguladores utilizados.
- Manejan cargas balanceadas y no balanceadas.

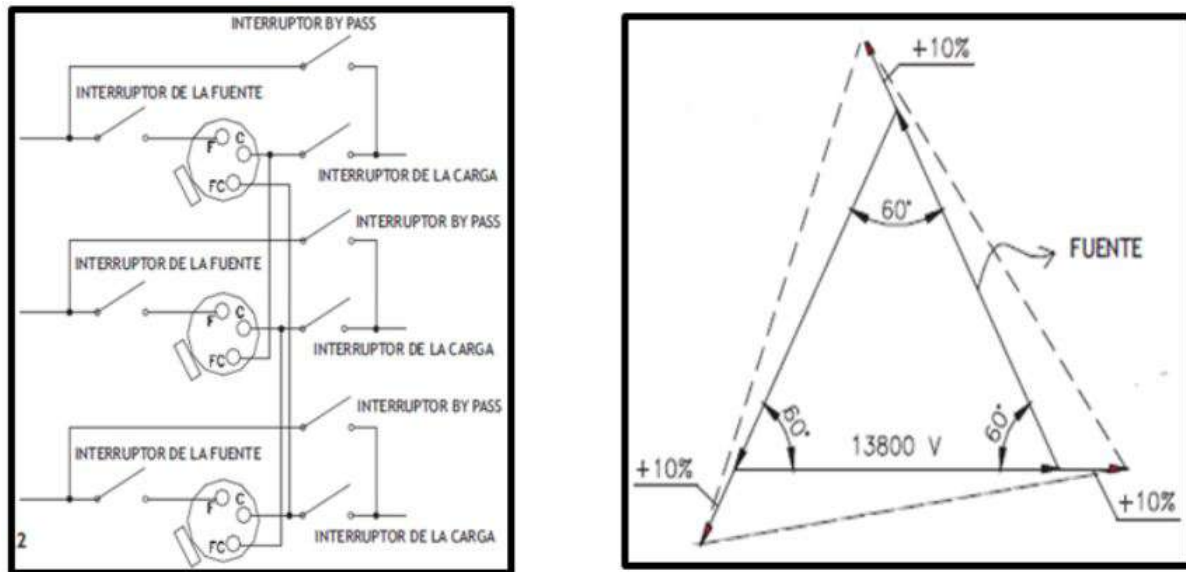


Figura 2.6: Esquema de conexión y desfase angular de la conexión en triángulo cerrado

- 10 % de regulación máxima por fase [6].
- Conexión en triángulo cerrado:

Conexión en triángulo cerrado Características:

- Regulación directa de las 3 fases, contribuye indirectamente en la regulación adicional de las 3 fases.
- 15 % de regulación máxima en cada fase.
- Regulación de tensión óptima para las 3 fases con cargas desbalanceadas.
- Desplazamiento máximo de 5° cuando los 3 reguladores se mueven hacia las posiciones extremas de sus contactos.
- El cambio puede ser compensado teniendo un banco de reguladores aguas abajo conectadas en dirección opuesta [6].

Conexión en triángulo abierto Esa conexión es ventajosa cuando se trata de una conexión en cascada; así, se ponen 2 reguladores en cada punto de la cascada y se ahorra

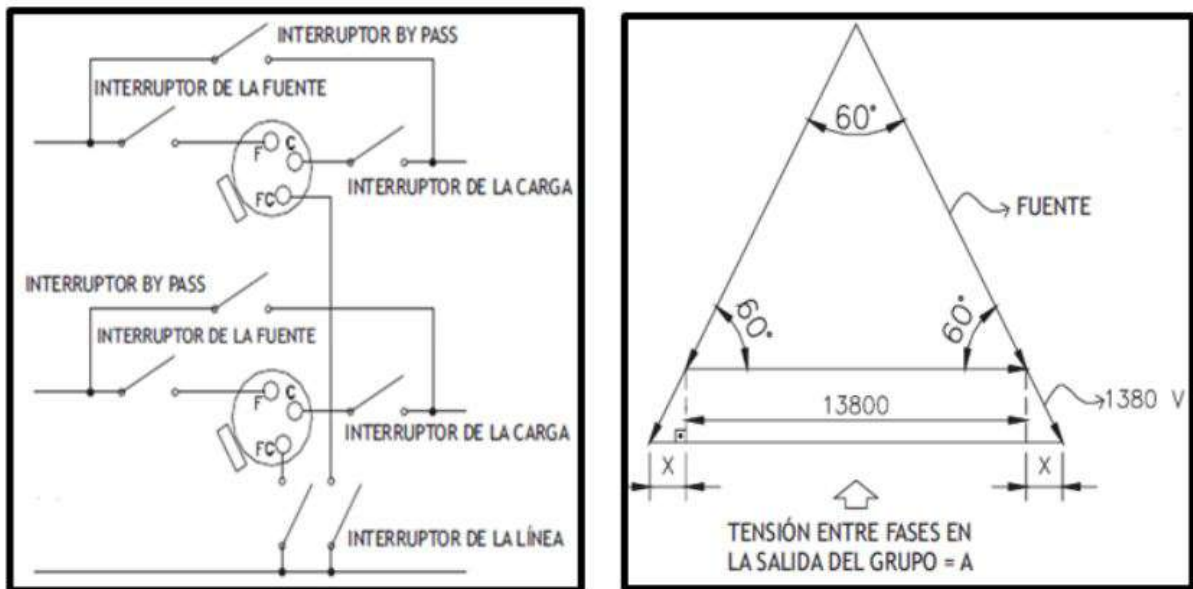


Figura 2.7: Esquema de conexión y desfase angular de conexión triángulo abierto

1 regulador. Se recomienda usar 3 como (máximo 4) grupos de reguladores en cascada, debido a que cuando se cierran los reconectores, puede haber problemas por posibles sobretensiones en el sistema [6].

Características:

- Regulación directa en 2 fases, afectando indirectamente la regulación de la 3ra.
- 10% de regulación máxima en cada fase.
- Regulación de tensión óptima en las 3 fases sólo si las cargas están balanceadas.
- El neutro se traslada cuando los reguladores mueven sus contactos a las posiciones extremas.
- El flujo de corriente de secuencia cero debido al traslado del neutro puede requerir un ajuste en los parámetros de relevadores de protección.

2.4.4.2. Especificación, Localización y Determinación de los ajustes del Regulador

Los reguladores más utilizados en los Sistema de Distribución son del tipo de pasos, monofásicos, con potencias padronizada, y para una misma clase de tensión. Las potencias varían de acuerdo a la disponibilidad del mercado 230, 460 y 600 kVA, corriente nominal de 100, 200 y 300 A respectivamente, para una franja de regulación de $\pm 10\%$, contando todos los reguladores de dispositivos de ajustes de franja de regulación para $\pm 5\%$, $\pm 6,25\%$, $\pm 7.5\%$, $\pm 8.75\%$ [3].

2.4.5. Cambio de conductores

El cambio de conductores en la red primaria, así como en la red secundaria, aun siendo una operación que requiere interrupciones, puede ser necesaria en áreas donde el aumento de la carga es elevado y el horizonte de planeamiento en consideración es mayor [5].

2.4.6. Construcción de nuevos alimentadores

La construcción de nuevos alimentadores permite la reducción de la carga de los alimentadores existentes, por la reducción de su área de influencia, y consecuentemente, de la caída de tensión. La construcción de nuevos alimentadores podrá implicar la construcción de nuevas salidas en la SE y otras modificaciones, las cuales deberán ser también consideradas en el planeamiento [5].

2.4.7. Elevación de la tensión nominal del circuito

La introducción de otra clase de tensión en un área envuelve estudios más complejos, que no es objetivo de este estudio. Sin embargo, cuando en un área urbana ya existe en operación más de una tensión nominal, la elevación de tensión permite reducir la corriente en la razón directa de la elevación de tensión, y la caída de tensión en el cuadrado de esta

relación, como ilustrado abajo [9]:

$$I_{34,5kV} = I_{13,8kV} \cdot \frac{13,8}{34,5}$$
$$\Delta V_{34,5kV} = \Delta V_{13,8kV} * \frac{13,8^2}{34,5}$$

Mismo en este caso, el estudio para la elevación de tensión debe abarcar el sistema de subtransmisión y distribución a fin de que sea verificada la disponibilidad de equipamientos para la expansión del sistema.

2.4.8. Regulación en barras de la Estación alimentadora

La regulación de la barra de 23 kV de la SE tiene como finalidad corregir las variaciones de tensión del sistema de subtransmisión. Desde que existan variaciones de tensión en la barra, esas variaciones limitarán la franja de variación de tensión del sistema de distribución, siendo necesario analizar el problema económicamente, comparando el costo de regulación de la barra con la regulación suplementaria en el sistema de distribución para eliminar las variaciones de tensión del sistema de subtransmisión [8].

2.4.9. Construcción de nuevas Estaciones Eléctricas

La construcción de nuevas SE debe ser considerada dentro del proceso global de planeamiento, analizándose no solo la corrección de los niveles de tensión, más también los aspectos relativos a ampliación de la capacidad del sistema, confiabilidad, densidad de carga, localización de otras SE, limitaciones del sistema de subtransmisión y distribución, etc. [8].

2.5. Introducción al software de Simulación de Redes eléctricas de Distribución CYMDIST

CYMDIST es el paquete base para el análisis del sistema de distribución del software CYME. Agrupa todas las herramientas de modelado y análisis necesarias para realizar los diversos tipos de simulaciones involucradas en la planificación del sistema de distribución eléctrica. Los motores de cálculo admiten modelos de distribución balanceados o desbalanceados que se construyen con cualquier combinación de fases y funcionan en configuraciones de tipo radial, anillado o mallado [13].

El paquete CYMDIST comprende los siguientes análisis:

- Flujo de carga desbalanceado.
- Distribución y estimación de carga.
- Análisis de fallas: Flujo de falla/cortocircuito. Localizador de fallas. Falla serie y falla simultánea.
- Caídas de tensión.
- Balance de carga.
- Dimensionamiento y ubicación óptima del condensador.
- Arranque de motor.
- Análisis por lotes.

Se pueden agregar módulos opcionales a CYMDIST a fin de extender la funcionalidad para realizar más análisis detallados y especializados. Regularmente se desarrollan nuevos módulos para satisfacer las necesidades cambiantes de los ingenieros de distribución.

Las capacidades de modelado del editor de red del software CYME contienen la representación detallada de todas las partes de una red de distribución, que incluye el sistema

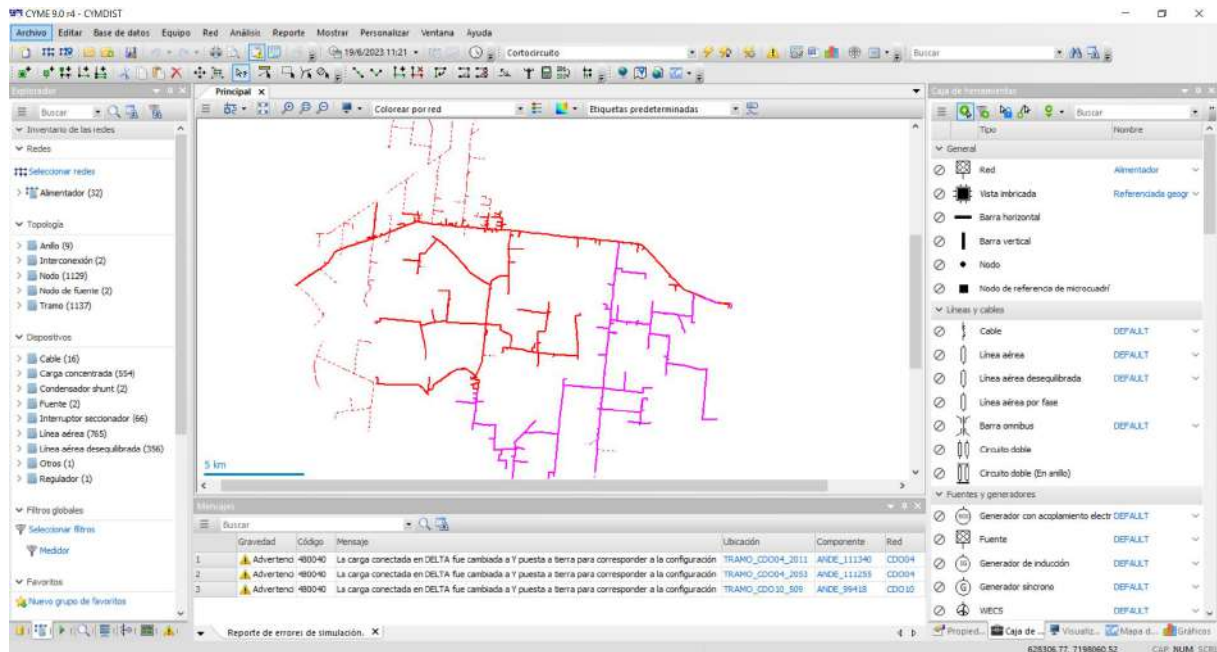


Figura 2.8: Entorno del programa Cymdist

primario MT, el sistema secundario BT (radial o mallado) así como el sistema de sub-transmisión [13].

El paquete base CYMDIST es una herramienta integral que proporciona a los ingenieros de distribución las aplicaciones clave para realizar estudios de planificación del sistema, simulaciones y análisis a diario. En el núcleo del software se encuentran amplias bibliotecas, modelos detallados y algoritmos alineados con las mejores prácticas y estándares de la industria; y sobre la base de tecnologías de ingeniería innovadoras. Su interfaz gráfica de usuario totalmente personalizable proporciona la representación, los resultados y los informes al nivel de detalle necesario [13].

2.5.0.1. Flujo de Carga

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

Caída de tensión balanceada y desbalanceada: presenta una técnica iterativa diseñada y

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

Los resultados del análisis integral incluyen la tensión, la corriente, el factor de potencia, las pérdidas, las condiciones anormales y los factores desequilibrados. Los resultados se pueden ver para todo el sistema o para ubicaciones individuales [13].

2.5.0.2. Balance de carga

El análisis de balance de carga se usa para determinar qué cargas o tomas laterales pueden reconectarse a diferentes fases a fin de minimizar las pérdidas de kW o equilibrar la corriente, la carga o la tensión. Este informa sobre una serie de cambios individuales en la red y sobre la mejora de los objetivos con cada cambio [13].

Dimensionamiento y óptima ubicación de condensadores. Este análisis ayuda a determinar la ubicación ideal y el tamaño de los bancos de condensadores shunt para reducir las pérdidas de kW o mejorar la tensión del sistema mientras se mantiene un factor de potencia deseado. El usuario puede proporcionar condiciones respecto al tamaño, número y ubicaciones apropiadas de los bancos de condensadores y aprobar si los bancos deben instalarse o no.

El análisis puede proporcionar una lista de todas las posibles ubicaciones de los condensadores con los impactos en tensiones y las pérdidas de KW.

2.5.0.3. Arranque de motores

La funcionalidad de arranque de motores de CYMDIST determina el impacto de los motores de inducción o sincrónicos que arrancan en el sistema gracias a la evaluación del parpadeo de tensión. Una herramienta de estimación también proporciona información

sobre el tamaño más grande del motor monofásico o trifásico para cada tramo en función de la caída de la tensión máxima permitida.

2.5.0.4. Análisis por lotes

La función de análisis por lotes permite a los usuarios ejecutar múltiples escenarios definidos por el usuario en una selección de estudios, archivos autónomos y redes múltiples disponibles en la base de datos. Cada escenario es configurable y puede incluir varias simulaciones de análisis; cada uno de estos utilizando parámetros configurables.

2.6. Calidad del suministro Eléctrico

La Energía Eléctrica es uno de los principales elementos que moviliza al mundo industrial; sin ella, no solo las industrias, sino todas las empresas y economías enteras entrarían en crisis, debido a los innumerables factores dependientes de ésta. Por eso es vital saber administrarla.

Uno de los aspectos más importantes en el Suministro Eléctrico es la regulación de la calidad del servicio, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y comerciales que brindan una adecuada protección a los usuarios y un incentivo orientado a las inversiones buscando el mejoramiento de la prestación del servicio. También debe ser incluido el estándar de calidad, el mismo debe encontrarse en concordancia con lo previsto en la determinación tarifaria y la existencia de un sistema de penalizaciones e incentivos que logren el cumplimiento de la calidad del servicio asociado al plan de inversiones. Debe ser incluido el estándar de calidad de servicio que permite uniformizar criterios y exigencias con el que debe ser brindado el Suministro Eléctrico en la totalidad del país, teniendo en consideración las particularidades de cada zona geográfica.

Un aspecto no menos importante es el bienestar del conjunto de la población en general. Una adecuada calidad del servicio eléctrico favorece el desarrollo integral de un país, a través de sus sectores productivos.

2.6.1. Suministro Eléctrico

El Suministro Eléctrico se define como el acto de provisión continua, cuantitativa y cualitativa de energía eléctrica por parte de las distribuidoras a los consumidores o clientes.

2.6.2. Distribuidora

La distribuidora es la organización pública o privada encargada del Suministro de Energía Eléctrica a los consumidores o clientes de un área geográfica determinada, mediante un acuerdo legal con las autoridades gubernamentales (concesión).

2.6.3. Calidad del Suministro

Las distintas realidades nacionales hacen que necesariamente se implementen esquemas regulatorios particulares en cada país o región. A pesar de ello, los autores consultados concuerdan en que el control y la evaluación de la calidad del suministro están basados en los siguientes ejes [9].

- a) Calidad del producto técnico.
- b) Calidad del servicio técnico.
- c) Calidad de la atención comercial.

2.6.3.1. Calidad del Producto Técnico

La calidad del producto establece los parámetros y valores de referencia relativos a la conformidad en los valores de la tensión en régimen permanente o transitorio y a las perturbaciones en la forma de onda de la tensión. Los aspectos considerados sobre la calidad del producto técnico son:

- Tensión en régimen permanente.

- Factor de potencia.
- Armónicos.
- Desequilibrio de tensión.
- Fluctuación de tensión.
- Variación de tensión de corta duración (SAG, SWELL, INTERRUPCION, FLICKER, ARMÓNICOS y THDV y THDI).
- Variación de frecuencia.

La calidad del producto técnico está relacionada con la presentación de la energía eléctrica en el instante de entrega a los consumidores. Es un factor importante para preservar la vida útil de los equipamientos e instalaciones de los clientes, los que pueden resultar dañados al ser alimentados con valores fuera de estándares predeterminados [9].

2.6.3.2. Calidad del Servicio Técnico

La calidad del servicio técnico contempla el análisis de la continuidad del suministro a los consumidores, de acuerdo a la cantidad de interrupciones y a su tiempo de reposición. La misma puede ser evaluada de manera cualitativa o cuantitativa.

La evaluación cualitativa contempla la percepción de los consumidores acerca de la calidad mediante encuestas de conformidad. Debido a la eventual subjetividad de las opiniones recolectadas, es recomendable que este método nunca sea empleado de manera única ni concluyente. El mercado de distribución de energía eléctrica se encuentra administrado, por lo general, por un órgano regulador; es común que el desempeño de las distribuidoras este sujeto al cumplimiento de metas de calidad respecto a los indicadores de continuidad, teniendo como prioridad la satisfacción de los consumidores.

La importancia de un servicio técnico de calidad radica en que ningún consumidor tiene la capacidad de realizar las actividades para las cuales adquiere el producto, ni valorarlo, si el mismo no es convenientemente provisto. Este factor dio inicio al control y evaluación

de la calidad del suministro, luego del gran apagón que afectó a la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, en 1965.

2.6.4. Parámetros de Calidad Vigentes a Nivel Regional

Para el control de calidad del producto técnico se adoptan indicadores que permiten calificar el producto entregado por las Empresas Distribuidoras, se caracteriza, entre otros, por la magnitud, la frecuencia y la contaminación de la tensión instantánea de suministro. Esto poseen dependencias de los órganos consultores o reguladores en los distintos países. Los cálculos utilizados en los métodos de cada indicador en la mayoría de los casos terminan con valores similares pues inherentemente de las normas utilizadas, normalmente se opta por un cálculo más sencillo. A continuación, se presentarán los indicadores de continuidad adoptados, por la OCEBA de la Argentina, CNE de Chile y la ANEEL de Brasil.

2.6.4.1. Indicadores OCEBA

El Organismo de Control de la Energía Eléctrica de la Provincia de Buenos Aires (OCEBA) fue creada para cumplir el nuevo rol que cumpliría el estado debido a la privatización de algunos servicios públicos en materia de energía eléctrica en jurisdicción provincial. Su marco legal está constituido por la ley 11.769/96 y el decreto reglamentario 1.208/97 de Argentina [12].

Esta ley da a este organismo funciones consistentes en:

- De control y fiscalización.
- De carácter normativo.
- Su rol de tercero imparcial.

Actualmente, el OCEBA, posee jurisdicción sobre 3 distribuidoras con concesión provincial (EDEN S.A., EDEA S.A., EDES S.A.) y casi 200 distribuidores con concesión municipal,

estas últimas bajo la forma de Cooperativa o Sociedad de Economía Mixta.

El OCEBA tiene como una de sus funciones el control y la evaluación de la calidad técnica del servicio prestado a los consumidores bajo su jurisdicción, y la pertinente aplicación de sanciones por incumplimiento. La normativa para el control y la evaluación de la calidad técnica del servicio prestado correspondiente es llamada Modelo de Contrato de Concesión Municipal de Distribución, dentro del cual existe un Sub-anexo D, denominado “Normas de Calidad de Servicio Público y Sanciones”, en donde se encuentran los indicadores de continuidad del suministro adoptados por el organismo.

El procedimiento para el control fue establecido por la Resolución ENRE N°465/96, que contiene la “Base Metodológica para el Control del Producto Técnico”. En la misma, en coincidencia con el Contrato de Concesión, se especificó que el control se efectúa mediante la verificación de los niveles de tensión y perturbaciones [12].

2.6.4.2. Niveles de tensión

Los niveles de tensión se determinan al nivel de suministro mediante campañas de medición, que permiten adquirir información sobre curvas de carga y nivel de la tensión. Dichas campañas de medición son implementadas por las distribuidoras con los equipamientos y metodologías definidas. Las distribuidoras quedan sujetas a la aplicación de sanciones cuando se verifique el incumplimiento de los indicadores establecidos.

2.6.4.3. Niveles de tensión y de referencia admisibles

Las variaciones porcentuales de la tensión admitidas en esta etapa, con respecto al valor nominal son las siguientes:

- AT +5 %
- Alimentación aérea (MT o BT) +8 % Alimentación subterránea (MT o BT) +5 %
Rural +10 %

2.6.4.4. Regulación de Tensión

Para evaluar la regulación de tensión en un punto de la Red de Distribución se utilizará el siguiente indicador [9]:

$$\Delta V_k = \frac{||V_k - V_n||}{V_n} * 100 \quad (2.4)$$

Donde:

ΔV_k : Regulación de Tensión en el punto k, en [%].

V_k : Tensión de suministro en el punto k, determinada como el promedio de las medidas en un intervalo de 15 minutos, en [kV].

V_n : Tensión Nominal en el punto k, en [kV].

En Estado Normal y durante el 95 % del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de la tensión en el punto de conexión de los Usuarios, promediados en 15 minutos, deberán ser tales que la regulación de tensión se mantenga dentro de los límites mostrados en la tabla 2.3.

	Alta y media	Baja y muy Baja
Baja Tensión	$\pm 7,5\%$	$\pm 10,0\%$
Media Tensión	$\pm 6,0\%$	$\pm 8,0\%$

Tabla 2.3: Variación porcentual de tensión en distintos niveles de tensión

2.6.4.5. Desequilibrio de tensión

Para evaluar el desequilibrio de tensión en un punto de la Red de Distribución se utilizará el indicador establecido en la norma EN50160-2015 [9].

$$\text{Desequilibrio de Tensión} = \left\| \frac{V^-}{V^+} \right\| \quad (2.5)$$

Donde:

V^- : Componente de secuencia negativa de la tensión en [V]. V^+ : Componente de secuencia positiva de la tensión en [V].

En Estado Normal y durante el 95 % del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de la tensión determinadas como el promedio de las medidas en un intervalo de 15 minutos, deberán ser tales que la componente de secuencia negativa (fundamental) de la tensión no exceda los siguientes límites (respecto de la componente fundamental de secuencia positiva, tabla 2.4)

Densidad de la red	Alta y Media	Baja y Muy Baja
Límite de Desequilibrio de Tensión	2 %	3 %

Tabla 2.4: Límite de desequilibrio porcentual de tensión

2.6.4.6. Cálculo de Factor de Potencia

El Factor de Potencia instantáneo se determinará utilizando la siguiente expresión:

$$FP_{inst} = \cos \left(\tan^{-1} \frac{EP_{inst}}{EQ_{inst}} \right) \quad (2.6)$$

Donde:

FP_{inst} : Factor de Potencia en intervalo de 15 minutos.

EQ_{inst} : Energía reactiva en intervalo de 15 minutos, en [kVArh].

EP_{inst} : Energía activa en intervalo de 15 minutos, en [kWh].

En función de los resultados obtenidos para el Factor de Potencia instantáneo, se determinará el valor de Factor de Potencia medio mensual, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$FP = \frac{\sum_{k=1}^n (FP_{inst} \cdot EP_{inst})_K}{\sum_{k=1}^n (EP_{inst})_K} \quad (2.7)$$

Donde:

FP : Factor de Potencia medio mensual.

n : Número de intervalos de 15 minutos durante el periodo de medición de un mes

El Factor de Potencia medido en el punto de conexión del Cliente y representativo de un mes de medición, deberá mantenerse dentro de los límites que se indican a continuación [9]:

$$0,95CAP \leq FP \leq 0,93IND$$

2.7. Métodos de Evaluación Económica

Para la evaluación económica de un proyecto es necesario conocer los costos de materiales, equipos y costos de manos de obras, por lo tanto, utilizaremos el método de Costo/Beneficio para determinar la rentabilidad del proyecto.

2.7.1. Análisis costo/beneficio

El análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha tales como el desarrollo de nuevo producto o la adquisición de nueva maquinaria [4].

Los pasos necesarios para hallar y analizar la relación costo-beneficio son los siguientes:

Hallar costos y beneficios: en primer lugar, hallamos la proyección de los costos de inversión o costos totales y los ingresos totales netos o beneficios netos del proyecto o negocio para

un periodo de tiempo determinado.

Convertir costos y beneficios a un valor actual: debido a que los montos que hemos proyectado no toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo (hoy en día tendrían otro valor), debemos actualizarlos a través de una tasa de descuento.

Hallar relación costo-beneficio: dividimos el valor actual de los beneficios entre el valor actual de los costos del proyecto.

Analizar relación costo-beneficio: si el valor resultante es mayor que 1 el proyecto es rentable, pero si es igual o menor que 1 el proyecto no es viable pues significa que los beneficios serán iguales o menores que los costos de inversión o costos totales. Comparar con otros proyectos: si tendríamos que elegir entre varios proyectos de inversión, teniendo en cuenta el análisis costo-beneficio, elegiríamos aquel que tenga la mayor relación costo-beneficio [4].

2.7.2. Flujo de caja proyectada

Es un informe financiero para ordenar los ingresos y egresos de efectivo que tiene la empresa durante un tiempo determinado. A partir de este informe podemos conocer de manera rápida la liquidez de la empresa y tomar decisiones más certeras.

Con los datos de flujo de caja podemos anticiparnos a futuros déficit o superávit. A partir de esta información, lo ideal es buscar la financiación más conveniente o colocar el excedente en inversiones rentables.

2.7.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se trata de un medidor empleado en la evaluación de proyectos de inversión íntimamente ligado con el Valor Presente Neto. También se considera como el valor de la tasa de descuento que consigue que el VAN resulte igual a cero.

La Tasa Interna de Rendimiento se calcula mediante la siguiente expresión: TIR es la tasa

de actualización para la que se obtiene un VAN nulo. La siguiente expresión representa lo antes mencionado.

$$VAN = 0 = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad (2.8)$$

2.7.4. Valor Presente Neto (VPN)

Es una herramienta que sirve como indicador para medir y determinar la viabilidad de una inversión o un proyecto en términos de rentabilidad y ganancia, el cual proporciona a partir de un análisis un marco de referencia para la toma de decisiones.

- Si el VAN de un proyecto es positivo, el proyecto crea valor.
- Si el VAN de un proyecto es negativo, el proyecto destruye valor.
- Si el VAN de un proyecto es cero, el proyecto no crea ni destruye valor [4].

2.7.5. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Es un indicador que mide en cuanto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en el cual será cubierta la inversión inicial. El Payback o plazo de recuperación descontado es un método de evaluación dinámico de inversiones que predice el momento en el que va a empezar a recuperarse el dinero de la inversión, teniendo presentes los efectos del paso del tiempo en el valor del dinero.

El Periodo de Recuperación de la Inversión se calcula mediante la siguiente expresión [2]:

$$PRI = A + \frac{B - C}{D} \quad (2.9)$$

Dónde:

A= Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

B= Inversión Inicial.

C= Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior.

D= Flujo de efectivo del año en que se recupera la inversión.

Parte II

Resumen Ejecutivo

Capítulo 3

3.1. Descripción del trabajo

En el presente proyecto de investigación se realiza un análisis de datos de los alimentadores en media tensión 23 kV, ELA-3 y ELA-4, para proponer alternativas a fin de mejorar los niveles de tensión y desbalance de voltaje en los mismos, además se plantea la utilización de equipos de maniobras para mejorar la flexibilidad operativa.

3.1.1. Métodos y Técnicas utilizadas

Este trabajo es de tipo descriptivo pues se describen los fenómenos asociados a los parámetros a mejorar en las líneas de distribución, por otra parte, se cuantifican los datos iniciales y se procesan de una manera numérica.

Se realizaron simulaciones del flujo de carga de estos alimentadores, y posteriormente se realizaron las diferentes alternativas modelándose en este marco.

3.2. Justificación

Todo sistema de distribución de energía eléctrica tiene como objetivo transportar energía eléctrica a los distintos centros de consumo ya sean estas, urbanizaciones, comercios, industrias, zonas rurales, etc. Es necesario realizar este servicio al consumidor final de

manera segura y eficiente cumpliendo con criterios de calidad y criticidad, para esto requiere realizar estudios y diseños, además de grandes inversiones de capital donde se han de aplicar normas nacionales e internacionales.

La realización del presente proyecto de fin de grado será de gran relevancia pues ayudará a conocer la situación actual de los Alimentadores ELA-3 y ELA-4 proporcionando alternativas que ayuden no solo al mejoramiento de los niveles y desbalances de tensión para que estos se encuadren dentro de los umbrales óptimos exigidos por las normas, reglamentos y manuales nacionales e internacionales, sino que también se expondrán propuestas la cuales ayuden al aumento de la maniobrabilidad y flexibilidad operativa de los alimentadores en estudio.

Las informaciones aportadas por la investigación serán útiles para la toma de decisiones sobre las posibles mejoras a ser aplicadas en un futuro, dando como resultado el mejoramiento en la calidad del servicio eléctrico para las localidades que se encuentren en las zonas de influencia de estos alimentadores y aumentado la confiabilidad de los mismos, beneficiando así tanto a los consumidores finales como la ANDE misma.

3.3. Finalidad del proyecto

Este proyecto busca proponer alternativas a fin de mejorar los niveles de tensión e indicadores de desequilibrio de voltaje en las redes ELA-3 y ELA-4.

3.4. Metas

Proponer al menos dos alternativas para mejorar niveles de tensión y balance de voltaje.
Proponer una guía de operación de estas redes en contingencia.

3.5. Objetivos

3.5.1. Objetivo general

Proponer alternativas para el mejoramiento de los niveles y desbalances de tensión, como así también la flexibilidad operativa de los alimentadores ELA 3 y ELA 7 de la Estación Eusebio Ayala.

3.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones actuales en las que se encuentran las redes de los alimentadores ELA 3 y ELA 7.
- Efectuar levantamientos de parámetros técnicos, datos de cargas, configuración, equipos de maniobras y esquema unifilar de las zonas de influencia de los alimentadores ELA 3 y ELA 7
- Realizar estudios tomando en cuenta los criterios técnicos y económicos para la elaboración las diferentes alternativas que mejoren tanto los niveles y desbalances de tensión de los alimentadores ELA 3 y ELA 7 como su flexibilidad operativa.
- Simular y analizar distintos escenarios mediante el software Cymdist utilizado por la ANDE para recrear las propuestas a ser sugeridas para la optimización de los alimentadores.
- Elaborar la evaluación económica de la propuesta seleccionada.

3.6. Beneficiarios

El beneficiario central de este proyecto es la empresa ANDE, teniendo como beneficiario secundario el cliente de la empresa.

3.7. Producto

La mejor alternativa en busca de mejorar técnicamente la operación de los alimentadores ELA 3 y ELA 4.

3.8. Localización física y cobertura espacial

Este proyecto se desarrolla en el departamento de Cordillera, involucrando varias localidades y distritos, a modo de apreciar este alcance, este se muestra en la figura 4.6.

3.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

En este Proyecto se realizaron las siguientes actividades:

- Relevamiento de datos, de demanda de los alimentadores ELA-3, ELA-7 y ELA-4.
- Revisión de bibliografía.
- Evaluación de datos de demanda y topológicas de las redes.
- Propuesta de alternativas para mejorar los niveles de tensión y balance de voltaje.
- Simulaciones de las diferentes alternativas en software CYME.
- Análisis financiero.

3.10. Recursos necesarios

3.10.1. Recursos humanos

Los recursos humanos utilizados fueron los siguientes:

- Proyectista.
- Tutor.

3.10.2. Recursos materiales

Para la ejecución del presente proyecto final de grado fueron necesarios los siguientes materiales:

- Computadora de la empresa ANDE.
- Software de simulación.
- Software de análisis de datos.

3.11. Costos

Con el propósito de realizar una evaluación financiera, y siendo todas las propuestas presentadas en este trabajo de vital importancia para la mejora del servicio, y natural en el crecimiento vegetativo de la empresa y sus activos. Se desarrolla como un proyecto a largo plazo la ejecución de la alternativa de mejoras en los alimentadores.

En la tabla 3.1, se tiene el valor monetario final de la propuesta en guaraníes, esto según costos escrutados del plan anual de contrataciones de la empresa.

Existen dos costos asociados a la comercialización de la energía principalmente, los costos de la adquisición de la energía, y los costos operativos y de mantenimientos, este ultimo

Descripción	Costo por km	Longitud (km)	Total
Cambio de Sección de conductor de 3x70 a 3x150mm ²	141.252.523	6,8	960.517.155
Cambio de conductor de aluminio desnudo(3x70mm ²) por línea protegida(3x185mm ²)	436.167.067	21,8	9.508.442.052
TOTAL			10.468.959.208

Tabla 3.1: Costos de mejoras en los alimentadores

a modo de hacer mas sencillo el cálculo se considera de 20.000.000 Gs. anuales, en cuanto a la compra¹ de energía este es de 230 Gs. versus un promedio de venta de 311 Gs. por kWh (ver tabla A.9).

3.12. Beneficios

El principal beneficio es la reducción de las pérdidas técnicas, mas bien este concepto se puede cuantificar en términos de beneficios, para la alternativa de mejoras este es de 320 kW en demanda máxima, se obtiene a raíz de los datos recabados un factor de carga de 0,55, promediado de ambos alimentadores, pudiendo calcular de allí la potencia media ahorrada con la implementación de la alternativa. Se considera una venta incremental de 400 kW por año, en instalaciones industriales, también se considera el crecimiento vegetativo de la carga.

Con estas consideraciones se proyecta la venta de energía (tabla A.7), en donde se tiene en cuenta los alimentadores ELA-3 y ELA-4.

El ahorro debido a la mejora de las pérdidas en potencia, se aprecia en la tabla A.8.

3.13. TIR y VAN

Se realiza el estudio financiero a un plazo de 10 años. En la tabla 3.2 se proyecta el flujo de caja de la alternativa, con una recuperación de la inversión en el año 7.

¹Datos obtenidos del área comercial de la empresa

Beneficio	Costo	Año	Flujo neto	Van Acumulativo
		0	-10468959208	
2.017.737.814	1.330.364.025	1	687.373.789	-9.781.585.419
3.240.000.194	2.234.287.972	2	1.005.712.222	-8.775.873.197
4.560.043.565	3.210.525.835	3	1.349.517.730	-7.426.355.467
5.985.690.405	4.264.862.726	4	1.720.827.679	-5.705.527.788
7.525.388.992	5.403.546.569	5	2.121.842.424	-3.583.685.364
9.188.263.467	6.633.325.119	6	2.554.938.348	-1.028.747.016
10.984.167.899	7.961.485.953	7	3.022.681.946	1.993.934.930
12.923.744.686	9.395.899.654	8	3.527.845.032	5.521.779.962
15.018.487.616	10.945.066.451	9	4.073.421.165	9.595.201.126
17.280.809.980	12.618.166.592	10	4.662.643.388	14.257.844.515

Tabla 3.2: Flujo de caja de la alternativa propuesta

El VAN obtenido es de Gs. 1.261.401.970. El TIR es de 14,11 %, por encima del 12 %, tasa característica promulgada por el BCP.

Parte III

Ingeniería de Diseño

Capítulo 4


Relevamiento de datos

En este capítulo se realizan los relevamientos de datos correspondientes, de demanda y su correspondiente evaluación. Así también se realiza el relevamiento de las cargas y la topologías de las líneas.

4.1. Análisis de demanda

Primeramente se relevaron los datos de demanda de los alimentadores en estudio, se extrajeron los mismos de las bases de datos de los registros SCADA, al cual se tuvo acceso desde el centro de control. Se solicitaron los registros de todos los alimentadores de la ES-ELA, sin embargo, se realizaron las evaluaciones sobre los alimentadores ELA-3 y ELA-7.

Se analizan los valores máximos de corriente de estos alimentadores, entonces de los datos masivos de corriente se toman una secuencia de periodos en donde se vuelven máximos estos valores, en ambos casos se selecciona para lo que sigue en simulaciones los valores de la fecha 01-01-2023, pues este es un periodo en donde se balancean las cargas en estos alimentadores, también se evalúan los valores de factor de potencia (FP), en las tablas A.1 y A.2 se aprecian estos valores. En la figura 4.1 se aprecia la demanda máxima del alimentador ELA-3 en la fecha mencionada, y en la figura 4.2 se aprecia en la misma fecha

la demanda máxima. 

Se observa desequilibrio de corriente en ambos casos, esto conlleva directamente a la aparición de desbalance de tensión en la red, el cual, debe estar por debajo del 2%. También se recomienda desbalance de corriente por debajo del 10%, sin embargo observando las tablas A.1 y A.2, se aprecia un desequilibrio de corriente entre el 3% y 7%, dentro de lo requerido.

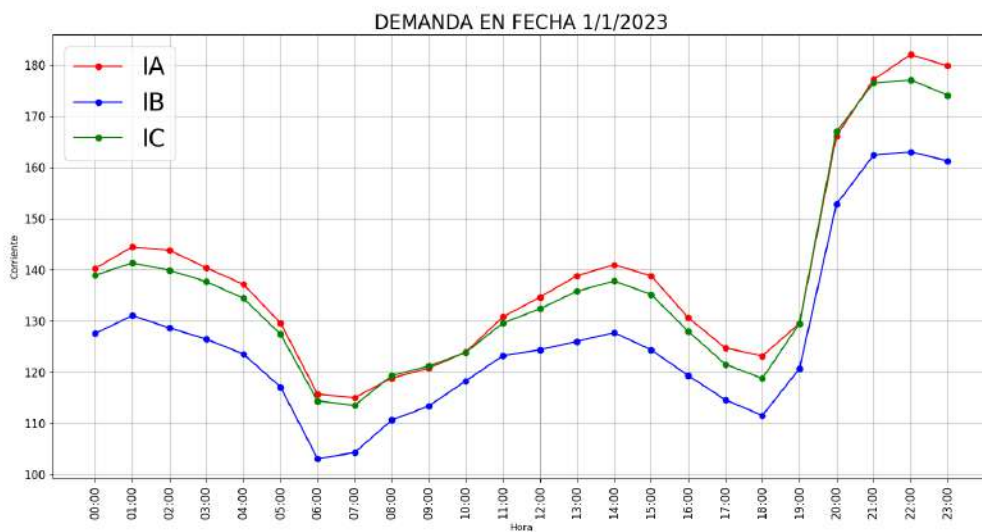


Figura 4.1: Demanda máxima ELA-3

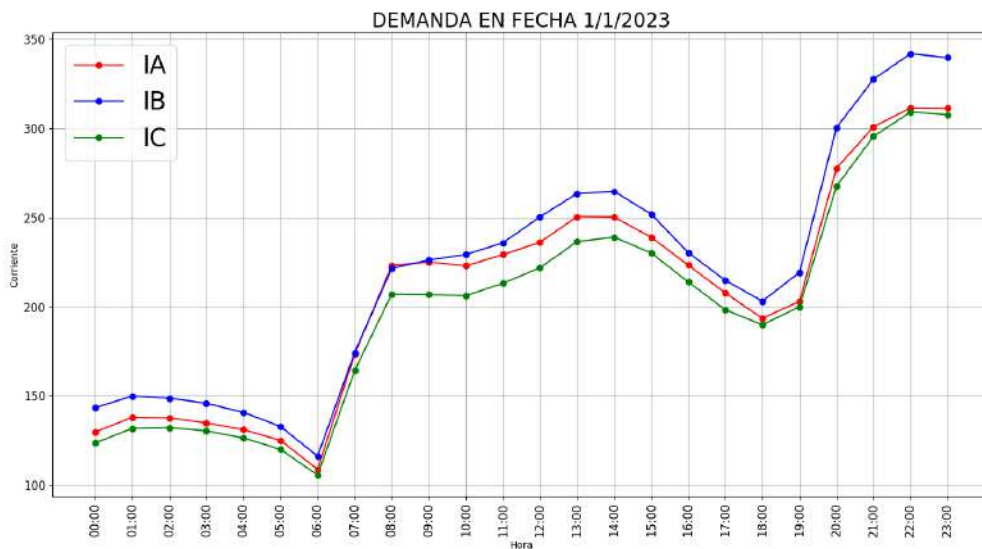


Figura 4.2: Demanda máxima ELA-7

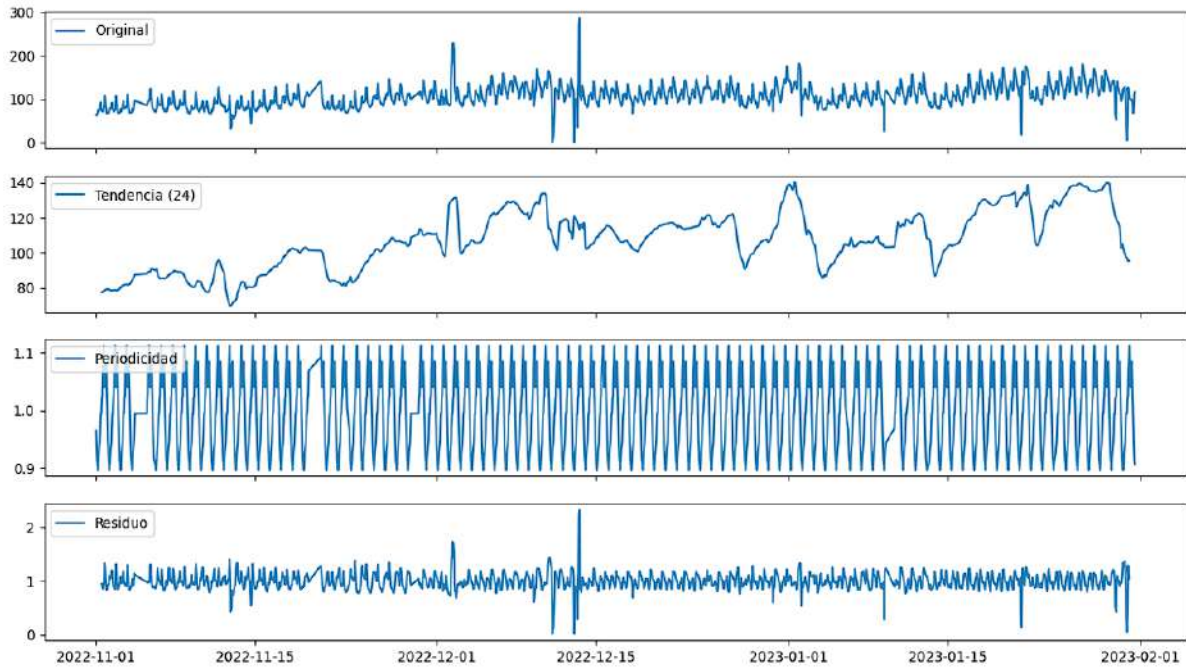


Figura 4.3: Descomposición temporal ELA-3

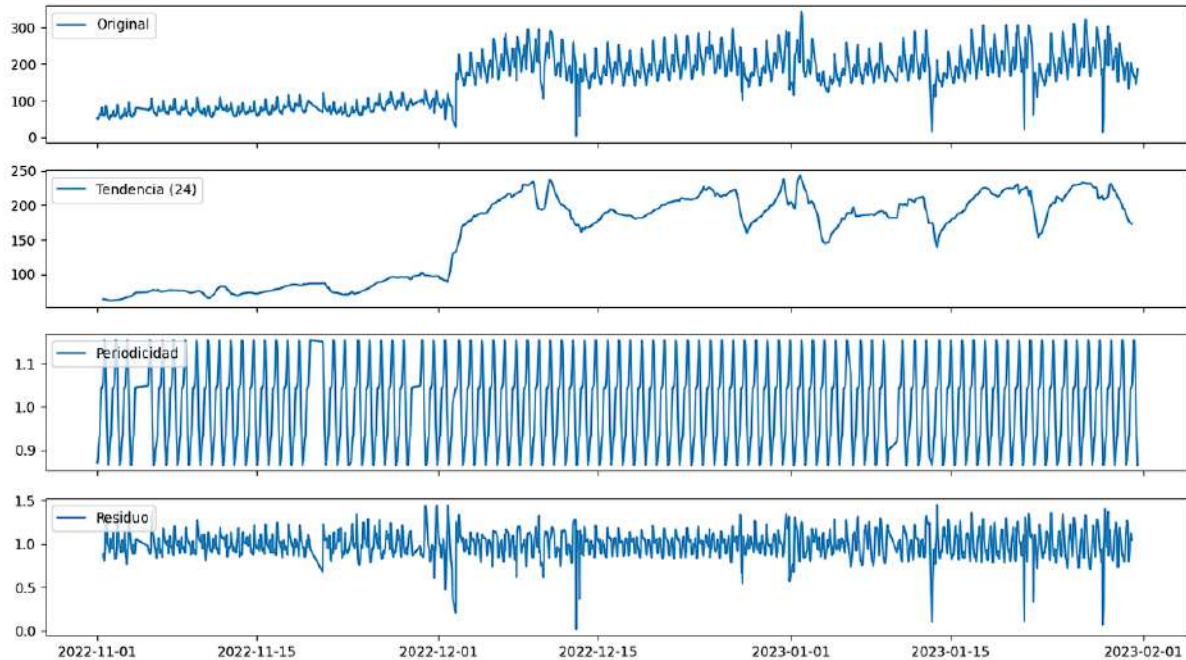


Figura 4.4: Descomposición temporal ELA-7

Por otra parte se evaluó el valor de la tendencia de la corriente máxima, se realiza una descomposición temporal para ello, se recurre a herramientas estadísticas, se utilizo la

librería statmodels.

En la figura 4.3 se aprecia el caso del ELA-3, la tendencia es **norma** a un recorrido promedio igual a 24, de la componente original se toman los valores máximos empleados en el apartado anterior.

En la figura 4.4 se observa la descomposición temporal del ELA-7, en este caso se aprecia un cambio ascendente en la tendencia a partir de diciembre del 2022 en donde el alimentador toma carga a operar de manera normal. En cuanto la periodicidad en ambos casos tenemos picos y valles parecidos, en el ruido no se aprecia un cambio fuera de los común.

Ahora bien, esta toma de carga del ELA-7 consiste en la transferencia total de la carga del alimentador ELA-4 sobre el mismo, y viceversa. Esto para tomar la carga que tenía el ELA-7 con el conductor troncal protegido del ELA-4. Entonces la carga del ELA-4 es la paralela al ELA-3 que se extiende hacia el este de Eusebio Ayala, con conductor **protegido en oda su extensión**. Por ende, al encontrar esta transferencia durante el periodo de verano del 2022, se analiza la demanda del ELA-4, y se toma como la máxima producción un día posterior al intercambio de carga.

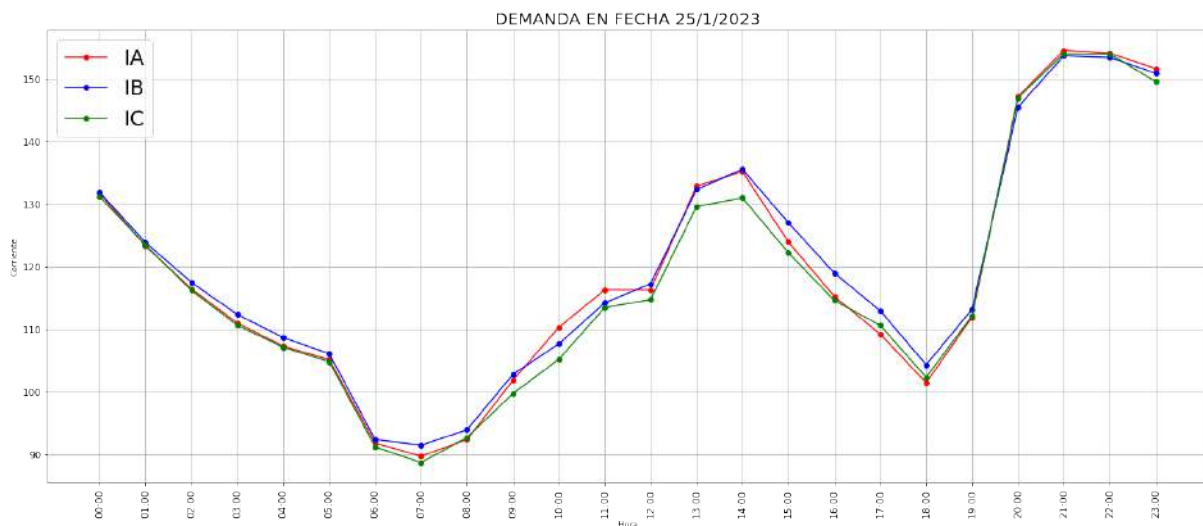


Figura 4.5: Demanda máxima ELA-4

En la figura 4.5, se observa el valor de demanda máxima considerado para el alimentador ELA-4, en fecha 25 de enero del 2023 posterior a la fecha de transferencia de carga ocurrido entre el ELA-7 y ELA-4. Si observamos la figura A.1, se observa este cambio en

la tendencia.

Consecuentemente se toman los alimentadores ELA-4 y ELA-3 como objetos a lo que sigue en este estudio, pues son finalmente las cargas que interesan a los objetivos de este proyecto.

4.2. Relevamiento de cargas y líneas

Para la realización de las simulaciones lo primordial es la obtención mas real posible de las redes de distribución, en este caso de las cargas y las líneas, como de sus respectivas características.

Se toman los datos relevados en campo por GRD¹. Estos datos están actualizados a la fecha de relevamiento, por ende son los mejores a utilizar en un marco de simulaciones.

En la figura 4.6 se tiene el recorrido de los alimentadores ELA-3 en rojo y ELA-4 en azul. Ambos se extienden al este de la estación, Tomando carga de margen derecha el ELA-3, localidades de Cerro Porteño, Cerro Cora, Valenzuela, Cabañas Kue, etc. El ELA-4 toma la carga de la ciudad de Itacurubi, Santa Elena, Mbokayaty del Yhaguy, Tacuary, etc, con cable protegido de 185 mm² hasta la ciudad de Itacurubi. Los calibres de conductor se ven totalmente en la figura A.2.

En la tabla A.3 se observan la cantidad extensión de cada tipo específico de conductor del ELA-3, 319,1 km de extensión total, en cuanto a troncal el conductor de 70 mm² tiene una longitud de 70,5 km y cerca de la estación se tiene instalado cable protegido de 3x185 mm² a lo largo de 4,18 km. En la tabla A.4 se observa lo mismo pero del alimentador ELA-4, este posee una larga extensión en cable protegido de 3x185 mm², total de 20 km, siendo su extensión total recorrido de 223,78 km.

En la tabla A.5 se exponen las cargas conectadas en KVA a estos alimentadores, ELA-3 tiene conectado 23225,48 KVA, de los cuales el 39 % corresponde a carga monofásica,

¹Gestión de Redes Distribución, departamento encargado de relevar datos de cargas y líneas de media tensión de la ANDE

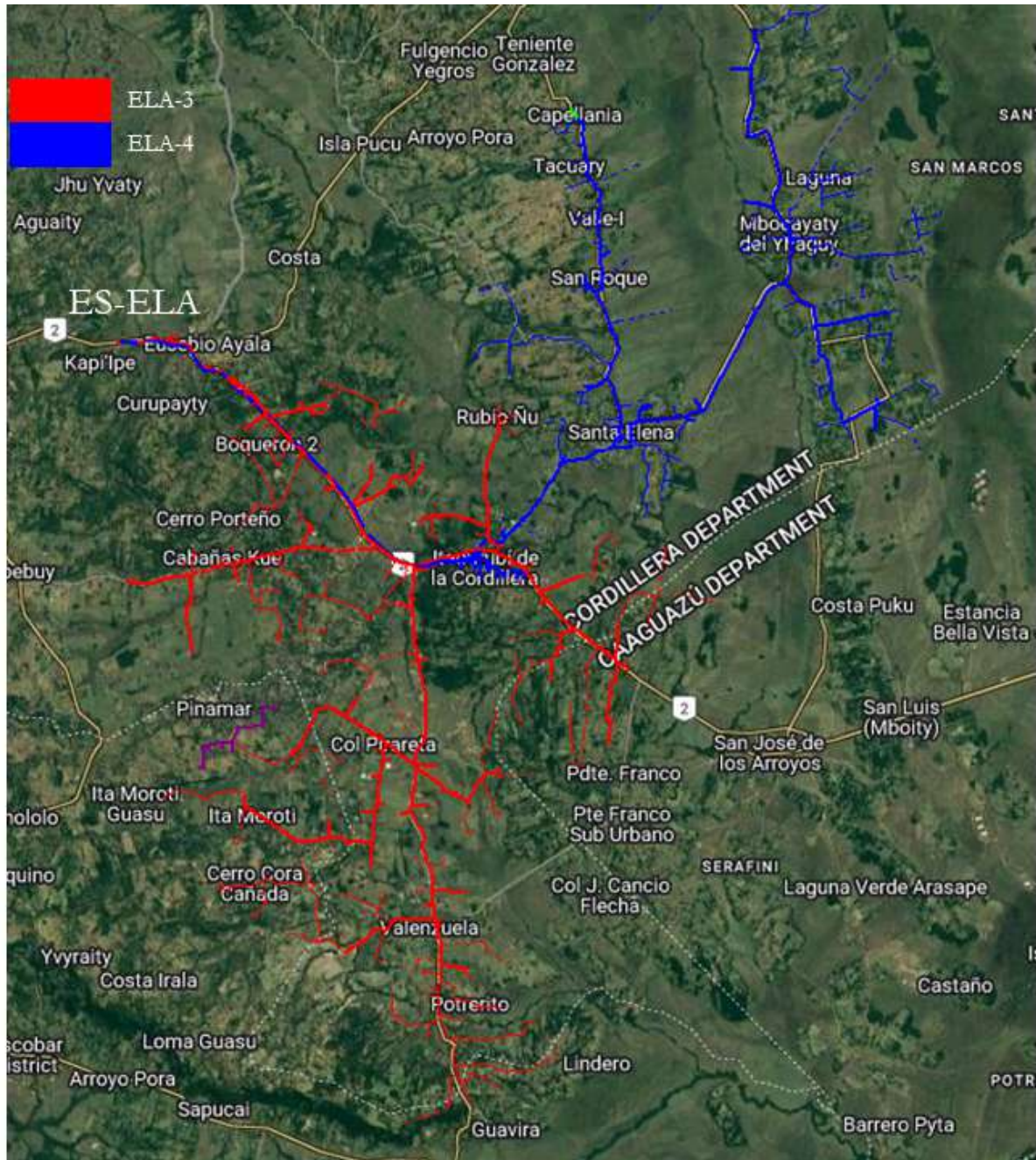


Figura 4.6: Recorrido de los alimentadores ELA-3 y ELA-4

por otra parte el ELA-4 tiene conectado 14513,48 kVA, de los cuales el 34 % es de tipo monofásica. Acentuando una gran presencia de zonas rurales en su recorrido. Como ya se mencionó anteriormente estos datos son relevados por un departamento dedicado exclusivamente a este trabajo.

En cuanto a equipos el alimentador ELA-3 posee un regulador de tensión de 200 Amperios de capacidad nominal, ubicado a 12 km de la ES-ELA en la localidad de Kilometro 81. Ubicado cercano a este y sobre el mismo alimentador se encuentra conectado un banco de capacitores de 600 kVAR a 13 km de la ES-ELA (vease figura A.3).

Capítulo 5

Propuesta de alternativas

En este capítulo se proponen alternativas para mejorar los niveles de tensión, desbalance de tensión y flexibilidad operativa en las redes estudiadas.

Estas propuestas son precedidas por una evaluación de la situación base de los alimentadores, utilizando los datos relevados en el capítulo anterior se realizan simulaciones para caracterizar la red dentro de los parámetros analizados. Para posteriormente sobre la base concebida realizar las diferentes modificaciones que conllevan a los resultados obtenidos.

5.1. Escenario base

Adoptando los valores de demanda analizados, y la topología de red relevada, se realiza una simulación considerando la demanda máxima, en el software CYME 9, con licencia de la ANDE. También se tiene en cuenta la impedancia de la fuente el cual es obtenido de datos de GT/DEL2¹.

Como se puede ver en la **figura**, se realiza la distribución de carga conforme lo modelado. Sobre el tipo de clientes, se utilizan valores bloqueados para clientes con carga instalada superior a 400 KVA, a valores conseguidos del sistema de gestión comercial de la empresa, valor de su consumo máximo último, el resto de usuarios se consideraron como clientes

¹Departamento de Estudios en AT.

de la franja residencial.

5.1.1. ELA-3 perfil base



Figura 5.1: Perfil de tensión en escenario base del ELA-3

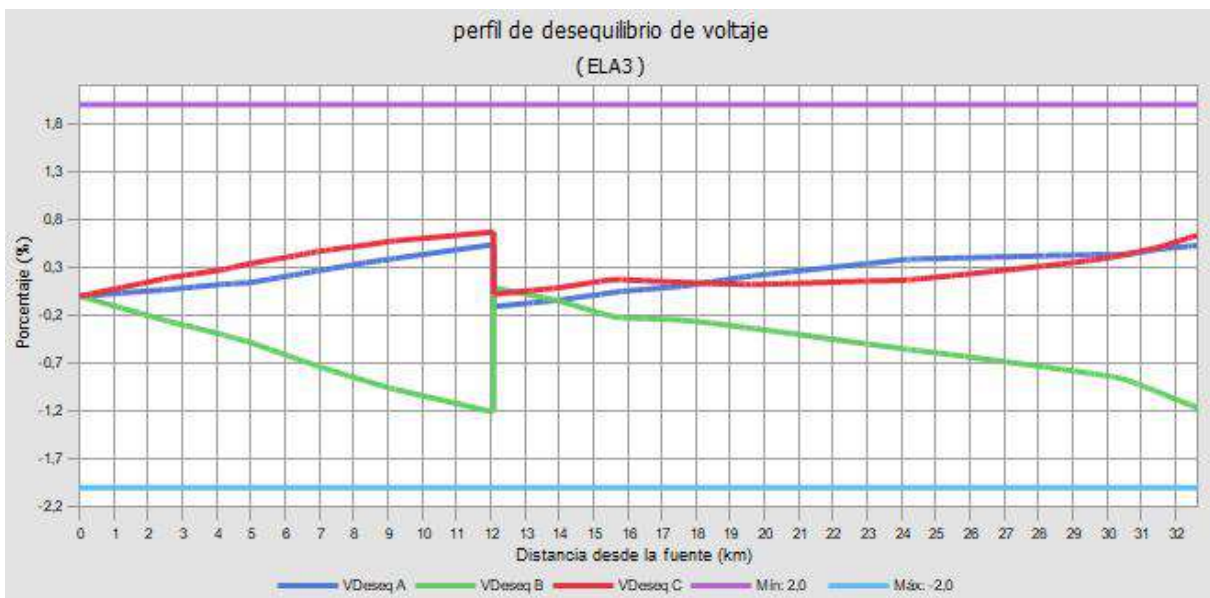


Figura 5.2: Perfil de desbalance de tensión ELA-3, base

Se ejecutó la distribución de carga sobre el alimentador ELA-3, en sus configuraciones iniciales, se obtiene un perfil de tensión el cual se muestra en la figura 5.1. Se evaluó la

tensión en una base de 23 kV, a modo de considerar las líneas monofásicas en la regulación de tensión, en el caso del ELA-3 en demanda máxima no existe tensión por debajo del umbral considerable, propiciado por el regulador de tensión, el cual se encuentra a 70 % de su capacidad nominal, con una corriente máxima de paso de 140 A.

Se estudia el perfil de desbalance de tensión del alimentador, en la figura 5.2, se aprecia este fenómeno, el criterio adoptado en todos los casos es del 2 %, por ende no se salen de los límites establecidos. El peor valor de desbalance se da en la fase B (-1,2 %) justo antes del paso por el RT.

En la figura A.4, se observa que no existe sobrecarga de conductores troncales a demanda máxima, la zona mayor cargada es apenas del 71 % de su nominal, el cual puede bajar por medio del balance de carga o cambio de conductor. Las pérdidas técnicas en demanda máxima obtenida es de 476 kW de una potencia total suministrada de 6,51 MW, con corriente neutral igual a 23,3 A.

5.1.2. ELA-4 perfil base

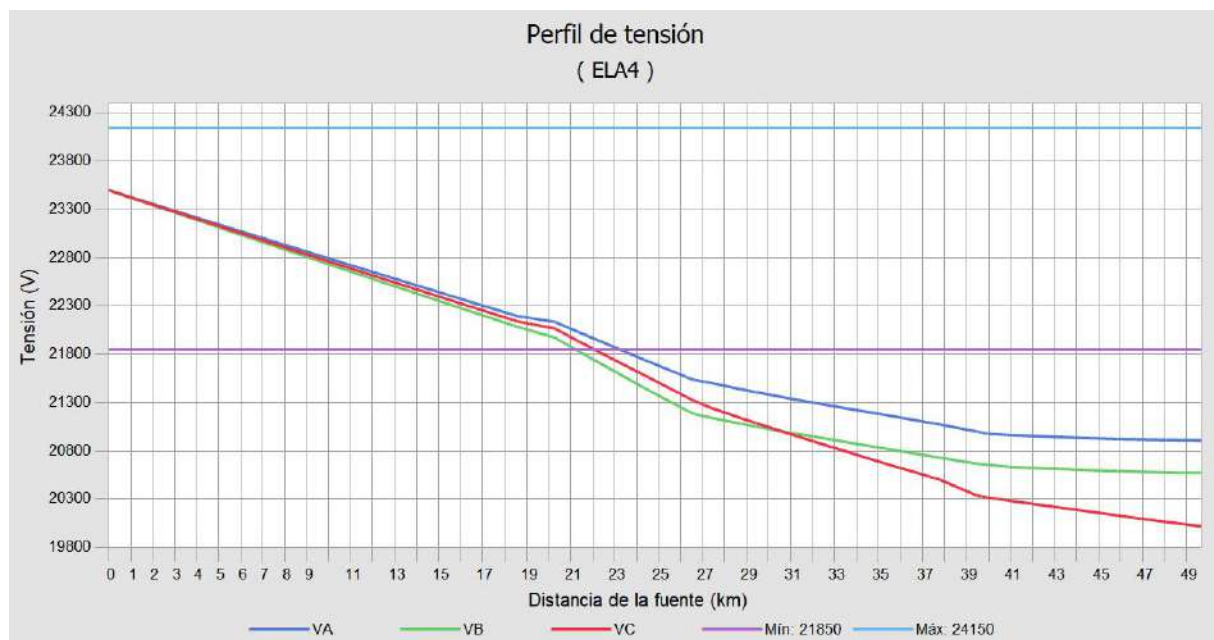


Figura 5.3: Perfil de tensión en escenario base del ELA-4

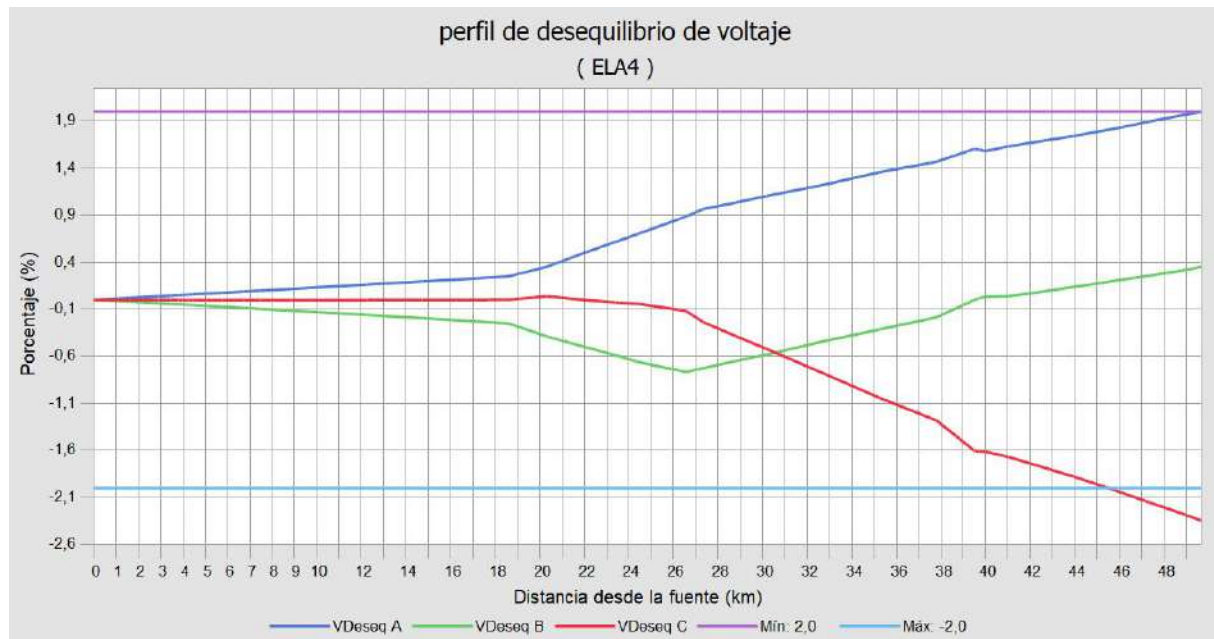


Figura 5.4: Perfil de desbalance de tensión ELA-4, base

Se realizó la misma acción sobre el modelo diseñado del ELA-4, en este caso utilizándose sus valores de corriente de obtenidos en el apartado anterior, el perfil de tensión obtenido se puede valorar en la figura 5.3, mientras que el perfil de desequilibrio de voltaje en la figura 5.4.

La tensión cae por debajo del umbral admisible a los 21 km del trayecto del alimentador, teniendo una tensión mínima de 20,3 KV entre líneas, siendo el 11 % por debajo de la tensión base, 6 % por debajo de la recomendada. El perfil de desequilibrio de tensión se encuentra hasta los 45 km de trayecto dentro de lo recomendado, sin embargo, posterior a este, el desequilibrio de la fase C es mayor al rango estipulado.

La carga de conductores del ELA-4 es mejor que su alimentador paralelo, este se plasma en la figura A.5, la carga máxima es apenas del 42 %. Las pérdidas se estiman en demanda máxima igual a 482 kW de 6,12 MW inyectado en cabecera, la corriente del neutro es de 3,1 A.

5.2. Regulación de tensión

En esta sección se busca la mejor regulación de tensión de estos alimentadores, así como la ubicación óptima de reguladores de tensión y banco de capacitores, mejorando las pérdidas y los niveles de tensión, beneficiando directamente al usuario.

5.2.1. Balance de carga

Se utilizó el modulo de balance de carga del software CYME, se declararon los nodos importantes de los alimentadores, para realizar un balance integral. Sobre el alimentador ELA-3 se seleccionan 2 nodos, la cabecera y un nodo intermedio. El caso del ELA-4 es diferente si bien no posee un desequilibrio de corriente considerable en la cabecera, se acentuó un desequilibrio de tensión a finales de línea, por lo que se seleccionan 4 nodos, si bien aumenta el desequilibrio en la cabecera sin pasar el 10 %, disminuye en las zona alejadas, consiguiendo un perfil de desbalance de voltaje optimizado, en la **figura5.5** se observa el perfil de desbalance de tensión posterior al balance de carga, consiguiendo el balance sobre todos los trayectos del alimentador.

El balance de carga mejoró el perfil de tensión del ELA-3, según la simulación todos los trayectos se encuentran dentro de los rangos permisibles de tensión (véase figura 5.6).

El perfil de tensión del ELA-4 no sufre cambios bruscos con el balance de carga, pues el momento eléctrico si bien mejora no es suficiente para elevar la tensión a finales de líneas.

Las pérdidas técnicas en demanda máxima no se reducen considerablemente, siendo de apenas 0,52 %, esto debido a que las pérdidas están directamente relacionadas a la carga, y estas no disminuyen el balance de carga. La corriente neutral en el ELA-3 baja a 3,8 A, mientras en el ELA-4 sube a 10 A.

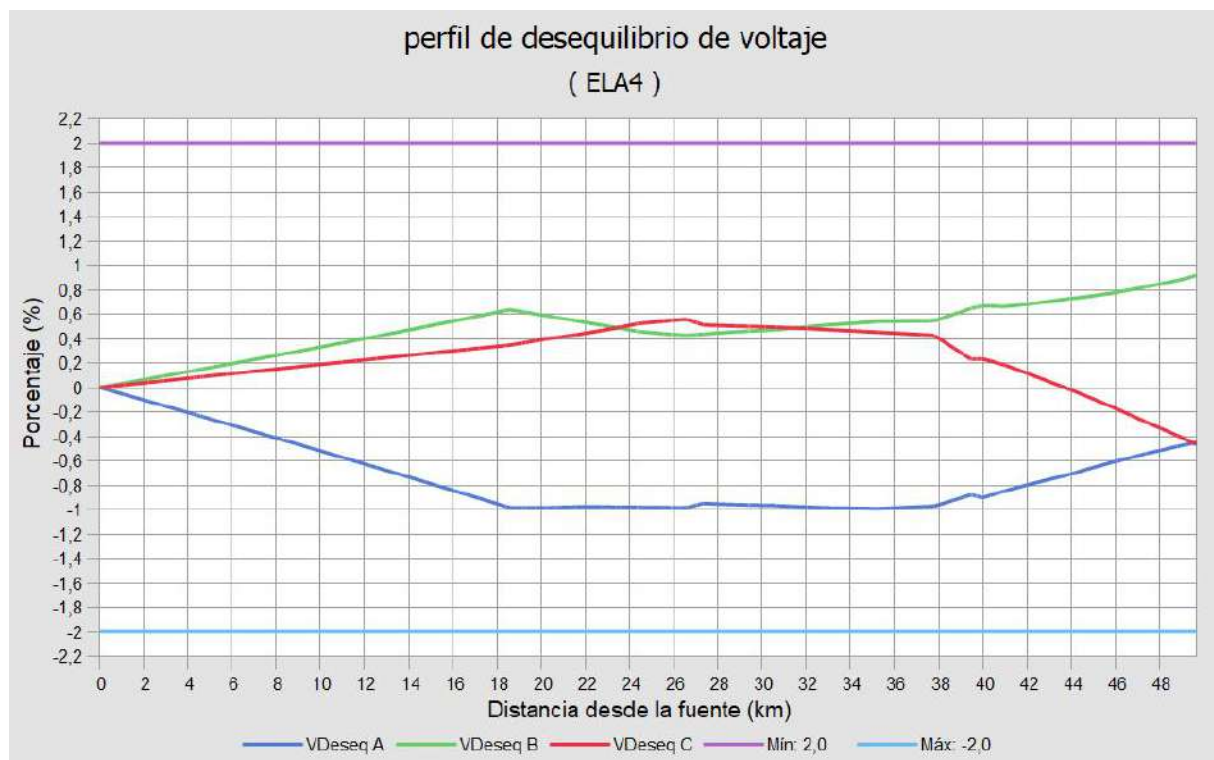


Figura 5.5: Desequilibrio de tensión ELA-4 posterior al balance de carga



Figura 5.6: Perfil de tensión del ELA-3 posterior al balance de carga

5.2.2. Banco de capacitores

Se utiliza el modulo de ubicación optima de banco de capacitores, solo se evalua sobre el alimentador ELA-4, ya que el ELA-3 posee un banco de 200 kVAr instalado, entonces se ejecutó dicho modulo, obteniendo una zona de mejor ubicación (véase figura A.8). Se instala en modelo un BC de 600 kVAr, a 37,8 km de la ES-ELA, en la localidad de Virgen de Fatima, con una mejora de la tensión igual al 1,33 %.

La tensión a final de linea es de 20,8 kV entre lineas, siguiendo por debajo de los limites admisibles. Las pérdidas técnicas mejoran respecto al nivel base en 3,44 %.

5.2.3. Regulador de tensión

Como las aplicaciones realizadas hasta este punto no logran una mejora significativa en el perfil de tensión del ELA-4, se propone la ubicación de un regulador de tensión sobre este alimentador.

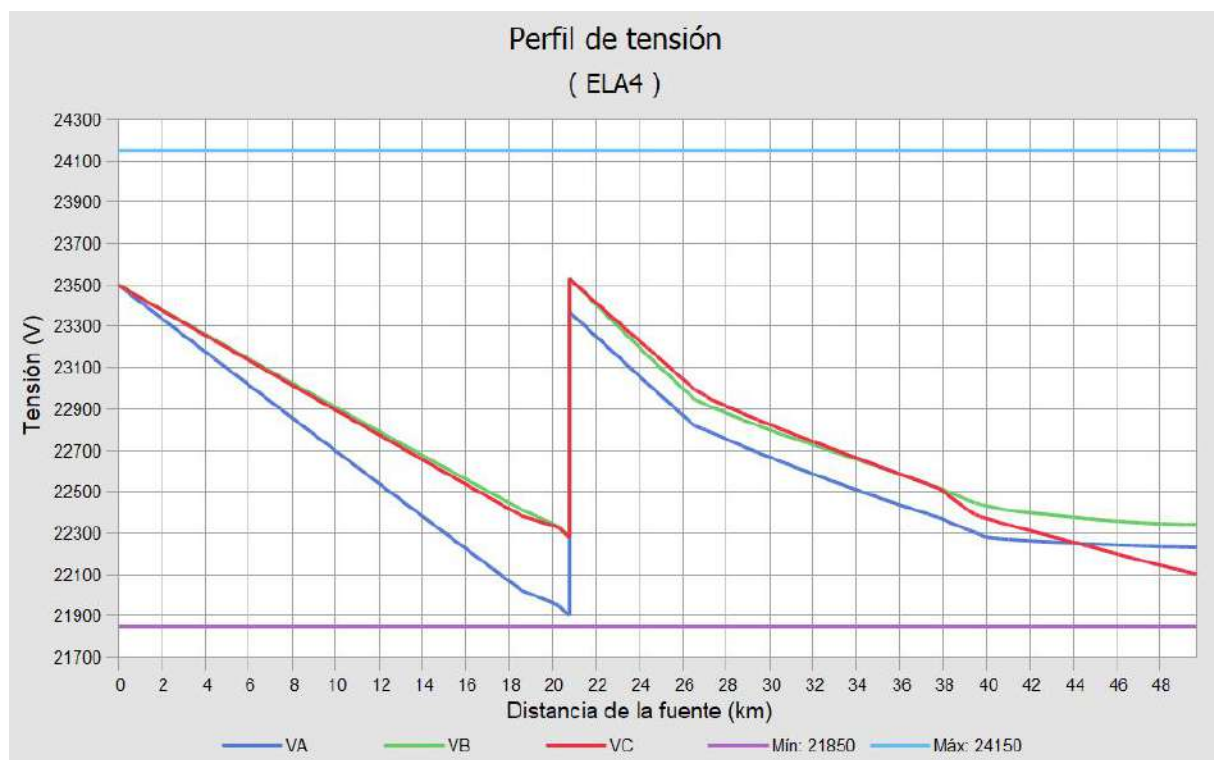


Figura 5.7: Perfil de tensión ELA-4, con regulador de tensión

A partir del perfil de tensión se identificó la ubicación óptima del mismo, siendo a los 20,8 km de la ES-ELA, salida de la ciudad de Itacurubi, hacia Santa Elena, en la figura A.9, se observa los niveles de tensión de ambos alimentadores dentro del 95 % al 100 %, y la ubicación del equipo regulador, dimensionado a 200 A, pues la corriente de paso en el lugar se calculo mediante la simulación igual a 99 A, previendo el crecimiento de la zona se realizó este dimensionamiento, la conexión del mismo es en delta cerrado.

En la figura 5.7, se aprecia el nuevo perfil de tensión incluyendo el RT de 200 A, encontrándose dentro de todos los parámetros limitantes, como así también los niveles de desbalance de tensión se mantienen dentro de los rangos deseados (véase figura A.10).

la pérdidas técnicas se reducen respecto a la base en aproximadamente 6 %, la tabla A.6 muestra un resumen del proceso de mejora de este parámetro en demanda máxima.

5.3. Mejoras de los alimentadores

Además de la regulación de tensión, imprescindible la previsión del crecimiento de la demanda en los alimentadores de media tensión, por esa razón se busca aliviar con nuevos alimentadores o bien hacer mas robustos los existentes, en esta sección se explora las mejoras a nivel de conductores como otra alternativa a fin de mejorar los niveles de tensión, balance y la flexibilidad operativa.

El cambio de calibre de conductor en los alimentadores de media tensión en 23 kV puede tener varios beneficios, entre los cuales se incluyen:

- Reducción de pérdidas de energía: Al utilizar un conductor de mayor calibre, se disminuye la resistencia eléctrica del cable, lo que resulta en una menor pérdida de energía durante la transmisión de la electricidad. Esto contribuye a mejorar la eficiencia del sistema y reduce los costos asociados con la pérdida de energía.
- Mejora de la capacidad de carga: Al aumentar el calibre del conductor, se incrementa la capacidad de transporte de corriente. Esto permite soportar una carga eléctrica

mayor sin que se produzcan problemas de sobrecarga o caídas de tensión significativas. Como resultado, se puede proporcionar energía de manera más confiable y satisfacer la demanda creciente de electricidad.

- Reducción de caídas de tensión: Las caídas de tensión son una disminución de voltaje que ocurre a medida que la electricidad se transmite a lo largo del cable. Al utilizar un conductor de mayor calibre, se reduce la resistencia y, por lo tanto, se disminuye la caída de tensión a lo largo del alimentador. Esto asegura que los equipos y dispositivos conectados a la red eléctrica funcionen adecuadamente y evita problemas como fluctuaciones de voltaje o daños en los equipos.
- Mejora de la confiabilidad y seguridad: Al tener un sistema de alimentación con conductores de mayor calibre, se reducen las posibilidades de fallas o interrupciones debido a problemas como sobrecargas o altas temperaturas en los cables. Esto contribuye a una mayor confiabilidad y seguridad del suministro eléctrico, ya que se minimizan los riesgos de apagones o daños en la infraestructura.

En resumen, el cambio de calibre de conductor en los alimentadores de media tensión en 23 kV proporciona beneficios como la reducción de pérdidas de energía, mejora de la capacidad de carga, disminución de caídas de tensión y mayor confiabilidad y seguridad en el suministro eléctrico. Estas mejoras contribuyen a un funcionamiento más eficiente y efectivo del sistema de distribución de energía eléctrica.

Se proponen posterior a una evaluación en simulación, los siguientes trabajos de mejoras:

- Sobre ELA-3: 21,8 km de cambio de conductor de 70 mm² a protegido de 185 mm².
- Sobre ELA-4: 6,8 km de cambio de conductor de 70 mm² a 150 mm².
- Transferencia de la carga de Cabañas Kue del ELA-3 al ELA-4.

En las figuras A.11 y A.12, se muestran los cambios propuestos.

Debido a la transferencia de carga propuesta y los cambios en calibres de conductor, se puede regular la tensión en estos alimentadores, retirando el regulador de 200 A del ELA-3 pues ya no necesitaría de este equipo. Colocar el equipo retirado del ELA-3 sobre el

ELA-4 a 16,6 km de la ES-ELA llegada a la ciudad de Itacurubi, por otra parte también se considera la colocación de un banco de capacitor sobre el ELA-4 como se menciona en la alternativa anterior. Los niveles de desbalance de tensión mejoran y se mantienen en rangos admisibles.

En la figuras 5.8 y 5.9, se muestran los perfiles de tensión de los alimentadores posterior a estas mejoras. En todos los puntos de los trayectos la tensión se encuentra dentro de los límites del 5%.

Las pérdidas en este escenario se reducen al 33,4% de sus valores iniciales, lo cual refleja una disminución 6 veces superior a la alternativa de regulación de tensión solamente.

Esta alternativa cubre mejor las demandas a futuro de ambos alimentadores, pudiendo conceder potencia sobre los mismo a largo plazo.

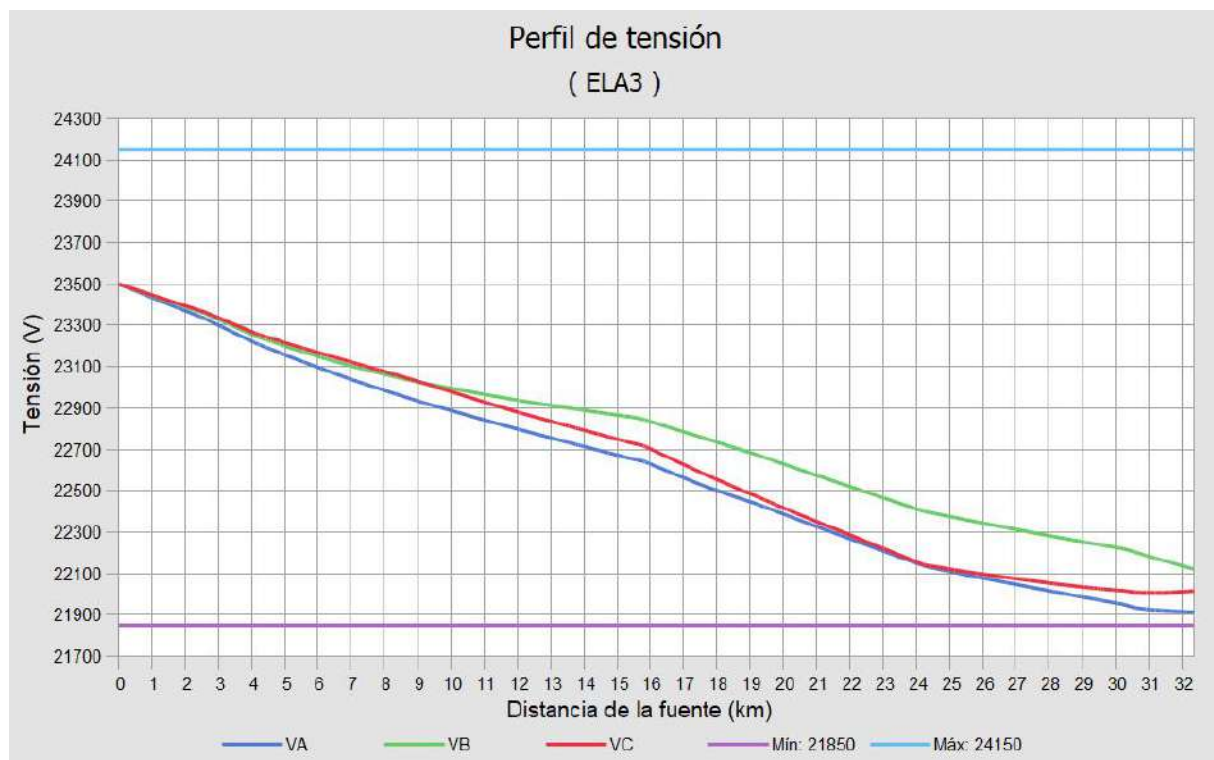


Figura 5.8: Perfil de tensión del ELA-3, mejoras

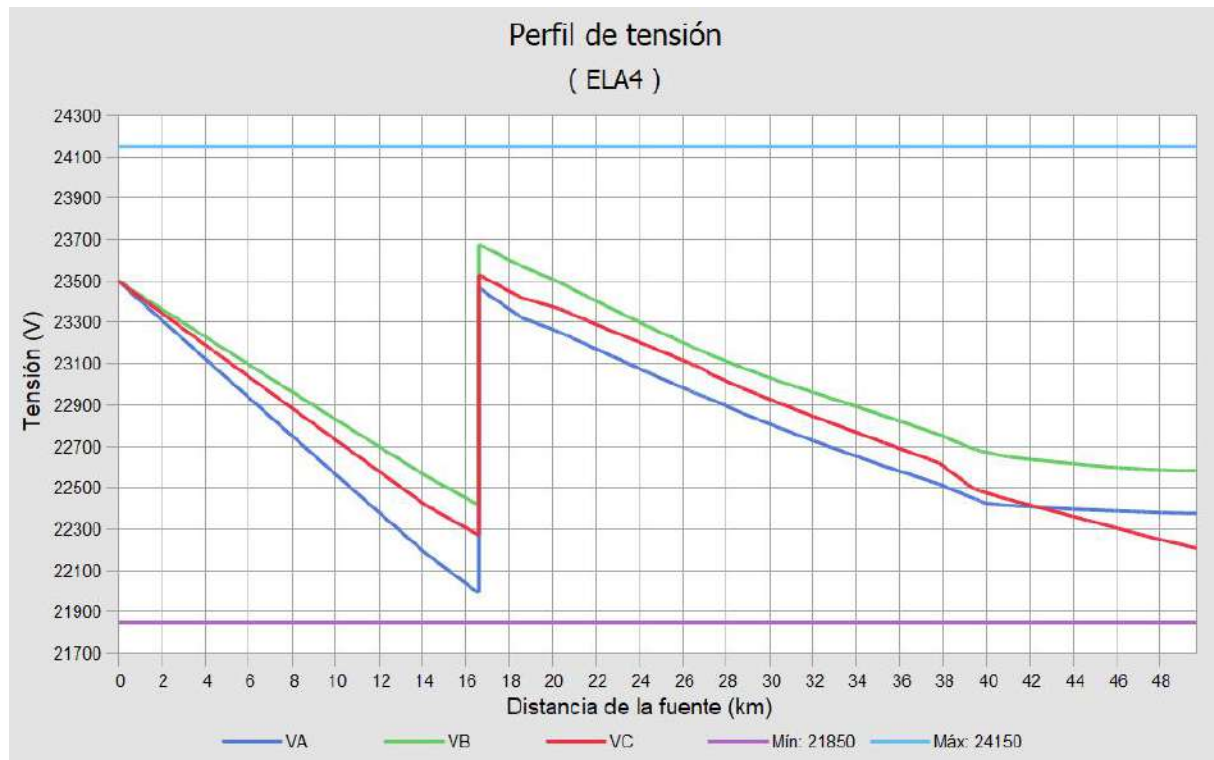


Figura 5.9: Perfil de tensión del ELA-4, mejora

5.4. Flexibilidad operativa

La flexibilidad operativa de los alimentadores de 23 kV se refiere a la capacidad de adaptación y control de estos sistemas de distribución eléctrica para satisfacer las demandas cambiantes de energía, los alimentadores ELA-3 y ELA-4 siguen trayectos paralelos por lo que al cambiar las necesidades de demanda, en la mayoría de los casos por fuera de servicio, estos se pueden apoyar mutuamente, sin sobrecargar los conductores y equipos.

Solo son dos los alimentadores en escenario, sin embargo, se puede buscar un ajuste según las necesidades específicas de carga y topología del sistema eléctrico. Esto implica la capacidad de cambiar la conexión y distribución de cargas, añadir o quitar dispositivos de protección, y adaptar la configuración en función de los cambios en la demanda.

Estos alimentadores están equipados con sistemas de control que permiten supervisar y gestionar la carga de manera eficiente, a través del sistema scada, recordemos que el centro de operación cuenta con un despachante de carga las 24 horas del día. Los dispositivos de

control, como interruptores, seccionadores y reguladores de tensión, permiten la apertura y cierre selectivo de circuitos para redirigir la energía y minimizar las pérdidas y los problemas de calidad de energía.

La flexibilidad operativa implica la capacidad de detectar y responder rápidamente a fallas en la red. Los alimentadores de 23 kV están equipados con sistemas de protección y dispositivos de detección de fallas, como relés de protección, reconectores de línea, que permiten localizar y aislar las áreas afectadas para minimizar el impacto en el suministro eléctrico.

Primeramente se definen los bloques de carga principales en estas redes, se tuvo en cuenta la densidad de carga de estos alimentadores (figura A.13), se observa como la mayor concentración de carga se encuentra en la ciudad de Itacurubi, por lo que se vuelve un foco de estudio para mejorar el servicio en la zona, por otra parte se consideran bloques a las derivaciones de Santa Elena y Valenzuela, y la troncal antes de estas derivaciones.

5.4.1. Equipos telecomandados

La empresa ANDE en la licitación pública internacional 1495-19, posterior a un análisis regional de tecnologías, apuesta por equipos a utilizarse como llaves telecomandadas en las redes de distribución para mejorar el servicio en media tensión, realizando las operaciones de manera remota, disminuyendo de esta manera el tiempo fuera de servicio. Estos equipos ya cuentan con sus instructivos de trabajo y operación, por lo que en este proyecto se consideran y recomiendan la utilización de estos equipos a modo de mejorar la flexibilidad operativa de estos alimentadores.

Los equipos telecomandados, actualmente instalados en en todo el país, englobando la zona metropolitana y regionales, con un total de 1200 equipos ya instalados². Esta dirección prevee la instalación de la misma cantidad de equipos durante el próximo año. Por estas cuestiones se opta por la propuesta de instalación de estos equipos en las redes ELA-3 y ELA-4.

²Datos obtenidos de la Dirección de Redes Inteligentes de la ANDE



Figura 5.10: Equipo telecomandado, instalado por ANDE

En la figura 5.10 se muestra este equipo, instalado en un alimentador rural, en estos casos se utilizan seccionadores cuchillas para la aislación del equipo y el puenteo. En caso de las zonas urbanas se utilizan solamente los seccionadores de puenteo.

5.4.2. Bloques de carga e instalación de equipos

Se definen los equipos de maniobra y protección instalados actualmente sobre estos alimentadores. Sobre el ELA-4 se tiene un seccionalizador antes de la carga de Mobocayaty, mientras que sobre el ELA-3 se tiene también un seccionalizador en el arranque de la derivación a Valenzuela, estos equipos son capaces de operar en caso de avería agua abajo mediante los re-cierres del alimentador (véase figura A.14).

Entonces posterior a una revisión de las cargas conectadas y los equipos existentes se propone la configuración planteada en la figura 5.11 se muestra la propuesta de bloques de carga a considerar, se enumeran los equipos a instalar, un total de 9 instalaciones a realizar, considerando cargas superiores a los 3000 KVA conectados la mayoría de los

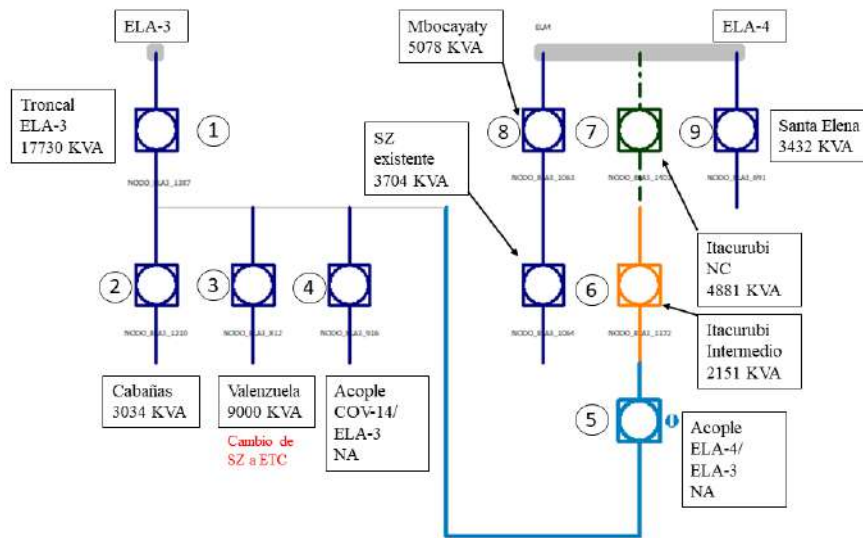


Figura 5.11: Propuesta de instalación de equipos telecomandados

puntos, sin embargo la carga de la ciudad de Itacurubi es seccionada a 44% por mayor prioridad social.

Analizando las posibles fallas, se realizarían las operaciones mostradas en la tabla 5.1, las maniobras que requieren de apoyo por otro alimentador se acotarán a la disponibilidad del mismo y de sus equipos de regulación, por ejemplo en el caso de fuera de servicio del ELA-4 se toma con el ELA-3 la ciudad de Itacurubi, esto estará acotado por la carga del RT de 200 A del ELA-3.

El porcentaje de recuperación mínima es del 23%, mientras que la máxima recuperación se encuentra en 87% de la carga, el promedio de recuperación es del 60%.

El fuera de servicio del alimentador ELA-4 representa la mayor transferencia a realizar al alimentador ELA-3, transfiriendo 4881 KVA que representa la ciudad de Itacurubi. En la figura A.15, se muestra el perfil de tensión simulado del ELA-3 con la transferencia mencionada, el RT de 200 A, se encuentra a su 100% exactamente de su capacidad nominal, pero recordemos que estas simulaciones se realizan a demanda máxima, entonces calculando la probabilidad de que la maniobra de contingencia se de en este escenario considerando las horas puntas y el periodo de verano, es apenas del 1,041%, por lo que la

Fallas	Acciones de recuperación	Porcentaje de recuperación	Obs.:
Agua abajo de ETC 1	Apertura de ETC-1	23 %	-
Agua abajo de ETC 2	Apertura de ETC-2	87 %	-
Agua abajo de ETC 3	Apertura de ETC-3	61 %	-
Fuera de servicio ELA-3	Apertura ETC-2, ETC-2 y ETC-3, cierre ETC-4	25 %	Se podrá cerrar las derivaciones ETC-2 o ETC-3 dependiendo de la carga en el momento
Fuera de servicio ELA-4	Apertura ETC-7, cierre ETC-5	34 %	Se recupera toda la carga de Itacurubi
Falla entre ETC-6 y ETC-5	Apertuta ETC-6, cierre del alimentador	85 %	Solo se pierde el 44 % de la carga de la ciudad
Falla entre ETC-7 y ETC-6	Apertura ETC-7, apertura ETC-6, cierre ETC-5, cierre alimentador	81 %	Solo se pierde el 56 % de la carga de la ciudad
Agua debajo de ETC-8	Apertura ETC-8	65 %	-
Agua debajo de ETC-9	Apertura ETC-9	76 %	-

Tabla 5.1: Maniobras de contingencia, ELA-3 y ELA-4

transferencia en el 99,98 % de los casos se darán en demandas por debajo de la máxima del año, pero si fuese el caso los equipos y el alimentador tendrán la capacidad de absorber la carga.

El fuera de servicio del ELA-3 se compensa en maniobra, a través de la tranferencia sobre el alimentador COV-14 solamente de la troncal, según simulación a demanda máxima 36 A de corriente. Se realizaron con la ayuda del departamento de operación centro, la simulación en demanda máxima del COV-14, el perfil de tensión se aprecia en la figura A.17, los niveles se encuentran totalmente dentro de los margenes establecidos, nuevamente este caso es poco probable, las transferencias se realizan en demandas usualmente menores. El conductor troncal del COV-14 con esta maniobra se encuentra debajo del 50 % de factor de utilización (figura A.18), por lo que se tuvo como observación la posibilidad de transferir mas carga en condiciones de demanda media o mínima.)

Atendiendo al objeto de este trabajo también se evaluó el desequilibrio de voltaje en estados de transferencias, esto se muestra en la figura A.16, todos los valores se encuentran dentro de lo recomendado, resultado del balance integral propuesto.

Parte IV

Capítulo 6

Resultados y Discusión

Se realizó primeramente relevamiento y análisis de datos, específicamente de demanda y topología de los alimentadores en cuestión, se encontró, un cambio en las etiquetas de los alimentadores, tomando carga del ELA-7 el alimentador ELA-4, por la dimensión del conductor troncal protegido de 185 mm^2 del ELA-4. Entonces se realizan los estudios conforme a estos dos alimentadores ELA-3 y ELA-4.

Se analizó el comportamiento de la demanda en el periodo de verano del 2022 y 2023, 4 meses exactamente, se encontró en el caso del ELA-4 posterior a la descomposición temporal, dos picos periódicos, dándose el mayor pico entre las 17 y 19 horas del día, por otra parte el ELA-3 solo un pico también desde las 17 a las 19 horas. Se encontró un factor de potencia promedio de 0,92 (ELA-3) y 0,94 (ELA-4), se promediaron los factores de carga, que consiste en la relación de la demanda media y máxima, a valor de 0,55, utilizado en los cálculos financieros de la sección 3.11.

La sobrecarga de conductores no fue considerable, llegando a 71 % del conductor troncal desnudo de 70 mm^2 en demanda máxima, y disminuido al 67 % en la simulación de balance de carga al cual fue sometido el modelo del ELA-3.

El alimentador ELA-4 fue el único en presentar desequilibrio de tensión ya a finales de su trayecto, igual a 2,4 % en su punto máximo.

En la alternativa de regulación de tensión se realizó primeramente el balance de carga, modelando los alimentadores en su estado de demanda máxima, con este balance se logró mejorar el perfil de tensión del ELA-3 en 1,04 % justo antes del regulador, punto de menor tensión eléctrica. En cuanto al ELA-4 este posee voltajes por debajo del umbral a partir del 44 % de su trayecto, por lo que el balance de carga no fue un método suficientemente práctico para la mejora en este aspecto, sin embargo los niveles de desbalance de voltaje se consiguieron confinamiento dentro del rango.

Siguiendo con la alternativa se ubicó un banco de capacitores para mejorar tensión y pérdidas del alimentador y un banco de reguladores de tensión en el punto de menor tensión obtenido sobre el ELA-4, esto logró mejorar por completo los niveles de tensión de este alimentador.

En el proceso de crecimiento de una ciudad la energía eléctrica es de carácter fundamental, por lo que el robustecimiento de las líneas de distribución en media tensión es de carácter covalente a este fenómeno, esta otra alternativa consistió en las mejoras por medio de cambio de conductores troncales de estos alimentadores a fin de dar firmeza en la toma de carga, en simulación se encontró confinamiento dentro de rangos de los niveles de tensión y balance de carga de los mismos, y en cuanto a mejoras de pérdidas esta alternativa obtuvo decrecimiento de la pérdida técnica en 33,4 %.

En la sección de flexibilidad operativa se alega a la licitación pública internacional llevada a cabo por la dirección de redes inteligentes de la empresa de equipos telecomandados, y se busca por medio de criterios de carga instalada y recuperación de carga ante eventos de faltas, la ubicación de estos equipos de maniobras, con la propuesta se consigue una recuperación media del 60 % de la carga. Además se plantean soportes por medio de alimentadores contiguos.

Se desarrolla el análisis financiero de la alternativa de mejoras, por la necesidad de mejorar la robustez del sistema ante la demanda, pero como proceso de crecimiento y calidad de servicio no se descarta la instalación de equipos de regulación de tensión. Se encontró en el proyecto de mejoras de los alimentadores, recuperación de la inversión en el año 6, bajo un horizonte de 10 años.

Capítulo 7

Conclusiones

Se logró evaluar las condiciones actuales y actualizar los datos de cargas y líneas de los alimentadores en estudio, consiguiendo un modelo ordenado y proveído por diferentes bases de datos, comerciales y operacionales de la empresa.

Se logró modelar en el software CYME, ambos alimentadores con el total de características de sus equipos.

Se realizaron estudios de la demanda, de los tipos de clientes y de las zonas horarias de consumo de los alimentadores, consiguiendo proponer dos alternativas principales para la mejora en niveles de tensión y desequilibrio de voltaje.

Se realizó la ubicación y simulación de equipos de maniobras en la red de distribución de media tensión mediante simulaciones, se obtuvo debido a este despliegue de equipos de maniobras la posibilidad de elaborar una plan de contingencia en caso de fueros de servicios totales y parciales en ambos alimentadores.

Finalmente, se realizó la evaluación económica de la alternativa con mayor prioridad a los efectos del crecimiento de la carga.

Capítulo 8

Recomendaciones

Se proponen las siguientes recomendaciones al finalizar este trabajo:

- Continuar con las practicas de analisis de demandas de los alimentadores.
- Promover la realización de la alternativa de mejoras en los alimentadores, sin embargo, a nivel de empresa se recomienda instalar los equipos de regulación de tensión a corto plazo para la mejora inmediata de los niveles de tensión en horarios de mayor demanda.
- Instalar los equipos telecomandados y tener como guía las operaciones planteadas en la tabla 5.1, en caso de contingencias de estos alimentadores.
- Volver a realizar este estudio y plantear otras mejoras de acoples fuertes y nuevos alimentadores en la zona, una vez terminada la obra de subestación en San José de Los Arroyos.

Apéndice A

Apéndices

A.1. Relevamientos

POSICION	CORRIENTE_R	CORRIENTE_S	CORRIENTE_T	ACTIVA	REACTIVA	Maximo	Fecha_completo	FP
AL03	287,41	245,74	274,95	10,35	2,74	287,41	2022-12-13 14:00:00	0,966698
AL03	272,12	230,41	261,74	9,78	2,51	272,12	2022-12-13 13:00:00	0,968609
AL03	229,24	213,03	219,38	8,63	2,23	229,24	2022-12-02 11:00:00	0,968198
AL03	224,94	209,54	216,15	8,44	2,25	224,94	2022-12-02 10:00:00	0,966254
AL03	221,48	205,69	213,7	8,34	2,06	221,48	2022-12-02 12:00:00	0,970823
AL03	215,52	194,45	198,81	7,58	2,51	215,52	2022-12-02 13:00:00	0,949308
AL03	187,78	173,96	178,11	7	1,66	187,78	2022-12-02 09:00:00	0,973015
AL03	182,01	163,02	177,1	6,87	0,72	182,01	2023-01-01 22:00:00	0,994553
AL03	181,23	155,52	172,25	6,56	0,78	181,23	2023-01-26 21:00:00	0,993005
AL03	179,83	161,28	174,12	6,82	0,73	179,83	2023-01-01 23:00:00	0,994320

Tabla A.1: Resumen de demanda del alimentador ELA-3

POSICION	CORRIENTE_R	CORRIENTE_S	CORRIENTE_T	ACTIVA	REACTIVA	Maximo	Fecha_completo	FP
AL07	311,49	341,93	309,24	-12,02	-3,5	341,93	2023-01-01 22:00:00	0,9601
AL07	311,29	339,64	307,64	-12,01	-3,47	339,64	2023-01-01 23:00:00	0,9607
AL07	309,23	329,01	301,36	-11,88	-3,43	329,01	2023-01-02 00:00:00	0,9608
AL07	300,97	327,62	295,57	-11,56	-3,41	327,62	2023-01-01 21:00:00	0,9591
AL07	302,84	320,56	293,52	-11,41	-3,17	320,56	2023-01-26 21:00:00	0,9635
AL07	303,91	319,5	293,46	-11,4	-3,18	319,5	2023-01-26 22:00:00	0,9632
AL07	301,63	309,91	281,99	-11,49	-3,14	309,91	2023-01-25 21:00:00	0,9646
AL07	295,19	307,3	283,4	-11,13	-3,07	307,3	2023-01-26 23:00:00	0,9640
AL07	293,11	305,84	278,07	-11,25	-3,17	305,84	2023-01-19 22:00:00	0,9625
AL07	298,13	305,61	282,49	-11,4	-3,06	305,61	2023-01-25 22:00:00	0,9658

Tabla A.2: Resumen de demanda del alimentador ELA-7

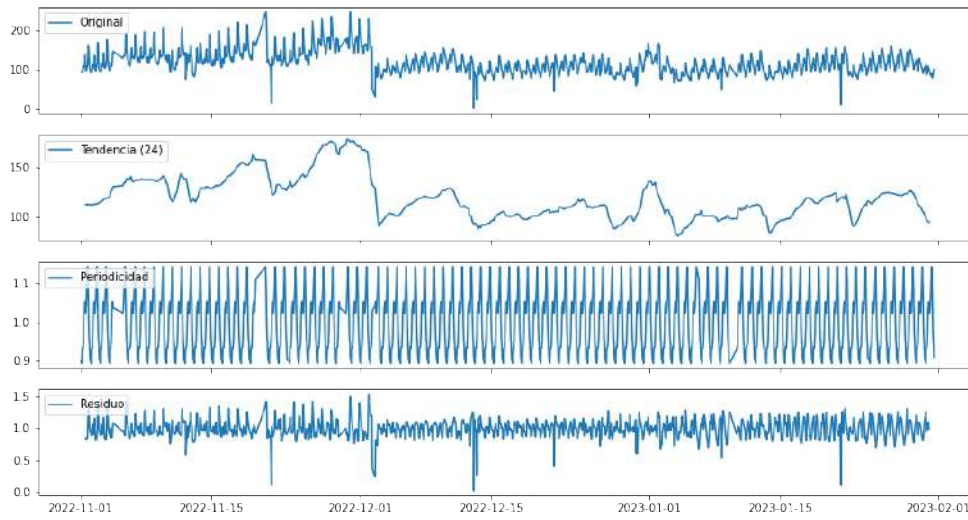


Figura A.1: Descomposición temporal de la demanda del ELA-4



Figura A.2: Calibres de conductores troncales de los alimentadores ELA-3 y ELA-4

Tipo conductor	ID Conductor	Suma de Longitud(km)
Subt. 240 mm ²	5240	0,13278
Prot. 3x185mm ²	EP185	4,187
3x16 mm ²	2016	0,18
3x35 mm ²	2035	70,50
3x70 mm ²	2070	47,00
3x150 mm ²	2150	1,84
1x16 mm ²	4016	42,37
1x35 mm ²	4035	152,91
Total general		319,12

Tabla A.3: Conductores del alimentador ELA-3

Tipo conductor	ID Conductor	Suma de Longitud(km)
Subt. 240 mm ²	5240	0,30
Prot. 3x185mm ²	EP185	20,05
3x16 mm ²	2016	0,35
3x35 mm ²	2035	25,76
3x70 mm ²	2070	32,95
1x16 mm ²	4016	14,44
1x35 mm ²	4035	129,93
Total general		223,78

Tabla A.4: Conductores del alimentador ELA-4

AL/Fase	KVA conectado
ELA3	23225,48
A	1553
B	5916
C	1630
ABC	14126,48
ELA4	14513,48
A	775
B	1900
C	2285
ABC	9553,48
Total general	37738,96

Tabla A.5: Carga conectada

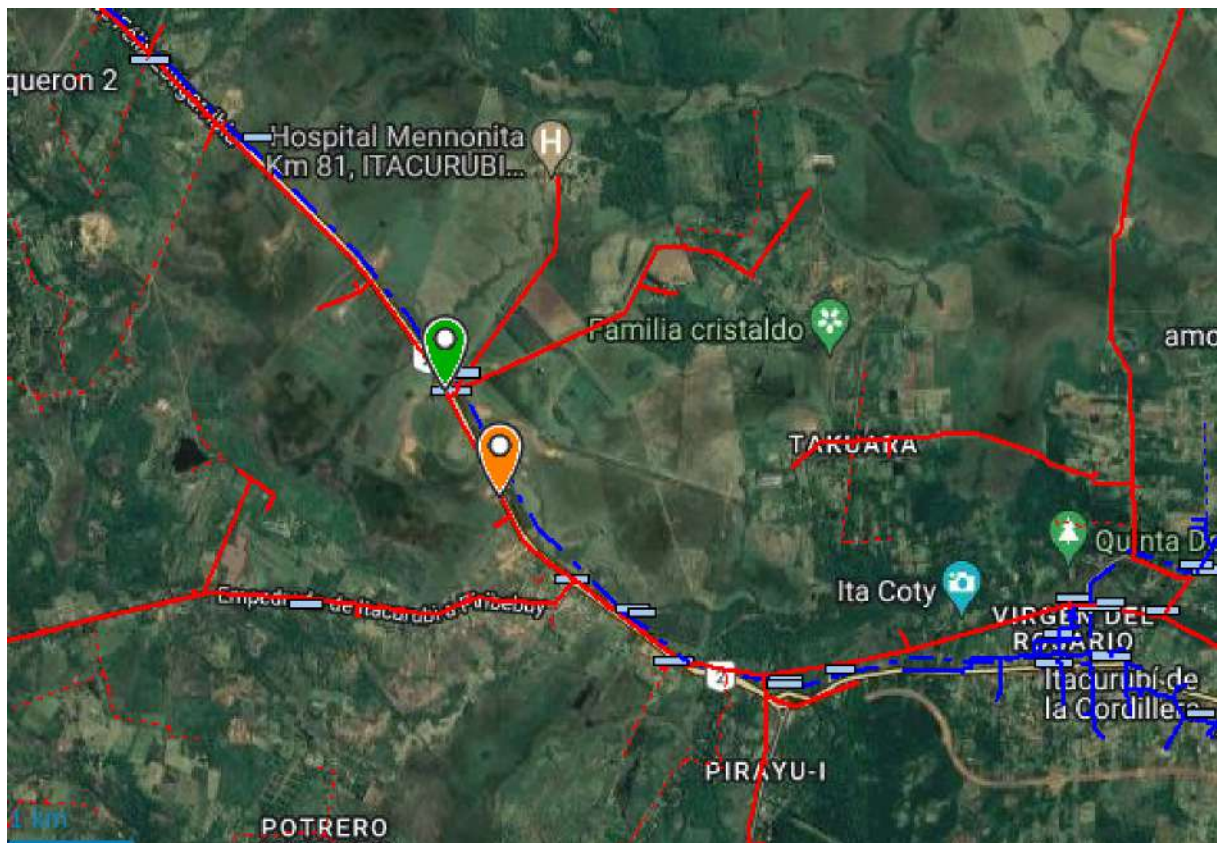


Figura A.3: RT y BC sobre el alimentador ELA-3

A.2. Simulaciones

A.2.1. Escenario base

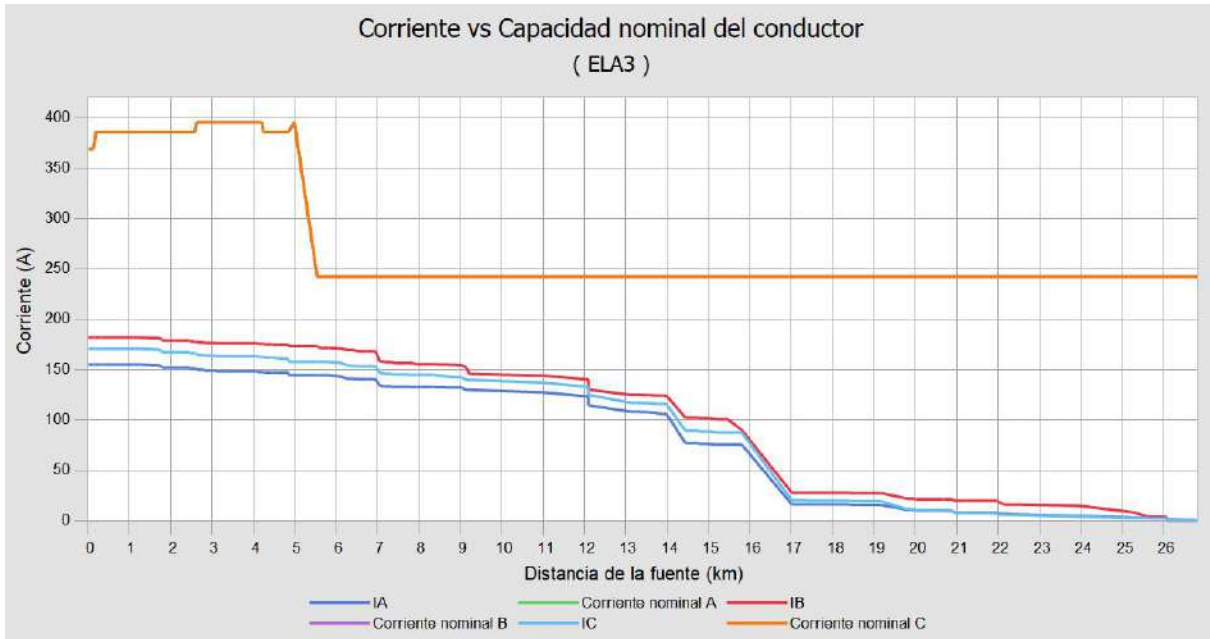


Figura A.4: Capacidad del conductor vs corriente, ELA-3

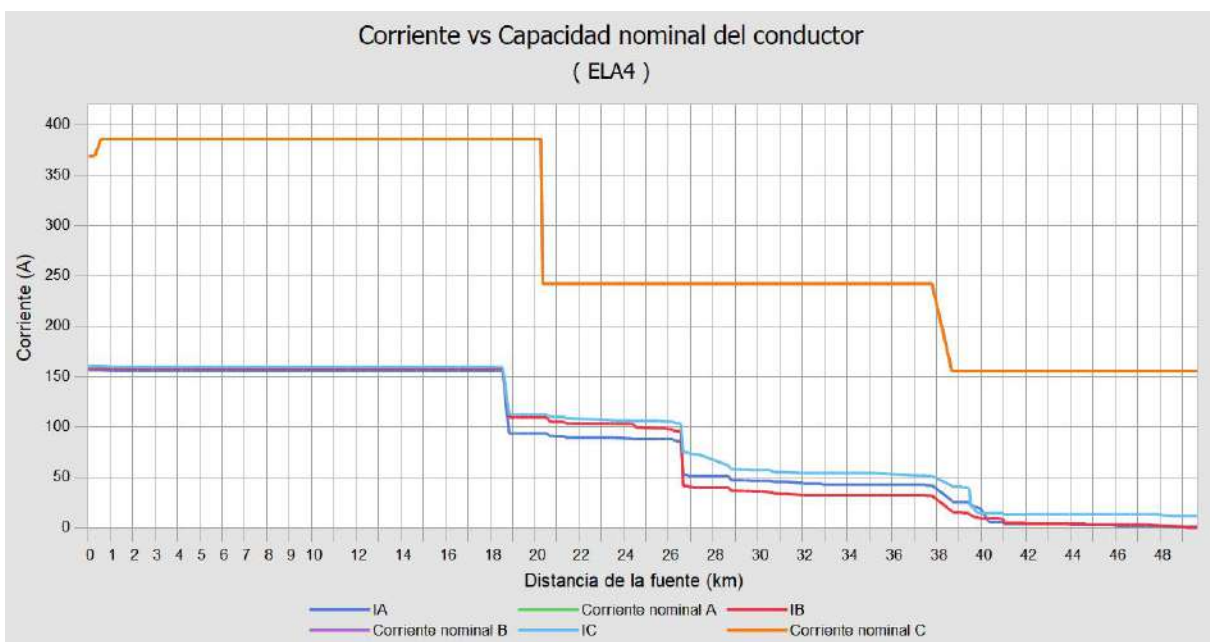


Figura A.5: Capacidad del conductor vs corriente, ELA-4

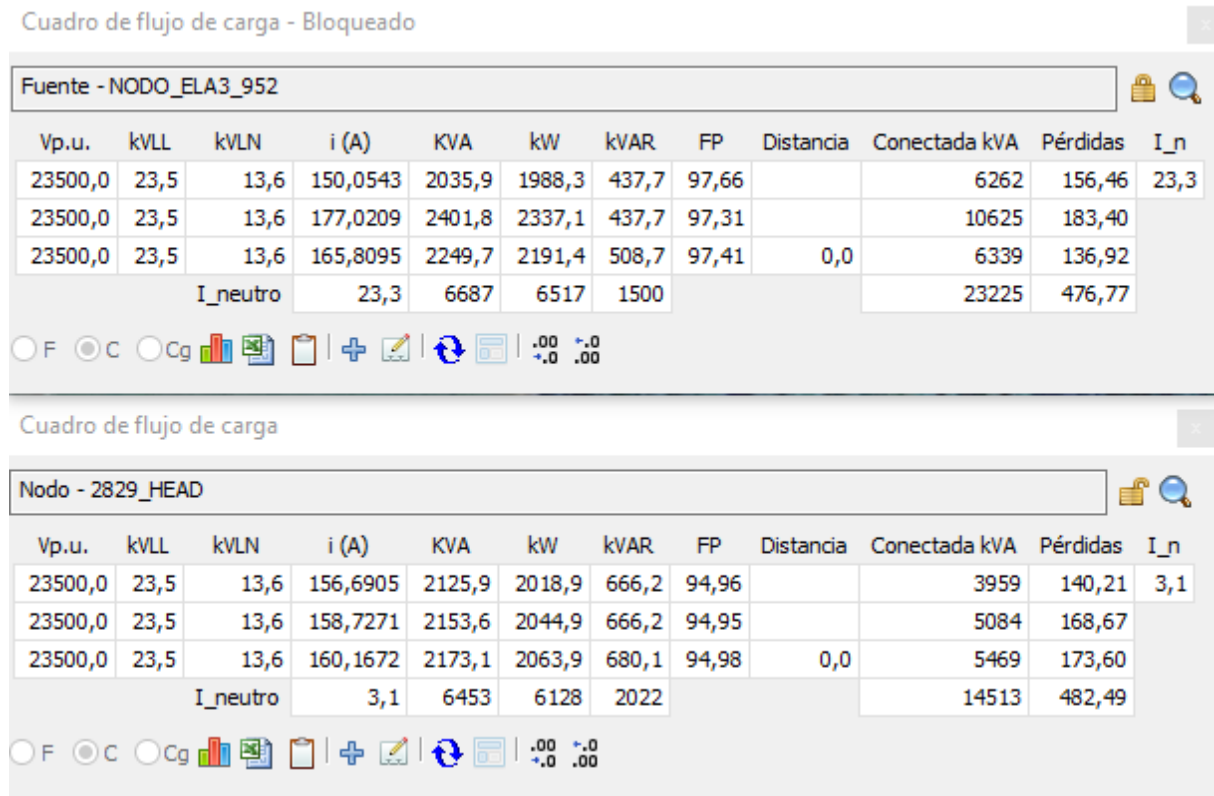


Figura A.6: Valores en cabeceras de alimentadores, ELA-3 superior, ELA-4 inferior

A.2.2. Regulación de tensión

Resultados

Nodo NODO_ELA3_953

Refasamiento aplicado	Corriente (A)			Corriente neutral (A)	Factor de desbalance
	A	B	C		Corriente
Ninguno	150,05	177,02	165,81	23,34	8,67 %
Corriente	164,12	163,88	164,31	2,75	0,14 %

Nodo 64

Refasamiento aplicado	Corriente (A)			Corriente neutral (A)	Factor de desbalance
	A	B	C		Corriente
Ninguno	118,87	135,90	128,59	14,58	6,98 %
Corriente	127,90	127,37	127,62	1,96	0,21 %

Figura A.7: Balance de carga, resultados

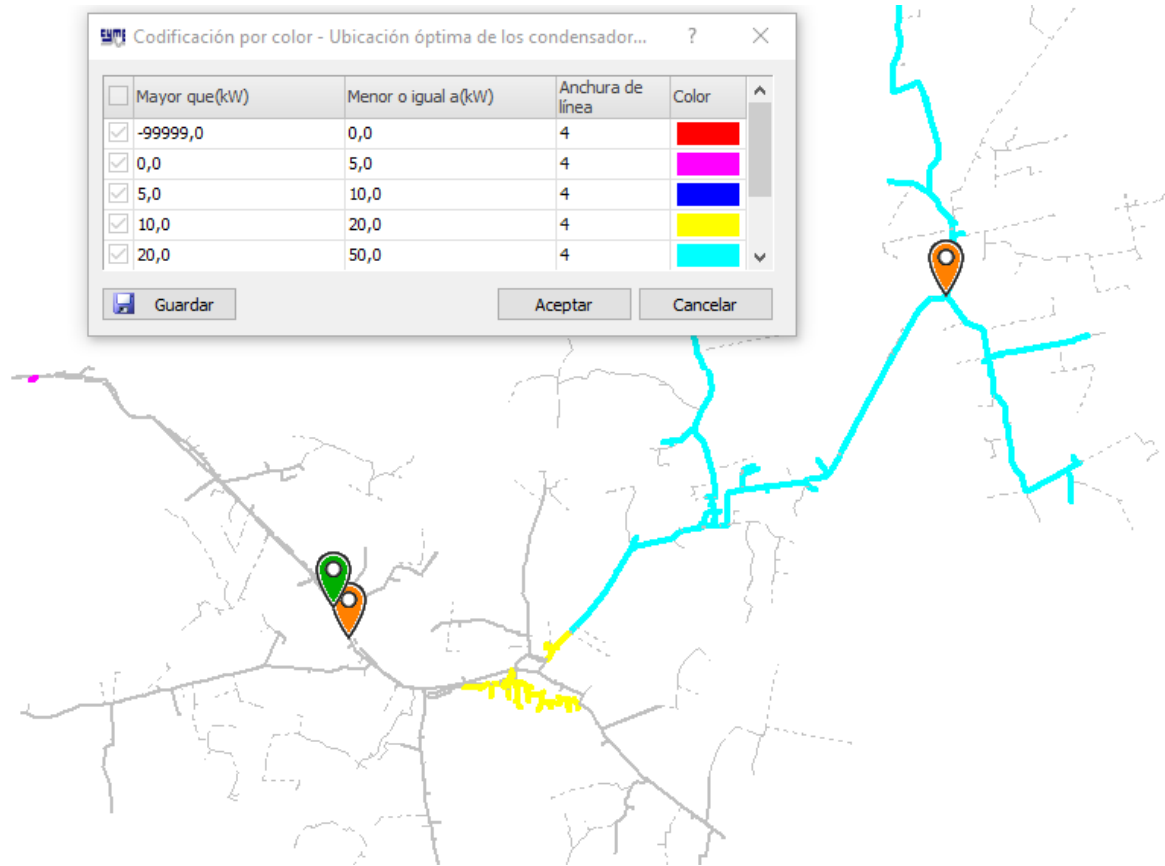


Figura A.8: Ubicación óptima de BC sobre el ELA-4

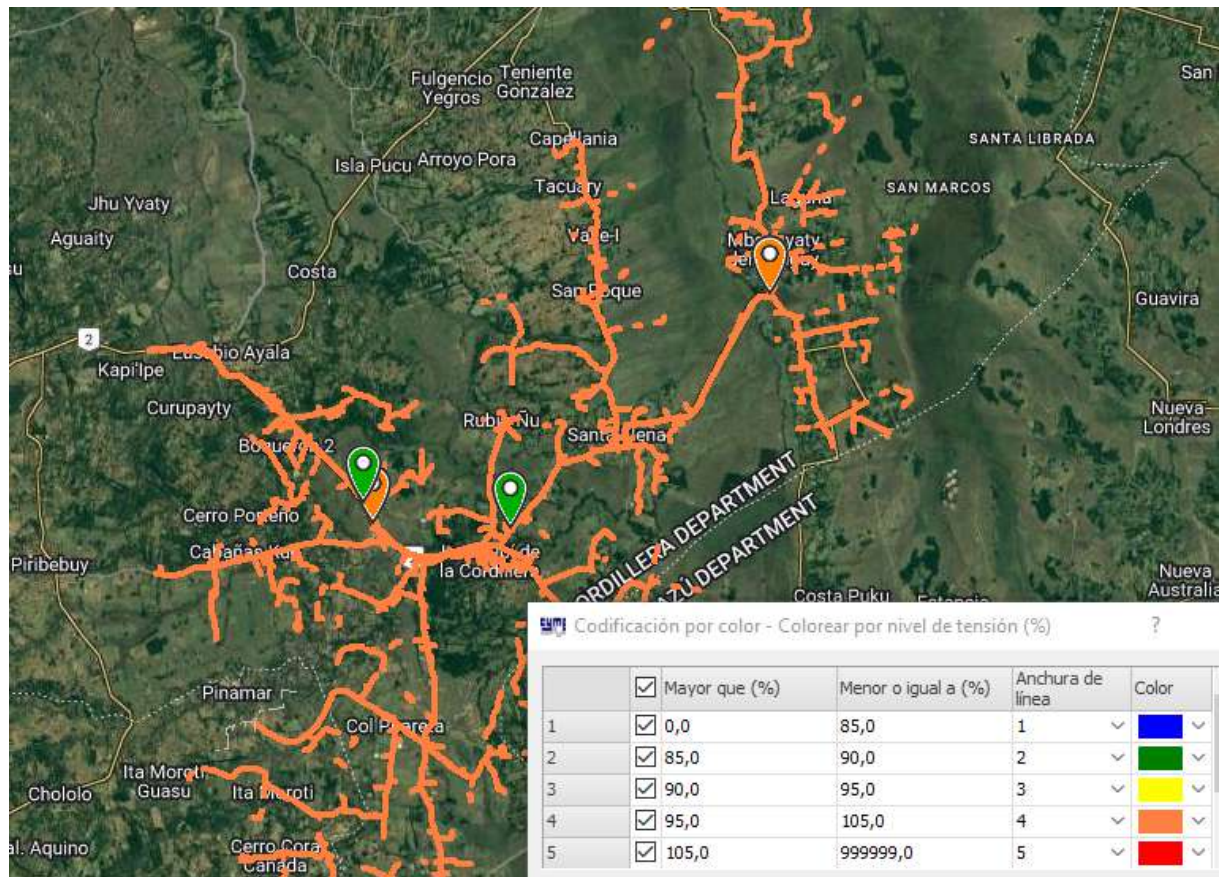


Figura A.9: Niveles de tensión y ubicación de RT, ELA-4

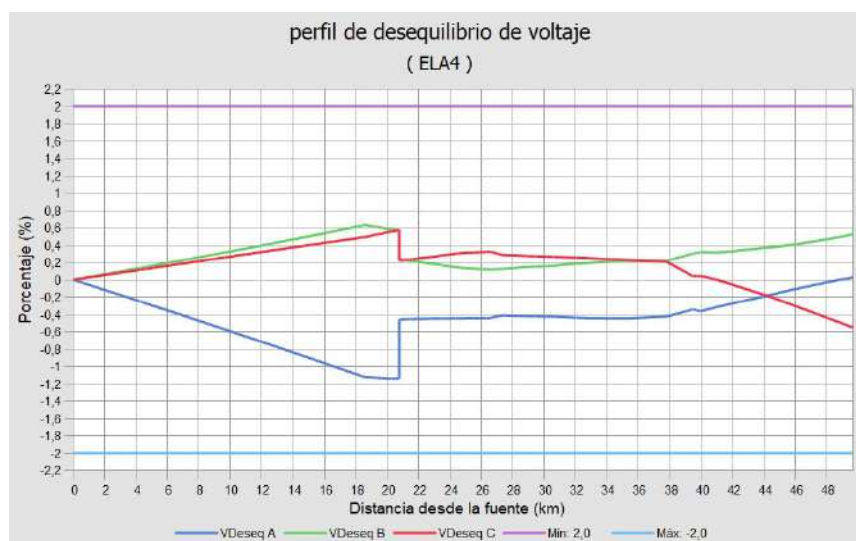


Figura A.10: Desequilibrio de voltaje ELA-4 posterior al RT

	Escenario 0	Balace de carga	BC	RT
Pérdidas kW	958	953	925	901
Porcentaje		-0,5219 %	-3,4447 %	-5,9499 %

Tabla A.6: Resumen de mejoras de pérdidas en regulación de tensión

A.2.3. Mejoras en el alimentador



Figura A.11: Cambio de conductor troncal del ELA-3

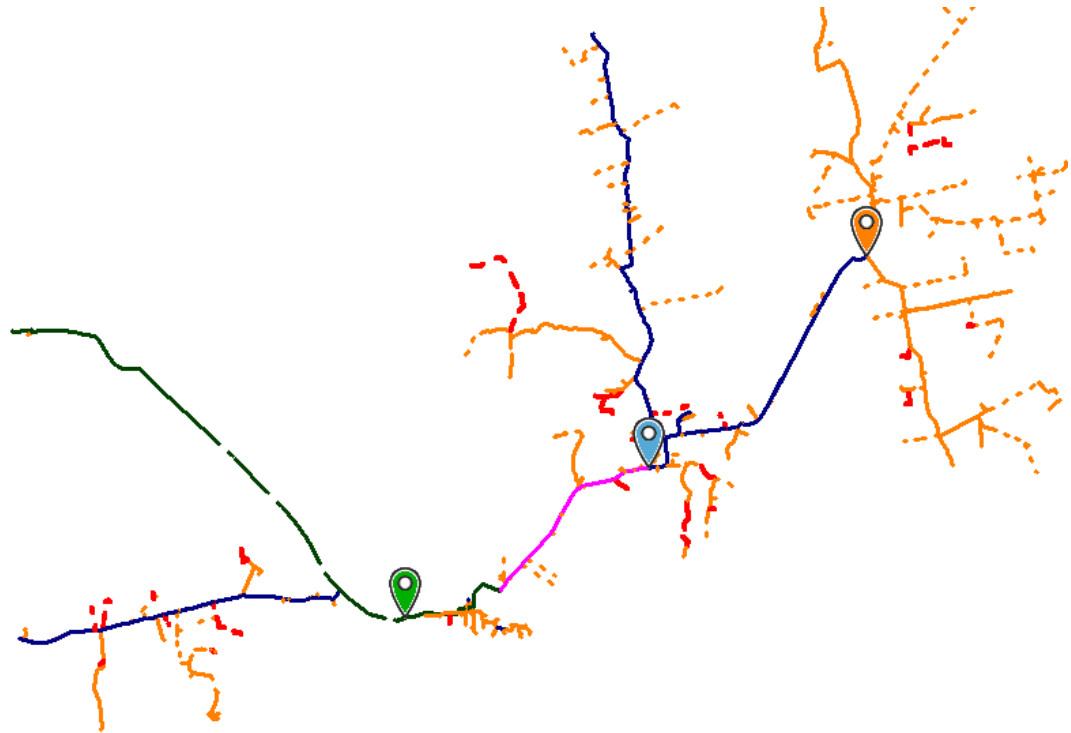


Figura A.12: Cambio de conductor ELA-4 y transferencia de bloque de carga

A.2.4. Flexibilidad operativa

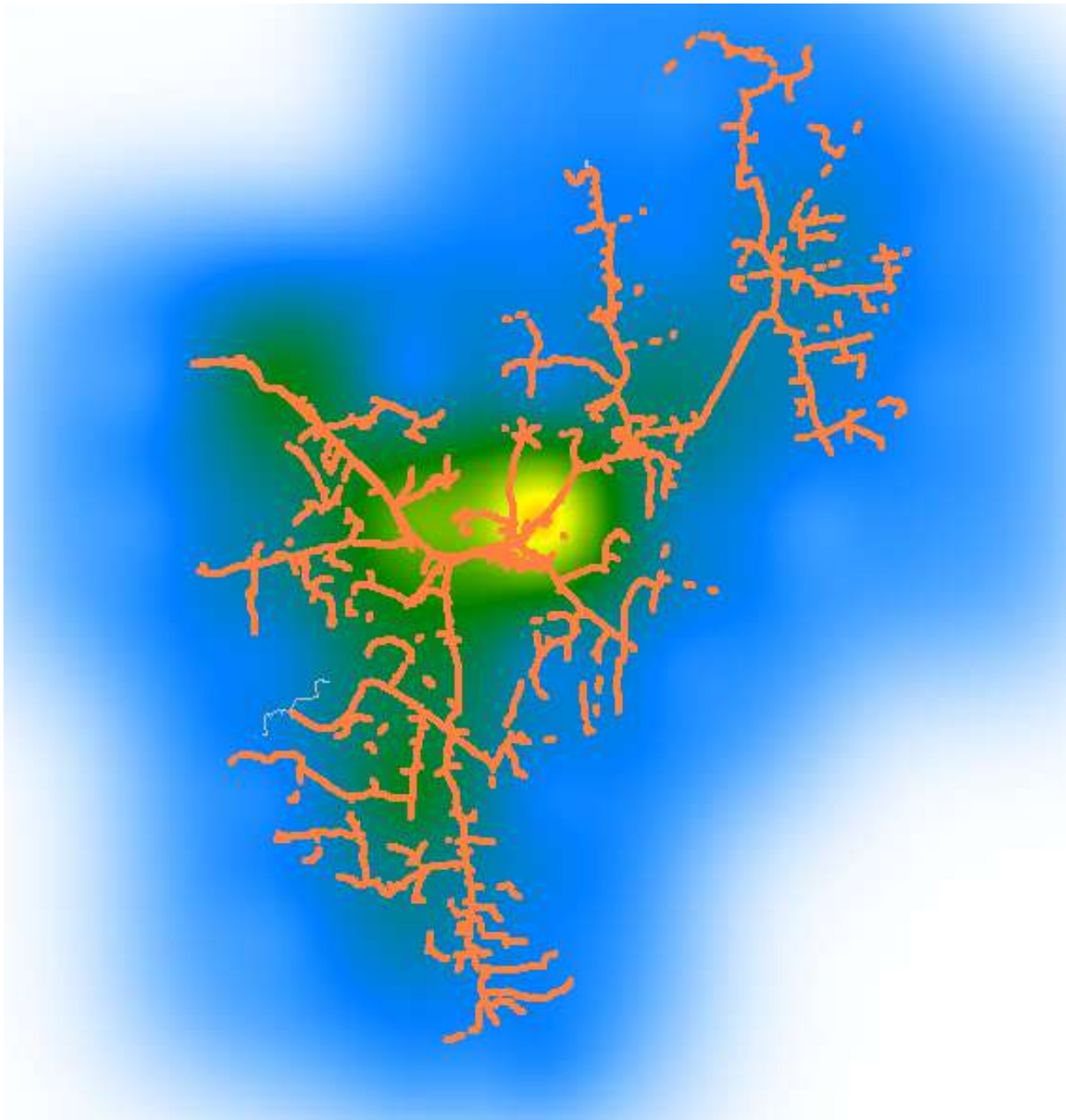


Figura A.13: Densidad de carga conectada

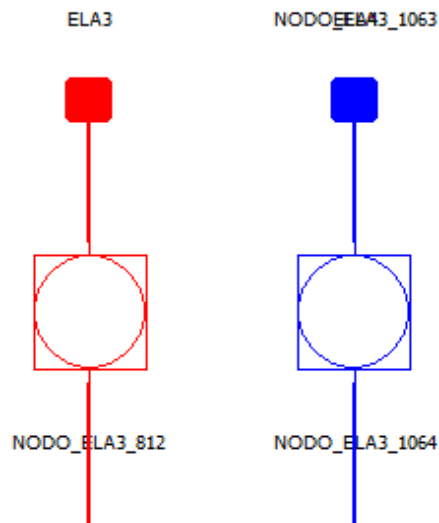


Figura A.14: Escenario inicial de equipos de maniobra y protección

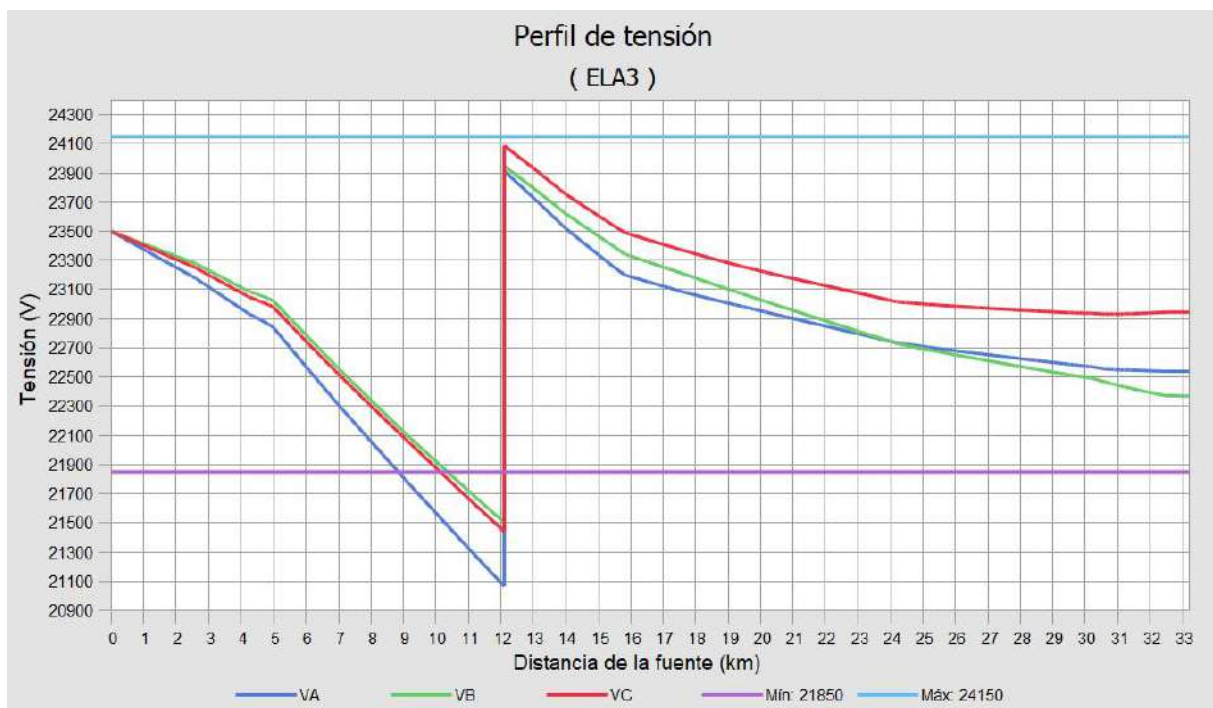


Figura A.15: Perfil de tensión del ELA-3 en contingencia

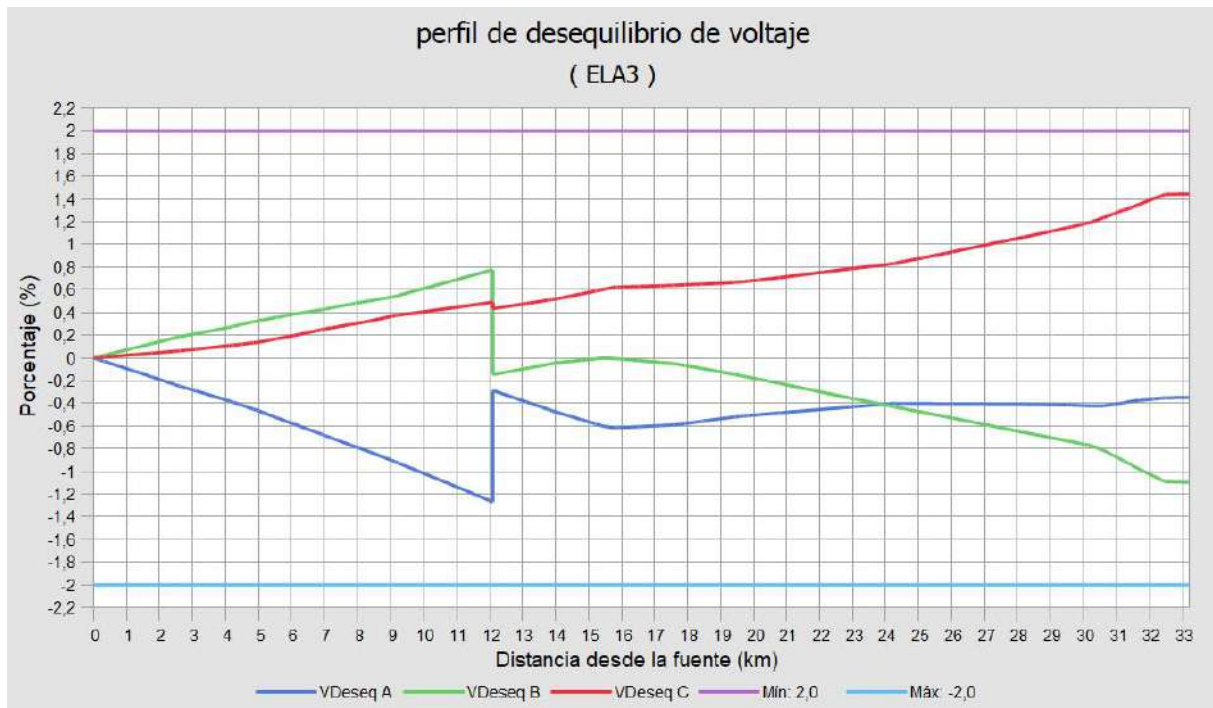


Figura A.16: Desequilibrio de voltaje en transferencia máxima del ELA-3



Figura A.17: Perfil de tensión COV-14, contingencia

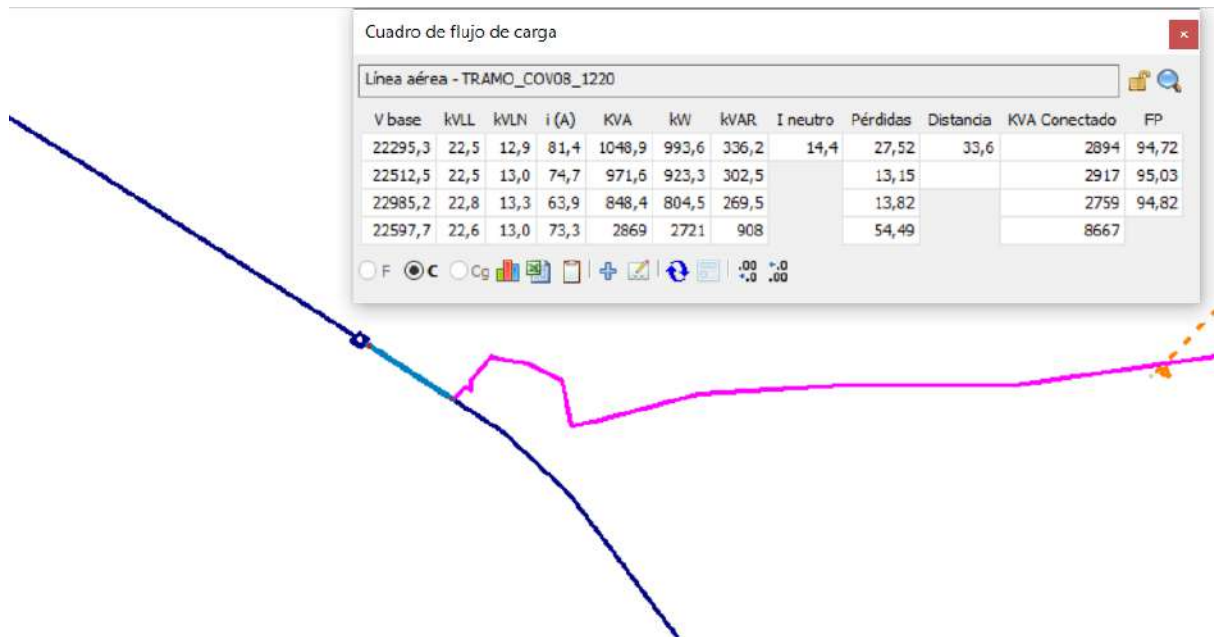


Figura A.18: Carga sobre troncal de 70 mm², COV-14

A.3. Análisis financiero

AÑO	Crecimiento esperado I	Venta incremental		Ventas (Gs)
		Kw	kWh	
0		221	400	0
1	238,68	650,36928	5697234,89	1.771.840.052
2	257,7744	1099,0113	9627339,01	2.994.102.432
3	278,396352	1583,54469	13871851,5	4.314.145.802
4	300,66806	2106,84074	18455924,9	5.739.792.643
5	324,721505	2672,00048	23406724,2	7.279.491.230
6	350,699225	3282,373	28753587,5	8.942.365.704
7	378,755163	3941,57532	34528199,8	10.738.270.137
8	409,055576	4653,51382	40764781,1	12.677.846.924
9	441,780023	5422,40741	47500288,9	14.772.589.854
10	477,122424	6252,81248	54774637,4	17.034.912.218

Tabla A.7: Venta de energía ELA-3 y ELA-4

AÑO	kW	kWh	Beneficio (Gs)
0			
1	320	1069120,71	245.897.762
2	320	1069120,71	245.897.762
3	320	1069120,71	245.897.762
4	320	1069120,71	245.897.762
5	320	1069120,71	245.897.762
6	320	1069120,71	245.897.762
7	320	1069120,71	245.897.762
8	320	1069120,71	245.897.762
9	320	1069120,71	245.897.762
10	320	1069120,71	245.897.762

Tabla A.8: Ahorro en pérdidas

AÑO	KW	KWH	Costos Gs.
1	650,36928	5697234,89	1.310.364.025
2	1099,0113	9627339,01	2.214.287.972
3	1583,54469	13871851,5	3.190.525.835
4	2106,84074	18455924,9	4.244.862.726
5	2672,00048	23406724,2	5.383.546.569
6	3282,373	28753587,5	6.613.325.119
7	3941,57532	34528199,8	7.941.485.953
8	4653,51382	40764781,1	9.375.899.654
9	5422,40741	47500288,9	10.925.066.451
10	6252,81248	54774637,4	12.598.166.592

Tabla A.9: Compra de la energía anual

Bibliografía

- [1] ANDE, “Instrucción técnica de distribución i.t.d,” 2012.
- [2] L. T. Blank, A. J. Tarquin, y C. F. M. B., *Ingeniería económica*. McGraw-Hill, 1991, no. 658.15/B64eE.
- [3] M. Britez, “Informe técnico sobre regulación de tensión de los alimentadores cov 08 y cov 14,” 2022.
- [4] R. C. Bu, *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. Editorial Limusa, 1981.
- [5] S. R. Castaño, “Redes de distribución de energía,” *Universidad Nacional de Colombia*, [Online], 2004.
- [6] S. J. Chapman *et al.*, “Máquinas eléctricas,” 2012.
- [7] R. Espinosa, “Sistemas de distribución,” 1995.
- [8] J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de . . . , 1995.
- [9] P. M. López Bautista, “Procedimiento para el control de la calidad del servicio técnico de distribución de energía eléctrica en el Ecuador,” B.S. thesis, Quito, 2018., 2018.
- [10] J. A. Y. Morón, *Sistemas eléctricos de distribución*. Reverté, 2021.
- [11] A. Naranjo, *Proyecto del sistema de distribución eléctrico. Procesamiento e interpretación*. Equinoccio, 2008.
- [12] OCEBA. (2015) www.oceba.gba.gov.ar.

- [13] Y. Tang, X. Mao, y R. Ayyanar, “Distribution system modeling using cymdist for study of high penetration of distributed solar photovoltaics,” in *2012 North American Power Symposium (NAPS)*. IEEE, 2012, pp. 1–6.
- [14] A. C. y A. Samaniego, *Compensacion Capacitiva Serie en Lineas de Distribucion*. UNA, 2016.