

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

PROYECTO TÉCNICO DE ENFOQUE GENERAL

**“UBICACIÓN ÓPTIMA DE REGULADORES DE VOLTAJE EN EL
SISTEMA DE MEDIO VOLTAJE CORRESPONDIENTE A LA
SUBESTACIÓN PORTOVELO, APLICANDO SEGREGACIÓN DE
FLUJO DE CARGA AL MÁS CRÍTICO”.**

AUTORES:

**MANUEL JESÚS CHIMBO CAMPUZANO
HÉCTOR ALEJANDRO MOLINA VÉLEZ**

TUTOR:

Ing. PABLO DANIEL ROBLES LOVATO, MsC.

CUENCA – ECUADOR

2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

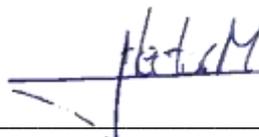
Nosotros; Manuel Jesús Chimbo Campuzano, con C.I. 0705343101 y Héctor Alejandro Molina Vélez, con C.I. 1719895870, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “UBICACIÓN ÓPTIMA DE REGULADORES DE VOLTAJE EN EL SISTEMA DE MEDIO VOLTAJE CORRESPONDIENTE A LA SUBESTACIÓN PORTOVELO, APLICANDO SEGREGACIÓN DE FLUJO DE CARGA AL MÁS CRÍTICO”, mismo que se ha desarrollado para optar por el título de *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre 2018.



Manuel Jesús Chimbo Campuzano.
C.I. 0705343101



Héctor Alejandro Molina Vélez.
C.I. 1719895870

CERTIFICACIÓN

Yo, Pablo Daniel Robles Lovato MsC., declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “UBICACIÓN ÓPTIMA DE REGULADORES DE VOLTAJE EN EL SISTEMA DE MEDIO VOLTAJE CORRESPONDIENTE A LA SUBESTACIÓN PORTOVELO, APLICADO SEGREGACIÓN DE FLUJO DE CARGA AL MÁS CRÍTICO”, realizado por Manuel Jesús Chimbo Campuzano y Héctor Alejandro Molina Vélez, obteniendo el *Proyecto Técnico de Enfoque General* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Técnica Salesiana.

Cuenca, septiembre del 2018.



Ing. Pablo Daniel Robles Lovato MsC.

C.I. N° 0101663342

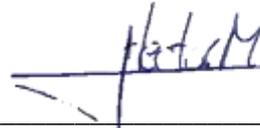
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros; Manuel Jesús Chimbo Campuzano, con C.I. 0705343101 y Héctor Alejandro Molina Vélez, con C.I. 1719895870, autores del trabajo de titulación: “UBICACIÓN ÓPTIMA DE REGULADORES DE VOLTAJE EN EL SISTEMA DE MEDIO VOLTAJE CORRESPONDIENTE A LA SUBESTACIÓN PORTOVELO, APLICANDO SEGREGACIÓN DE FLUJO DE CARGA AL MÁS CRÍTICO”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico de Enfoque General* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, septiembre 2018.



Manuel Jesús Chimbo Campuzano.
C.I. 0705343101



Héctor Alejandro Molina Vélez.
C.I. 1719895870

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar mi agradecimiento especial a Dios, por darme salud, inteligencia y la fuerza durante todo mi camino para poder realizar mi proyecto de titulación, a mis padres Sonia y Víctor que con su apoyo en todo momento me han ayudado a afrontar los retos en mi vida universitaria, a mis hermanos María Fernanda y Víctor Hugo por haberme brindado su confianza siempre cuando más los he necesitado, el logro también es de ustedes familia.

Mi agradecimiento al Ing. Pablo Robles quien con su paciencia, conocimiento y rectitud como docente y amigo nos ha guiado al dirigir este proyecto, de igual manera agradecer a los ingenieros Jonathan Moncada y Javier Arichabala personal de la CNEL-EP EL ORO por su predisposición y facilidad para desarrollar la tesis en el centro de control.

Un agradecimiento también para mi amigo Héctor, por la paciencia y la dedicación que se requiere en la realización del trabajo de titulación.

Manuel Jesús Chimbo Campuzano.

Primero que nada, agradezco a Dios, la Virgen y Santa Rita por darme la fuerza, carácter y voluntad para terminar mi carrera y a su vez este trabajo de titulación.

A mi madre Patricia que ha sido mi principal motivación y sin su esfuerzo este logro no hubiera sido posible.

A mis tíos Washington y Mireya que más que eso son mis padres les agradezco por darme la confianza, formación y valores necesarios para alcanzar esta meta.

Al compañero de mi madre Juan Luis por confiar en mí y apoyarme incondicionalmente para cumplir esta meta.

A mi papá Héctor que también forma parte de este logro.

Al Ingeniero Pablo Robles que más que un tutor ha sido un amigo que nos ayudó a cumplir y realizar este trabajo de titulación bajo las medidas correctas.

A los ingenieros Jonathan Moncada y Javier Arichabala por recibirnos con las puertas abiertas en el Centro de Control de la Empresa Eléctrica CNEL-EP El Oro, y darnos las posibilidades de realizar el trabajo de titulación en sus oficinas.

A mi amigo Manuel por la dedicación y esfuerzo que se puso para realizar a cabalidad este Trabajo de Titulación.

Héctor Alejandro Molina Vélez.

DEDICATORIA.

El presente trabajo de titulación está dedicado a Dios por guiarme siempre en mi camino y darme la fuerza para culminar mi carrera universitaria, a mis padres Sonia y Víctor por su incondicional amor y palabras de aliento para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanos María Fernanda y Víctor Hugo por ser un pilar fundamental en mi vida, por ser mi motivación y, de manera especial a mis abuelos Nelsa y Marcos que desde el cielo están muy orgullosos de mi logro.

A mis compañeros de clase por mantener siempre una amistad y respeto, a mi amigo Héctor por extenderme su mano en momentos difíciles y por el apoyo de cada día para conformar un gran equipo en nuestro aprendizaje como profesional.

Al Ing. Pablo Robles por ser nuestro tutor y mostrar ante todo su interés en situaciones complicadas y por brindarnos su conocimiento para el desarrollo del proyecto de titulación, a mis profesores de la carrera quienes fueron parte fundamental en mi formación académica.

Manuel Jesús Chimbo Campuzano.

A mis padres Washington, Patricia y Mireya por su apoyo incondicional, ya que sin ellos y su esfuerzo esta meta no hubiese sido posible de alcanzar.

A mi abuelita “mami Tere” que siempre ha estado pendiente y preocupada por que culmine mis estudios.

A mi abuelita Rosa también que siempre me dio consejos y ánimos para cumplir este objetivo.

A todos mis familiares y amigos que han formado parte de este proceso.

Héctor Alejandro Molina Vélez.

RESUMEN.

De acuerdo con la regulación CONELEC 004/01, esta establece los límites de los niveles adecuados de voltaje que se les permite a las empresas distribuidoras de energía eléctrica mantener para cumplir con los reglamentos de calidad del servicio y brindarles las condiciones adecuadas a los consumidores.

En base a esto y de acuerdo con la situación en la que se encuentra la S/E Portovelo, perteneciente al aérea de concesión de la empresa CNEL EP Unidad de Negocio El Oro, se ha visto la necesidad de realizar la ubicación adecuada y optima de reguladores de voltaje en dos de los alimentadores que presentan la peor condición de voltaje.

La selección de los dos alimentadores se realizó con flujos de carga y visualización mediante perfiles de voltaje ubicados a lo largo del ramal troncal.

Una vez seleccionados los alimentadores se busca su ubicación a través de un algoritmo de búsqueda iterativa, probando varias ubicaciones óptimas, por ejemplo, en cabecera y luego a lo largo del ramal troncal para así conseguir mejorar y aplanar el perfil de voltaje.

Realizada la ubicación de los reguladores de voltaje a través del software CYMDIST, se contrastará este a través de un modelo matemático, mismo que emplea métodos heurísticos para su ubicación.

Luego de haber realizado los procesos para la ubicación de los reguladores de voltaje a través de una evaluación de pérdidas técnicas por transporte de energía, el análisis económico de la implantación permitirá la factibilidad de su implementación. Con los datos históricos de la demanda entregados por la distribuidora y su proyección, se observará si es factible mantenerlos o proponer soluciones alternativas buscando con ello estándares de calidad de suministro eléctrico.

ABSTRACT.

In order to keep the principles of quality of service and provide the right conditions to consumers, the CONELEC 004/01 regulation establishes the adequate levels of voltages that electric power distribution companies are allowed to maintain.

Acord with this, the actual situation of the substation Portovelo, that are part of the concession of the electric company CNEL-EP El Oro, the necessity of improve of adequate and optimum location of voltage regulators in two radial networks that present the bad voltage condition.

The selection of the two distribution feeders was carried out with load flows techniques and their respective voltages profiles along the trunk branch.

Once the feeders are selected, the location is searched through an iterative search algorithm, testing several optimal locations, for example, in the header and then along the trunk branch of the feeder in order to improve and flatten the voltage profile of the feeder.

When the location of the voltage regulators is done through the CYMDIST software, this will be contrasted with a mathematical model, which uses heuristic methods for the location of the regulators.

After having performed the processes for the location of the voltage regulators through an evaluation of technical losses for energy transport, the economic analysis of the implementation of this will allow the feasibility of its implementation. With the historical data of the demand delivered by the distributor and its projection, it will be observed if it is feasible to maintain them or propose alternative solutions looking standards of the electricity supply.

PREFACIO.

El presente proyecto de titulación nace a raíz de las practicas preprofesionales realizadas en la Empresa Eléctrica CNEL-EP El Oro en el año 2017, en el cual se detectó el déficit de voltaje que sufre principalmente la subestación de distribución “Portovelo”, la cual sirve a los cantones ubicados en la parte de alta de la provincia, los cuales constantemente proporcionan quejas a esta empresa por los niveles de voltaje que son recibidos.

A partir de este requerimiento, surge la idea de proponer un modelo matemático heurístico para la adecuada ubicación de reguladores de voltaje en dos de los cinco alimentadores que pertenecen a la subestación Portovelo. Con la implementación de este modelo se busca dejar una técnica adecuada y confiable para su correcta instalación brindando al personal encargado una herramienta para la toma de decisiones.

La selección de los dos alimentadores partirá del resultado obtenido de flujos de carga realizado por el software para redes de distribución CYMDIST, su resultado será contrastado con flujos de carga a través del modelo de Ardivinson para redes radiales, estudiado dentro de la carrera universitaria, con el fin de comprobar que el error que hay entre estos dos métodos es mínimo, dando validez al método heurístico aplicado.

El modelo matemático heurístico para la ubicación de los reguladores de voltaje busca a través de un barrido, caídas de voltaje nodo a nodo de todo el alimentador, encontrando de esta manera la óptima ubicación, como complemento al estudio se analizará criterios como posible lugar de instalación, reducción de pérdidas técnicas por transporte de energía, complementación con otros reguladores, entre otros. Verificando de esta manera que los límites permitidos de voltaje estén dentro de los valores permitidos por la regulación CONELEC 004/01.

Por medio de un modelo de análisis de costos se buscará la factibilidad o rentabilidad que se tiene con la implementación, en los que intervienen principalmente el costo amortizado de los equipos y el costo de las pérdidas técnicas por transporte de energía que nacen de los flujos de carga, el modelo económico aplicado se denomina razón beneficio-costos, el cual permite la viabilidad si la propuesta, en el caso de estudio, es rentable o no durante el tiempo de vida útil del sistema de distribución sometido.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
PREFACIO.....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXI
GLOSARIO.....	XXV
CAPÍTULO 1.....	26
1 INTRODUCCIÓN.....	26
1.1 Planteamiento del Problema.....	26
1.2 Justificación.....	26
1.3 Objetivos.....	27
1.3.1 Objetivo General.....	27
1.3.2 Objetivos Específicos.....	27
CAPÍTULO 2.....	28
2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	28
2.1 Sistemas de distribución de energía eléctrica.....	28
2.2 Flujos de carga en alimentadores de distribución.....	28
2.2.1 Método de Ardvinson para la resolución de flujos de carga.....	29
2.2.2 Distribución de carga a través del método kVA conectados.....	32
2.3 Regulación No CONELEC 004/01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución”...	33
2.3.1 Límites.....	33
2.4 Regulación de voltaje.....	33
2.4.1 Estándares de voltaje.....	34
2.4.2 Técnicas de regulación.....	35
2.4.3 Problemas de voltaje en alimentadores radiales.....	35
2.4.4 Reducción de voltaje.....	36
2.5 Reguladores de voltaje.....	37
2.5.1 Conexiones de los reguladores de voltaje.....	40
2.6 Capacidad en kVA de los reguladores de voltaje.....	41
2.7 Circuito de compensación de caída de voltaje de línea.....	43
2.7.1 Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje si los reguladores de voltaje están conectados en delta.....	46

2.7.2	Efecto de los capacitores en el ajuste del circuito compensador de la caída de voltaje de un RV.....	46
2.7.3	Reajuste del circuito compensador de caída de línea.	47
2.8	Impedancia equivalente del alimentador primario.	48
2.9	Ubicación de reguladores de voltaje.	49
2.10	Regulación de voltaje en la cabecera del alimentador.....	50
2.11	Puesta a tierra de los reguladores de voltaje.....	51
2.12	Método heurístico para ubicación de reguladores de voltaje.	51
2.12.1	Descripción del método heurístico para la ubicación de reguladores de voltaje. 51	
2.12.1.1	Parte I. Selección y ubicación de los reguladores de voltaje.	52
2.12.1.2	Parte II. Reubicación o reducción de reguladores de voltaje.....	52
2.13	Análisis económico.	53
2.13.1	Costos de implementación de reguladores de voltaje.....	53
2.14	Proyección de la demanda por mínimos cuadrados.	55
2.14.1	Metodología de proyección de la demanda.	55
2.15	Indicadores de Rentabilidad.	57
2.15.1	Tasa interna de retorno (TIR) y Valor actual neto (VAN).	57
2.15.2	Razón Beneficio/Costo RBC.....	58
CAPÍTULO 3.....		59
3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA CNEL-EP EL ORO.		59
3.1	Sistema de subtransmisión.	59
3.2	Sistema de distribución.	59
3.3	Descripción de los alimentadores de la subestación Portovelo.	64
3.3.1	Alimentador Zaruma (ALIM-07PO100T21).....	65
3.3.1.1	Características del alimentador Zaruma (ALIM-07PO100T21).....	66
3.3.2	Alimentador Piñas (ALIM-07PO100T12).	66
3.3.2.1	Características del alimentador Piñas (ALIM-07PO100T12).	67
3.3.3	Alimentador Atahualpa (ALIM-07PO100T13).....	67
3.3.3.1	Características del alimentador Atahualpa (ALIM-07PO100T13).....	68
3.3.4	Alimentador Osorio (ALIM-07PO100T14).	68
3.3.4.1	Características del alimentador Osorio (ALIM-07PO100T14).	69
3.3.5	Alimentador Pindo (ALIM-07PO100T11).....	69
3.3.5.1	Características del alimentador Pindo (ALIM-07PO100T11).....	70
3.4	Análisis del registro de datos de la demanda [kVA] y el voltaje [kV] de los alimentadores de la subestación “Portovelo”.	70
3.4.1	Análisis del Alimentador Zaruma ALIM-07PO100T21.	72
3.4.1.1	Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.	72

3.4.1.2	Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.....	73
3.4.1.3	Comparación de la demanda de los años 2016 y 2017.....	74
3.4.1.4	Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Zaruma año 2017.....	75
3.4.1.5	Desbalance de la corriente por fase del alimentador Zaruma.....	76
3.4.1.6	Perfil carga diaria del Alimentador Zaruma.....	77
3.4.2	Análisis del Alimentador Piñas ALIM-07PO100T12.....	78
3.4.2.1	Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.....	78
3.4.2.2	Perfil de carga de demanda máxima y media del año 2017.....	79
3.4.2.3	Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.....	80
3.4.2.4	Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Piñas año 2017.....	81
3.4.2.5	Desbalance de la corriente por fase del alimentador Piñas.....	82
3.4.2.6	Perfil de carga diaria del Alimentador Piñas.....	83
3.4.3	Análisis del Alimentador Atahualpa ALIM-07PO100T13.....	84
3.4.3.1	Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.....	84
3.4.3.2	Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.....	85
3.4.3.3	Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.....	86
3.4.3.4	Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Atahualpa año 2017.....	87
3.4.3.5	Desbalance de la corriente por fase del alimentador Atahualpa.....	88
3.4.3.6	Perfil de carga diaria del Alimentador Atahualpa.....	89
3.4.4	Análisis del Alimentador Osorio ALIM-07PO100T14.....	90
3.4.4.1	Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.....	90
3.4.4.2	Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.....	91
3.4.4.3	Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.....	92
3.4.4.4	Niveles de voltajes registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Osorio año 2017.....	93
3.4.4.5	Desbalance de la demanda por fase del alimentador Osorio.....	94
3.4.4.6	Perfil de carga diaria del Alimentador Osorio.....	95
3.4.5	Análisis del Alimentador Pindo ALIM-07PO100T14.....	96
3.4.5.1	Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.....	96
3.4.5.2	Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.....	97
3.4.5.3	Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.....	98
3.4.5.4	Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Pindo año 2017.....	99
3.4.5.5	Desbalance de la demanda por fase del alimentador Pindo.....	100
3.4.5.6	Perfil de la curva diaria del Alimentador Pindo.....	101

CAPÍTULO 4.....	102
4 ANÁLISIS DE LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN PORTOVELO A TRAVÉS DE FLUJOS DE CARGA EN EL SOFTWARE CYMDIST Y SELECCIÓN DEL MÁS CRÍTICO.....	102
4.1 Análisis del flujo de carga con CYME 8.2 - CYMDIST.	102
4.1.1 Distribución de carga.	102
4.1.2 Flujo de carga.	103
4.1.3 Configuración para la selección de las redes de distribución.....	104
4.2 Análisis del Alimentador Zaruma a través de flujos de carga.....	105
4.2.1 Ingreso de los datos para la distribución de carga.....	106
4.2.2 Flujos de carga del alimentador Zaruma.	107
4.2.3 Resultados obtenidos del flujo de carga del alimentador Zaruma.....	107
4.3 Análisis del Alimentador Piñas a través de flujos de carga.....	110
4.3.1 Ingreso de los datos para la distribución de carga.....	110
4.3.2 Flujos de carga del alimentador Piñas.....	111
4.3.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.....	113
4.4 Análisis del Alimentador Atahualpa a través de flujos de carga.....	115
4.4.1 Ingreso de los datos para la distribución de carga.....	115
4.4.2 Flujos de carga del alimentador Atahualpa.	116
4.4.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.....	117
4.5 Análisis del Alimentador Osorio a través de flujos de carga.	119
4.5.1 Distribución de carga.	120
4.5.2 Flujos de carga del alimentador Osorio.....	120
4.5.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.	122
4.6 Análisis del Alimentador Pindo a través de flujos de carga.....	124
4.6.1 Distribución de carga.	124
4.6.2 Flujos de carga del alimentador Pindo.	125
4.6.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.....	126
4.7 Determinación del alimentador más crítico de la subestación Portovelo.....	128
CAPÍTULO 5.....	131
5 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR MÁS CRÍTICO.....	131
5.1 Ubicación de los reguladores de voltaje aplicando la metodología heurística.	132
5.1.1 Pasos para realizar los flujos de carga en el alimentador Piñas y Atahualpa a partir de un reporte del CYMDIST.	133
5.1.1.1 Data inicial de los alimentadores.....	133
5.1.1.2 Flujos de carga en los alimentadores Piñas y Atahualpa.....	137
5.1.2 Ubicación óptima de los reguladores de voltaje en los alimentadores Piñas y Atahualpa.	141

5.2	Ubicación de los reguladores de voltaje a través del software CYMDIST.....	156
5.2.1	Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Piñas.....	157
5.2.1.1	Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Piñas para demanda máxima.....	157
5.2.1.2	Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Piñas para la peor condición de voltaje.....	161
5.2.1.3	Ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Piñas para la peor condición de voltaje.....	164
5.2.2	Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.....	166
5.2.2.1	Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para una demanda máxima.....	166
5.2.2.2	Ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para una demanda máxima.....	170
5.2.2.3	Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para la peor condición de voltaje.....	174
5.2.2.4	Ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para la peor condición de voltaje.....	177
5.3	Análisis de los resultados de las metodologías planteadas.....	179
5.3.1	Análisis del alimentador Piñas.....	180
5.3.1.1	Análisis en condiciones normales.....	180
5.3.1.2	Análisis cuando se tiene colocado un RV.....	181
5.3.2	Análisis del alimentador Atahualpa.....	183
5.3.2.1	Análisis en condiciones sin RV.....	183
5.3.2.2	Análisis cuando se tiene ubicado 2 RV.....	184
5.3.3	Selección de nodos y tomas en los alimentadores.....	186
CAPÍTULO 6.....		189
6 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA [kVA] EN FUNCIÓN DE UNA TASA VEGETATIVA Y EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE.....		189
6.1	Comportamiento de la demanda máxima actual del año 2017.....	189
6.1.1	Comportamiento de la demanda máxima del alimentador Piñas.....	189
6.1.2	Comportamiento de la demanda máxima del alimentador Atahualpa.....	190
6.2	Proyección de la demanda mediante el método de regresión por mínimos cuadrados. ...	191
6.2.1	Metodología.....	191
6.2.2	Proyección de la demanda del alimentador Piñas.....	192
6.2.3	Proyección de la demanda del alimentador Atahualpa.....	193
6.2.4	Resultados de la proyección de la demanda del alimentador Piñas y Atahualpa.....	193

6.3	Ubicación óptima de los reguladores de voltaje con la nueva proyección de la demanda.	194
6.3.1	Ubicación de los reguladores de voltaje con una nueva demanda en el alimentador Piñas.	194
6.3.2	Ubicación de dos reguladores de voltaje con la demanda proyectada del alimentador Piñas.	197
6.3.3	Ubicación de reguladores de voltaje con una nueva demanda en el alimentador Atahualpa.	200
CAPÍTULO 7.....		204
7 ANÁLISIS RBC PARA EL CAMBIO O IMPLEMENTACIÓN DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE AL ALIMENTADOR MÁS CRÍTICO DE LA S/E PORTOVELO.		204
7.1	Metodología para realizar el análisis económico correspondiente a los alimentadores Piñas y Atahualpa.	204
7.2	Análisis económico para el alimentador Piñas.	205
7.2.1	Resultados económicos para una demanda máxima de 4.035,023kVA.	205
7.2.2	Resultados económicos para una demanda proyectada de 4.608,3939kVA.	207
7.3	Análisis económico para el alimentador Atahualpa.	208
7.3.1	Resultados económicos para una demanda máxima de 3160,2546kVA.	208
Conclusiones y Recomendaciones.		210
Conclusiones.		210
Recomendaciones.		214
Referencias.....		216
8	Anexos	218
8.1	Anexo 1. Diagrama unifilar de la Empresa Eléctrica CNEL EP Unidad de Negocios “EL Oro”.	219
8.2	Anexo 2. - Alimentador Piñas.	220
8.3	Anexo 3. - Alimentador Atahualpa.	221
8.4	Anexo 4. Hoja de resultados de la proyección de la demanda.	222
8.4.1	Proyección de la demanda Piñas.	222
8.4.2	Proyección de la demanda Atahualpa.	226
8.5	Anexo 5 - Unidades de propiedad de los Reguladores de Voltaje.	230
8.6	Anexo 6 - Cotización de equipos reguladores de voltaje.	232

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Curva de un Circuito de Distribución ideal.....	37
Figura 2-2. Usuarios Conectados en Zona de Ideal de Voltaje.....	38
Figura 2-3. Usuarios Conectados Fuera de la Zona de Voltaje Ideal.....	38
Figura 2-4. Regulador de Voltaje ANSI tipo A con taps en el devanado de carga.....	39
Figura 2-5. Esquema básico de un regulador de voltaje de pasos.....	39
Figura 2-6. Conexiones de los reguladores de voltaje.....	40
Figura 2-7. Tres reguladores de voltaje conectados en Δ para incrementar la regulación en 5%.	41
Figura 2-8. Control de tap del regulador.....	41
Figura 2-9. Circuito compensador de caída de línea.....	43
Figura 2-10. Perfiles de voltaje de un circuito con las distintas formas de regulación de voltaje.	44
Figura 2-11. Circuito compensador de caída de línea.....	44
Figura 2-12. Intervención de condensadores en un alimentador de distribución.....	46
Figura 2-13. Regulación de voltaje en cabecera.....	50
Figura 2-14. Regulación en barra de la S/E.....	50
Figura 2-15. Regulación de cada fase en el alimentador.....	50
Figura 3-1. Diagrama Unifilar CNEL-EP EL ORO – Sistema de Subtransmisión año 2017....	59
Figura 3-2. Área de influencia de la Subestación “Portovelo”.....	60
Figura 3-3. Área de influencia de la Subestación “Portovelo”.....	61
Figura 3-4. Vista de la Subestación “Portovelo”, estructuras de subtransmisión a 69 kV.....	61
Figura 3-5. Vista de la Subestación “Portovelo”, estructuras de distribución a 13,8 kV.....	62
Figura 3-6. Características de la subestación “Portovelo” con los alimentadores de salida.....	63
Figura 3-7. Vista de la Subestación “Portovelo”, salida de los alimentadores.....	64
Figura 3-8. Clientes por Alimentador de la subestación “Portovelo”.....	64
Figura 3-9. Longitud total de los conductores utilizados en los alimentadores.....	65
Figura 3-10. Área de cobertura del alimentador Zaruma de la subestación “Portovelo”.....	65
Figura 3-11. Área de cobertura del alimentador Piñas de la subestación “Portovelo”.....	66
Figura 3-12. Área de cobertura del alimentador Atahualpa de la subestación “Portovelo”.....	67
Figura 3-13. Área de cobertura del alimentador Osorio de la subestación “Portovelo”.....	68
Figura 3-14. Área de cobertura del alimentador Pindo de la subestación “Portovelo”.....	69
Figura 3-15. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Zaruma, año 2016.....	73
Figura 3-16. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Zaruma, año 2017.....	74
Figura 3-17. Demandas máximas por mes del Alimentador Zaruma año 2016-2017.....	75
Figura 3-18. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Zaruma registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.....	76
Figura 3-19. Corrientes mensuales por fase del alimentador Zaruma registrados en la cabecera de la S/E.....	77
Figura 3-20. Curva de carga horaria del alimentador Zaruma durante el periodo de la demanda máxima.....	77
Figura 3-21. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Piñas, año 2016....	79
Figura 3-22. Curva mensual de la demanda máxima y media del año 2017, alimentador Piñas.	80
Figura 3-23. Demandas máximas por mes del Alimentador Piñas año 2016-2017.....	81

Figura 3-24. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Piñas registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.....	82
Figura 3-25. Corrientes mensuales por fase del alimentador Piñas registrados en la cabecera de la S/E.....	83
Figura 3-26. Curva de carga horaria del alimentador Piñas durante el periodo de DM.....	83
Figura 3-27. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Atahualpa, año 2016.....	85
Figura 3-28. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Atahualpa, año 2017.....	86
Figura 3-29. Demandas máximas por mes del Alimentador Atahualpa año 2016-2017.....	87
Figura 3-30. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Atahualpa registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.....	88
Figura 3-31. Corrientes mensuales por fase del alimentador Atahualpa registrados en la cabecera de la S/E.....	89
Figura 3-32. Curva de carga horaria del alimentador Atahualpa durante el periodo de la demanda máxima.....	89
Figura 3-33. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Osorio, año 2016..	91
Figura 3-34. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Osorio, año 2017..	92
Figura 3-35. Demandas máximas por mes del Alimentador Osorio año 2016-2017.....	93
Figura 3-36. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Osorio registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.....	94
Figura 3-37. Corrientes mensuales por fase del alimentador Osorio registrados en la cabecera de la S/E.....	95
Figura 3-38. Curva de carga horaria del alimentador Osorio durante el periodo de la demanda máxima.....	95
Figura 3-39. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Pindo, año 2016..	97
Figura 3-40. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Pindo, año 2017..	98
Figura 3-41. Demandas máximas por mes del Alimentador Pindo, año 2016-2017.....	99
Figura 3-42. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Pindo registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.....	100
Figura 3-43. Corrientes mensuales por fase del alimentador Pindo registrados en la cabecera de la S/E.....	101
Figura 3-44. Curva de carga horaria del alimentador Pindo durante el periodo de la demanda máxima.....	101
Figura 4-1. Pestaña de Análisis de distribución de carga.....	103
Figura 4-2. Pestaña de Análisis de flujo de carga.....	103
Figura 4-3. Límites de subtensión y sobretensión para los flujos de carga.....	104
Figura 4-4. Selección de los alimentadores para el respectivo estudio.....	105
Figura 4-5. Alimentador Zaruma 07PO100T21.....	105
Figura 4-6. Propiedades de red del alimentador Zaruma.....	106
Figura 4-7. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Zaruma.....	106
Figura 4-8. Perfil de la demanda en kVA del alimentador Zaruma.....	108
Figura 4-9. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Zaruma.....	109
Figura 4-10. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Zaruma.....	109
Figura 4-11. Alimentador Piñas 07PO100T12.....	110
Figura 4-12. Propiedades de red del alimentador Piñas.....	111
Figura 4-13. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Piñas.....	111
Figura 4-14. Perfil de la demanda en kVA del alimentador Piñas.....	113
Figura 4-15. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Piñas.....	113
Figura 4-16. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Piñas.....	114
Figura 4-17. Alimentador Atahualpa 07PO100T13.....	115

Figura 4-18. Propiedades de red del alimentador Atahualpa.	115
Figura 4-19. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Atahualpa.	116
Figura 4-20. Perfil en kVA del alimentador Atahualpa.	117
Figura 4-21. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Atahualpa.	118
Figura 4-22. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Atahualpa.	118
Figura 4-23. Selección del alimentador Osorio 07PO100T14.	119
Figura 4-24. Propiedades de red del alimentador Osorio.	120
Figura 4-25. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Osorio.	120
Figura 4-26. Perfil en kVA del alimentador Osorio.	122
Figura 4-27. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Osorio.	122
Figura 4-28. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Osorio.	123
Figura 4-29. Selección del alimentador Pindo 07PO100T11.	124
Figura 4-30. Propiedades de red del alimentador Pindo.	124
Figura 4-31. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Pindo.	125
Figura 4-32. Perfil en kVA del alimentador Pindo.	126
Figura 4-33. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Pindo.	127
Figura 4-34. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Pindo.	127
Figura 5-1. Flujograma implementado para un flujo de carga.	132
Figura 5-2. Conexiones de los transformadores monofásicos en el Alimentador Piñas.	135
Figura 5-3. Transformadores monofásicos conectados en el Alimentador Atahualpa.	136
Figura 5-4. Transformadores bifásicos conectados en el Alimentador Atahualpa.	137
Figura 5-5. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa.	138
Figura 5-6. Voltaje por fase de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa.	139
Figura 5-7. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa.	139
Figura 5-8. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Piñas.	140
Figura 5-9. Voltaje por fase de los tramos iniciales del alimentador Piñas.	141
Figura 5-10. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Piñas.	141
Figura 5-11. Lógica del diagrama de flujo implementado para la Ubicación de los RV.	142
Figura 5-12. Ramal troncal trifásico del alimentador Piñas y Atahualpa.	143
Figura 5-13. Descripción para obtener el voltaje de balance en alta.	145
Figura 5-14. Regulador de Voltaje ubicado en la cabecera del alimentador y el PR a 8,52 km.	148
Figura 5-15. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Piñas con un RV en cabecera.	148
Figura 5-16. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Piñas con un RV en cabecera.	149
Figura 5-17. Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje del Alimentador (ramal troncal).	150
Figura 5-18. Regulador de Voltaje ubicado en la cabecera del alimentador y el PR a 6,544 km.	151
Figura 5-19. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa con un RV en cabecera.	151
Figura 5-20. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa con un RV en cabecera.	152
Figura 5-21. Regulador de Voltaje ubicado en la cabecera del alimentador y el PR a 6,544 km.	153
Figura 5-22. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos del alimentador Atahualpa con otro RV ubicado en el tramo MTA_S_107052.	154
Figura 5-23. Pérdidas activas [kW] de los tramos 124 hasta el 144 del alimentador Atahualpa cuando se tiene un segundo RV.	154
Figura 5-24. Regulador de voltaje ubicado en la cabecera del alimentador Atahualpa.	155

Figura 5-25. Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje del Alimentador Atahualpa (ramal troncal).....	155
Figura 5-26. Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje del Alimentador Atahualpa (ramal troncal).....	156
Figura 5-27. Ubicaciones óptimas para los reguladores de voltaje en el alimentador Piñas....	157
Figura 5-28. Regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Piñas.....	158
Figura 5-29. Propiedades de ajuste del regulador de voltaje.....	158
Figura 5-30. Mejora del nivel de voltaje a lo largo del ramal troncal del alimentador Piñas. .	159
Figura 5-31. Perfil de voltaje kVLL con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Piñas.	160
Figura 5-32. Perfil de voltaje kVLN con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Piñas.	160
Figura 5-33. Perfil de voltaje kVLL con la peor condición de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.	162
Figura 5-34. Perfil de voltaje kVLN con la peor condición de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.	162
Figura 5-35. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubica un RV.	163
Figura 5-36. Perfil de voltaje kVLL con un RV en cabecera del alimentador Piñas (voltaje crítico).	163
Figura 5-37. Ubicación óptima de los dos bancos de RV en el alimentador Piñas.....	164
Figura 5-38. Ubicación del segundo regulador de voltaje a una distancia de 3,5 km.	165
Figura 5-39. Perfil de voltaje kVLL con el segundo regulador de voltaje a 3,5 km (voltaje crítico).	165
Figura 5-40. Ubicaciones óptimas para los reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.	166
Figura 5-41. Propiedades de ajuste del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.	167
Figura 5-42. Mejora del nivel de voltaje a lo largo del ramal troncal del alimentador Atahualpa.	168
Figura 5-43. Perfil de voltaje kVLL con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Atahualpa.	169
Figura 5-44. Perfil de voltaje kVLN con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Atahualpa.	169
Figura 5-45. Ubicaciones de los tres escenarios posibles reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.	171
Figura 5-46. Mejora del nivel de voltaje a lo largo del ramal troncal del alimentador Atahualpa con dos reguladores de voltaje.	172
Figura 5-47. Perfil de voltaje kVLL con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.	173
Figura 5-48. Perfil de voltaje kVLN con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.	173
Figura 5-49. Perfil en kVA del alimentador Atahualpa en la peor condición de voltaje.	175
Figura 5-50. Perfil de voltaje kVLL con la peor condición de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.	175
Figura 5-51. Perfil de voltaje kVLL con un regulador de voltaje en cabecera del alimentador Atahualpa (voltaje crítico).....	176
Figura 5-52. Ubicaciones de los tres escenarios posibles de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa (voltaje crítico).....	177
Figura 5-53. Nivel de voltaje cuando se ubican dos reguladores de voltaje en la peor condición de voltaje.	178

Figura 5-54. Perfil de voltaje kVLL con el segundo regulador de voltaje a 6,544 km (voltaje crítico).....	178
Figura 5-55. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.	180
Figura 5-56. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.	181
Figura 5-57. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.....	181
Figura 5-58. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.	182
Figura 5-59. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.	182
Figura 5-60. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.....	183
Figura 5-61. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.	183
Figura 5-62. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.	184
Figura 5-63. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.....	184
Figura 5-64. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.	185
Figura 5-65. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.	185
Figura 5-66. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.....	186
Figura 6-1. Demanda máxima por semanas del Alimentador Piñas, Periodo 2017.....	190
Figura 6-2. Demanda Máxima por semanas del Alimentador Atahualpa, Periodo 2017.....	191
Figura 6-3. Proyección de la demanda en kVA del Alimentador Piñas, Periodo 2018-2019..	192
Figura 6-4. Proyección de la demanda en kVA del Alimentador Atahualpa, Periodo 2018-2019.	193
Figura 6-5. Simulación ejecutada con la demanda proyectada en el alimentador Piñas.....	194
Figura 6-6. Comportamiento del nivel de voltaje con un RV en la cabecera del alimentador Piñas.....	195
Figura 6-7. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubican dos RV en los tramos 235576_MTA, 152778_MTA del alimentador Piñas.....	195
Figura 6-8. Perfil de la demanda proyecta en kVA del alimentador Piñas.....	196
Figura 6-9. Perfil de voltaje kVLL con un banco de RV en la cabecera del alimentador Piñas.	196
Figura 6-10. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubican dos RV en los tramos 369042_MTA, 152778_MTA del alimentador Piñas.....	197
Figura 6-11. Perfil de la demanda proyectada en kVA del alimentador Piñas.....	198
Figura 6-12. Perfil de voltaje kVLL con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Piñas.....	199
Figura 6-13. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubican dos RV en los tramos 225940_MTA, 107052_MTA del alimentador Piñas (Demanda Proyectada).....	200
Figura 6-14. Perfil de la demanda proyectada en kVA del alimentador Atahualpa.....	201
Figura 6-15. Perfil de voltaje kVLL con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).....	202
Figura 6-16. Perfil de voltaje kVLN con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).....	203

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2-1. Expresiones para determinar las caídas de voltajes en alimentadores de distribución.	30
Tabla 2-2. Expresiones para determinar las caídas de voltajes en % de alimentadores de distribución.	31
Tabla 2-3. Expresiones para determinar las pérdidas de potencia activa (P) en alimentador primarios de distribución.	31
Tabla 2-4. Límites de operación Regulación CONELEC 004/01	33
Tabla 2-5. Rangos de voltaje para 120V ANSI C84.1.	34
Tabla 2-6. Tasas de interés activas efectivas vigentes para el sector financiero privado, publico, popular y solidario – Junio 2018	56
Tabla 3-1. Nomenclatura utilizada para la subestación “Portovelo”	62
Tabla 3-2. Registro de demanda máxima por tipo de alimentador.	63
Tabla 3-3. Características del alimentador Zaruma (ramal principal y secundario).	66
Tabla 3-4. Características del alimentador Piñas (ramal principal y secundario).	67
Tabla 3-5. Características del alimentador Atahualpa (ramal principal y secundario).	68
Tabla 3-6. Características del alimentador Osorio (ramal principal y secundario).	69
Tabla 3-7. Características del alimentador Pindo (ramal principal y secundario).	70
Tabla 3-8. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Zaruma, año 2016.	72
Tabla 3-9. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Zaruma, año 2017.	73
Tabla 3-10. Datos estadísticos del alimentador Zaruma año 2016-2017.	74
Tabla 3-11. Niveles de voltaje registrados en la cabecera del alimentador Zaruma.	75
Tabla 3-12. Desbalance por fase del alimentador Zaruma, año 2017.	76
Tabla 3-13. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Piñas, año 2016.	78
Tabla 3-14. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Piñas, año 2017.	79
Tabla 3-15. Datos estadísticos del alimentador Piñas año 2016-2017.	80
Tabla 3-16. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Piñas.	81
Tabla 3-17. Desbalance por fase del alimentador Piñas, año 2017.	82
Tabla 3-18. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Atahualpa, año 2016.	84
Tabla 3-19. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Atahualpa, año 2017.	85
Tabla 3-20. Datos estadísticos del alimentador Atahualpa año 2016-2017.	86
Tabla 3-21. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Atahualpa.	87
Tabla 3-22. Desbalance por fase del alimentador Atahualpa, año 2017.	88
Tabla 3-23. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Osorio, año 2016.	90
Tabla 3-24. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Osorio, año 2017.	91
Tabla 3-25. Datos estadísticos del alimentador Osorio año 2016-2017.	92
Tabla 3-26. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Osorio.	93
Tabla 3-27. Desbalance por fase del alimentador Osorio, año 2017.	94
Tabla 3-28. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Pindo, año 2016.	96
Tabla 3-29. Resultados del registro de datos de la demanda del alimentador Zaruma, año 2017.	97
Tabla 3-30. Datos estadísticos del alimentador Pindo, año 2016-2017.	98
Tabla 3-31. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Pindo.	99
Tabla 3-32. Desbalance por fase del alimentador Pindo, año 2017.	100
Tabla 4-1. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Zaruma.	107
Tabla 4-2. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes (A) del alimentador Zaruma.	108

Tabla 4-3. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Zaruma – Ramal Troncal.	109
Tabla 4-4. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Zaruma – Ramal Troncal.	109
Tabla 4-5. Resultados de las pérdidas del alimentador Zaruma.	110
Tabla 4-6. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Piñas.	112
Tabla 4-7. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Piñas.	112
Tabla 4-8. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas – Ramal Troncal.	114
Tabla 4-9. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Piñas – Ramal Troncal.	114
Tabla 4-10. Resultados de las pérdidas del alimentador Piñas.	114
Tabla 4-11. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Atahualpa.	116
Tabla 4-12. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Atahualpa.	117
Tabla 4-13. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Atahualpa – Ramal Troncal.	118
Tabla 4-14. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Atahualpa– Ramal Troncal. Fuente: Autores.	119
Tabla 4-15. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.	119
Tabla 4-16. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Osorio.	121
Tabla 4-17. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Osorio.	121
Tabla 4-18. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Osorio – Ramal Troncal.	123
Tabla 4-19. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Osorio– Ramal Troncal.	123
Tabla 4-20. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.	123
Tabla 4-21. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Pindo.	125
Tabla 4-22. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Pindo.	126
Tabla 4-23. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Pindo – Ramal Troncal.	127
Tabla 4-24. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Pindo– Ramal Troncal.	128
Tabla 4-25. Resultados de las pérdidas del alimentador Pindo.	128
Tabla 4-26. Comparación de los resultados de niveles de voltaje kVLL de los cinco alimentadores.	128
Tabla 4-27. Comparación de los resultados de niveles de voltaje kVLN de los cinco alimentadores.	129
Tabla 4-28. Desbalance en la cabecera de los alimentadores Piñas y Atahualpa.	129
Tabla 4-29. Comparación de los resultados de las pérdidas en kW de los cinco alimentadores.	130
Tabla 5-1. Reporte de la topología del Alimentador Piñas exportado a EXCEL.	133
Tabla 5-2. Reporte de los transformadores del Alimentador Piñas exportado a EXCEL.	134
Tabla 5-3. Reporte de la topología del Alimentador Atahualpa exportado a EXCEL.	135
Tabla 5-4. Reporte de los transformadores del Alimentador Atahualpa exportado a EXCEL.	136
Tabla 5-5. Resultados del flujo de carga en la cabecera del alimentador Atahualpa.	138
Tabla 5-6. Resultados del flujo de carga en la cabecera del alimentador Piñas.	140

Tabla 5-7. Reguladores de Voltaje descritos en la Unidad de Propiedad (UP) del MEER.....	143
Tabla 5-8. Capacidad en kVA de los alimentadores Piñas y Atahualpa.	144
Tabla 5-9. Resultados del flujo de carga del alimentador Piñas.....	147
Tabla 5-10. Ajustes de los Taps del RV en el alimentador Piñas.....	148
Tabla 5-11. Resultados del flujo de carga con la ubicación de un RV en la cabecera del alimentador Piñas.	149
Tabla 5-12. Resultados del flujo de carga del alimentador Atahualpa.	150
Tabla 5-13. Ajustes de los Taps del RV en el alimentador Atahualpa.	151
Tabla 5-14. Resultados del flujo de carga con la ubicación de un RV en la cabecera del alimentador Atahualpa.	152
Tabla 5-15. Resultados del flujo de carga del alimentador Atahualpa.	153
Tabla 5-16. Resultados del flujo de carga con la ubicación de un segundo RV en el tramo MTA_S_107052 del alimentador Atahualpa.	154
Tabla 5-17. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.	158
Tabla 5-18. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Piñas.	159
Tabla 5-19. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas - Ramal Troncal.	160
Tabla 5-20. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Piñas - Ramal Troncal.	161
Tabla 5-21. Resultados de las pérdidas con RV en el alimentador Piñas.....	161
Tabla 5-22. Registro de datos de la peor condición de voltaje en el alimentador Piñas.	161
Tabla 5-23. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.	162
Tabla 5-24. Ajustes de la toma del RV ubicado en cabecera del alimentador Piñas.....	163
Tabla 5-25. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas - Ramal Troncal (voltaje crítico).....	164
Tabla 5-26. Resultados cuando se coloca un segundo RV en el Alimentador Piñas - Ramal Troncal (voltaje crítico).....	166
Tabla 5-27. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.	167
Tabla 5-28. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Atahualpa.	168
Tabla 5-29. Resultados de la caída de tensión kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.	169
Tabla 5-30. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.	170
Tabla 5-31. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.	170
Tabla 5-32. Parámetros de ubicaciones óptimas de dos reguladores de voltaje en alimentador Atahualpa.	170
Tabla 5-33. Ajustes de las tomas de los dos bancos de RV en el alimentador Atahualpa.	172
Tabla 5-34. Resultados de la caída de tensión kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.	173
Tabla 5-35. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.	174
Tabla 5-36. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.	174
Tabla 5-37. Registro de voltaje kVLL en la peor condición de voltaje en el alimentador Atahualpa.	174
Tabla 5-38. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal (voltaje crítico).....	175

Tabla 5-39. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.	176
Tabla 5-40. Resultados con un RV en el Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal (voltaje crítico).	176
Tabla 5-41. Parámetros de ubicaciones óptimas de dos reguladores de voltaje en alimentador Atahualpa.	177
Tabla 5-42. Resultados cuando se coloca un segundo RV en el Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal (voltaje crítico).	179
Tabla 5-43. Error porcentual calculado para el modelo propuesto y el CYMDIST.	180
Tabla 5-44. Nodos de selección para la ubicación de los RV en la cabecera del alimentador.	186
Tabla 5-45. Resultados de cabecera del alimentador Piñas y Atahualpa.	187
Tabla 5-46. Nodos de selección para la ubicación de los RV en la cabecera del alimentador.	187
Tabla 5-47. Resultados de cabecera del alimentador Atahualpa.	187
Tabla 5-48. Comparación de los ajustes de los taps de los RV para el alimentador Piñas.	188
Tabla 5-49. Comparación de los ajustes de los taps de los RV para el alimentador Atahualpa.	188
Tabla 5-50. Comparación de los ajustes de los taps de los RV para el alimentador Atahualpa.	188
Tabla 6-1. Proyección de la demanda máxima anual del Alimentador Piñas.	193
Tabla 6-2. Proyección de la demanda máxima anual del Alimentador Atahualpa.	193
Tabla 6-3. Resultados cuando se coloca un banco de RV en la cabecera del Alimentador Piñas.	196
Tabla 6-4. Parámetros de la ubicación óptima del RV en la cabecera del alimentador Piñas.	197
Tabla 6-5. Resultados de las potencias de paso del alimentador Piñas.	198
Tabla 6-6. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas - Ramal Troncal.	199
Tabla 6-7. Resultados de las potencias de paso del alimentador Atahualpa.	201
Tabla 6-8. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).	201
Tabla 6-9. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en el tramo 107052_MTA del alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).	202
Tabla 6-10. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.	202
Tabla 6-11. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.	203
Tabla 7-1. Datos iniciales para el análisis económico del alimentador Piñas.	206
Tabla 7-2. Análisis económico para un periodo de 15 años correspondientes al alimentador Piñas.	206
Tabla 7-3. Datos iniciales para el análisis económico del alimentador Piñas.	207
Tabla 7-4. Análisis económico para un periodo de 15 años correspondientes al alimentador Piñas.	207
Tabla 7-5. Datos iniciales para el análisis económico del alimentador Atahualpa.	208
Tabla 7-6. Análisis económico para 15 años correspondientes al alimentador Atahualpa.	208
Tabla 7-7. Datos iniciales para el análisis económico del alimentador Atahualpa.	209
Tabla 7-8. Análisis económico para 15 años correspondientes al alimentador Atahualpa.	209
Tabla 8-1. Histórico de consumo [kVA] por semana del alimentador Piñas.	222
Tabla 8-2. Recta de ajuste única [kVA] del alimentador Piñas.	223
Tabla 8-3. Proyección de la demanda [kVA] del alimentador Piñas.	224
Tabla 8-4. Histórico de consumo [kVA] por semana del alimentador Atahualpa.	226
Tabla 8-5. Recta de ajuste única [kVA] del alimentador Atahualpa.	227
Tabla 8-6. Proyección de la demanda [kVA] del alimentador Atahualpa.	228

GLOSARIO.

SEP.- Sistema Eléctrico de Potencia.

S/E.- Subestación Eléctrica.

S.N.I.- Sistema Nacional Interconectado.

RDU.- Red de distribución urbana.

Redes de distribución.- Líneas de transmisión de energía eléctrica con topologías radial.

Alimentadores.- Redes de distribución que transportan energía eléctrica.

Ramal.- Alimentador secundario.

Troncal.- Alimentador primario.

CNEL EP.- Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad.

CYME.- Soluciones y Software para sistemas eléctricos de potencia.

CYMDIST.- Programa de análisis de redes de distribución.

CONELEC.- Corporación Nacional de Electrificación.

ARCONEL.- Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

MEER.- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

Nivel de voltaje.- Dependerá de los requerimientos de las empresas distribuidoras de energía.

Sobretensión.- Picos de tensiones superiores a la tensión normal.

Subtensión.- Valores de tensión inferior a la tensión normal.

RV.- Regulador de Voltaje.

Reguladores.- Equipos con cambiadores de Taps para aumentar la tensión en redes eléctricas.

LTCs.- Transformadores de cambio de toma de subestación.

CCCL.- Circuito compensador de caída de línea.

PR.- Punto de regulación.

P.- Potencia Activa.

Q.- Potencia Reactiva.

S.- Potencia Aparente.

VAN.- Valor actual neto.

RBC.- Relación Beneficio Costo.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Planteamiento del Problema.

La regulación del CONELEC – 004/01 busca tener un servicio eléctrico de distribución de calidad de energía eléctrica, es decir, se procede a controlar el nivel de voltaje, perturbaciones en el sistema y el factor de potencia. Siendo la Unidad de Negocio CNEL EP EL ORO la responsable de efectuar mediciones, procesamiento de datos y determinación de las compensaciones a los consumidores afectados. Dentro de esta regulación se encuentran límites de niveles de voltaje en el punto de medición, la cual se incumple cuando durante un 5% o más del periodo de medición de 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos, en cada mes, está por encima de los límites permitidos.

En la actualidad la CNEL EP EL ORO tiene inconvenientes de niveles de voltaje que se entrega a los consumidores que se sirven de la S/E Portovelo, los cuales se produce debido a las distancias y topologías en las que se encuentran los alimentadores primarios sumado con la desconexión de algunos bancos de reguladores produciendo inconvenientes en las puestas a tierra o a la ubicación no idónea de los mismos.

La Unidad de Negocio CNEL EP EL ORO cuenta con el software CYMDIST para el análisis de flujos de potencia en los sistemas de distribución permitiendo simular distintos escenarios y determinar problemas que tiene cada alimentador. El personal técnico para la planificación y expansión de redes de distribución utilizan la información de los flujos de potencia para estudios técnicos, pero también determinan la ubicación y optimización de acuerdo a criterios personales. Estos procedimientos son tomados en cierto modo para reducir costos económicos y por configuraciones en las topologías de red.

1.2 Justificación.

Los clientes que tienen el servicio de la S/E Portovelo no tienen una alta confiabilidad ofrecido por la CNEL EP EL ORO, debido a que las redes de distribución de medio voltaje no ofrecen niveles adecuados. Para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica es necesario recopilar e interpretar los datos a través del centro de control ubicado en la S/E La Primavera (sector norte de Machala), para dar posibles soluciones técnicas.

En la Unidad de Negocio CNEL EP EL ORO se han hecho estudios para la ubicación de condensadores y reguladores de voltaje en la red de distribución, los cuales han sido complementados en base a criterios personales. Con este proyecto de titulación se busca brindar un plus en la determinación de la ubicación óptima de los reguladores de voltaje. Para contrastar los resultados se realizará una comprobación del modelo matemático en el software CYMDIST y así tomar una mejor decisión para la ubicación e implementación de los reguladores de voltaje. La finalidad de ubicar reguladores de voltaje es la de brindar a los clientes energía eléctrica en óptimas condiciones, ya sea en continuidad como en estabilidad del nivel de voltaje suministrado.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Implementar un modelo matemático mediante el cual se determine la ubicación óptima de reguladores de voltaje en el más crítico de la Subestación “Portovelo”, mejorando los niveles de voltaje en los nodos de los alimentadores.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Recopilar, procesar y analizar los diferentes escenarios del comportamiento de la curva de carga y voltajes obtenidos mediante medición y registro de los alimentadores de la S/E “Portovelo”.
2. Analizar los alimentadores de la S/E “Portovelo” a través de flujos de potencia en condición de funcionamiento normal en el software CYMDIST, aplicando segregación de flujo de carga al más crítico para su respectivo estudio.
3. Implementar un modelo matemático para determinar la ubicación de los reguladores de voltaje en el más crítico, manteniendo los parámetros eléctricos de voltaje dentro de los rangos permitidos.
4. Analizar el comportamiento de los reguladores de voltaje frente al crecimiento de demanda en función de una tasa vegetativa.
5. Realizar la comparación de los resultados obtenidos del modelo matemático con los resultados del software CYMDIST provistos por la CNEL EP EL ORO.
6. Realizar un análisis de Costo-Beneficio para el cambio o implementación de los reguladores de voltaje al alimentador más crítico de la Subestación “Portovelo”.
7. Presentar los resultados a la Unidad de Negocio CNEL EL ORO, para que sean considerados para la puesta en marcha.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

2.1 Sistemas de distribución de energía eléctrica.

Los sistemas eléctricos de distribución empiezan con la S/E que está alimentada por una o más líneas de subtransmisión. Cada subestación de distribución servirá a uno o más alimentadores primarios, en su mayoría estos alimentadores son radiales, lo que significa que hay solo un camino para el flujo de potencia de la S/E al usuario. [1]

Hoy en día los sistemas de distribución son parte esencial de cualquier sistema eléctrico de potencia por lo que la mayoría de la inversión está destinada a este, además las pérdidas técnicas por transporte de energía son elevadas fruto del nivel de voltaje por la topología del alimentador que nace desde la S/E. Todos estos estudios y gastos en los sistemas de distribución se realizan con un solo objetivo, el cual es lograr la automatización de la distribución. [1][2]

Generalmente los sistemas de distribución están compuestos por:

- Circuitos de subtransmisión que alimentan a las S/E de distribución.
- S/E de distribución, que a través de alimentadores primarios distribuye la energía hasta llegar a los consumidores.
- Transformadores de distribución, que reducen los voltajes hasta los niveles de consumo adecuados. Dentro de este nivel también encontramos los equipos del sistema de distribución que se encargan de mejorar las condiciones como: bancos de capacitores, reguladores de voltaje, reconectores, seccionadores, aisladores, fusibles.
- Red secundaria a nivel de bajo voltaje.
- Finalmente, los ramales secundarios que proveen a los usuarios de energía eléctrica a un nivel de voltaje adecuado. [1][2]

Actualmente en la Unidad de Negocio CNEL-EP EL ORO, se conectan al Sistema Nacional Interconectado (SNI) a nivel de 138 kV el cual llega a una S/E de subtransmisión y reduce el voltaje a 69 kV, luego se brinda a las S/E de distribución las cuales reducen el voltaje para salir con sus alimentadores primarios a 13.8 kV.[3]

En el capítulo tres se hará una descripción más detallada de la S/E de distribución “Portovelo” que es en la cual se planea realizar el trabajo técnico.

2.2 Flujos de carga en alimentadores de distribución.

Los flujos de carga para un alimentador perteneciente a un sistema de distribución son como los que se realizan a sistemas de transmisión, se utiliza el método de componentes simétricos o se realiza el modelo por fase.

Para realizar el análisis de flujo de carga se debe contar una data inicial la que principalmente debe contener, voltajes trifásicos en cabecera del circuito, potencias de todas las cargas (P y Q), factor de potencia en cabecera y por supuesto el modelo de carga que se va a desarrollar, para

así con esta data lograr obtener los siguientes resultados: Distribución de carga en kW y kVAR en cada nodo, voltajes en todos los nodos del alimentador, flujo de carga en kW, kVAR y kVA, amperios (A) y factor de potencia (Fp) y lo principal las pérdidas de potencia totales y por cada tramo, esto para llegar al final del procedimiento del flujo ya que es un proceso iterativo.

Para el análisis del flujo de carga se debe considerar los nodos y los tramos, ya que cada tramo está ubicado entre dos nodos, uno de envío y otro de recibo, para poder establecer una secuencia lógica en ellos y facilitar la ubicación de estos en el circuito.[4][5]

2.2.1 Método de Ardivinson para la resolución de flujos de carga.

Este método de resolución de flujos de carga parte de la demanda [kVA] que se va a abastecer por el alimentador de distribución, donde los cálculos se realizan mediante varias iteraciones de caídas de voltaje, perdidas de potencia, y el análisis es tramo a tramo además se incluye los datos de cabecera del alimentador, al final se asume que:

- Factor de potencia uniforme a lo largo del alimentador de distribución.
- Factor de capacidad de los trafos de distribución es uniforme.
- Cargas balanceadas en el circuito.
- Variación de la demanda similar en los nodos y en la S/E.

El modelo general para realizar el método de Ardivinson se describe en las siguientes expresiones:

$$C = \Delta P_l \cdot [C_p \tau_e + k_{asep}] \quad 21$$

$$\Delta P_l = k_{cir} \cdot \left[\frac{(S_{ij})^2}{U^2} (R_{ij} L_{ij} 10^{-3}) \right] \quad 22$$

$$C = K_{cir} \cdot \sum_{k=1}^n \left[\frac{S_{ij}^2}{U^2} (R_{ij} L_{ij} 10^{-3}) \right] \cdot [C_p \tau_e + K_{asep}] \quad 23$$

Donde:

- ΔP_l : Perdida de potencia activa [kW].
- S_{ij} : Demanda en el nodo.
- C : Costo de pérdidas.
- C_p : Costo de la energía.
- τ_e : horas de operación anual [8760 horas/año].
- k_{asep} : Costos de inversión amortizados.
- U : Voltaje nominal del sistema [kV].
- k_{cir} : Coeficiente de ajuste que equivale a 1 para sistemas trifásicos en Delta o Estrella y equivale a $\sqrt{3}$ para sistemas monofásicos.
- R_{ij} : Es la parte real de la impedancia del conductor, en sistemas trifásicos obtenido de la matriz de secuencia, siendo la parte real de Z_1 de secuencia positiva [Ω].
- L_j : Longitud en kilómetros tomada desde el nodo cero hasta el nodo j.

- k : Indicador de la iteración actual.

Para realizar este método se debe obtener antes:

Matriz de incidencia.- Matriz de dimensiones $[m \times n]$, en la que se indican los nodos que se relacionan entre si con “1” y si no se llena con “0”.

Impedancia de secuencia positiva.- Se obtiene a partir de matriz de secuencia de impedancias del modelo de conductores que conforma el sistema radial. Se utiliza sus componentes real e imaginario $Z1 = R + jX [\Omega]$.

A partir de la primera iteración, con estos resultados se procede a realizar n iteraciones hasta que el resultado del error sea cercano o igual a cero.

Las tablas 2-1 y 2-2 indican las expresiones para determinar las caídas de voltaje de las distintas topologías de sistemas radiales de distribución.

El procedimiento se aplica ya que encaja perfectamente con los parámetros y características de los alimentadores radiales de la Empresa Eléctrica CNEL-EP EL ORO, además de que estos están conformados por una gran cantidad de tramos. [6][7][8][9][10][11][29].

Tabla 2-1. Expresiones para determinar las caídas de voltajes en alimentadores de distribución.

Fuente: [29].

Tipo de Alimentador	Expresiones para determinar caídas de voltaje
	Voltios [V]
3F Δ o Y	$\Delta U_{3F-ij} = \frac{DM_{3F-ij}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} \cdot L_{ij} \cdot (R_{ij} \cos \varphi + jX_{ij} \sin \varphi)$
1F L – L Δ	$\Delta U_{L-L} = 2 \cdot \frac{DM_{1F-ij}}{U_{ab-nom}} \cdot L_{ij} \cdot (R_{ij} \cos \varphi + jX_{ij} \sin \varphi)$
1F L – N Y	$\Delta U_{L-N} = \sqrt{3} \cdot \frac{DM_{1F-ij}}{U_{nom}} \cdot L_{ij} \cdot (R_{eq} \cos \varphi + jX_{eq} \sin \varphi)$
2F-n (Carga 1F balanceada)	$\Delta U_{FN-ij} = \frac{\sqrt{3} \cdot DM_{ij}}{2 \cdot U_{nom}} \cdot L_{ij} \cdot [R(\cos \varphi + \cos \beta) + X(\sin \varphi + \sin \beta)]$
2F-n (Carga 3F balanceada)	$\Delta U_{FN-ij} = \frac{DM_{ij}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} \cdot L_{ij} \cdot [R(\cos \varphi + \cos \beta) + X(\sin \varphi + \sin \beta)]$

Donde:

- DM_{3F-ij} : Demanda máxima trifásica en kVA que circula por el tramo “ij”.
- DM_{1F-ij} : Demanda máxima monofásica en kVA que circula por el tramo “ij”.
- U_{nom} : Voltaje nominal línea – línea en kV.
- L_{ij} : Longitud del tramo en km.

Tabla 2-2. Expresiones para determinar las caídas de voltajes en % de alimentadores de distribución.

Fuente: [29].

Tipo de Alimentador	Expresiones para determinar caídas de voltaje
	Porcentaje [%]
3F Δ o Y	$\% \Delta U_{3F-ij} = \frac{DM_{3F-ij}}{10 \cdot U_{nom}^2} \cdot L_{ij} \cdot (R_{ij} \cos \varphi + jX_{ij} \sin \varphi)$
1F L – L Δ	$\% \Delta U_{L-L} = 2 \cdot \frac{DM_{1F-ij}}{10 \cdot U_{ab-nom}^2} \cdot L_{ij} \cdot (R_{ij} \cos \varphi + jX_{ij} \sin \varphi)$
1F L – N Y	$\% \Delta U_{L-N} = 3 \cdot \frac{DM_{1F-ij}}{10 \cdot U_{nom}^2} \cdot L_{ij} \cdot (R_{eq} \cos \varphi + jX_{eq} \sin \varphi)$
2F-n (Carga 1F balanceada)	$\% \Delta U_{FN-ij} = \frac{3 \cdot DM_{ij}}{2 \cdot 10 \cdot U_{nom}^2} \cdot L_{ij} \cdot [R(\cos \varphi + \cos \beta) + X(\sin \varphi + \sin \beta)]$
2F-n (Carga 3F balanceada)	$\% \Delta U_{FN-ij} = \frac{DM_{ij}}{10 \cdot U_{nom}^2} \cdot L_{ij} \cdot [R(\cos \varphi + \cos \beta) + X(\sin \varphi + \sin \beta)]$

Las expresiones en la tabla 2-3, que son necesarias para el cálculo de las pérdidas de potencia activa en los alimentadores de distribución.

Tabla 2-3. Expresiones para determinar las pérdidas de potencia activa (P) en alimentador primarios de distribución.

Fuente: [29].

Tipo de Circuito	Expresiones para determinar las pérdidas de potencia activa P en [kW]
3F Δ o Y	$\Delta P_{3F-ij} = \left(\frac{DM_{ij}}{U_{nom}}\right)^2 \cdot L_{ij} \cdot R_{ij} \cdot 10^{-3}$
1F L – L Δ	$\Delta P_{L-L} = 2 \cdot \left(\frac{DM_{L-L}}{U_{nom}}\right)^2 \cdot L_{ij} \cdot R_{ij} \cdot 10^{-3}$
1F L – N Y	$\Delta P_{L-N} = 3 \cdot \left(\frac{DM_{L-N}}{U_{nom}}\right)^2 \cdot L_{ij} \cdot R_{ij} \cdot 10^{-3}$
2F-n (Carga 1F balanceada)	$\Delta P_{2FN-1F} = 3 \cdot \left(\frac{DM_{ij-FN}}{U_{nom}}\right)^2 \cdot (R_A + R_B + R_N) \cdot L_{ij} \cdot 10^{-3}$
2F-n (Carga 3F balanceada)	$\Delta P_{2FN-3F} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{DM_{ij-3F}}{U_{nom}}\right)^2 \cdot (2R_F + R_N)_{ij} \cdot L_{ij} \cdot 10^{-3}$

Donde:

- $2R_F$: Resistencia equivalente monofásica de $R_A + R_B$ [Ω/km].
- R_N : Resistencia del neutro [Ω/km].

Este procedimiento se lo utiliza generalmente, para la estimación de las cargas de los trafos de distribución, utilizando la demanda diversificada a lo largo de alimentador primario.

De igual manera se realizan flujos de carga para estos sistemas, si se conocen la capacidad instalada de cada trazo y demás parámetros por fase, ya que en un alimentador de distribución real se tienen tramos trifásicos y monofásicos y se puede tener cargas desbalanceadas, por lo que si se da esto se realiza un procedimiento para cada fase del alimentador.

De acuerdo con los límites permitidos de desbalance entre fases del alimentador de distribución, se tolera un valor menor al 15% de desbalance entre fases. Donde los datos son tomados a partir del historial de mediciones de cada alimentador [5][11], por lo que se calcula con la siguiente expresión:

$$\%Desbalance = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}} \cdot 100 = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max}} \cdot 100 \leq 15\% \quad 24$$

Donde:

- I_{max} : Corriente máxima registrada en un periodo de tiempo [A].
- I_{min} : Corriente mínima registrada en un periodo de tiempo [A].
- S_{max} : Demanda máxima registrada en un periodo de tiempo [kVA].
- S_{min} : Demanda mínima registrada en un periodo de tiempo [kVA].

2.2.2 Distribución de carga a través del método kVA conectados.

El método de “kVA conectados” se lo realiza con el fin de que a lo largo del alimentador primario de distribución se ajuste la carga instalada, y que la carga conectada en cada nodo corresponda a una demanda media. [4][10]

Se seleccionó este método ya que es el mismo que utiliza el software CYMDIST para realizar la distribución de carga antes de realizar el flujo de carga respectivo.

El modelo de distribución de carga a través de los kVA conectados determina la carga en kVA sumando todas las cargas conectadas por fase y en cada tramo a través del factor de carga y está dado por la ecuación 2-5:

$$TkVA = \sum_S kVA \text{ conectados } (S, j) * FC \quad 25$$

Donde:

$TkVA$: Total de la carga por fase.

S: Tramo del alimentador.

j: Fase del circuito.

FC: Factor de carga.

A partir de este método de la ecuación 2-4, se puede determinar la potencia real P y reactiva Q de cada tramo del alimentador y de cada fase a través de 2-5 y 2-6:

$$kW \text{ conectados } (s, j) = kWdem(j) \cdot \left[\frac{kVA \text{ conectados } (s, j) \cdot FC}{TkVA(j)} \right] \quad 26$$

$$kVAR \text{ conectados}(s, j) = kW \text{ conectados}(s, j) \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{FP(j)}\right)^2 - 1} \quad 27$$

Donde:

kW conectados (s, j): Potencia en kW por tramo y fase.

kW dem(j): Potencia de la demanda por fase.

kVAR conectados (s, j): Potencia reactiva por tramo y fase.

FP(j): Factor de potencia por fase.

2.3 Regulación No CONELEC 004/01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución”.

De acuerdo con esta regulación es responsabilidad de las empresas distribuidoras brindar el servicio de energía eléctrica en su respectiva zona de concesión, con los niveles adecuados de calidad, mismos que serán supervisados por el CONELEC.

2.3.1 Límites.

En la tabla 2-4, se muestran las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal, para las empresas de distribución.

Tabla 2-4. Límites de operación Regulación CONELEC 004/01

Fuente: Regulación CONELEC 004/01 [12]

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

De acuerdo con esta regulación en cada subetapa se indica lo siguiente:

- **Subetapa 1:** 24 meses de duración.
- **Subetapa 2:** Inicio al momento en que finaliza la subetapa 1 y su duración es indefinida.

Se indica que al inicio de la etapa final no se les aplicaran penalizaciones por incumplir lo establecido en la regulación. Las penalizaciones e incumplimientos se detallarán en los contratos de concesiones. [3][12]

2.4 Regulación de voltaje.

Uno de los principales objetivos de las Empresas Distribuidoras es entregar a los clientes un nivel de voltaje que se encuentre dentro de los límites establecidos por normas de regulación. Generalmente la mayoría de las perdidas activas en sistemas de distribución se dan debido a la caída de voltaje, el mismo que se da por la corriente que fluye a través de la impedancia de la línea.

Estos niveles de voltaje se pueden ajustar o regular con la ayuda de RV ubicados en la subestación de distribución y aguas abajo de la subestación si es necesario o directamente en el alimentador de distribución. [13][11]

2.4.1 Estándares de voltaje.

La principal norma que maneja los rangos de voltaje es la norma ANSI C84.1 actualmente la versión del 2016, establece los rangos aceptables de operación en dos lugares de los sistemas de energía eléctrica. [13]

- **Voltaje de Servicio:** Voltaje en el que se interconectan los sistemas eléctricos del proveedor y del usuario. Generalmente se dan en el medidor o contador de energía, manteniendo un nivel de voltaje aceptable en la entrada del servicio que es responsabilidad total de la empresa distribuidora.
- **Voltaje de Utilización:** Es el voltaje en las líneas terminales del equipo, mismo que es responsable el dueño de la instalación. Los fabricantes de equipos los realizan de forma que estos operen sin mayor novedad dentro de estos rangos de operación.

Los requerimientos de voltaje de servicio son más estrictos que los de voltaje de utilización.

- **Rango A:** La mayoría de los voltajes de servicio están dentro de estos límites, y las empresas distribuidoras deberían diseñar sistemas de energía eléctrica para entregar voltajes de servicio dentro de estos límites. Como se menciona en esta norma, voltajes así deberían ser poco frecuentes.
- **Rango B:** Los requerimientos son más moderados que los límites del rango A. De acuerdo con esta norma, *“Aunque tales condiciones son parte de las operaciones prácticas, estarán limitadas en extensión, frecuencia y duración. Cuando ocurran, se deberán tomar medidas correctivas dentro de un tiempo razonable para mejorar voltajes que cumplan con los requisitos del rango A.”* Los equipos que se utilicen deben dar un rendimiento que opere dentro de los límites del rango B de acuerdo con esta norma.

En la tabla 2-5 se muestran los límites más importantes de bajo voltaje del sistema. La tabla da un voltaje base de 120V hasta 600V. El objetivo principal de las empresas distribuidoras es el voltaje de servicio del Rango A, de 114 a 126 V. [13][14]

Tabla 2-5. Rangos de voltaje para 120V ANSI C84.1.

Fuente: [13]

	Voltaje de Servicio		Voltaje de Utilización	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Rango A	114 (-5%)	126(+5%)	110(-8.3%)	125(+4.2%)
Rango B	110(-8.3%)	127(+5.8%)	106(-11.7%)	127(+5.8%)

La norma ANSI C84.1 define tres clases de voltaje: bajo voltaje (1 kV o menores), medio voltaje (mayor que 1 kV y menores a 100 kV), y alto voltaje (mayor o igual que 100 kV). Para cada uno de estos niveles o clases de voltajes ANSI defino rangos de operación de voltaje.

Para los sistemas de medio voltaje esta norma proporciona límites más estrictos, Rango A es (-2.5% a 5%) y Rango B (-5% a +5.8%). [13]

2.4.2 Técnicas de regulación.

Las empresas distribuidoras controlan el voltaje en estado estable de varias formas: [13]

- Transformadores de cambio de toma de subestación (LTCs).
- Reguladores de voltajes de bus o alimentadores de distribución.
- Reguladores de voltaje de línea.
- Capacitores fijos y conmutados.

La mayoría de las distribuidoras utilizan los LTCs para regular la barra de la subestación y los reguladores de alimentadores suplementarios y bancos de condensadores conmutados cuando se es necesario. [13]

Los taps en los transformadores de distribución son otra herramienta para proporcionar el voltaje adecuado a los clientes. Los transformadores de distribución están disponibles con y sin taps sin carga (lo que significa que los taps deben cambiarse sin carga) con taps estándar de $\pm 2.5\%$ y $\pm 5\%$. Las distribuidoras pueden utilizar esta función para proporcionar un impulso fijo a los clientes en un circuito con bajo voltaje primario. Esto también permite que el voltaje primario baje más de lo que la mayoría de las empresas distribuidoras normalmente permitirían. [13][14]

2.4.3 Problemas de voltaje en alimentadores radiales.

Los problemas de voltaje son frecuentes para las empresas distribuidora, y dependiendo de su gravedad se los puede solucionar. Para esto primero se debe revisar el lado de bajo voltaje ya que es más sencillo que trabajar en el lado de medio voltaje. Comúnmente se dan caídas de voltaje en lado de bajo voltaje, por lo que se deben verificar las cargas, sobrecargas de los trafos o neutros flotantes en el circuito. [13]

Si el problema de voltaje es en el primario, se debe considerar:

- **Desbalance excesivo:** Balancear las corrientes ayuda a reducir la caída de voltaje.
- **Capacitores:** Buscar fusibles quemados, ajustes incorrectos de tiempo, ajustes incorrectos de control o mal funcionamiento del interruptor.
- **Reguladores:** Verifica ajustes. Revisar si ajustes más rigurosos pueden mejorar el perfil de voltaje lo suficiente como: mayor voltaje de seteo, mayor compensación de línea o un ancho de banda más ajustado.

Estos problemas se deben solucionar ya que, si no es así, y si hay demasiada carga para la cantidad dada de impedancia, se deberá agregar el equipo para solucionar el problema. Se procede a medir el voltaje primario y con ellos las cargas en varios puntos a lo largo del circuito. Una manera fácil de medir el voltaje primario es encontrar un transformador de distribución ligeramente cargado y medir el voltaje secundario. El factor de potencia que se

registra en las subestaciones es importante ya que un Fp deficiente aumenta en gran medida la caída de voltaje.[13]

Los flujos de carga son una herramienta ideal para probar diferentes opciones y mejorar el voltaje en un circuito. Si es posible hacer coincidir los perfiles de voltaje con las mediciones en el circuito, este análisis busca intentar evaluar durante las condiciones de carga pico. Los reguladores y controladores de condensadores pueden proporcionar información adicional si tienen capacidad de registro de datos. Con la ayuda del flujo de carga del circuito se puede conocer en detalle su comportamiento y a través de este determinar cuál es la solución adecuada para su correcto funcionamiento, ya que aquí se podrá saber si requiera de elementos adicionales para compensación o regulación para una adecuado suministro de energía eléctrica.[13]

Además de equipos de regulación adicionales, se debe considerar otras opciones. A veces, se pueden mover una o más secciones del circuito a un alimentador diferente para reducir la carga en el circuito, cambiar a las tomas de los transformadores a uno más elevado para aumentar su capacidad. Una alternativa costosa es construir nuevos circuitos o cambiar ramales monofásicos por trifásicos, realizar un cambio de conductor en la red para que al menos el ramal troncal se mantenga con la misma sección del conductor o en casos extremos aumentar en nivel de voltaje de los alimentadores primarios por ejemplo de 13,8 kV a 22 kV. [13]

2.4.4 Reducción de voltaje.

Todas las empresas distribuidoras a menudo usan ajustes de voltaje como una forma de administrar la carga del sistema. Ya que esta puede ayudar a reducir el consumo de energía o la demanda máxima. Varios estudios han mostrado aproximadamente una relación de respuesta lineal entre el uso de voltaje y energía: una reducción del 1% en el voltaje reduce el consumo de energía en un 1% o menos. Kirshner y Giorsetto (1984) analizaron ensayos de reducción del voltaje de conservación (CVR) en varias empresas distribuidoras. [13][14]

La reducción de voltaje funciona mejor en alimentadores cortos, aquellos que no tienen mucha caída de voltaje, podemos controlar la reducción simplemente mediante ajustes de la configuración del regulador LTCs a través de SCADA. En circuitos más largos, necesitamos medidas adicionales. Algunas estrategias incluyen:[13][14]

- **Reguladores Extra.** Reguladores adicionales pueden ayudar a aplanar el perfil de voltaje a lo largo del circuito. Cada regulador tiene una configuración de voltaje y compensación adecuada. Controlar los reguladores para proporcionar el máximo nivel es difícil ya que las comunicaciones y los controles aumentan significativamente el costo.
- **Capacitores.** Los condensadores ayudan a aplanar el perfil de voltaje y permiten un ajuste más bajo en la estación LTCs. En muchos circuitos, solo los condensadores fijos pueden aplanar el perfil lo suficiente como para reducir el voltaje establecido en la estación.
- **Ancho de Banda más Reducido.** Un ancho de banda más pequeño hace que el regulador realice un cambio de taps con más frecuente. Kirshner 1990, mostro que

reduciendo el ancho de banda de 3 V a 1,5 V el regulador realiza cambios de taps al doble.

- **Compensación Agresiva de Cambio de Línea.** Un esquema de compensación de caída de línea agresivo puede intentar mantener la tensión en el extremo inferior (por ejemplo, a 114 V) para el último cliente en todo momento. El voltaje establecido en la estación puede ser de 115 a 117 V, dependiendo del perfil de voltaje del circuito. La compensación agresiva aumenta el voltaje durante las cargas pesadas, al tiempo que intenta mantener los voltajes bajos en los extremos de los circuitos. Durante cargas livianas, el voltaje de la estación puede caer a menos de 120 V.
- **Otros.** Dentro de estas opciones se propone, cambios de calibre de conductores, construcción de circuitos subterráneos, balaceo de cargas en el alimentador primario y el aumento de niveles del voltaje, estas son buenas alternativas que brindan confiabilidad y mejoran la calidad de servicio, pero implementarlas es costoso.

2.5 Reguladores de voltaje.

En la figura 2-1, se muestra lo que se considera un sistema de distribución ideal, ya que este está suministrando a sus consumidores un nivel de voltaje constante indistinto de las variaciones que se pueden presentar de la demanda de la carga. Algo que en condiciones reales no se puede lograr, ya que siempre se presentan problemas de caídas de voltaje en los transformadores, barras, líneas, etc. [11]

En la figura 2-2, suponemos un alimentador de distribución, el mismo que presenta una carga uniformemente distribuida. En esta se puede observar que todos los usuarios conectados hasta el momento están ubicados dentro una zona ideal la misma que tiene valores de voltaje entre 125 V y 110 V mismo que es aceptable. [11]

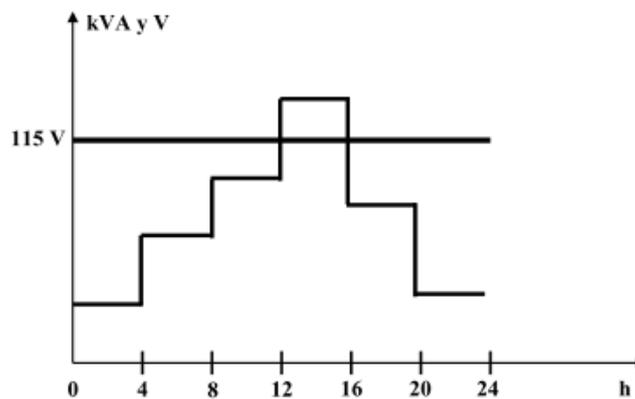


Figura 2-1. Curva de un Circuito de Distribución ideal.

Fuente: [11]

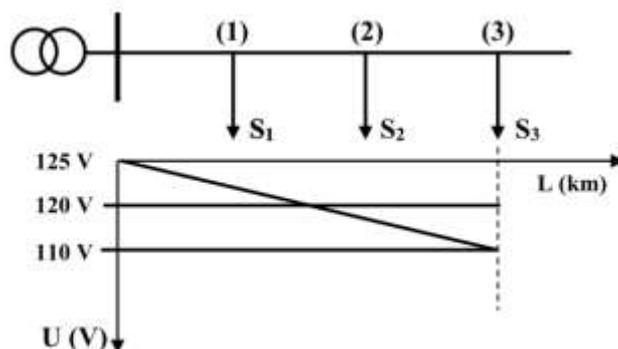


Figura 2-2. Usuarios Conectados en Zona de Ideal de Voltaje.
Fuente: [11]

La expansión de los circuitos de distribución es dinámica y es normal que cada vez exista crecimiento de la demanda a lo largo del alimentador, la red se va expandiendo y se van conectado cargas en lugares en los que antes no habían, por lo que estos consumidores están alejados de la zona de voltaje ideal, teniendo voltajes cada vez más bajos como se puede apreciar en la figura 2-3.[11]

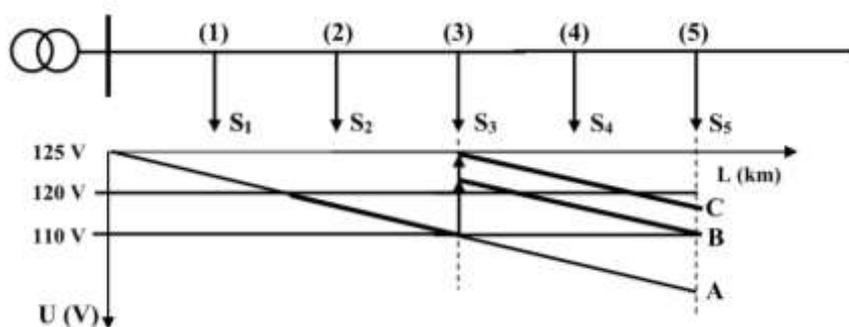


Figura 2-3. Usuarios Conectados Fuera de la Zona de Voltaje Ideal.
Fuente: [11]

Es un problema muy típico de los sistemas de distribución su expansión de forma acelerada lo que conlleva a problemas de voltaje en extremos del ramal troncal que suelen ser críticos en los alimentadores de distribución de la S/E Portovelo.

El problema de bajo voltaje puede resolverse de varias formas, una de más sencilla puede ser la de cambio de conductor por uno de mayor calibre a lo largo de toda la red para así evitar pérdidas en las líneas y disminuir la caída de voltaje, la complejidad en el tiempo de ejecución junto con largas suspensiones de servicio haría sumamente complejo llevar a cabo el trabajo. [11]

Por lo que una solución más factible y más económica, es la instalación y ubicación óptima de reguladores de voltaje. Como ejemplo tenemos en la figura 2-3, si ubicamos un regulador de voltaje en el nodo 3 del alimentador los voltajes de los consumidores ubicados aguas abajo en los nodos 4 y 5 tendrían que mejorar sus niveles de voltaje para ubicarse dentro de la zona ideal, mejorando su perfil. [11]. Los reguladores de voltaje son autotransformadores que poseen un ajuste automático de taps. Generalmente los reguladores brindan un rango que va desde -10% a +10% con 32 pasos. Cada paso de 5/8%, que es 0,75 V en una escala de 120 V. [13][14]

Un regulador monofásico consta de tres bushings, la fuente (S), la carga (L) y la fuente-carga (SL) con el devanado serie entre S y L. Como se puede observar en la figura 2-4 muestra la configuración de un regulador lineal ANSI tipo A, con los taps al lado de carga. Mientras que un ANSI tipo B su diseño es lo contrario, es decir, los taps al lado de la fuente. El controlador del regulador mide la corriente con un TC en el lado de carga (L) y el voltaje con un TP entre (L) y (SL). Los reguladores poseen un interruptor de inversión que puede voltear el devanado en serie según se lo configure hacia adelante o atrás para las conexiones aditiva o sustractiva respectivamente. [13][14][11][15]

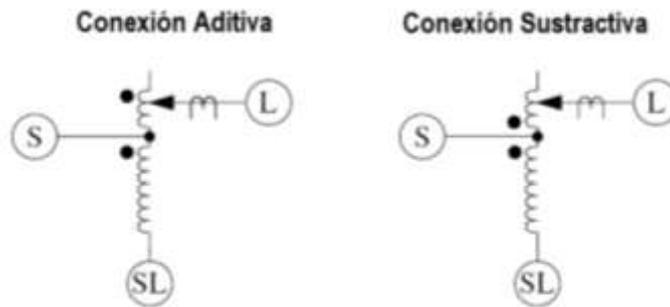


Figura 2-4. Regulador de Voltaje ANSI tipo A con taps en el devanado de carga.
Fuente: [14]

Generalmente los reguladores trifásicos que son utilizados en las subestaciones son sistemas estrella o delta, las cuales controlan las tres fases simultáneamente, estas son normalmente unidades más grandes. La conexión que usan internamente es una conexión estrella con el terminal neutro flotante. [11]

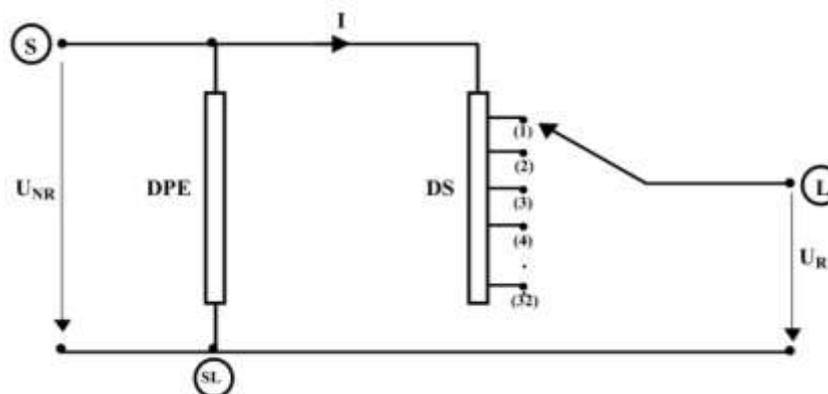


Figura 2-5. Esquema básico de un regulador de voltaje de pasos.
Fuente: [11]

En donde en la figura 2-5:

- I: Corriente debida a la caga que circula toda por el devanado serie (DS).
- DS: Devanado serie dividido en, por ejemplo 32 taps de 5/8% cada uno.
- DPE: Devanado paralelo de excitación.
- U_{NR} : Voltaje no regulado.
- U_R : Voltaje regulado.
- S, L y SL: Fuente, Carga y Fuente-Carga respectivamente como ya se indicó.

Generalmente las empresas distribuidoras utilizan unidades monofásicas incluso para regular circuitos trifásicos debido a las cargas desbalanceadas que manejan. [11] [15]

2.5.1 Conexiones de los reguladores de voltaje.

Los reguladores de voltaje tienen tres tipos de conexiones que se pueden utilizar, estrella (Y), en delta (Δ) y en delta abierto (\angle). El tipo de conexión que se emplee dependerá del voltaje nominal del regulador, del voltaje nominal del alimentador de distribución y del monto de regulación necesitado. [13][11]

- **Estrella:** Sistemas de 4 hilos, normalmente en circuitos trifásicos tienen tres reguladores monofásicos conectados línea a neutro. La conexión de línea a neutro es apropiada tanto para circuitos monofásicos y bifásicos. Cada regulador controla el voltaje independientemente en cada fase del circuito, para así ayudar al desbalance de voltaje y el voltaje en estado estacionario.
- **Delta Abierta:** Este tipo de conexión necesita dos reguladores monofásicos cada uno conectado fase-fase.
- **Delta Cerrado:** Se requiere conectar tres reguladores fase-fase. Usando esta conexión delta cerrado el límite de regulación se extiende en un 50%, es decir de $\pm 10\%$ a $\pm 15\%$. Caso que se ilustra en la figura 2-7.

En las dos conexiones en delta, los reguladores ven un desplazamiento de fase de corriente respecto al voltaje línea-línea. En la conexión principal con factor de potencia unitario de la carga, la corriente a través del regulador adelanta al voltaje de línea-línea por 30° . [13][11]

Como se puede apreciar en la figura 2-6, se muestra las conexiones de los reguladores de voltaje.

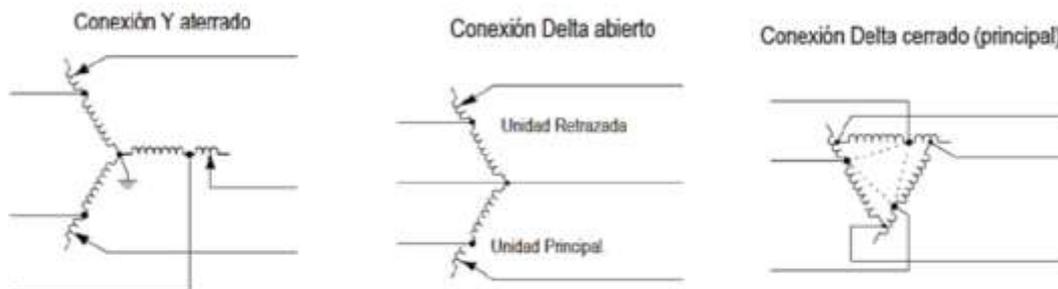


Figura 2-6. Conexiones de los reguladores de voltaje.

Fuente: [14]

Los RV tienen un relé de regulación que controla el ajuste de las tomas (taps), los cuales poseen tres configuraciones básicas para el control de cambio de taps, en la figura 2-8 se puede observar las siguientes configuraciones. [13]

- **Voltaje de Ajuste:** Este es el voltaje deseado en la salida del regulador.
- **Ancho de Banda:** Los controles del regulador de voltaje monitorean la diferencia entre el voltaje medido y el voltaje de ajuste. Solo cuando la diferencia excede la mitad del ancho de banda el cambio de tap comienza. Usa ancho de banda al menos de dos veces el tamaño de paso, 1,5V para $\pm 10\%$ en reguladores de 32 pasos. Ajuste de 2 y 2,5 son comunes.

- **Tiempo de Retardo:** Es el tiempo de espera entre el tiempo cuando el voltaje sale de banda y cuando el controlador inicia el cambio de tap. Típicamente el tiempo de retardo esta entre un rango de 30 a 60 segundos.

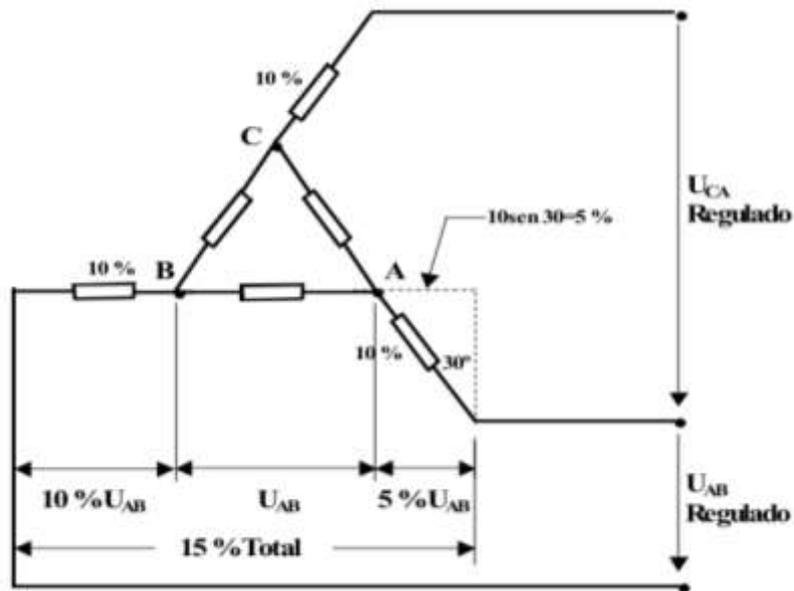


Figura 2-7. Tres reguladores de voltaje conectados en Δ para incrementar la regulación en 5%.

Fuente: [11]

Si el voltaje se mantiene fuera del límite luego de un cambio de tap, el controlador realiza un ajuste de la toma adicional hasta que el voltaje se mantenga dentro de los niveles permitidos. La exactitud de los detalles varía según el controlador y algunos brindan opciones programables. Algunos controladores realizan un cambio de tap a la vez, otros estiman el número de cambio de taps necesario para mantener el voltaje dentro de los límites establecidos. Además se considera el tiempo de retardo, el cual se resetea si el voltaje está dentro de los límites durante cierto tiempo. [13][14]

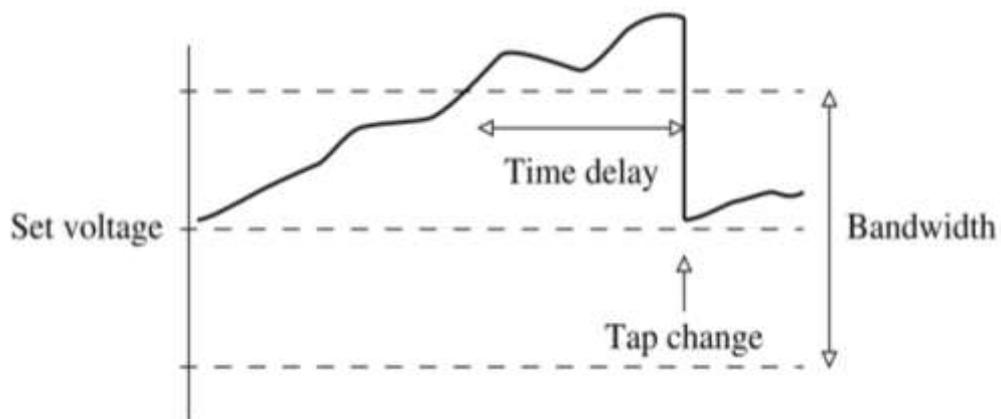


Figura 2-8. Control de tap del regulador.

Fuente: [13]

2.6 Capacidad en kVA de los reguladores de voltaje.

La capacidad en kVA de los reguladores de voltaje, está en función de su porcentaje de regulación. De acuerdo con la figura 2-5, la corriente de la carga circula por la del devanado serie, lo que significa que limita la magnitud de la demanda con que puede cargarse el regulador. [11]

La ecuación para la potencia en kVA de un RV monofásico es:

$$S_{1F-T} = (V_{NR} + V_R) \cdot I \cdot 10^{-3} \text{ kVA} \quad 28$$

Si se la divide en sus componentes, tenemos:

$$S_{1F-T} = V_{NR} \cdot I \cdot 10^{-3} + V_R \cdot I \cdot 10^{-3} \text{ kVA} \quad 29$$

La ecuación 2-9, está compuesta de dos términos, el primero es la potencia que depende de la corriente de la carga y del voltaje del nodo al que está conectado el RV (voltaje no regulado) y el segundo, depende de la misma corriente, pero también, del tap en el cual se encuentra el regulador. Para que el RV trabaje al máximo, se utiliza el porcentaje de regulación máximo (10%), dado esto se tiene las siguientes expresiones para calcular la capacidad de los reguladores de voltaje: [11]

$$S_{\Delta Y} = \frac{\%Reg}{100} \cdot \frac{S_{3F}}{3} \text{ (Para tres RV conectados en Y o } \Delta) \quad 210$$

$$S_{\Delta} = \frac{\%Reg}{100} \cdot \frac{S_{3F}}{\sqrt{3}} \text{ (Para dos RV conectados en } \Delta \text{ abierta)} \quad 211$$

$$S_{1F} = \frac{\%Reg}{100} \cdot S_{1F} \text{ (Para un RV)} \quad 212$$

Si el RV es trifásico, $S_{RV-3F} \leq S_{3F}$ es decir, su capacidad debe ser igual o menos que la de la carga trifásica.

Para determinar la posición del tap de un regulador de voltaje ubicado en un nodo “i”, se utiliza la expresión: [11] [20]

$$tap = INT \left(\frac{1}{paso} \cdot \left(\frac{V_o + VD_{max}\% \cdot V_o}{V_i(\tau)} - 1 \right) \right) \quad 213$$

Donde:

INT: Función que retorna únicamente la parte entera del argumento.

$V_i(\tau)$: Voltaje en el nodo i antes de la instalación de RV bajo condiciones de carga pico.

Paso: Paso de cambio de taps de los RV = 0,625%

V_o : Voltaje de la fuente

$VD_{max}\%$: Caída de voltaje en %.

2.7 Circuito de compensación de caída de voltaje de línea.

El control del LTC y del regulador de voltaje podría aumentar a través de la compensación de caída de línea. Durante la carga pico el voltaje aumenta, mientras que en una carga base el voltaje se regula a niveles mínimos. La compensación de caída de línea utiliza un modelo interno de la impedancia de la línea de distribución para que coincida con la impedancia de línea, el mismo que se puede ajustar los valores de R y X en el compensador para ajustar la regulación. El controlador ajusta los taps en función del voltaje en el relé de regulación, que es el voltaje del TP más el voltaje del circuito de compensación de caída de línea. Como se ven en la figura 2-9. Si no hubiese compensación, el relé de regulación de voltaje ajusta los taps en función del voltaje del TP. [11] [13]

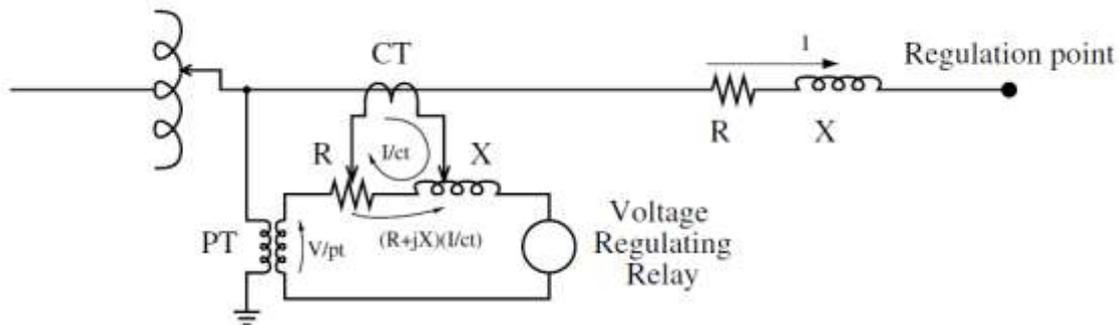


Figura 2-9. Circuito compensador de caída de línea.

Fuente: [13]

La distribución de la carga en un sistema de distribución típico, los ajustes del compensador R y X se eligen de modo que el voltaje deseado se obtenga durante carga pico, mientras se obtiene un voltaje adecuado durante horario de carga base. Hay dos enfoques principales para seleccionar configuraciones: [13]

- **Centro de Carga:** Los ajustes son escogidos para regular el voltaje en punto específico aguas abajo del regulador.
- **Dispersión de Voltaje:** Los ajustes de R y X son seleccionados para mantener el voltaje dentro de una banda seleccionada cuando opera de carga ligera a carga completa. Los ajustes de R y X pueden ser o no proporcionales a los valores de R y X de la línea.

La principal complicación de estos métodos es que la carga y el factor de potencia cambian, específicamente si se tiene bancos de capacitores aguas abajo. Muchos reguladores son configurados sin compensación de caída de línea. Es más sencillo de realizarlo de este modo, pero así el regulador pierde capacidad. Si se configura el voltaje del regulador a 120 V y no recibe suficiente impulso a lo largo de la línea, necesitaremos más reguladores. Con un voltaje configurado más alto, como 126 V, no necesita tantos reguladores, pero se tiene altos voltajes a carga base y posiblemente sobretensiones si el circuito tiene capacitores. Con la compensación de caída de línea, hay un aumento cuando se lo necesita durante carga pico pero no cuando hay carga base como se puede ver en la figura 2-10. Compensación de caída de línea lleva a un rango más pequeño de fluctuaciones en el voltaje durante el día para los clientes a lo largo del circuito. [13][14]

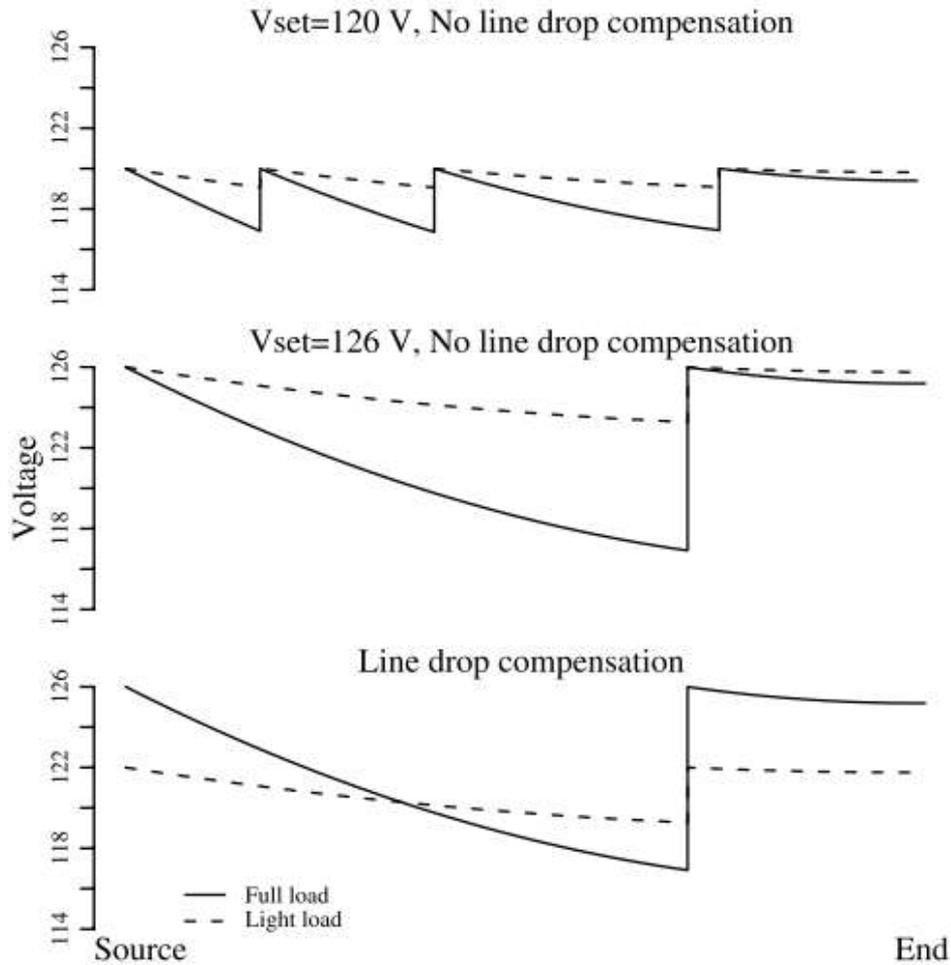


Figura 2-10. Perfiles de voltaje de un circuito con las distintas formas de regulación de voltaje.
Fuente: [13]

La figura 2-11 se detalla y se especifica cada parte del circuito de compensación de caída de línea.

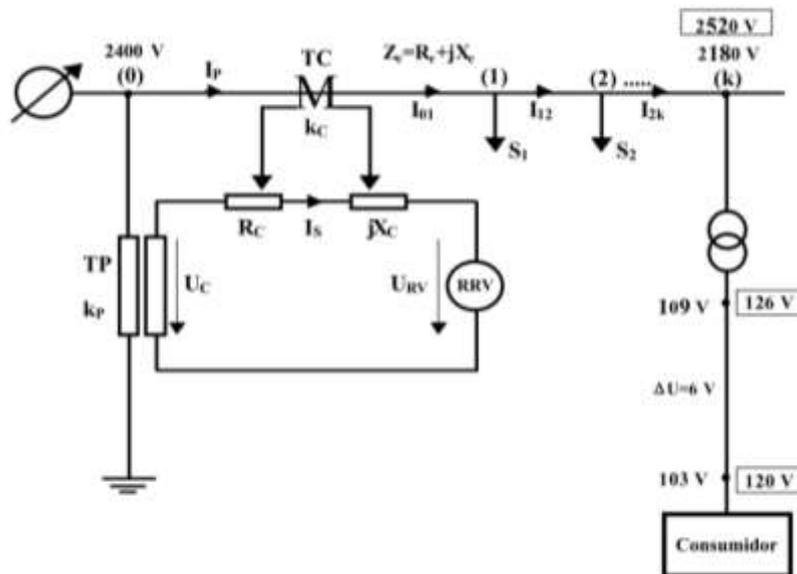


Figura 2-11. Circuito compensador de caída de línea.

Fuente: [11]

En el circuito de la figura 11 se describe: [11]

- TC: Transformador de corriente con relación de transformación K_C .
- TP: Transformador de potencial con relación de transformación K_P .
- I_P e I_S : Corrientes en el alimentador (1rio) y en el (2dario) (circuito compensador).
- V_C : Voltaje en el secundario del transformador de potencial.
- V_{RV} : Voltaje aplicado al relé de regulación de voltaje (RRV)
- $Z_C = R_C + jX_C$: Impedancia ajustable que permite realizar el ajuste del CCCV.
- Z_e : Impedancia equivalente del circuito primario.
- S_i ($i = 1, 2 \dots k$): Cargas en los nodos o postes del alimentador.
- I_{jk} : Corriente por los diferentes tramos del alimentador.
- Los voltajes no encuadrados son los iniciales, los encuadrados son los que aparecen después del ajuste del RV.

El voltaje en el punto de regulación (nodo “k”): 2180V, es diferente al voltaje que se tiene en la ubicación del regulador (nodo “0”): 2400V. Para la correcta operación del regulador de voltaje, hay que trasladar lo que está sucediendo en el punto de regulación hasta el punto de ubicación del regulador de voltaje.

Esta es la función del circuito de compensación de caída de línea, el circuito compensador permite al regulador de voltaje detectar lo que está sucediendo en el punto alejado que debe controlar.

Generalmente el circuito de compensación de gran parte de los reguladores de voltaje comerciales se ajusta en volts, referidos al secundario mediante un “dial” que este en un rango de -25V y 25V. El circuito compensador de voltaje funciona si se cumple la igualdad. [11]

$$\Delta V \text{ en el 1rio referida al CC} = \Delta V \text{ en el 2dario de CC} \quad 214$$

Lo que es igual a la ecuación 2-15:

$$\frac{Z_e I_P}{k_p} = Z_c \cdot I_s \quad 215$$

La impedancia del circuito compensador se despeja, se tiene:

$$Z_c = R_c + jX_c = \frac{Z_e}{k_p} \left(\frac{I_p}{I_s} \right) = Z_e \left(\frac{k_c}{k_p} \right) \Omega \quad 216$$

Teniendo en cuenta que $k_c = \frac{I_p}{I_s}$, sustituyéndola en la anterior y pasando I_s al primer miembro se obtiene:

$$Z_c \cdot I_s = Z_e \frac{I_p}{k_p} \quad V \quad 217$$

La expresión anterior tiene dimensiones de voltaje. Nótese que el primer miembro es la caída de voltaje en el circuito compensador y el segundo, la caída de voltaje del alimentador referida al circuito compensador. La ecuación final es 2-18: [11]

$$V_c = (R_e + jX_e) \cdot \frac{I_{Nom1ria}}{k_p} = V_R + jV_x \text{ Volt} \quad 218$$

Donde:

V_c : Ajuste del circuito compensador del RV en volt.

V_R : Parte real del voltaje de ajuste.

V_x : Parte imaginaria del voltaje de ajuste.

$I_{Nom1ria}$: Corriente nominal primaria del transformador.

V_x : Relación de transformación del transformador de potencial.

2.7.1 Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje si los reguladores de voltaje están conectados en delta.

Cuando los reguladores de voltaje están conectados en delta, para calcular el ajuste de circuito de compensación, se deben calcular las impedancias de estrella equivalentes. La ecuación para los reguladores equivalentes es: [11]

$$V_{C\Delta} = 3V_{Cy} = 3 \cdot Z_e \frac{I_{Nom1ria}}{k_p} \text{ volt} \quad 219$$

2.7.2 Efecto de los capacitores en el ajuste del circuito compensador de la caída de voltaje de un RV.

Como es de conocimiento en los alimentadores primarios de distribución es muy común el uso de capacitores o bancos de estos a lo largo del circuito para realizar compensación de reactivos y mejorar el factor de potencia de la red, estos pueden ser instalados antes, durante o después de que se realice la colocación de un regulador de voltaje en el sistema. Para mantener el voltaje dentro del ancho de banda que se seleccionó se deben hacer algunos ajustes, mismos que se indican en la ecuación 2-20. En la figura 2-12, se muestra como ejemplo, la intervención de condensador en un alimentador con regulador de voltaje. [11]

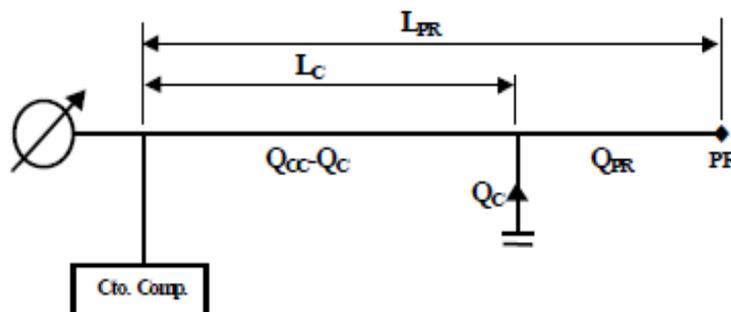


Figura 2-12. Intervención de condensadores en un alimentador de distribución.

Fuente: [11]

Donde:

LPR: Distancia entre el RV y el punto de regulación (PR).

Lc: Distancia entre el RV y el punto de ubicación de un banco de capacitores.

Qcc: Potencia reactiva censada por el TC del circuito compensador.

Qc: Potencia reactiva entregada por el banco de capacitores.

QPR: Potencia reactiva existente en el punto de regulación.

La ecuación 2-20 muestra la relación entre las corrientes en el regulador de voltaje en el punto de regulación.

$$I_{RV} = \frac{\sqrt{P^2 + (Q - Q_c)^2}}{\sqrt{3} \cdot U} < I_{PR} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad 220$$

Debido a que la corriente del regulador es menor a la que se tiene en el punto de regulación y por ejemplo cuando se deben compensar 12V que existen de caída de voltaje, solo se compensan 10V, lo que indica que no se llega a 120V requeridos si no solo llega al nivel de 118V. [11]

Para corregir esto, se debe incrementar el ajuste del circuito compensador para compensar la reducción de la corriente que es proporcionada por los capacitores, con un incremento de ZC del circuito compensador. Por lo que teniendo menos corriente, aumenta la impedancia y ΔU_c e igualarla a la real referida al secundario o circuito compensador. [11]

2.7.3 Reajuste del circuito compensador de caída de línea.

La caída de voltaje en un circuito con capacitores es:

$$\Delta U_{cc} = (I - I_c)(R + jX) = I(\cos \varphi \pm j \sin \varphi)(R + jX) - jI_c(R + jX) \quad 221$$

Despreciando la componente transversal de la caída de voltaje (parte imaginaria):

$$\Delta U_{cc} = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) + I_c X \quad 222$$

En la expresión se detecta fácilmente que la subida de voltaje provocada por la instalación de un banco de capacitores es:

$$\Delta U_c = I_c X \quad 223$$

Expresando la corriente capacitiva en función del voltaje y la potencia reactiva del banco de capacitores y refiriéndola al circuito compensador se da la ecuación:

$$\Delta U_R = \frac{Q_c}{\sqrt{3}V} \cdot \frac{I_s}{I_p} X_c \quad 224$$

Donde:

ΔU_R : Incremento de la parte real del ajuste del circuito compensador para lograr que el RV mantenga el voltaje en el punto de regulación después de instalados los capacitores.

X_c : Reactancia ajustable del circuito compensador.

$X_c \cdot I_s = U_X$: Parte imaginaria del voltaje de ajuste del circuito compensador.

I_p : Corriente por el primario (alimentador) que se toma como la corriente nominal primaria del transformador de corriente.

Se debe considerar que los alimentadores primarios de distribución, los bancos de capacitores son ubicados en cualquier punto de la red. Por lo que la ecuación 2-25, es general para cualquier distancia entre el punto de ubicación del RV y el PR. [11]

$$\Delta U_R = \sum_{i=1}^N \frac{Q_{Ci}}{\sqrt{3} \cdot V_{Nom} \cdot I_{Nom1ria}} \left(1 - \frac{L_{Ci}}{L_{PR}}\right) \cdot V_X \quad 225$$

La expresión se cumple para $0 \leq L_C \leq L_{PR}$ y es general. Por ejemplo:

- Si un banco de capacitores “i” cualquiera está en los terminales del RV, $L_C = 0$, el paréntesis vale la unidad y se obtiene el mayor valor de ajuste.
- Si el banco de capacitores se ubica en el propio punto de regulación ($L_C = L_{PR}$), el paréntesis se anula y no es necesario el reajuste.
- Si el banco de capacitores se ubica en cualquier punto intermedio entre el RV y el PR el paréntesis hace que el reajuste tenga un valor proporcional a la distancia entre el RV y el punto de ubicación del banco de capacitores.

2.8 Impedancia equivalente del alimentador primario.

De acuerdo con la figura 2-11 para calcular el circuito compensador de caída de voltaje, está en función de una sola impedancia, la misma que es la equivalente de todo el circuito. En un alimentador primario común existen varios tramos con impedancias que puede variar según la sección de los conductores y, además las corrientes en cada tramo son distintas. Dadas estas características es necesario sustituir el alimentador con ramales por uno equivalente. [11]

La caída de voltaje en el alimentador es la suma de las caídas de voltaje por tramo, como se indica en las ecuaciones:

$$\Delta U_{0j} = Z_{01} \cdot l_{01} \cdot I_{01} + Z_{12} \cdot l_{12} \cdot I_{12} + \dots + Z_{2j} \cdot l_{2j} \cdot I_{2j} \quad 226$$

$$= \sum_{n=1}^j \Delta U \text{ por tramo} \quad 227$$

Si se divide la ecuación 2-26 por la corriente total del primer tramo, tenemos:

$$\frac{\Delta U_{0j}}{I_{01}} = Z_{e-0j} = Z_{01} \cdot l_{01} + \frac{I_{12}}{I_{01}} \cdot l_{12} \cdot Z_{12} + \dots + \frac{I_{2j}}{I_{01}} \cdot l_{2j} \cdot Z_{2j} [\Omega] \quad 228$$

Si se conocen las cargas S_j ($j = 1,2,3 \dots j \text{ nodos}$) y los factores de potencia son diferentes hay que sustituir todas las corrientes, así como las impedancias, por sus partes reales e imaginarias.

Si los factores de potencia fuesen iguales, puede trabajarse con los módulos de las corrientes, aunque deben seguir siendo sustituidas por sus resistencias y sus reactancias. En ese caso puede trabajarse con la demanda de cada tramo en kVA, lo que da la ecuación: [11]

$$Z_{e-0j} = \frac{1}{S_T} (S_{01} \cdot Z_{01} \cdot l_{01} + S_{12} \cdot Z_{12} \cdot l_{12} + \dots + S_{2j} \cdot Z_{2j} \cdot l_{2j}) \Omega \quad 229$$

Si tenemos factores de potencia iguales para todas las cargas, puede trabajarse con los módulos de las potencias aparentes (S) mostradas, caso contrario debe sustituirse por su forma compleja $S = P + jQ$. [11]

Si no se conocieran las demandas de todos los nodos y se puede aplicar el método de Ardvinson, las demandas se calculan a partir de la capacidad instalada en los transformadores y el factor de capacidad (Fcap) a partir de una sola medición en la subestación, la expresión se convierte en:

$$Z_{e-0j} = \frac{1}{CI_t} (CI_{01} \cdot Z_{01} \cdot l_{01} + CI_{12} \cdot Z_{12} \cdot l_{12} + \dots + CI_{2j} \cdot Z_{2j} \cdot l_{2j}) \Omega \quad 230$$

En donde CI es la capacidad instalada en los transformadores de cada tramo, CI_T , lo mismo para todo el circuito y no aparece el factor de capacidad (F_{cap}) porque se simplifica al suponerse constante para todos los transformadores del circuito.

Si no existiesen nodos en el circuito, la impedancia equivalente sería igual a la impedancia del alimentador. [11]

2.9 Ubicación de reguladores de voltaje.

Si se tuviese el caso de tener carga uniformemente distribuida en el alimentador, las ubicaciones más adecuadas para dos reguladores se encuentran a una distancia desde la subestación aproximadamente el 20% de la longitud del alimentador para el primer regulador, mientras que el 50% para el segundo. Si se fuera a ubicar un regulador en el alimentador, su ubicación óptima sería en 3/8 de la longitud de la línea de la subestación, esto si es carga uniformemente distribuida.

Se pudiera colocar varios reguladores en un alimentador de distribución, lo que funcionaría para cumplir con normas y requisitos de calidad y niveles de voltaje para los clientes, pero a su vez esto crea una fuente débil, siendo lo más probable que se den problemas de flicker debido a los motores de los reguladores o cargas fluctuantes.

También se considera el efecto de caída de carga en los reguladores, ya que suele haber un reconector aguas abajo de un regulador de línea. Si el regulador incrementa el tap debido a un aumento de carga y el reconector saca un poco de carga, el voltaje aguas abajo del regulador subirá hasta que este realice nuevamente el cambio de taps. [14]

2.10 Regulación de voltaje en la cabecera del alimentador.

- **Regulación con LTC:** Todos los circuitos y fases son regulados en el mismo tap. El punto más bajo en cualquier alimentador limita la reducción del voltaje. Como se muestra en a figura 2-13.[14]

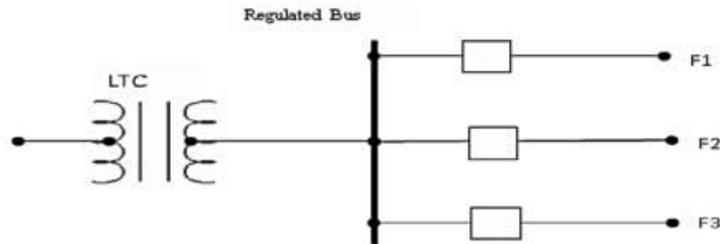


Figura 2-13. Regulación de voltaje en cabecera.

Fuente: [14]

- **Regulación en Barra de la S/E:** Las fases del alimentador se regulan con el mismo tap del regulador al que está conectado. El punto más bajo de cada fase limita la reducción de voltaje para esa fase en todos los alimentadores. Como se muestra en la figura 2-14. [14]

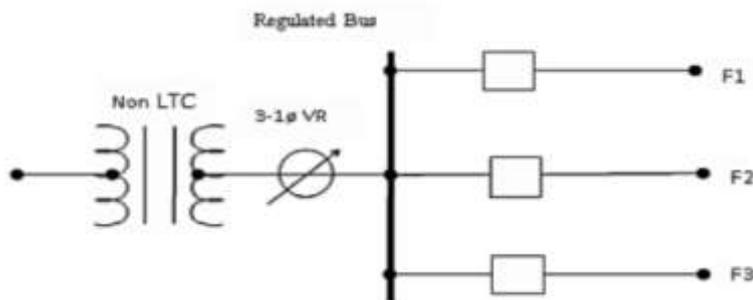


Figura 2-14. Regulación en barra de la S/E.

Fuente: [14]

- **Regulación de Voltaje por Fase en Cabecera del Alimentador:** La regulación de voltaje se la realiza en cada fase del alimentador una por una independientemente de las otras. El punto más bajo de voltaje en cada fase de cada alimentador limita la reducción de voltaje para esa fase de ese alimentador. Como se puede ver en la figura 2-15. [14]

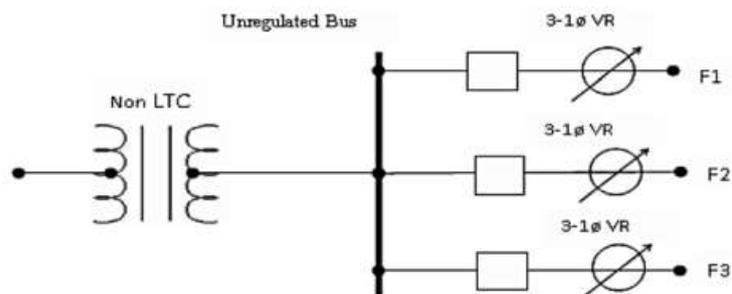


Figura 2-15. Regulación de cada fase en el alimentador.

Fuente: [14]

2.11 Puesta a tierra de los reguladores de voltaje.

La puesta a tierra de los reguladores de voltaje es una parte esencial para la instalación y funcionamiento correcto del sistema. Cada regulador de voltaje tiene integrado el conector de puesta a tierra para el tanque y el controlador del equipo, que son los dos elementos esenciales que se deben colocar fijamente a tierra.

De acuerdo con el manual de reguladores EATON, la puesta a tierra de la caja de control del regulador debe ser esencial. Esta se debe conectar a la puesta a tierra del tanque o con una tierra física especial colocada para él controlador. Ya que una mala puesta a tierra del control puede poner en peligro a los operadores y causar un mal funcionamiento del equipo.

Un sistema de conexión externo entre la cubierta y el tanque hace que el conjunto interno suspendido de la cubierta y el tanque se pongan a tierra juntos para eliminar las diferencias de voltaje cuando se conecta la energía.

El manual de reguladores de voltaje ITB, nos dice que *“La adecuada toma a tierra para un banco de reguladores de tensión monofásicos debe garantizar una resistencia conforme la norma ABNT NBR 14039 instalaciones eléctricas de media tensión desde 1,0 kV hasta 36,2 kV”*. [15][16][17][18][19]

2.12 Método heurístico para ubicación de reguladores de voltaje.

Los métodos o técnicas heurísticas están basados en la habilidad de los seres humanos para resolver problemas a través de técnicas experimentales que brinden soluciones óptimas. Son reglas basadas en la intuición, experiencia y criterios relacionados en el caso en particular, la operación de sistemas eléctricos de distribución. Estos métodos son empleados en la actualidad para la resolución de todo tipo de problemas, por lo que en este trabajo de titulación se busca plantear un modelo basado en métodos de búsqueda heurísticos para la ubicación óptima de los reguladores de voltaje, para los alimentadores que se seleccionará de la S/E Portovelo.

El método heurístico que se propone, se basa en que, a través de interpretar los resultados de flujos de carga, determinar los nodos y ramales con peores caídas de tensión y denominarlos críticos para la posible implementación de los reguladores de voltaje. Una vez definidos estos, en base a su ubicación dentro del alimentador, se coloca los reguladores de voltaje analizando el comportamiento que producen en la red, seleccionado así el mejor punto de ubicación para los equipos. [20][21]

2.12.1 Descripción del método heurístico para la ubicación de reguladores de voltaje.

El método para la ubicación de los reguladores de voltaje consta de dos partes, mismas que se describen a continuación.

2.12.1.1 Parte I. Selección y ubicación de los reguladores de voltaje.

- A. Realización del flujo de carga de los alimentadores seleccionados como críticos, y determinar los nodos críticos es decir con peores caídas de voltaje.
- B. Seleccionados los nodos críticos y candidatos a ser ubicados los reguladores de voltaje se debe hacer:
 - 1. Colocar el RV al final del nodo seleccionado.
 - 2. Realizar un flujo de carga seteando los parámetros del regulador colocado.
 - 3. Comparar los resultados con respecto al flujo anterior.
 - 4. Mover la ubicación del regulador de voltaje y volver al paso 2.
 - 5. Probados los sitios candidatos se detiene el proceso.
- C. Finalmente, el regulador que mejor resultados presentó con respecto a los flujos de carga se queda ubicado en el circuito.

Esta etapa de ubicación de los reguladores de voltaje se basa en definir la mejor alternativa para compensar la caída de voltaje a lo largo del circuito, fijándose únicamente en parámetros técnicos de funcionamiento del circuito.

Este algoritmo para la ubicación de los reguladores de voltaje brinda soluciones confiables y coherentes ya que una vez que se implementa el regulador se ejecuta un flujo de carga para analizar la mejora del flujo de carga y perfil de voltaje a lo largo de todo el alimentador. [20][21]

2.12.1.2 Parte II. Reubicación o reducción de reguladores de voltaje.

Luego de realizar la ubicación, esta etapa trata de reducir el número de reguladores de voltaje si se colocó más de dos bancos de reguladores de voltaje a través de una relocalización de los equipos. En el caso particular se tratará de no colocar más de dos bancos de reguladores de voltaje debido restricciones y condiciones de funcionamiento del sistema por lo que esta parte del algoritmo no se utilizará.

El proceso de reubicación de reguladores de voltaje se detalla a continuación:

- A. Los reguladores de voltaje se van reubicando hacia los tramos cercanos a la cabecera del alimentador procurando no sobrepasar los límites de regulación de voltaje.
- B. Se definen pares de ubicaciones por cada dos reguladores de voltaje.
- C. Se coloca un solo regulador de voltaje por cada par de reguladores con nodos en común.
- D. Se comprueba a través del flujo de carga si mejora los niveles de voltaje a lo largo del alimentador.

El principal objetivo de esta segunda parte del algoritmo es evitar que se coloquen reguladores de más ya que esto afecta económicamente a las empresas de distribución y puede distorsionar el funcionamiento del sistema. [20][21][22]

2.13 Análisis económico.

Dada la importancia de tener óptimos los niveles de voltaje y a la mejora que esto produce en el funcionamiento de la red. Se debe tener presente además del enfoque técnico, los parámetros económicos a los que se encuentran sujetas estas mejoras, estos factores económicos pueden ser:

- Niveles de voltaje dentro de los límites.
- Disminución de pérdidas.
- Costo de implementación.

El análisis técnico-económico, se debe considerar debido a que la operación del sistema en óptimas condiciones se encuentra ligado ampliamente a los costos de inversión que se realizan para su correcta operación, mismos que se consideran costos directos. Los aspectos técnicos que se consideran tienen que ver con la operación de los reguladores de voltaje en la red y que estos estén aprobados y homologados correctamente. Los aspectos económicos constan de la inversión de los equipos y su ubicación adecuada. [10] [21][20]

2.13.1 Costos de implementación de reguladores de voltaje.

Dado que los reguladores de voltaje son instalados únicamente en nodos específicos de la red y mantienen el voltaje de acuerdo a la carga del sistema. Lo que significa la variación en el tiempo de la corriente de la red y un ahorro de pérdidas relativas. El costo de las pérdidas luego de la instalación de reguladores de voltaje está dado por: [21][20]

$$F_{c,r} = kp \cdot \sum_{j=1}^{n_j} PL_{jmax}^r + kc \sum_{\tau} \left\{ \sum_{j=1}^{n_j} PL_j^r(\tau) \cdot \tau \right\} \quad 231$$

Donde:

kp : Costo anual de la demanda [\$/kW año].

kc : Costo de la energía [\$/kWh].

n_j : Numero de nodos de la red.

PL_{jmax}^r : Pérdidas de la red en carga pico durante un periodo de tiempo τ con los reguladores de voltaje instalados [kW].

$PL_j^r(\tau)$: Pérdidas de la red durante un periodo de tiempo τ con los reguladores de voltaje instalados [kW].

τ : Periodo de tiempo en el cual las pérdidas son constantes.

$$\sum_{\tau} \tau = T = 8760 h \quad 232$$

El costo $F_{c,r}$ se encuentra entre los límites.

$$F_{c,r_{min}} \leq F_{c,r} \leq F_{c_{max}} \quad 233$$

En el que $F_{c_{max}}$ es el costo de las pérdidas antes de la instalación de los reguladores de voltaje.

$$Fc_{max} = kp \cdot \sum_{j=1}^{nj} PLj_{max} + kc \sum_{\tau} \left\{ \sum_{j=1}^{nj} PLj(\tau) \cdot \tau \right\} \quad 234$$

Donde:

PLj_{max} : Pérdidas en la red en carga pico sin reguladores de voltaje [kW].

$PLj(\tau)$: Pérdidas durante un periodo de tiempo T sin reguladores de voltaje [kW].

El beneficio dado por el ahorro de pérdidas luego de la instalación de los reguladores de voltaje está dado por:

$$DFc,r = Fc_{max} - Fc,r \quad 235$$

El beneficio irá aumentando cada vez, según en los nodos del circuito tengan el voltaje requerido por las normas, lo que quiere decir que los taps de los reguladores se deben ir ajustando cada año según la variación de la demanda. [21][20]

Las ecuaciones descritas anteriormente para obtener el costo de las pérdidas no consideran los costos de inversión de los equipos, ni de mantenimiento, para tener una mejor aproximación al costo total, se considera la ecuación 2-36, estos costos son directos debido a que el sistema se encuentra en explotación constante, es decir en operación normal.

$$SF = DFc,r - Creg \quad 236$$

Donde:

$Creg$: Costo inversión y de mantenimiento de los reguladores de voltaje.

El mismo que está dado por:

$$Creg = \sum_{i=1}^{ni} r_i \cdot Creg,i \quad 237$$

$$Creg = \sum_{i=1}^{ni} r_i \cdot [C_{a,ri} \cdot A^{-1}(i_a, N) + C_{s,ri}] \quad 238$$

Donde:

ni : Número de nodos del sistema.

$Creg,i$: Costo de inversión y mantenimiento anual de los reguladores de voltaje [\$/año].

$r_i = 1$: En un nodo "i" está ubicado el regulador de voltaje.

$r_i = 0$: En nodo "i" no existe un regulador de voltaje.

$C_{a,ri}$: Costo de inversión en los reguladores de voltaje. [\$]

$C_{s,ri}$: Costo anual de mantenimiento de los reguladores de voltaje [\$/año]

$A^{-1}(i_a, N)$: Factor de retorno del capital, está dado por la siguiente expresión.

$$A^{-1}(i_a, N) = i_a \cdot \frac{(1 + i_a)^N}{(1 + i_a)^N - 1} \quad 239$$

Donde:

i_a : Tasa de interés anual.

N : Vida útil esperada de los reguladores de voltaje.

La amortización se considera de forma lineal debido a que el sistema se encuentra en explotación constante.

La ecuación 2-36 como tal representa el beneficio total de la instalación de reguladores de voltaje, ya que aquí está considerando los costos de inversión de los reguladores junto con el beneficio que se obtiene solo considerado a partir de las pérdidas.

Con estas expresiones mencionadas podemos tener una aproximación de los costos que implican en la instalación de reguladores de voltaje en un alimentador primario de distribución radial.

La tabla 2-6 de tasas de interés activas efectivas vigentes para el sector financiero, privado, publico, popular y solidario, se la obtuvo actualizada al mes de junio del 2018 a través del portal web del Banco Central del Ecuador[25], en la cual se muestran todos los intereses anuales, de la cual se tomará el indicado para la evaluación de costos de la implementación de los reguladores de voltaje.

De la proyección de la demanda realizada se obtendrá la tasa de crecimiento vegetativo de esta, que se realizó en base al histórico proporcionado por la empresa CNEL EP EL ORO, según sea la necesidad de su aplicación en los costos y se sacará de acuerdo con el alimentador en análisis. [10]

2.14 Proyección de la demanda por mínimos cuadrados.

El comportamiento de la demanda de la S/E Portovelo presenta un crecimiento lineal constante año a año, por tal razón en base al histórico proporcionado por la empresa CNEL EP EL ORO, se ha decidido utilizar el método de regresión por mínimos cuadrados aplicando la regresión lineal para proyectar la demanda actual que se tiene y en base a la proyección verificar si el comportamiento de los reguladores de voltaje será el adecuado o se necesita de ajustes de la red.

2.14.1 Metodología de proyección de la demanda.

Se considera una ecuación lineal de una recta, ya que esta relaciona dos variables, siendo "y" la variable dependiente y "x" la variable independiente. La expresión de esta ecuación es 2-40:

$$y = A + B \cdot x \quad 240$$

Donde:

A : Punto donde la recta corta al eje "y".

B : Pendiente de la recta.

Para encontrar los valores de los coeficientes A y B , se lo realiza a través de la ecuación 2-41 y 2-42:

$$B = \frac{(n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad 241$$

$$A = \frac{(\sum y_i - B \sum x_i)}{n} \quad 242$$

Los detalles de proyección de la demanda realizada para los alimentadores de estudio se explicarán en detalle en los capítulos posteriores. [23][24]

Tabla 2-6. Tasas de interés activas efectivas vigentes para el sector financiero privado, público, popular y solidario – Junio 2018

Fuente: [25]

Tasas de Interés			
Junio – 2018			
TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES PARA EL SECTOR FINANCIERO PRIVADO, PÚBLICO Y, POPULAR Y SOLIDARIO			
Tasas Referenciales		Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual	Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	7.31	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	9.82	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	10.19	Productivo PYMES	11.83
Comercial Ordinario	7.93	Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	7.33	Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	9.64	Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	10.43	Comercial Prioritario PYMES	11.83
Consumo Ordinario	16.59	Consumo Ordinario	17.30
Consumo Prioritario	16.65	Consumo Prioritario	17.30
Educativo	9.48	Educativo	9.50
Inmobiliario	10.38	Inmobiliario	11.33
Vivienda de Interés Público	4.88	Vivienda de Interés Público	4.99
Microcrédito Minorista ^{1.}	26.91	Microcrédito Minorista*	28.50
Microcrédito de Acumulación Simple ^{1.}	23.78	Microcrédito de Acumulación Simple*	25.50
Microcrédito de Acumulación Ampliada ^{1.}	20.10	Microcrédito de Acumulación Ampliada*	23.50
Inversión Pública	8.00	Inversión Pública	9.33
<i>1. Las tasas de interés para los segmentos Microcrédito Minorista, Microcrédito de Acumulación Simple y Microcrédito de Acumulación Ampliada se calculó con información del sector financiero privado y de la economía popular y solidaria (cooperativas de ahorro y crédito del segmento 1 y mutualistas).</i>			

2.15 Indicadores de Rentabilidad.

2.15.1 Tasa interna de retorno (TIR) y Valor actual neto (VAN).

El valor actual neto o VAN es conocido como un medio de equiparación del flujo de costos brutos actualizados, respecto de la corriente de beneficios brutos también actualizados a una apropiada tasa de actualización. El criterio de decisión apropiado del VAN es que durante el tiempo de vida útil del proyecto, el VAN puede presentar un giro de signo significando que el proyecto se debe implementar, es decir $VAN > 0$. [26][27]

El VAN está representado por la ecuación 2-43:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad 243$$

Donde:

B_t : Beneficio de cada año.

C_t : Costo en cada año.

i : Tasa de interés actual.

t : 1,2,3...n.

n : Número de años.

La tasa interna de retorno o TIR se conoce como la tasa de interés o rentabilidad que se va a tener al momento de realizar una inversión. La TIR da el rendimiento de la inversión con el fin de compararla con la tasa de interés o el costo de oportunidad del capital imperante.

Para saber si un proyecto de inversión o estudio económico es rentable a través de la TIR se considera el criterio de que si esta tasa TIR es superior al interés del mercado. Esto indica que un proyecto se puede financiar con préstamos que como máximo tengan una tasa de interés igual o inferior al valor del TIR. [26][27]

La tasa TIR se da por la ecuación 2-44:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = 0 \quad 244$$

Donde:

B_t : Beneficio de cada año.

C_t : Costo en cada año.

i : Tasa de interés actual.

t : 1,2,3...n.

n : Número de años.

2.15.2 Razón Beneficio/Costo RBC.

La razón beneficio/costo o RBC, se obtiene al dividir el valor de los beneficios que genera una inversión para el valor de los costos que se implicaron en todo el proyecto. En este caso en particular, se deben obtener todos los costos anualizados del sistema incluyendo los reguladores de voltaje, y sin banco de reguladores de voltaje, además del beneficio igualmente anualizado del sistema. [10][26][27]

Los criterios de decisión de la RBC se los puede interpretar de tres formas a partir de su resultado:

- $RBC > 1$: Indica que el beneficio de la inversión supera a los costos de sistema, por lo que se recomienda realizar la inversión.
- $RBC = 1$: Indica que los costos son iguales a los beneficios, por lo que no existen ganancias.
- $RBC < 1$: Indica que los costos son mayores a los beneficios por lo que no es recomendable realizar la inversión en el proyecto.

CAPÍTULO 3

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA CNEL-EP EL ORO.

3.1 Sistema de subtransmisión.

La CNEL-EP EL ORO se alimenta del S.N.I. a través de dos circuitos trifásicos de subtransmisión de 138 kV para una mayor confiabilidad del sistema. La red de subtransmisión llega a la S/E MACHALA TRANSELECTRIC, sector La Peaña (cantón Pasaje), en esta se reduce el nivel de voltaje de 138/69 kV a través de bancos de autotransformadores de potencia cuya capacidad total es de 200 MVA, la cual se divide en dos barras denominadas EMELORO 1 y EMELORO 2. Para estudio se considerará la barra EMELORO 1 dado en el cual se encuentra la subestación “PORTOVELO”, véase la figura 3-1.

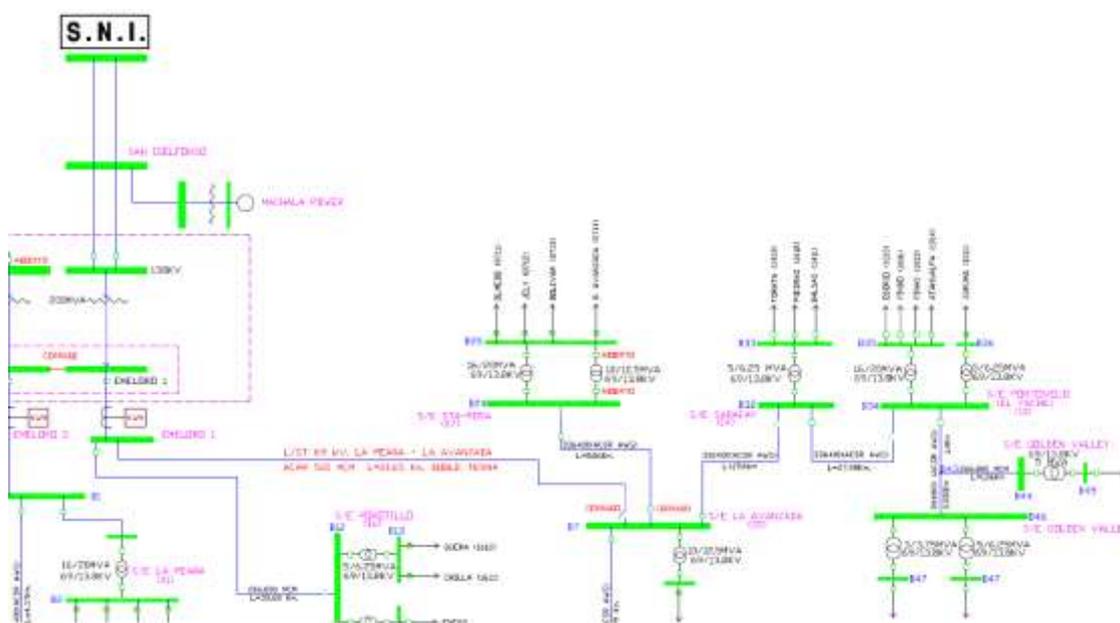


Figura 3-1. Diagrama Unifilar CNEL-EP EL ORO – Sistema de Subtransmisión año 2017.

Fuente: Portal Institucional CNEL EP EL ORO.

La barra EMELORO 1 alimenta a la subestación LA AVANZADA (05) a través de un doble circuito de subtransmisión de 69 kV. El conductor utilizado es el ACAR 500 MCM con una longitud de 21,65 km, de la barra de llegada de la subestación LA AVANZADA (05) sale una terna de subtransmisión de 69 kV a la subestación SARACAY (14) con una sección de conductor ACSR 336,40 AWG y una longitud de 19,6 km. Para alimentar a la subestación PORTOVELO (10) se tiene un circuito de subtransmisión de 69 kV, una sección de conductor ACSR 336,40 AWG y una longitud de 27,98 km.

3.2 Sistema de distribución.

La subestación “Portovelo” se encuentra ubicada en el cantón Portovelo a una distancia de 1,77 km de la cabecera cantonal y una altitud de 620 msnm. Se sitúa al sureste de la provincia de EL

ORO, a 105 km de su capital Machala. La zona es montañosa dado que forma parte de la cordillera de Vizcaya perteneciente a un ramal de la cordillera de los Andes.

La empresa eléctrica CNEL EP EL ORO tiene como prioridad mantener la estabilidad del sistema en la subestación y en las redes de distribución. La subestación “Portovelo” suministra el servicio de energía eléctrica a los cantones Zaruma, Pinas, Portovelo y Atahualpa. En la figura 3-2, se muestra el área de cobertura de la subestación “Portovelo” el cual tiene una extensión de 1.497,5 kilómetros cuadrados. Los cantones de Zaruma, Piñas, y Atahualpa poseen un alimentador cada uno, para el abastecimiento del servicio a clientes residenciales, comerciales e industriales. En el cantón Portovelo se tienen dos alimentadores (Pindo y Osorio) debido a que la demanda en la zona es alta en horarios picos ya que las cargas industriales pertenecen en gran porcentaje a sectores mineros.

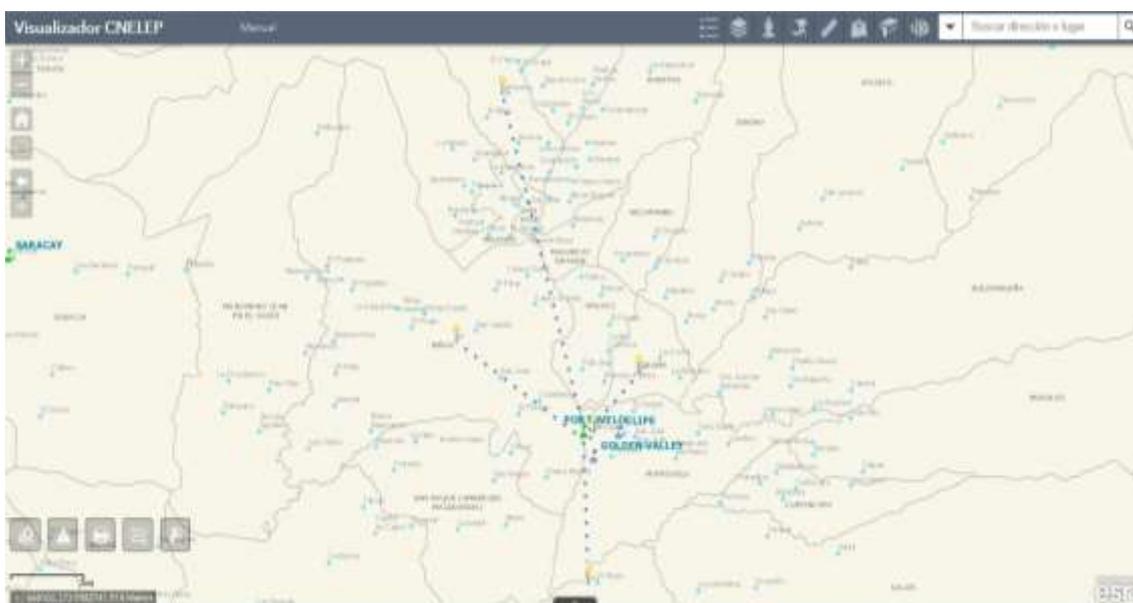


Figura 3-2. Área de influencia de la Subestación “Portovelo”.

Fuente: Geoportel CNEL EP EL ORO.

La subestación “Portovelo” sirve a cinco alimentadores primarios de característica aéreo radial, que poseen un tramo principal trifásico o ramal troncal, ramales secundarios trifásicos, bifásicos o monofásicos, reguladores de voltaje, banco de condensadores, transformadores de distribución y cargas (trifásicas, bifásicas y monofásicas). En la figura 3-3, se muestra la topología de los alimentadores Zaruma, Piñas, Atahualpa, Osorio y Pindo, donde se observa que cuatro alimentadores cubren grandes extensiones de territorio, por ende, aumenta la longitud total de los conductores, lo que conlleva al incremento en la caída de voltaje y el aumento de las pérdidas técnicas por transporte de energía.

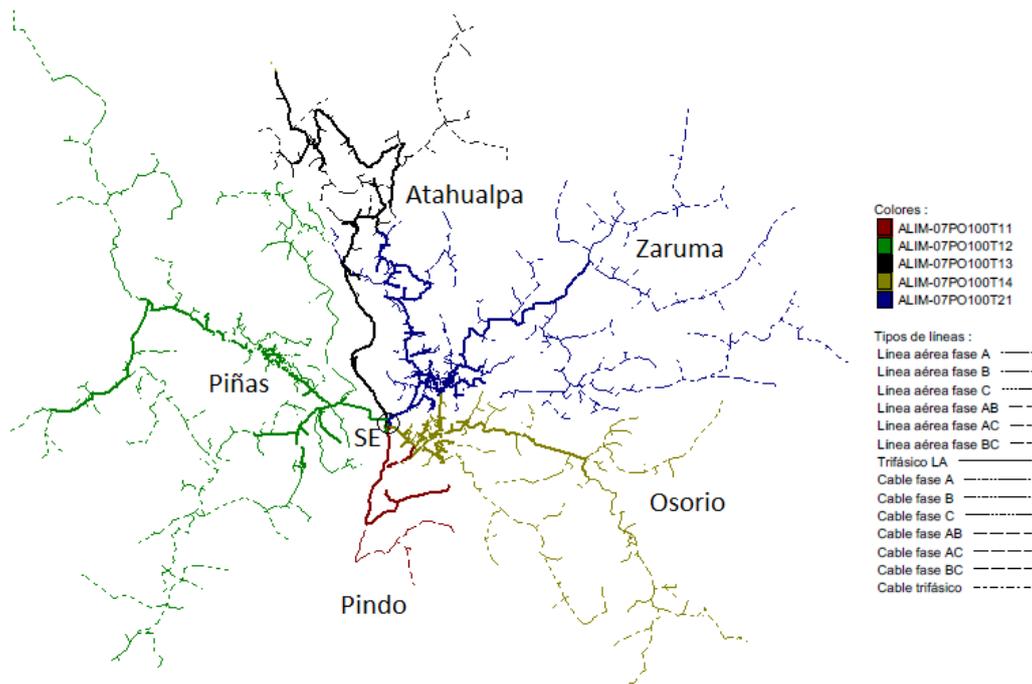


Figura 3-3. Área de influencia de la Subestación “Portovelo”.

Fuente: Base de datos Software CYMDIST.

Los voltajes más utilizados por la CNEL EP EL ORO en las redes de distribución primarias en media tensión generalmente se encuentran a 13,8 kV trifásicos (Línea - Línea) y 7,96 kV monofásicos (Línea - Neutro). En la figura 3-4 y 3-5, se muestra la subestación “Portovelo” con las distintas estructuras que lo componen tanto para 69 y 13,8 kV.



Figura 3-4. Vista de la Subestación “Portovelo”, estructuras de subtransmisión a 69 kV.

Fuente: Autores.



Figura 3-5. Vista de la Subestación “Portovelo”, estructuras de distribución a 13,8 kV.

Fuente: Autores.

La subestación “Portovelo” cuenta con dos transformadores de 16/20 y 5/6,25 MVA conectados a una barra (34) simple con un nivel de tensión de 69 kV. El transformador de 16/20 MVA tiene una conversión de tensión de 69/13,8 kV que ofrece el suministro de energía a los alimentadores Osorio <1015>, Pindo <1016>, Piñas <1013> y Atahualpa <1014>, mientras que el transformador de 5/6,25 MVA tiene una conversión de tensión de 69/13,8 kV que brinda el servicio al alimentador Zaruma <1011>. En la tabla 3-1, se muestra una descripción de los alimentadores con la respectiva nomenclatura empleada en el GIS y el CYMDIST.

Tabla 3-1. Nomenclatura utilizada para la subestación “Portovelo”.

Fuente: Autores.

Transformador	Nivel de Voltaje	Descripción		
		Alimentador	GIS	CYMDIST
5/6,25	69/13,8	Zaruma	1011	ALIM-07PO100T21
16/20	69/13,8	Atahualpa	1014	ALIM-07PO100T13
		Piñas	1013	ALIM-07PO100T12
		Osorio	1015	ALIM-07PO100T14
		Pindo	1016	ALIM-07PO100T11

En la figura 3-6, se muestra como está constituida la subestación “Portovelo”. El alimentador Zaruma está conectado a una barra (B36) de configuración simple y los alimentadores Piñas, Atahualpa, Osorio y Pindo están conectados en otra barra (B35) simple. Las barras (B35 y B36) tienen conectados un TP y TC para las mediciones de voltaje, corriente, potencia (kVA, kW y kVAR), factor de potencia y energía consumida. Los registros de mediciones lo realizan cada diez minutos con el objetivo de tomar mediciones cortas para establecer niveles de calidad en el suministro de energía eléctrica en las redes de distribución, reguladas por el CONELEC 004/01.

Estas evalúan el comportamiento del alimentador en parámetros de nivel de tensión, perturbaciones y el factor de potencia, el mismo que busca garantizar a los clientes un suministro eléctrico continuo y confiable.

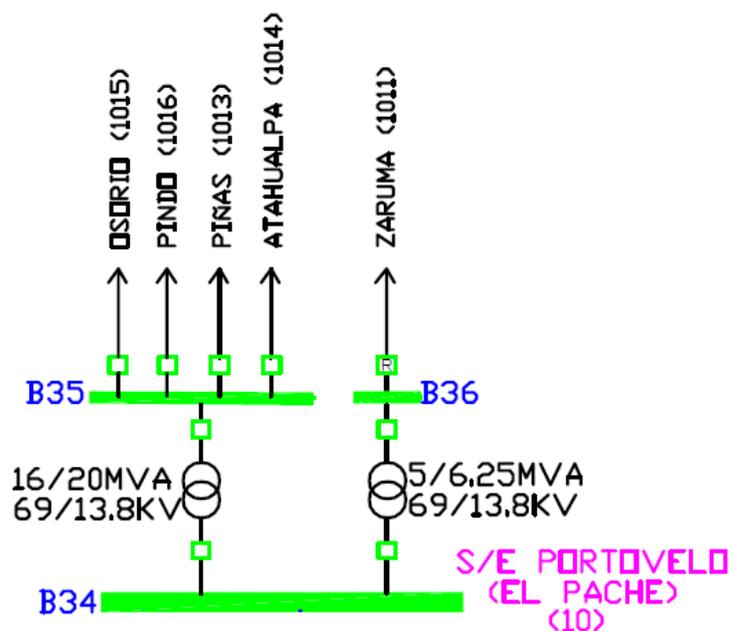


Figura 3-6. Características de la subestación “Portovelo” con los alimentadores de salida.

Fuente: Diagrama Unifilar AUTOCAD – CNEL EP EL ORO.

Los alimentadores de la subestación “Portovelo” poseen equipos de protección para mantener la confiabilidad en el sistema, tales como: reconectadores, seccionadores de línea, seccionadores fusibles e interruptores de potencia. Para un manejo rápido y eficiente del sistema se tienen celdas modulares de media tensión a 13,8 kV, las cuales son controladas a través del sistema SCADA y monitoreadas por el centro de operaciones ubicada en la Subestación “Primavera”, sector norte de Machala.

En la tabla 3-2, se muestra el registro de demanda máxima de cada alimentador y el tipo de sector de los respectivos cantones.

Tabla 3-2. Registro de demanda máxima por tipo de alimentador.

Fuente: Autores.

Subestación	Transformador [MVA]	Nivel de Voltaje [kV]	Alimentador	Potencia [MVA]	Tipo
Portovelo	5/6,25	69/13,8	07PO100T21	5432,50	Urbano-Rural
			07PO100T13	3160,25	Urbano-Rural
	16/20	69/13,8	07PO100T12	4035,02	Urbano-Rural
			07PO100T14	4270,89	Urbano-Rural
			07PO100T11	4508,70	Urbano-Rural

3.3 Descripción de los alimentadores de la subestación Portovelo.

A continuación, se muestra una vista de los cinco alimentadores de la subestación “Portovelo” como se muestra en la figura 3-7.



Figura 3-7. Vista de la Subestación “Portovelo”, salida de los alimentadores.

Fuente: Autores.

El alimentador “Zaruma” (ALIM-07PO100T21) representa un porcentaje del 100%, debido a que posee un transformador propio de 5/6,25 MVA. En cambio los siguientes alimentadores como el “Piñas” (ALIM-07PO100T12) tiene un porcentaje del 57%, el “Osorio” (ALIM-07PO100T14) con el 28%, el 14% es para el “Atahualpa” (ALIM-07PO100T13) y por último el “Pindo” (ALIM-07PO100T11) equivale al 1%, estos clientes están divididos por tarifa para el cobro de la energía consumida mensualmente y designada por la CNEL EP EL ORO. En la figura 3-8, se muestra la cantidad de clientes que tiene cada alimentador.

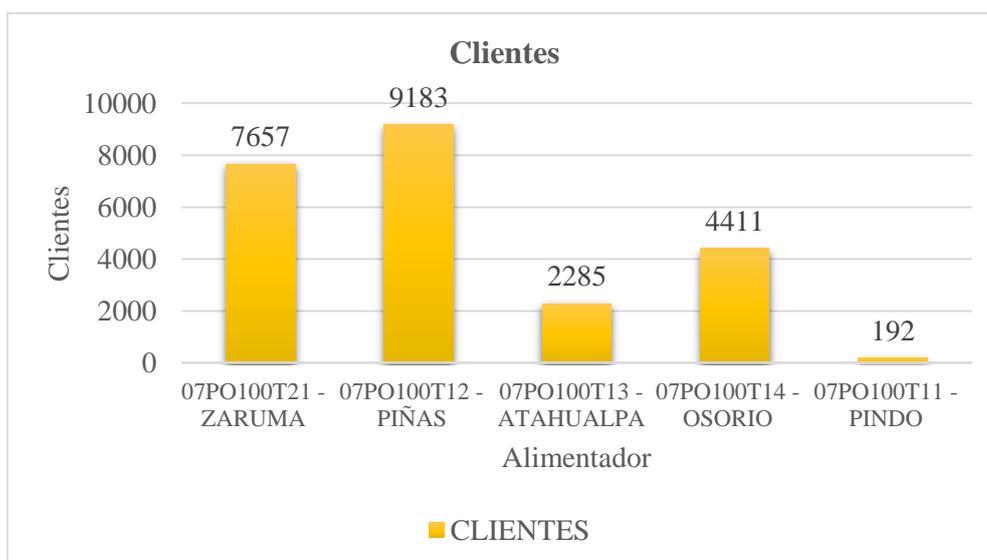


Figura 3-8. Clientes por Alimentador de la subestación “Portovelo”.

Fuente: Autores.

La longitud total de los conductores utilizados en cada alimentador. Se incluyen tramos aéreos (ACSR 2 ACSR 4, ACSR 1/0, ACSR 2/0, ACSR 3/0, ACSR 4/0) y subterráneos clase (15-kV-Cu-2, 15-kV-Al-1/0, 15-kV-Cu-1/0, 15-kV-Cu-2/0). El alimentador “Zaruma” (ALIM-07PO100T21) representa el 31%, el alimentador “Piñas” (ALIM-07PO100T12) tiene un porcentaje del 33%, el alimentador “Osorio” (ALIM-07PO100T14) con el 18%, el 16% es para el alimentador “Atahualpa” (ALIM-07PO100T13) y por último el alimentador “Pindo” (ALIM-07PO100T11) equivale al 2%.

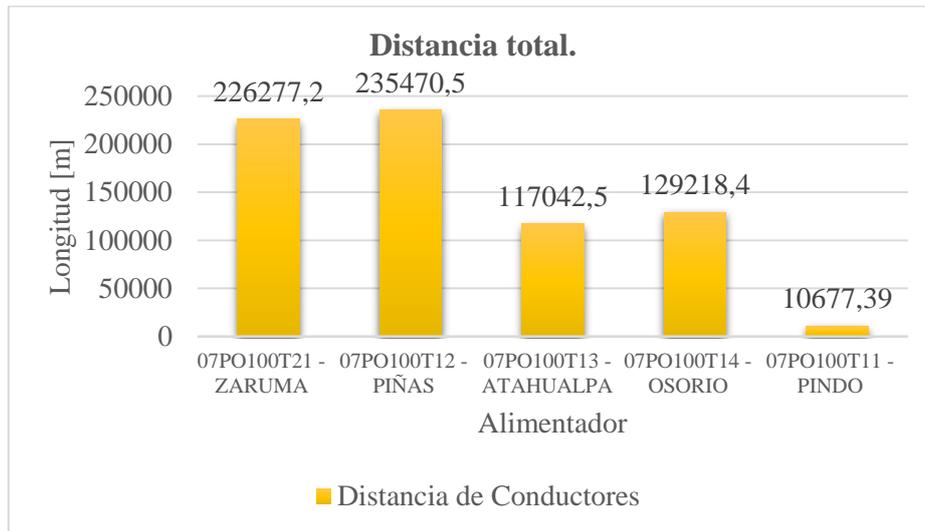


Figura 3-9. Longitud total de los conductores utilizados en los alimentadores.

Fuente: Autores.

3.3.1 Alimentador Zaruma (ALIM-07PO100T21).

El alimentador “Zaruma” es el único que suministra energía eléctrica al cantón Zaruma y a las parroquias rurales de Huertas, Salvias, Malvas, Sinsao, Arcapamba, Muluncay y Guanazán. El alimentador 07PO100T21 tiene un ramal principal con una longitud de 17,93 km, con secciones de conductores en las fases de ACSR 4/0 y el neutro de ACSR 2, al final del circuito las secciones son de menor calibre ACSR 1/0 en las fases. En la figura 3-10, se muestra el área de cobertura del alimentador el cual se divide en un ramal principal (trifásico) y ramales secundarios (ramales trifásicos, bifásicos y monofásicos).

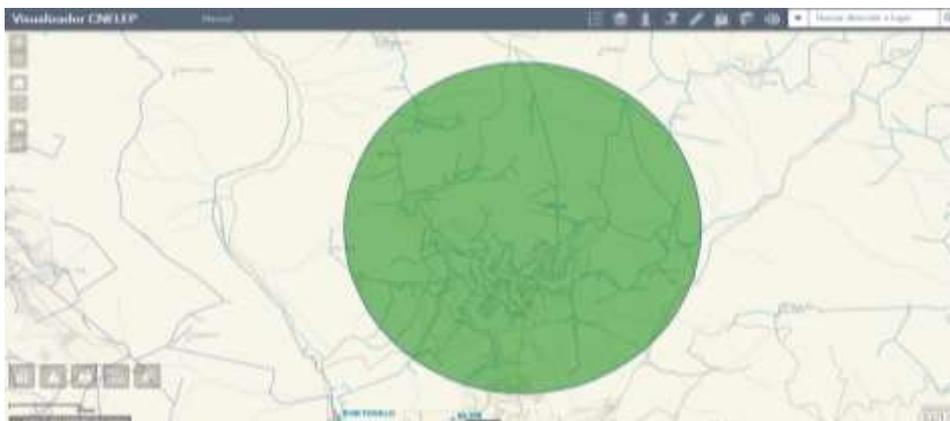


Figura 3-10. Área de cobertura del alimentador Zaruma de la subestación “Portovelo”.

Fuente: Geoportel CNEL EP EL ORO.

3.3.1.1 Características del alimentador Zaruma (ALIM-07PO100T21).

El alimentador realiza un recorrido desde la subestación “Portovelo” hasta el cantón Zaruma de 2,25 km. Tiene una carga total instalada en el alimentador de 25.695 kVA lo que representa el 100% de potencia disponible en la barra simple (B36). Dispone de 585 transformadores de distribución los cuales se dividen en 63 trifásicos, 5 bifásicos y 517 monofásicos, instalados en el alimentador (principal y secundario). La longitud total del alimentador entre tramos (trifásicos, bifásicos y monofásicos) es de 226.277,2 [m]. En la tabla 3-3, se muestra la situación actual del alimentador “Zaruma”.

Tabla 3-3. Características del alimentador Zaruma (ramal principal y secundario).

Fuente: Autores.

Descripción	Detalle	
Longitud del ramal primario:	17,930	[km]
Nivel de Voltaje kVLL:	12,712	[kV]
Nivel de Voltaje kVLN:	7,285	[kV]
Carga Instalada:	25695,00	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	5432,504	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	5366,590	[kW]
Numero de transformadores:	585	
Número de clientes:	7657	
Energía registrada en DM:	864,766	[kWh]

3.3.2 Alimentador Piñas (ALIM-07PO100T12).

El alimentador “Piñas” brinda energía eléctrica a sectores urbanos de Piñas, La Susaya y Piñas Grande, además parroquias rurales como Capiro, La Bocana, Moromoro y San Roque. El ramal principal tiene una distancia de 22,84 km, con secciones de los conductores que varían en las fases con ACSR 4/0 y ACSR 3/0, para el neutro el conductor es ACSR 2. La figura 3-11 muestra el área de influencia que tiene el alimentador dividido en ramales principales y secundarios.

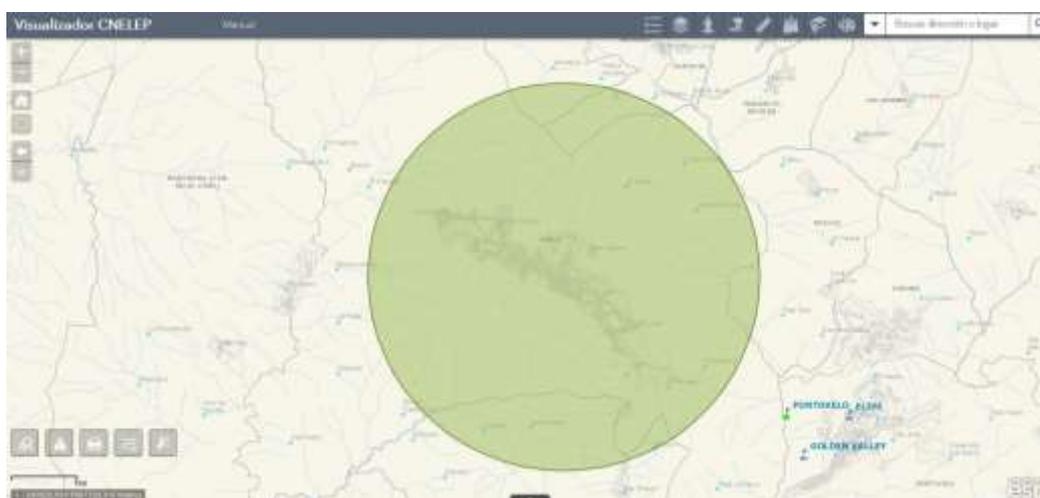


Figura 3-11. Área de cobertura del alimentador Piñas de la subestación “Portovelo”.

Fuente: Geoportal CNELEP EL ORO.

3.3.2.1 Características del alimentador Piñas (ALIM-07PO100T12).

El alimentador “Piñas” tiene un recorrido desde la subestación “Portovelo” hasta el cantón Piñas de 4,42 km con una carga total instalada en el alimentador es de 17.050 kVA, lo que equivale el 26% de la potencia disponible de la barra simple (B35). El alimentador 07PO100T12 tiene 646 transformadores, se dividen en 53 trifásicos, no tiene instalados transformadores bifásicos y 593 monofásicos, todos colocados en los ramales principal y secundario. La longitud total de los conductores (aéreos y subterráneos) es de 235.470,5 [m]. Se muestra la situación actual del alimentador “Piñas” en la tabla 3-4.

Tabla 3-4. Características del alimentador Piñas (ramal principal y secundario).

Fuente: Autores.

Descripción	Detalle	
Longitud del ramal primario:	22,840	[km]
Nivel de Voltaje kVLL:	12,689	[kV]
Nivel de Voltaje kVLN:	7,292	[kV]
Carga Instalada:	17050,00	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	4035,024	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	3777,679	[kW]
Numero de transformadores:	646	
Número de clientes:	9183	
Energía registrada en DM:	617,881	[kWh]

3.3.3 Alimentador Atahualpa (ALIM-07PO100T13).

El alimentador “Atahualpa” proporciona el suministro de energía eléctrica a la cabecera cantonal Paccha y las parroquias rurales de Ayapamba, Milagro, San José, Cordoncillo y San Juan de Cerro Azul. El ramal principal del alimentador tiene una longitud total de 29,56 km, es el más extenso con respecto a los demás alimentadores existentes en la subestación. La sección de los conductores que se utiliza para las fases es el ACSR 3/0 y el neutro ACSR 2 para el ramal principal y para los ramales secundarios se tiene secciones de ACSR 1/0 o ACSR 2, en el caso de los conductores ACSR 3/0 en el ramal troncal presentan caídas considerables de voltaje. La figura 3-12 muestra el área de influencia del alimentador “Atahualpa”.

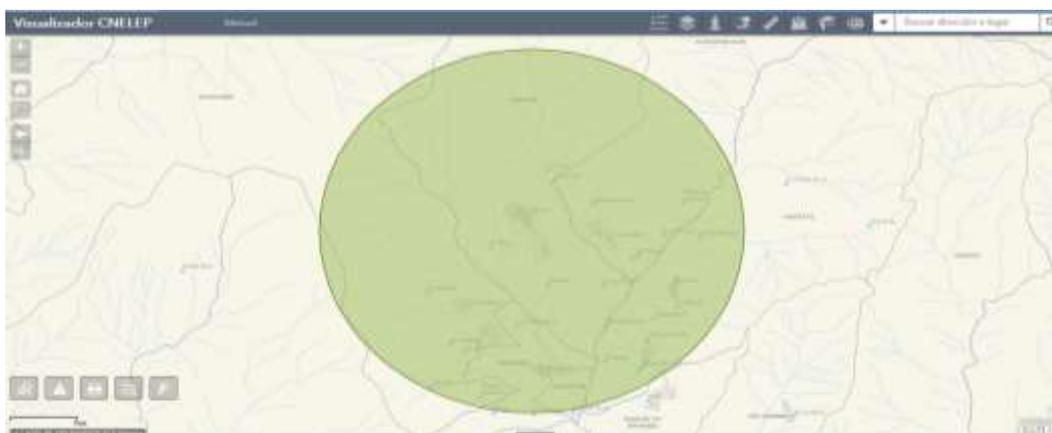


Figura 3-12. Área de cobertura del alimentador Atahualpa de la subestación “Portovelo”.

Fuente: Geoportal CNEL EP EL ORO.

3.3.3.1 Características del alimentador Atahualpa (ALIM-07PO100T13).

Realiza un recorrido de 29,56 km desde la subestación “Portovelo” hasta la cabecera cantonal Paccha con una carga total instalada en el alimentador es de 12.725 kVA que representa el 19% de la potencia disponible de la barra (B35). En el alimentador se tienen colocados 237 transformadores, divididos en 36 trifásicos, 5 bifásicos y 196 monofásicos, todos instalados en el alimentador 07PO100T13. La longitud total del alimentador es de 117.042,5 [m] entre ramales trifásicos, bifásicos y monofásicos. En la tabla 3-5, se muestra la situación actual del alimentador “Atahualpa”.

Tabla 3-5. Características del alimentador Atahualpa (ramal principal y secundario).

Fuente: Autores.

Descripción	Detalle	
Longitud del ramal primario:	29,561	[km]
Nivel de Voltaje kVLL:	12,457	[kV]
Nivel de Voltaje kVLN:	7,193	[kV]
Carga total Instalada:	12725,00	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	3160,255	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	2882,232	[kW]
Numero de transformadores:	237	
Número de clientes:	2285	
Energía registrada en DM:	448,294	[kWh]

3.3.4 Alimentador Osorio (ALIM-07PO100T14).

El alimentador “Osorio” brinda el servicio de energía eléctrica a una parte del cantón Portovelo en la que se incluye parroquias urbanas-rurales, con una distancia total del ramal troncal de 12,20 km, con secciones de conductores ACSR 4/0 y ACSR 3/0 en las fases y el neutro ACSR 2. La figura 3-13 muestra el área de influencia del alimentador “Osorio”, el cual tiene un ramal troncal y varios ramales secundarios divididos en bifásicos y monofásicos.

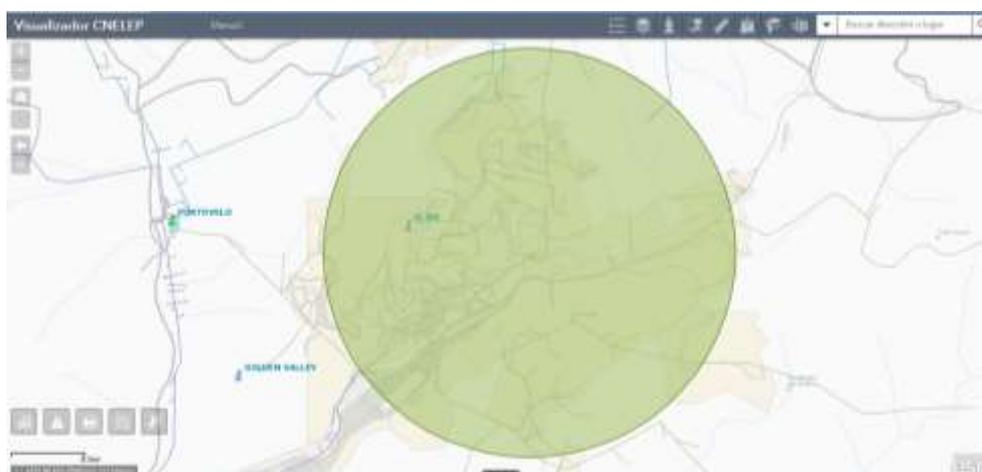


Figura 3-13. Área de cobertura del alimentador Osorio de la subestación “Portovelo”.

Fuente: Geoportal CNEL EP EL ORO.

3.3.4.1 Características del alimentador Osorio (ALIM-07PO100T14).

El alimentador Osorio tiene un recorrido de 1,62 km desde la subestación “Portovelo” hasta el cantón Portovelo con carga total instalada de 19.337,50 kVA equivalente a 30% de la potencia disponible en la barra (B35) de la capacidad de la subestación, posee 362 transformadores instalados, clasificados en 56 trifásicos, 1 bifásico y 305 monofásicos, instalados a lo largo del alimentador principal y secundario. La longitud total del alimentador 07PO100T14 es de 129.218,4 [m], tanto para conductores aéreos y subterráneos. En la tabla 3-6, se muestra una descripción del alimentador Osorio.

Tabla 3-6. Características del alimentador Osorio (ramal principal y secundario).

Fuente: Autores.

Descripción	Detalle	
Longitud del ramal primario:	12,2005	[km]
Nivel de Voltaje KVLL:	12,338	[kV]
Nivel de Voltaje KVLN:	7,124	[kV]
Carga Instalada:	19337,50	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	4270,895	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	4189,114	[kW]
Numero de transformadores:	362	
Número de clientes:	4411	
Energía registrada en DM:	666,601	[kWh]

3.3.5 Alimentador Pindo (ALIM-07PO100T11).

El alimentador “Pindo” se conecta a la barra simple (B35) y proporciona energía eléctrica a la parte restante del cantón Portovelo, sirviendo principalmente al sector minero ubicado en la zona. Una de las características que tiene el alimentador 07PO100T11 es que es el más corto, posee un ramal principal 9,826 km con una sección de conductor de ACSR 4/0 en las fases y el neutro ACSR 2. La figura 3-14 muestra el área de cobertura del alimentador “Pindo”.



Figura 3-14. Área de cobertura del alimentador Pindo de la subestación “Portovelo”.

Fuente: Geoportel CNEEL EP EL ORO.

3.3.5.1 Características del alimentador Pindo (ALIM-07PO100T11).

El alimentador “Pindo” realiza un recorrido desde la subestación “Portovelo” hasta la parte sur del cantón Portovelo de 2,58 km con una carga total instalada de 16.405 kVA, representa el 25% disponible en la barra. Se tienen instalados 112 transformadores, clasificados en 65 trifásicos y 47 monofásicos, instalados en el alimentador troncal. La longitud total del alimentador es 10.677,39 [m], utilizado en su mayor grado tramos aéreos. La tabla 3-7 muestra una descripción del alimentador “Pindo”.

Tabla 3-7. Características del alimentador Pindo (ramal principal y secundario).

Fuente: Autores.

Descripción	Detalle	
Longitud del ramal primario:	9,826	[km]
Nivel de Voltaje KVLL:	12,772	[kV]
Nivel de Voltaje KVLN:	7,345	[kV]
Carga Instalada:	16405,00	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	4508,707	[kVA]
Demanda Máxima Registrada:	4331,855	[kW]
Numero de transformadores:	112	
Número de clientes:	192	
Energía registrada en DM:	718,114	[kWh]

3.4 Análisis del registro de datos de la demanda [kVA] y el voltaje [kV] de los alimentadores de la subestación “Portovelo”.

Los datos de la demanda y voltaje de los cinco alimentadores de la subestación “Portovelo” fueron proporcionados por el centro de operaciones y control de la CNEL-EP EL ORO. Las mediciones cuentan a partir de los años 2016 y 2017 para su estudio, estas se tomaron a partir de registradores electrónicos instalados en las barras simples (B35 y B36) de la subestación, los mismos que registran lecturas cada 10 minutos teniendo un total de 4.320 datos al mes y 51.840 al año, valores regulados por el CONELEC 004/01 el cual busca establecer un mejor control de los resultados y un adecuado índice de calidad de servicio.

El factor de carga establece la operación del sistema de los alimentadores de la subestación “Portovelo”, el cual considera un intervalo de tiempo horario definido por la demanda máxima y media registrada. A partir del método del Mentor Poveda se puede determinar el factor de carga de cada alimentador con la ecuación (3-1). El factor de carga puede variar entre 0% y 100%, esto define la funcionalidad y confiabilidad del sistema de distribución. Por ejemplo, un factor de carga mayor al 70% se considera estable y con variaciones mínimas en la demanda [kVA].

$$F_c = \frac{D(t)_{media}}{D(t)_{máxima}} \quad 31$$

Donde:

$$D(t)_{media} = \frac{W}{T} = \frac{(\sum P_i \cdot \Delta t)}{T} \quad 32$$

Donde:

$D(t)_{media}$: Demanda media.

$D(t)_{max}$: Demanda máxima.

W : Energía consumida en un periodo de tiempo.

T : Periodo de tiempo generalmente 1 año.

P_i : Potencia consumida en un periodo de tiempo.

Δt : Intervalo de tiempo.

Los valores pico de la demanda máxima (kVA y kW) y el nivel de voltaje (kVLL y kVLN) se deben separar para el estudio ya que no representan la condición normal de funcionamiento de cada alimentador. Los valores máximos se pueden dar por arranque de motores o cargas inductivas de corta duración por lo que incluir esos datos es incorrecto, si las potencias de arranque de los distintos dispositivos tienen una mayor duración, se definirá como demanda máxima a estos valores.

La curva de carga del alimentador muestra el comportamiento que tiene en un determinado tiempo la demanda total horaria en kVA y el nivel de voltaje, con la ayuda de los estudios técnicos de la CNEL-EP EL ORO se busca obtener un nivel apropiado de voltaje, para la correcta operación del sistema y evitar pérdidas técnicas.

El factor de carga “Fc” de los alimentadores Zaruma, Piñas, Atahualpa, Osorio y Pindo se obtuvo en el mes de mayor demanda mismo que dependerá de las características propias de cada alimentador. Para obtener el Fc se incluyó los días laborables, fin de semana y feriados en un mes de 30 días. En los flujos de carga se considera la demanda máxima por fase o total, kVLN y el Fc, estos datos deben ser analizados y filtrados correctamente para evitar resultados erróneos.

Otro caso de análisis es el equilibrio de cargas a partir del registro de una corriente máxima [A], partir de esto se busca a obtener el porcentaje de desbalance por fase de los alimentadores de la subestación Portovelo, con el fin de evitar sobrecargas y mantener la confiabilidad de la red de distribución. En los cinco alimentadores existen más ramales monofásicos que trifásicos, por lo que balancear las cargas a lo largo del alimentador se hace necesario cuando supera el límite del 15%, para obtener un valor promedio de las tres fases se aplican las ecuaciones 3-3 y 3-4. [28]

$$I_{\text{promedio}} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3 \text{ fases}} \quad 33$$

Después:

$$D = \frac{\max[|I_a - I_{\text{promedio}}|, |I_b - I_{\text{promedio}}|, |I_c - I_{\text{promedio}}|]}{I_{\text{promedio}}} \times 100\% \quad 34$$

En el año 2016 se produjeron inconsistencias en los registros de datos, es decir, en las mediciones había valores de cero o estados en blanco además tenían muchos valores pico de la demanda por lo que realizar un estudio en esas condiciones no son las adecuadas, por lo tanto, se decidió utilizar los registros del año 2017, ya que nos brindan mediciones continuas y sin interrupciones.

Otro criterio para tomar los registros del año 2017 es que los alimentadores han sufrido algunas modificaciones en su topología de red de distribución, esto hace que la demanda tenga cambios en el consumo de la cabecera del alimentador, debido a la suspensión de proyectos mineros. La interrupción de las cargas mineras se origina por problemas medioambientales que ocasionó inconvenientes en el cantón Zaruma por hundimiento de la tierra.

3.4.1 Análisis del Alimentador Zaruma ALIM-07PO100T21.

3.4.1.1 Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.

La tabla 3-8 presenta los valores de la demanda máxima y media en kVA y kW registrados mensualmente. El 29 de abril a las 19h:10 se obtuvo una demanda máxima de 5.264,202 kVA (aparente) y 5.186,233 kW (activa), donde la máxima demanda se dio en un horario de franja “Pico” y la menor demanda ocurrió el 25 de febrero a las 17h:50 con una potencia de 4.290,621 kVA y 4.262,497 kW.

Tabla 3-8. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Zaruma, año 2016.

Fuente: Autores.

Zaruma 2016		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-12 10:40:00	4433,838	3069,098	4515,814	3086,437
Febrero	Feb-25 17:50:00	4262,497	2982,816	4290,621	2999,723
Marzo	Mar-29 19:00:00	4644,341	3106,849	4700,554	3121,616
Abril	Abr-29 19:10:00	5186,233	3425,846	5264,202	3444,564
Mayo	May-11 19:30:00	5033,841	3498,617	5131,880	3521,205
Junio	Jun-08 19:40:00	4749,172	3354,065	4808,741	3371,871
Julio	Jul-22 18:50:00	5072,416	3360,605	5113,133	3379,162
Agosto	Ago-30 18:50:00	4976,032	3405,764	5044,466	3431,127
Septiembre	Sep-28 18:40:00	4786,446	3349,488	4863,437	3375,776
Octubre	Oct-11 18:20:00	5028,654	3478,008	5098,429	3500,161
Noviembre	Nov-09 19:20:00	4893,579	3379,003	4934,855	3394,861
Diciembre	Dic-12 19:10:00	4741,378	3153,919	4786,191	3170,210

La figura 3-15 indica el comportamiento de la curva de la demanda máxima y media en kVA del alimentador Zaruma. En los meses de enero, febrero y marzo se registra una disminución en la potencia, luego se mantiene en parámetros similares. El Fc registrado en el alimentador es de 65.43% lo que significa que el alimentador en ciertas ocasiones ha tenido interrupciones no programadas lo que ha hecho que el suministro de energía eléctrica no opere normalmente.

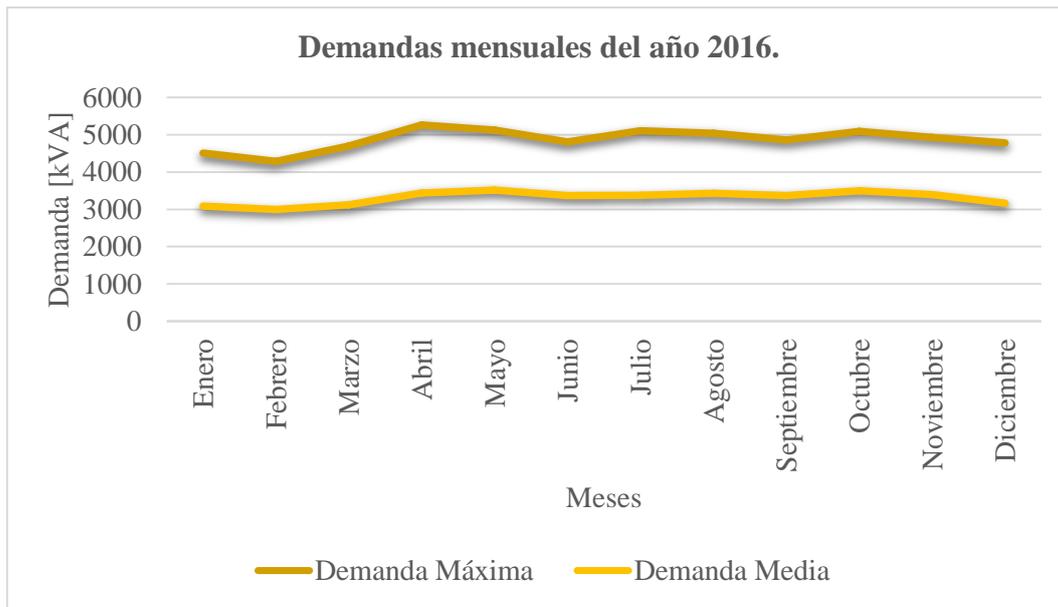


Figura 3-15. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Zaruma, año 2016.

Fuente: Autores.

3.4.1.2 Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.

Se detalla los valores de las demandas mensuales en kVA y kW del año 2017, observando que la potencia máxima cambio de mes. El registró se da el 24 de Julio a las 18h:40, con una carga de 5.432,504 kVA y 5.366,590 kW, misma que representa el 86,91% de la capacidad disponible del transformador, véase la tabla 3-9.

Tabla 3-9. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Zaruma, año 2017.

Fuente: Autores.

Zaruma 2017		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-24 19:20:00	4665,916	3246,870	4697,514	3261,866
Febrero	Feb-15 11:40:00	4900,542	3507,294	4927,430	3518,480
Marzo	Mar-14 19:20:00	4799,134	3423,427	4826,822	3436,957
Abril	Abr-12 18:30:00	5111,971	3422,249	5169,152	3437,876
Mayo	May-30 19:00:00	5200,632	3648,748	5247,576	3662,952
Junio	Jun-08 19:40:00	5293,603	3783,383	5347,820	3798,518
Julio	Jul-24 18:40:00	5366,590	3856,127	5432,504	3872,083
Agosto	Ago-10 19:20:00	5241,707	3898,805	5294,801	3918,224
Septiembre	Sep-04 19:10:00	5197,416	3620,896	5243,297	3636,999
Octubre	Oct-13 18:30:00	4534,955	3212,437	4566,984	3223,644
Noviembre	Nov-08 19:20:00	4798,839	3068,784	4845,775	3083,812
Diciembre	Dic-20 19:30:00	4482,422	3063,056	4528,849	3078,280

La figura 3-16 tiene las curvas de la demanda máxima y media en kVA del año 2017, se observa cómo se produce un aumento ascendente en los meses de enero hasta septiembre y que luego disminuye a un valor de 4.566,98 kVA el mes de octubre y se mantiene hasta diciembre. El descenso se origina por ciertas suspensiones del servicio de energía eléctrica a zonas mineras.

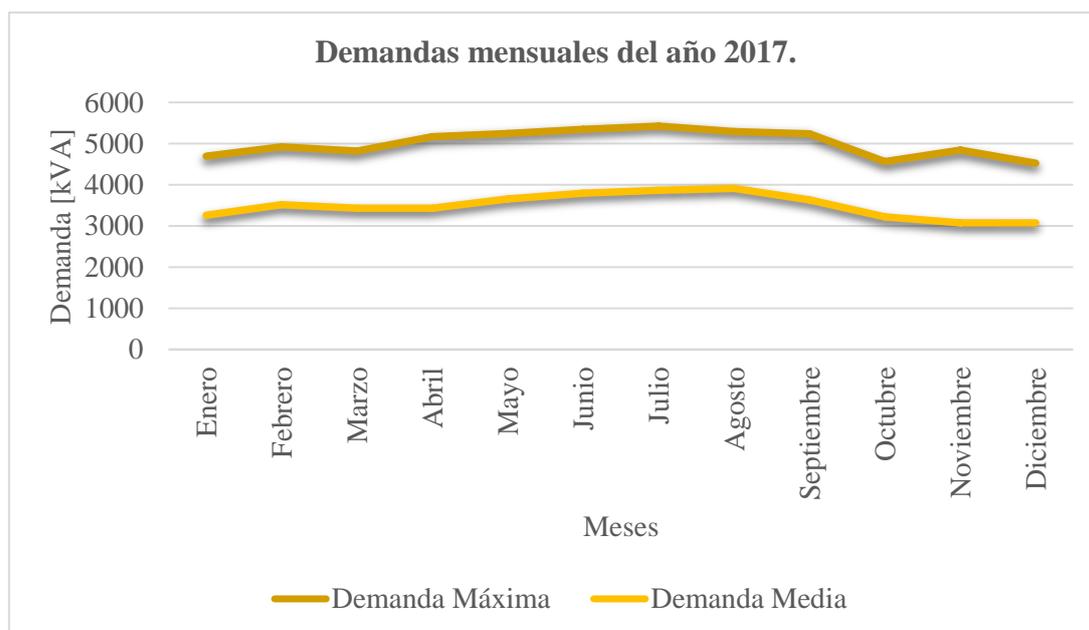


Figura 3-16. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Zaruma, año 2017.

Fuente: Autores.

3.4.1.3 Comparación de la demanda de los años 2016 y 2017.

La tabla 3-10 realiza una comparación de la demanda máxima en kVA mes a mes, con el fin de poder determinar el comportamiento del alimentador en los años 2016 y 2017. Se observa que la tasa de crecimiento en el mes de julio es del 6,24% y la tasa anual es de 2,69%, el bajo crecimiento anual de la demanda se debe a la suspensión de actividades industriales.

Tabla 3-10. Datos estadísticos del alimentador Zaruma año 2016-2017.

Fuente: Autores.

Mes	2016	2017	Periodo 16-17
	Potencia kVA		Tasa de Crecimiento %
	Máxima	Máxima	
Enero	4515,814	4697,514	4,024
Febrero	4290,621	4927,430	14,842
Marzo	4700,555	4826,822	2,686
Abril	5264,203	5169,152	-1,806
Mayo	5131,881	5247,576	2,254
Junio	4808,741	5347,821	11,210
Julio	5113,133	5432,504	6,246
Agosto	5044,467	5294,802	4,963
Septiembre	4863,437	5243,297	7,811
Octubre	5098,430	4566,984	-10,424
Noviembre	4934,855	4845,776	-1,805
Diciembre	4786,192	4528,849	-5,377
Promedio	4879,361	5010,711	2,692

La figura 3-17 muestra que la curva del año 2017 tiene un incremento respecto a la del año 2016, pero a partir del mes de septiembre el consumo de energía eléctrica reduce.

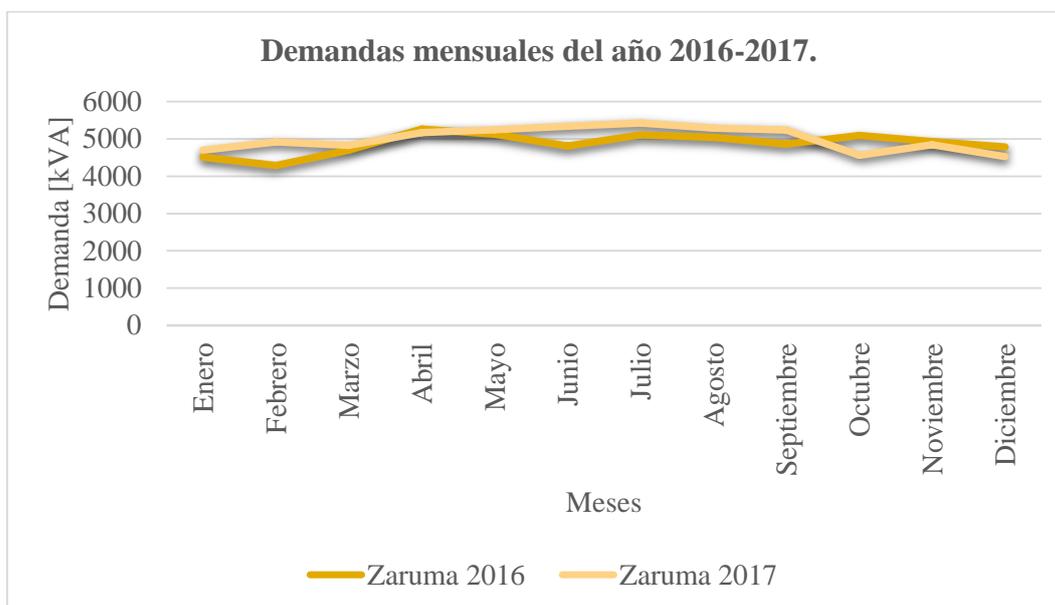


Figura 3-17. Demandas máximas por mes del Alimentador Zaruma año 2016-2017.

Fuente: Autores.

3.4.1.4 Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Zaruma año 2017.

El mes de julio se obtuvo un nivel de voltaje de 12,875 kVLL, con un porcentaje de caída de voltaje de 6,70% referido a 13,8 kVLL, existen voltajes aún más bajos, es el caso del mes de abril con un voltaje de 12,094 kVLL que representa el 13% siendo este el más crítico. En la tabla 3-11, se muestra el valor de KVLL registrado de todos los meses.

Tabla 3-11. Niveles de voltaje registrados en la cabecera del alimentador Zaruma.

Fuente: Autores.

Mes	VLL ab	VLL bc	VLL ca	VLL Avg
Enero	12758,833	12584,715	12356,907	12566,818
Febrero	12553,275	12482,320	12301,171	12445,589
Marzo	12557,805	12429,919	12197,481	12395,068
Abril	12264,927	12132,775	11885,858	12094,520
Mayo	12538,162	12366,249	12153,239	12352,550
Junio	12634,377	12512,986	12295,442	12480,935
Julio	12875,934	12740,654	12522,067	12712,885
Agosto	12626,462	12533,985	12271,015	12477,154
Septiembre	12674,240	12590,801	12365,810	12543,617
Octubre	12889,229	12765,209	12533,386	12729,275
Noviembre	12891,365	12769,063	12503,178	12721,202
Diciembre	13105,724	13015,394	12755,608	12958,909

En la figura 3-18, el mes de marzo el voltaje llegó a 13,38 kVLL, siendo el más alto, con una demanda de 4.826,82 kVA. Existen desequilibrios de voltaje en todos los meses por el desbalance de carga en todo el alimentador.

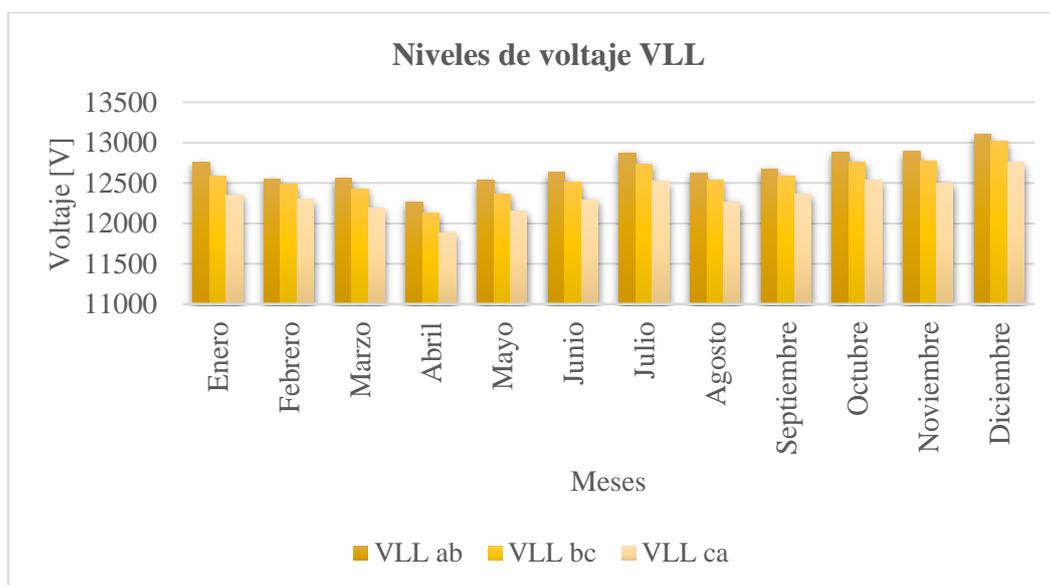


Figura 3-18. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Zaruma registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.

Fuente: Autores.

3.4.1.5 Desbalance de la corriente por fase del alimentador Zaruma.

En la tabla 3-12, se puede notar los desbalances que se presentan en cada fase del alimentador Zaruma. El mes de julio la fase B mostró un desbalance del 6,42% respecto a las fases A (3,20%) y fase C (3,22%). Para equilibrar las cargas se debe cambiar las conexiones de algunos tramos de la fase B hacia la fase A y C.

Tabla 3-12. Desbalance por fase del alimentador Zaruma, año 2017.

Fuente: Autores.

Mes	I por fase			Promedio	% Desbalance		
	I a	I b	I c	I Avg	I a	I b	I c
Enero	219,753	198,626	229,654	216,011	1,732	8,048	6,316
Febrero	231,156	223,528	231,583	228,756	1,049	2,285	1,236
Marzo	229,905	208,602	236,438	224,982	2,188	7,280	5,092
Abril	253,715	233,987	253,167	246,956	2,737	5,252	2,515
Mayo	253,715	226,379	256,338	245,477	3,356	7,780	4,424
Junio	251,217	236,280	254,998	247,498	1,503	4,533	3,030
Julio	256,804	232,858	256,831	248,831	3,204	6,419	3,215
Agosto	254,135	230,630	250,973	245,246	3,625	5,960	2,335
Septiembre	244,316	228,093	252,046	241,485	1,172	5,546	4,373
Octubre	209,577	191,539	220,845	207,320	1,089	7,612	6,524
Noviembre	226,712	203,667	229,994	220,124	2,993	7,476	4,484
Diciembre	208,363	183,646	213,822	201,944	3,179	9,061	5,882
Promedio	225,398	205,005	228,621	219,675	2,605	6,678	4,073

En julio a partir de la demanda máxima por fase se alcanzó las siguientes corrientes; en la fase A (256,80 A), en la fase B (232,85 A) y la fase C (256,83 A), ver la figura 3-19.

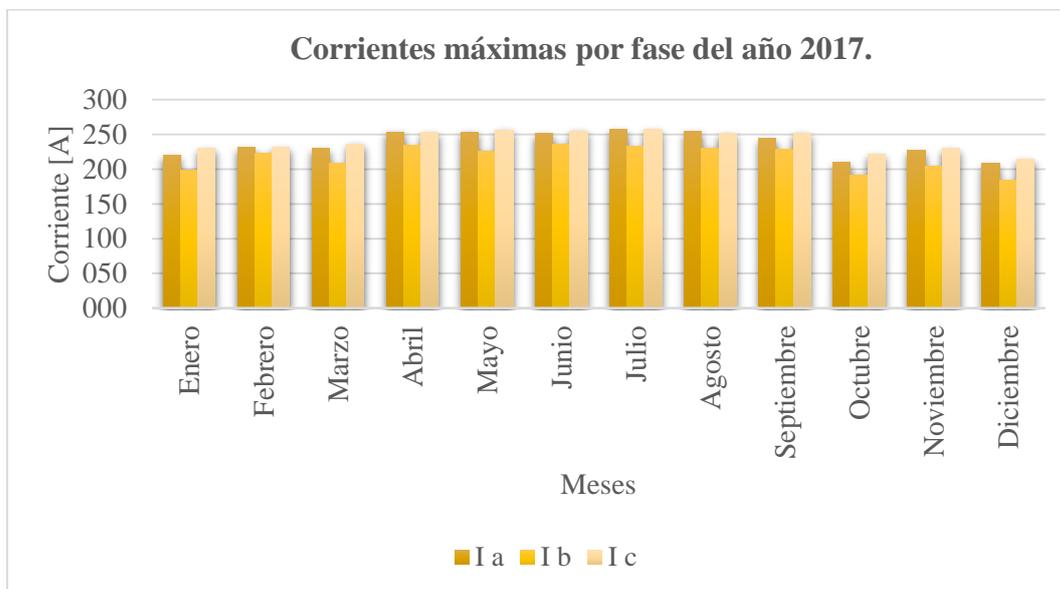


Figura 3-19. Corrientes mensuales por fase del alimentador Zaruma registrados en la cabecera de la S/E.

Fuente: Autores.

3.4.1.6 Perfil carga diaria del Alimentador Zaruma.

La curva de carga corresponde al día donde se dio la mayor demanda máxima del alimentador, el comportamiento es de tipo residencial siendo propia de un alimentador urbano-rural. En el horario de franja “Base” a las 06h:00 se produjo una demanda de 3.528,64 kVA, en una franja “Media” el consumo se incrementa a valores de 4.568,85 kVA y en la franja “Pico” se tiene una demanda de 5.432,50 kVA, véase la figura 3-20.

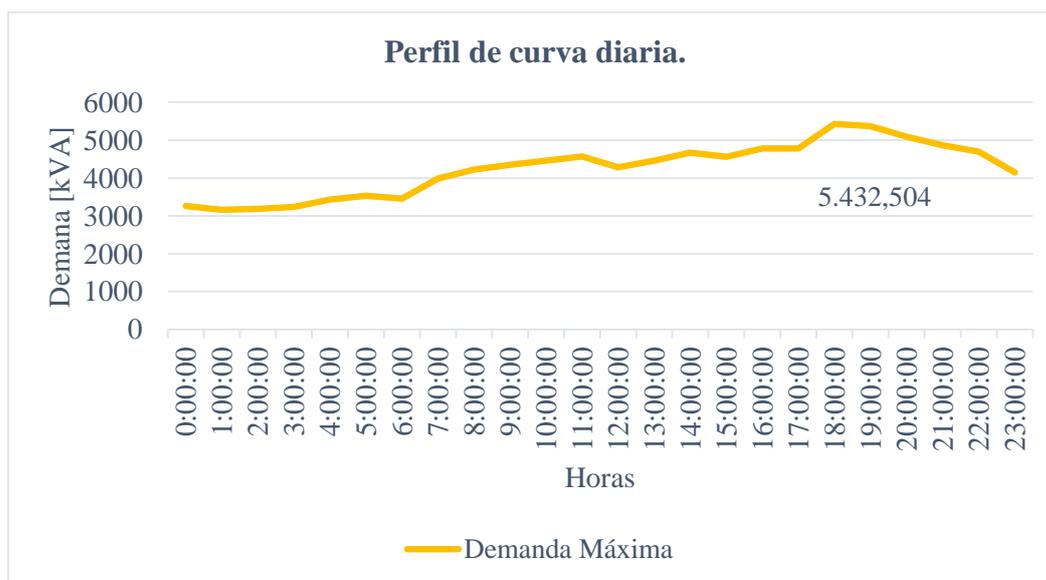


Figura 3-20. Curva de carga horaria del alimentador Zaruma durante el periodo de la demanda máxima.

Fuente: Autores.

El factor de carga que tiene el alimentador Zaruma es del 71,28%, es un porcentaje alto, dado a la funcionalidad del alimentador para el suministro de energía eléctrica.

3.4.2 Análisis del Alimentador Piñas ALIM-07PO100T12.

Se describe los resultados de la demanda, voltajes y desbalances de fases del alimentador Piñas referentes al 2016 y 2017.

3.4.2.1 Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.

El 14 de junio a las 18h:50 se produce la mayor demanda de 3.969,794 kVA y 3.671,332 kW, en un horario de franja “Pico”, mientras que la menor demanda máxima se dio el 04 de abril a las 19h:00 con una potencia de 3.470,622 kVA y 3.264,397 kW. Todas las demandas están registradas en un horario “Pico”, véase la tabla 3-13.

Tabla 3-13. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Piñas, año 2016.

Fuente: Autores.

PIÑAS 2016		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-04 19:10:00	3668,350	2187,604	3870,561	2327,591
Febrero	Feb-25 19:50:00	3446,495	2231,883	3685,062	2443,317
Marzo	Mar-22 19:00:00	3386,649	2243,601	3744,972	2455,677
Abril	Abr-04 19:00:00	3264,397	2271,551	3470,622	2470,901
Mayo	May-11 18:20:00	3549,071	2300,690	3804,632	2537,960
Junio	Jun-14 18:50:00	3671,332	2407,688	3969,794	2696,860
Julio	Jul-21 19:30:00	3477,946	2323,086	3759,819	2608,773
Agosto	Ago-02 19:10:00	3422,134	2243,191	3708,788	2499,700
Septiembre	Sep-23 18:40:00	3694,770	2345,309	3955,647	2603,399
Octubre	Oct-27 18:50:00	3532,030	2310,453	3771,862	2567,792
Noviembre	Nov-18 19:00:00	3517,898	2333,923	3772,085	2623,173
Diciembre	Dic-14 19:10:00	3548,728	2371,347	3829,637	2661,236

La curva de la demanda correspondiente al 2016 tiene algunas variantes en el consumo de carga, dado que en los meses de junio y septiembre poseen los niveles más altos de demanda. El Fc de carga del alimentador Piñas a partir de los registros de demanda máxima y media es de 67,93%. En la figura 3-21, se tiene el perfil de curva de demanda máxima anual del alimentador Piñas.

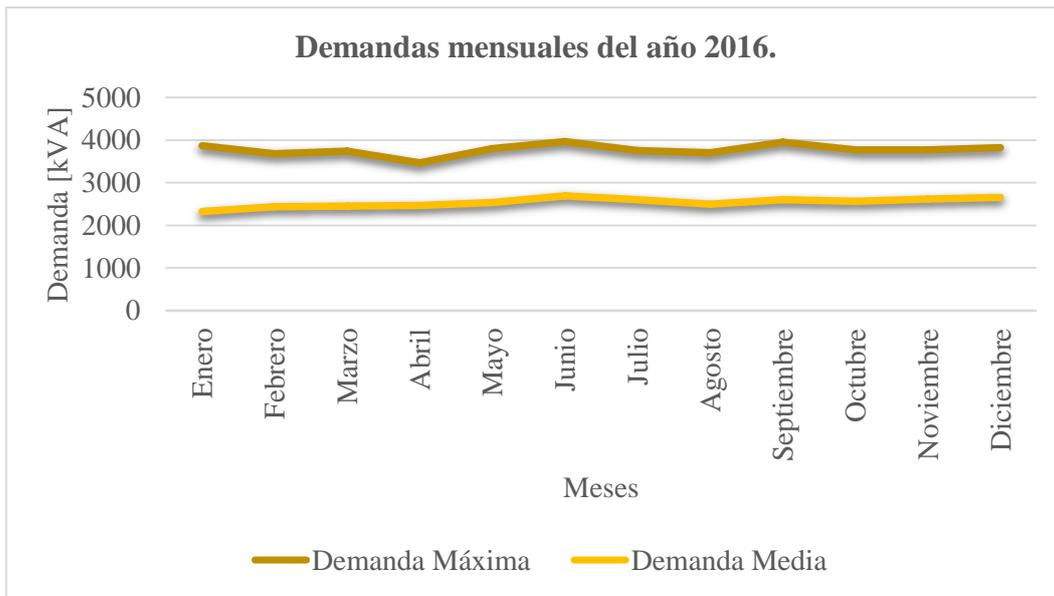


Figura 3-21. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Piñas, año 2016.

Fuente: Autores.

3.4.2.2 Perfil de carga de demanda máxima y media del año 2017.

La demanda máxima se dio el día 29 de diciembre a las 19:10 con una potencia de 4.035,024 kVA y 3.777,680 kW en un horario de franja “Pico”, la carga representa el 25% de la capacidad disponible de la potencia del transformador. Los registros muestran como todas las demandas se dan en horarios pico, véase la tabla 3-14.

Tabla 3-14. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Piñas, año 2017.

Fuente: Autores.

PIÑAS 2017		Potencia KW		Potencia KVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-11 19:30:00	3478,511	2328,355	3708,899	2582,575
Febrero	Feb-13 19:30:00	3416,750	2295,914	3625,149	2537,861
Marzo	Mar-16 19:20:00	3547,100	2366,038	3783,829	2627,796
Abril	Abr-27 19:00:00	3498,540	2325,166	3755,484	2585,888
Mayo	May-16 18:40:00	3585,540	2418,300	3813,289	2676,638
Junio	Jun-08 19:10:00	3679,132	2518,773	3931,491	2770,575
Julio	Jul-03 19:40:00	3640,922	2253,713	3925,245	2483,796
Agosto	Ago-10 19:00:00	3672,463	2445,277	3957,385	2711,410
Septiembre	Sep-28 19:00:00	3661,604	2430,875	3888,792	2672,405
Octubre	Oct-16 19:00:00	3648,399	2413,797	3900,993	2670,765
Noviembre	Nov-07 18:50:00	3770,403	2397,011	4009,098	2646,119
Diciembre	Dic-29 19:10:00	3777,680	2492,433	4035,024	2762,570

En la curva de carga el consumo es ascendente en los meses de enero hasta junio, luego los siguientes seis meses se mantiene constante, en la curva de la demanda media existe una caída de potencia de 2.483,796 kVA en julio, véase la figura 3-22.

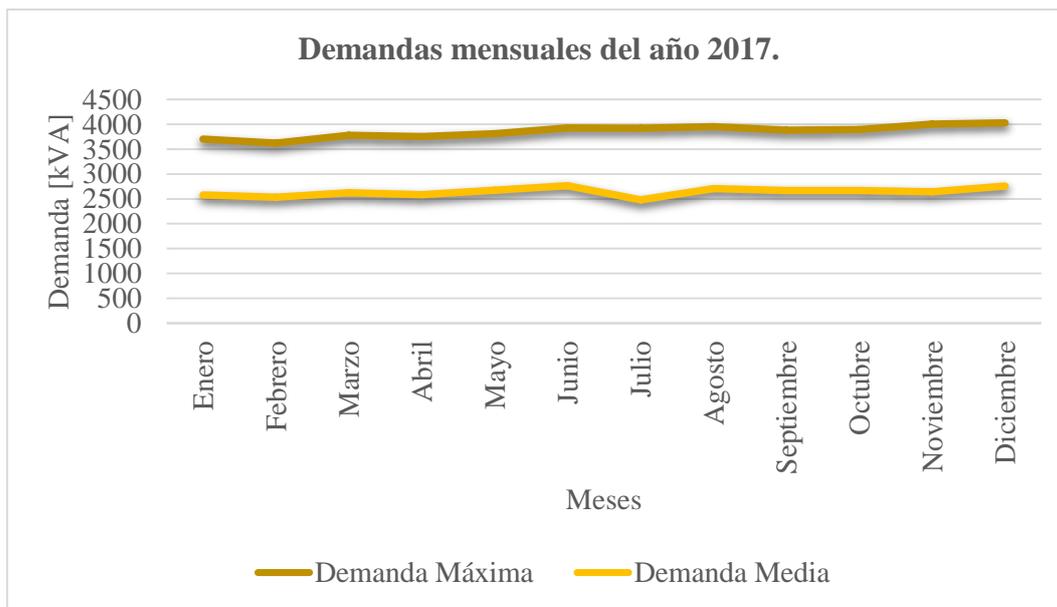


Figura 3-22. Curva mensual de la demanda máxima y media del año 2017, alimentador Piñas.
Fuente: Autores.

3.4.2.3 Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.

En el mes de diciembre hay un crecimiento de la demanda con respecto al mes del año anterior del 5,36% y la tasa anual se proyecta a 2,186%, véase la tabla 3-15, el aumento se debe al crecimiento continuo de los usuarios y cargas en el cantón.

Tabla 3-15. Datos estadísticos del alimentador Piñas año 2016-2017.
Fuente: Autores.

Mes	2016	2017	Periodo 16-17
	Potencia kVA		Tasa de Crecimiento %
	DM	DM	
Enero	3870,561	3708,899	-4,177
Febrero	3685,062	3625,149	-1,626
Marzo	3744,972	3783,829	1,038
Abril	3470,622	3755,484	8,208
Mayo	3804,632	3813,289	0,228
Junio	3969,794	3931,491	-0,965
Julio	3759,819	3925,245	4,400
Agosto	3708,788	3957,385	6,703
Septiembre	3955,647	3888,792	-1,689
Octubre	3771,862	3900,993	3,424
Noviembre	3772,085	4009,098	6,283
Diciembre	3829,637	4035,024	5,363
Promedio	3778,623	3861,223	2,186

La curva de carga del año 2016 tiene potencias que cambian en todos los meses, donde se registran valores mínimos de 3.470,622 kVA y máximos de 3.931,491 kVA. Sin embargo, en la curva del año 2017 existe un incremento que se da de manera gradual cada mes, este

crecimiento se debe al aumento de industrias artesanales las cuales realizan diversos tipos de actividades en el sector, véase la figura 3-23.

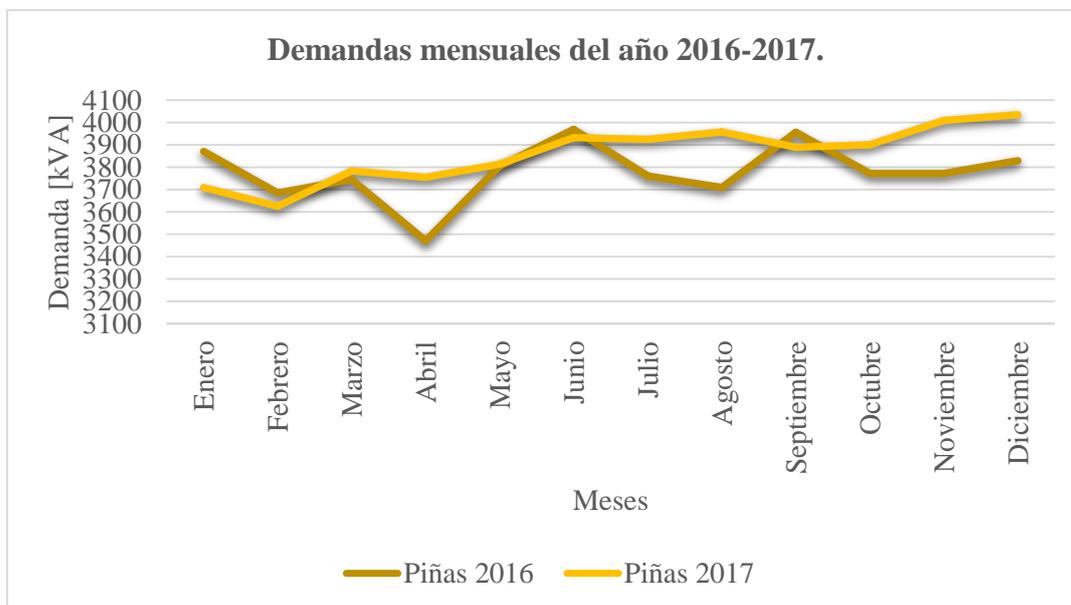


Figura 3-23. Demandas máximas por mes del Alimentador Piñas año 2016-2017.

Fuente: Autores.

3.4.2.4 Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Piñas año 2017.

El nivel de voltaje del mes de diciembre es de 12,628 kVLL en cabecera del alimentador, mismo que representa el 92% con respecto a un nivel de 13,8 kV, mientras que en el mes de febrero se registró un nivel bajo de 12,452 kVLL representando el 90%, quedando por debajo de la regulación CONELEC 004/01.

Tabla 3-16. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Mes	VLL ab	VLL bc	VLL ca	V LL Avg
Enero	12848,126	12511,183	12753,180	12704,163
Febrero	12591,072	12271,751	12495,087	12452,637
Marzo	12775,749	12455,724	12695,242	12642,238
Abril	12864,619	12582,609	12780,515	12742,581
Mayo	12687,044	12368,695	12581,205	12545,648
Junio	12567,263	12270,399	12484,642	12440,768
Julio	12661,905	12342,640	12543,988	12516,178
Agosto	12674,896	12411,052	12623,395	12569,781
Septiembre	12651,615	12391,394	12585,313	12542,774
Octubre	13118,312	12815,909	13037,703	12990,641
Noviembre	13048,312	12749,403	13003,402	12933,706
Diciembre	12772,060	12424,530	12689,370	12628,653

Los datos de voltaje fueron tomados a partir de la demanda existente en la cabecera del alimentador, siendo en los meses de enero hasta septiembre los niveles más bajos de voltaje y además existe un desbalance en las tres fases, en cambio, en octubre y noviembre registran valores de 13,0 kV en la cabecera del alimentador, véase la figura 3-24.

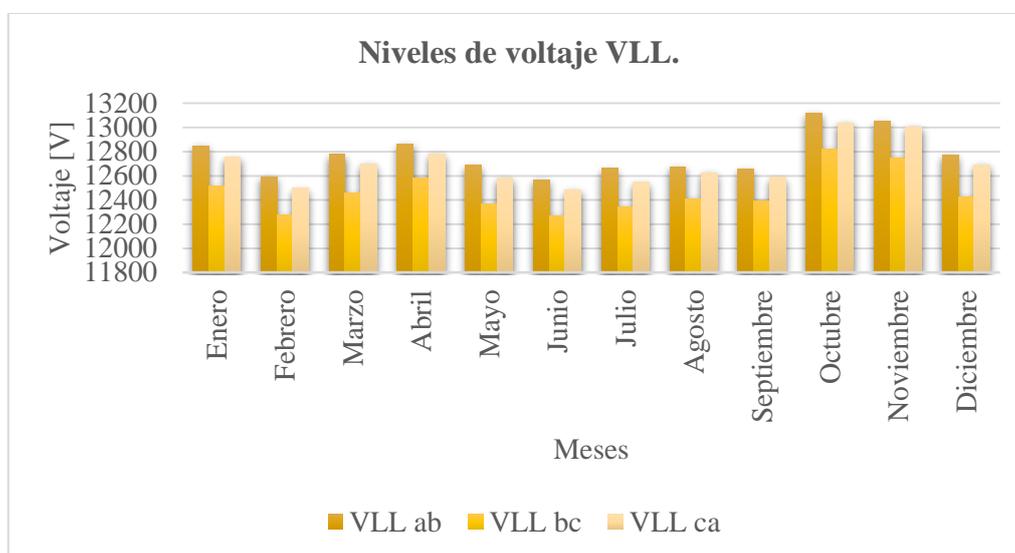


Figura 3-24. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Piñas registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.

Fuente: Autores.

3.4.2.5 Desbalance de la corriente por fase del alimentador Piñas.

Diciembre registró los siguientes desbalances, en la fase A el desbalance es de 7,25%, la fase B 6,197% y la fase C 1,056%. Analizando el desbalance anual del alimentador se observa que se deben modificar tramos monofásicos para reducir la carga en las fases críticas, véase la tabla 3-17. Para realizar un balance de cargas se debe transferir potencia de la fase A hacia la fase C.

Tabla 3-17. Desbalance por fase del alimentador Piñas, año 2017.

Fuente: Autores

Mes	kW por fase			Promedio kW Avg	% Desbalance		
	kW a	kW b	kW c		kW a	kW b	kW c
Enero	175,514	163,493	166,725	168,577	4,115	3,016	1,099
Febrero	181,567	157,422	165,111	168,034	8,054	6,315	1,739
Marzo	177,817	174,981	165,663	172,820	2,891	1,250	4,141
Abril	180,113	160,118	170,340	170,190	5,830	5,918	0,088
Mayo	186,366	166,175	173,900	175,481	6,203	5,303	0,901
Junio	192,833	171,793	182,534	182,387	5,727	5,808	0,081
Julio	193,078	169,071	181,071	181,073	6,630	6,628	0,002
Agosto	199,150	168,946	176,907	181,668	9,623	7,003	2,621
Septiembre	186,977	162,144	187,858	178,993	4,461	9,413	4,953
Octubre	181,529	161,014	178,005	173,516	4,618	7,205	2,587
Noviembre	191,138	168,074	177,915	179,042	6,756	6,126	0,630
Diciembre	197,849	173,037	182,520	184,469	7,253	6,197	1,056
Promedio	186,994	166,356	175,712	176,354	6,033	5,670	0,364

Diciembre alcanzó las siguientes corrientes; en la fase A (197,84 A), en la fase B (173,03 A) y la fase C (182,52 A). En la figura 3-25, el mes de agosto se produjo en la fase A la mayor sobrecarga con un 9,62%, la fase B 7,00% y 2,621% en la fase C.

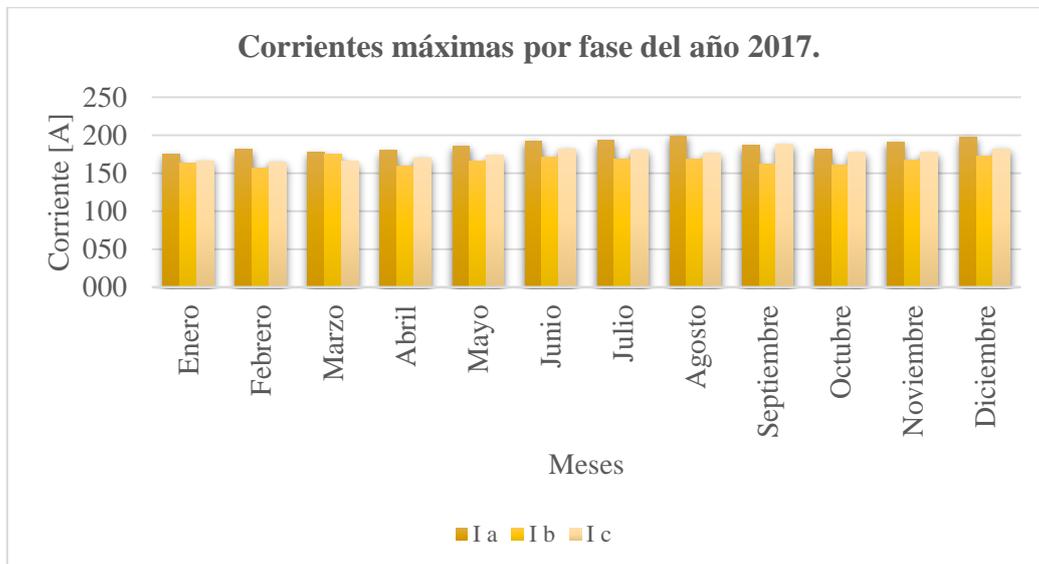


Figura 3-25. Corrientes mensuales por fase del alimentador Piñas registrados en la cabecera de la S/E.
Fuente: Autores.

3.4.2.6 Perfil de carga diaria del Alimentador Piñas.

La curva de carga diaria muestra un comportamiento residencial, propio de un alimentador urbano-rural, la carga máxima se da a las 19h:00 horario “Pico”, llegando a una demanda de 4.035,02 kVA, luego en un horario de franja “Base” se tiene una carga de 2.838,05 kVA y en la franja “Media” a las 11h:00 una demanda de 3.293,26 kVA.

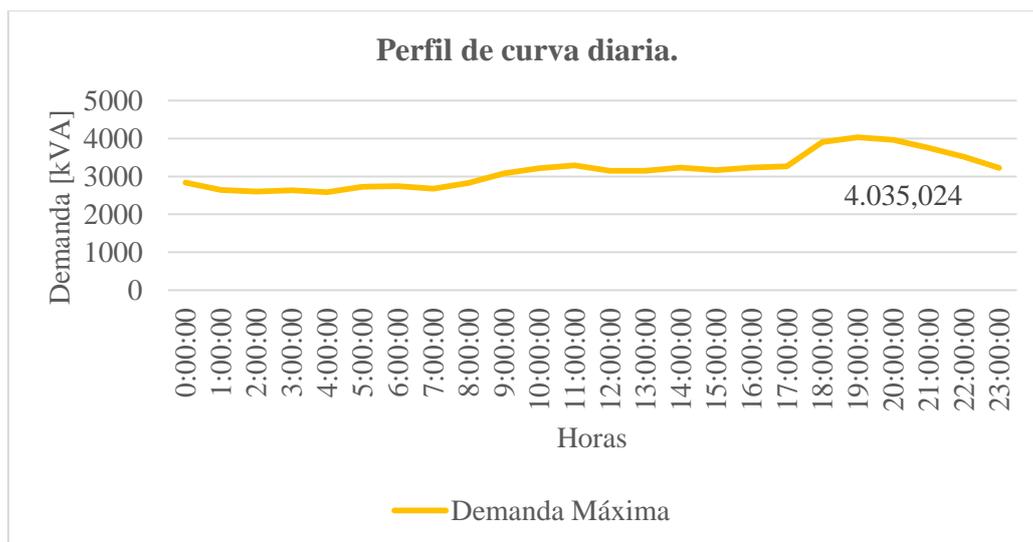


Figura 3-26. Curva de carga horaria del alimentador Piñas durante el periodo de DM.
Fuente: Autores.

Durante el periodo de la demanda máxima el Fc que tiene el alimentador Piñas es de 68,465%.

3.4.3 Análisis del Alimentador Atahualpa ALIM-07PO100T13.

Se mostrarán una descripción de los resultados analizados del alimentador Atahualpa a los años 2016 y 2017.

3.4.3.1 Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.

El 16 de septiembre a las 18h:40 se presentó una demanda máxima de 3.667,246 kVA y 3.545,688 kW, en un horario “Pico” y la menor demanda se registró en los meses de enero y febrero con potencias de 3.048,34 kVA y 3.042,70 kVA, véase la tabla 3-18.

Tabla 3-18. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Atahualpa, año 2016.

Fuente: Autores.

Atahualpa 2016		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-28 16:10:00	2819,343	2001,704	3048,343	2158,531
Febrero	Feb-19 21:10:00	2854,489	2087,823	3042,703	2275,036
Marzo	Mar-21 19:30:00	3136,559	2175,246	3351,720	2370,248
Abril	Abr-08 19:10:00	3169,864	2354,995	3418,119	2586,223
Mayo	May-25 18:40:00	3162,154	2430,792	3399,150	2667,047
Junio	Jun-28 19:00:00	3453,705	2201,370	3542,519	2411,999
Julio	Jul-12 18:50:00	3133,356	2357,844	3244,573	2457,347
Agosto	Ago-23 18:50:00	3401,241	2567,292	3608,006	2643,878
Septiembre	Sep-16 18:40:00	3545,688	2537,271	3667,246	2605,674
Octubre	Oct-20 18:30:00	3297,7680	2315,601	3389,250	2380,920
Noviembre	Nov-30 20:50:00	2700,645	1990,487	2740,508	2009,073
Diciembre	Dic-12 19:00:00	2787,588	1985,569	2846,725	2031,174

El primer semestre del año se tiene un crecimiento ascendente de la demanda llegando a valores de 3.542,51 kVA, los siguientes seis meses existen variaciones en la potencia. En el mes de septiembre se da la máxima carga de 3.667,24 kVA y en noviembre la menor con 2.740,508 kVA, véase la figura 3-27. El factor de carga registrado en el alimentador es de 71,05% teniendo un funcionamiento normal.

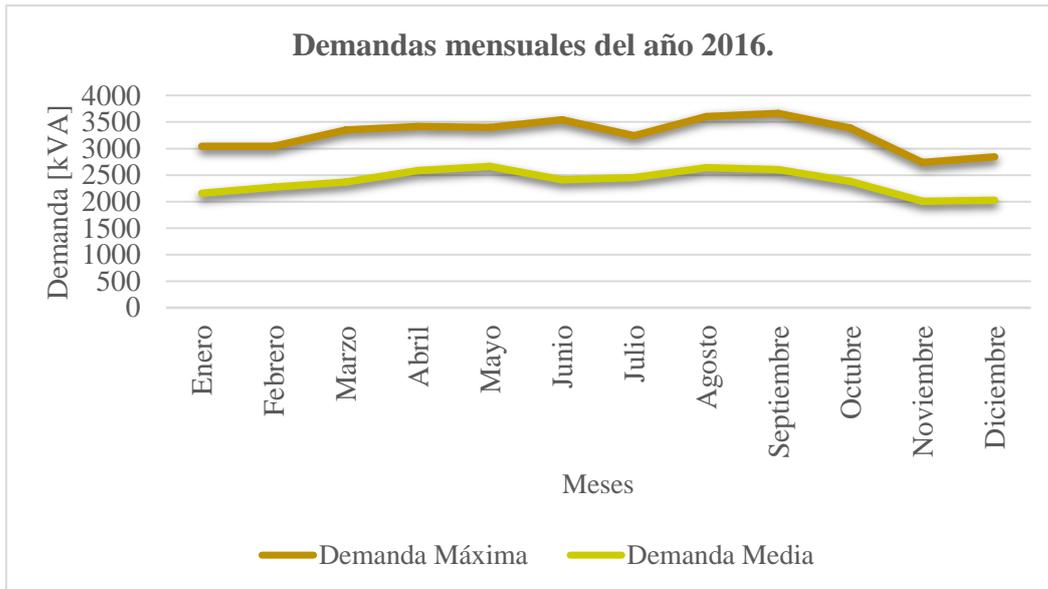


Figura 3-27. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Atahualpa, año 2016.

Fuente: Autores.

3.4.3.2 Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.

El 03 de mayo a las 19:10 en un horario “Pico” ocurrió la máxima demanda de 3.160,255 kVA y 2.882,23 kW, con una capacidad disponible de la carga de transformador principal del 20%, mientras que las cargas menores se dan los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Tabla 3-19. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Atahualpa, año 2017.

Fuente: Autores.

Atahualpa 2017		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-20 19:00:00	2719,469	1911,140	2902,717	2069,160
Febrero	Feb-17 18:50:00	2702,018	1967,000	2877,995	2112,875
Marzo	Mar-03 19:00:00	2602,312	1941,148	2764,984	2088,517
Abril	Abr-25 20:30:00	2706,212	1918,615	2892,665	2100,087
Mayo	May-03 19:10:00	2882,232	2007,630	3160,255	2174,784
Junio	Jun-02 12:20:00	2659,449	2008,061	2886,699	2172,163
Julio	Jul-18 19:40:00	2676,157	1945,439	2944,854	2105,743
Agosto	Ago-04 18:40:00	2832,028	1970,760	3041,739	2118,507
Septiembre	Sep-11 11:20:00	2848,709	2043,562	3016,297	2190,068
Octubre	Oct-11 18:30:00	2549,368	1859,117	2675,578	2002,845
Noviembre	Nov-16 09:40:00	2522,806	1882,649	2660,294	2013,232
Diciembre	Dic-21 19:40:00	2696,248	1926,320	2831,826	2074,480

En la figura 3-28, se observa que la demanda en los meses de enero y febrero tiene un consumo similar alrededor de los 2.902,71 kVA, luego en el mes de mayo alcanzó un valor de 3.160,26 kVA y en los últimos tres meses la demanda disminuye llegando a valores de 2.660,294 kVA.

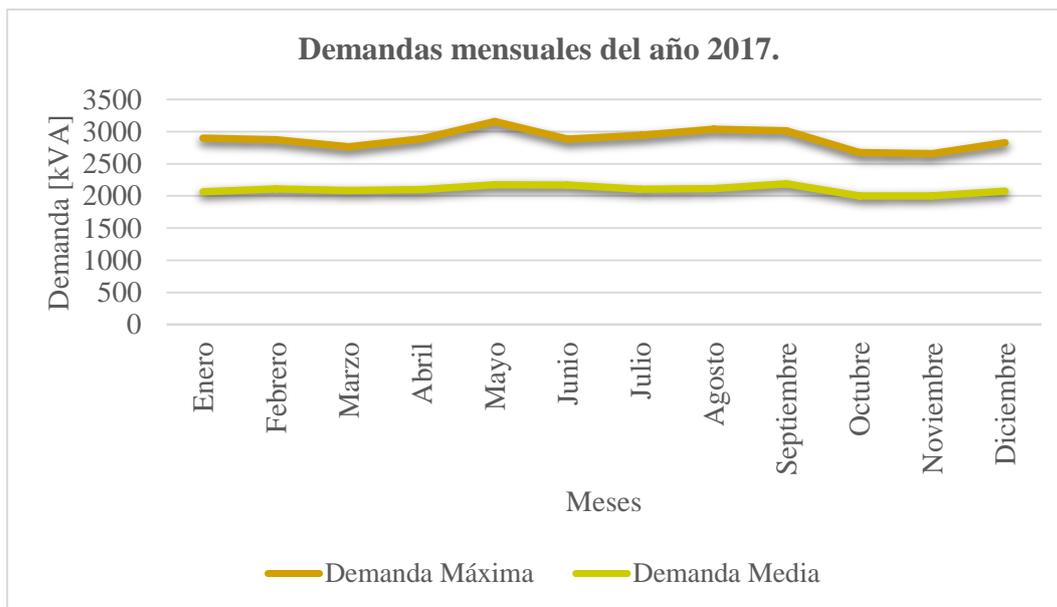


Figura 3-28. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Atahualpa, año 2017.
Fuente: Autores.

3.4.3.3 Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.

La tasa de crecimiento del mes de mayo es negativa alrededor del -7,03% y el crecimiento anual del -11,814% en el alimentador Atahualpa. En la tabla 3-20, se observa como en todos los meses existe una reducción de la demanda debido a la suspensión de proyectos en la zona.

Tabla 3-20. Datos estadísticos del alimentador Atahualpa año 2016-2017.
Fuente: Autores

Mes	2016	2017	Periodo 16-17
	Potencia kVA		Tasa de Crecimiento %
	DM	DM	
Enero	3048,343	2902,717	-4,777
Febrero	3042,703	2877,995	-5,413
Marzo	3351,720	2764,984	-17,506
Abril	3418,119	2892,665	-15,373
Mayo	3399,151	3160,255	-7,028
Junio	3542,519	2886,699	-18,513
Julio	3244,574	2944,854	-9,238
Agosto	3608,006	3041,739	-15,695
Septiembre	3667,247	3016,297	-17,750
Octubre	3389,250	2675,578	-21,057
Noviembre	2740,508	2660,294	-2,927
Diciembre	2846,725	2831,826	-0,523
Promedio	3274,906	2887,992	-11,814

En la figura 3-29, la curva de carga del año 2017 al inicio de año mantiene un consumo similar al del año 2016 pero a partir del mes de febrero existe una reducción considerable de carga. En

los meses de octubre, noviembre y diciembre la demanda disminuye aún más, hasta niveles de 2.660,29 kVA.

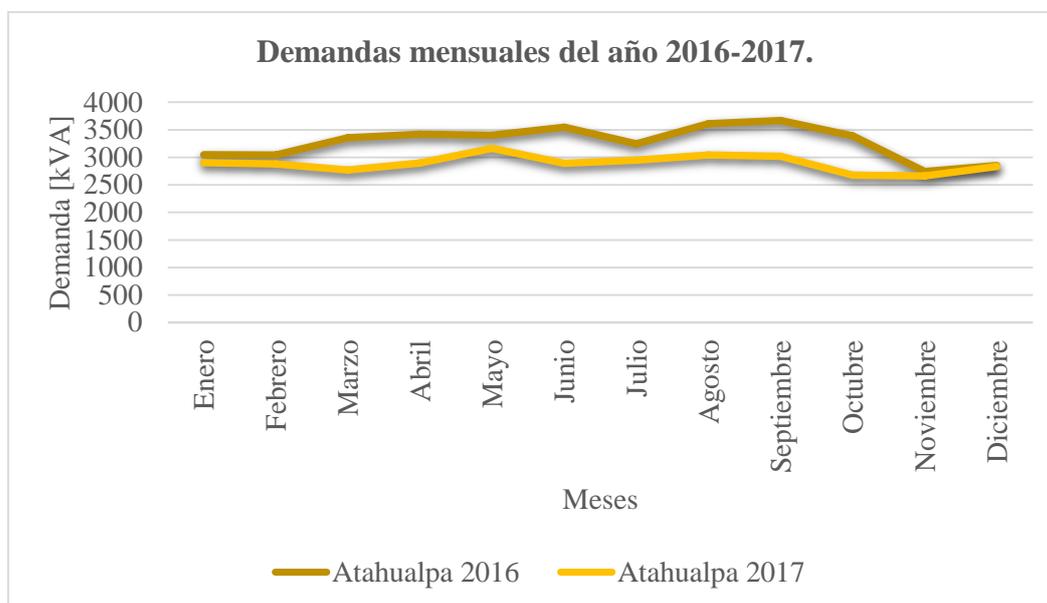


Figura 3-29. Demandas máximas por mes del Alimentador Atahualpa año 2016-2017.

Fuente: Autores.

3.4.3.4 Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Atahualpa año 2017.

En la tabla 3-21, se observa que en el mes de mayo el voltaje alcanzo 12,457 kVLL, este nivel de voltaje representa un porcentaje del 90% y, el menor voltaje registrado se da el mes de agosto con un voltaje de 12,075 kVLL que representa el 87%, estos porcentajes se obtienen en base al nivel de 13,8 kVLL que representa el 100%.

Tabla 3-21. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Mes	VLL ab	VLL bc	VLL ca	V LL Avg
Enero	12911,180	12626,599	12814,135	12783,971
Febrero	12776,572	12491,750	12669,843	12646,055
Marzo	12530,786	12254,246	12464,726	12416,586
Abril	12855,381	12518,283	12743,033	12705,566
Mayo	12598,741	12280,686	12491,825	12457,084
Junio	12790,726	12626,781	12759,940	12725,816
Julio	12738,802	12471,110	12648,175	12619,362
Agosto	12170,324	11924,536	12132,771	12075,877
Septiembre	12436,636	12244,064	12398,386	12359,695
Octubre	12889,431	12611,821	12828,131	12776,461
Noviembre	13168,701	13028,739	13145,661	13114,367
Diciembre	12608,100	12325,294	12583,195	12505,530

La figura 3-30 describe los niveles bajos de kVLL en todo el año. Solo en septiembre el voltaje llega a 13,16 kVLL con una demanda máxima de 3.016,29 kVA y el desbalance de voltaje se da en las fases VLL ab, bc y ca todos los meses.

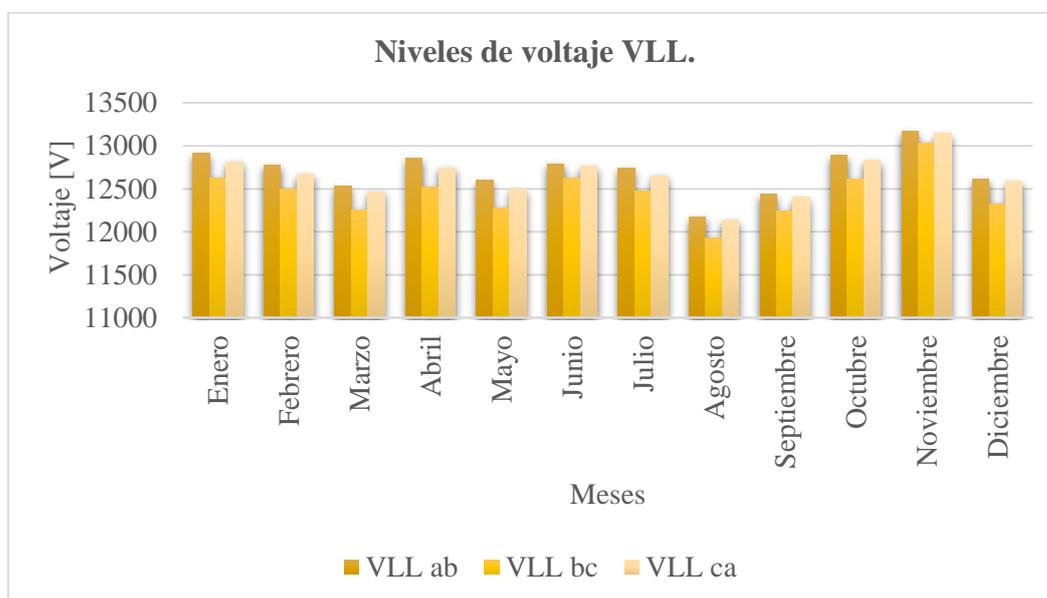


Figura 3-30. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Atahualpa registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.

Fuente: Autores.

3.4.3.5 Desbalance de la corriente por fase del alimentador Atahualpa.

La demanda máxima registrada provoca los siguientes desbalances por fase en el mes de mayo, la fase C tiene 9,533% siendo el más crítico, respecto a las fases A y B que tienen valores del 6,14% y 3,39%, véase la tabla 3-22.

Tabla 3-22. Desbalance por fase del alimentador Atahualpa, año 2017.

Fuente: Autores.

Mes	I por fase			Promedio	% Desbalance		
	I a	I b	I c	I Avg	I a	I b	I c
Enero	122,215	126,617	144,912	131,248	6,882	3,528	10,411
Febrero	115,164	134,466	145,294	131,641	12,517	2,146	10,371
Marzo	114,096	126,804	145,524	128,808	11,422	1,556	12,978
Abril	124,186	123,573	146,988	131,582	5,621	6,087	11,708
Mayo	137,651	141,676	160,635	146,654	6,139	3,394	9,533
Junio	128,208	129,363	135,444	131,005	2,135	1,254	3,388
Julio	123,213	130,903	142,531	132,216	6,809	0,993	7,802
Agosto	133,212	145,691	151,945	143,616	7,244	1,445	5,800
Septiembre	135,306	140,155	147,395	140,952	4,006	0,565	4,571
Octubre	121,606	114,598	126,673	120,959	0,535	5,259	4,724
Noviembre	116,047	111,591	123,784	117,141	0,934	4,737	5,671
Diciembre	123,984	130,251	138,399	130,878	5,268	0,479	5,746
Promedio	124,574	129,641	142,460	132,225	5,786	1,954	7,741

Mayo alcanzó las siguientes corrientes en la demanda máxima; en la fase A (137,65 A), en la fase B (141,67 A) y la fase C (160,63 A). El mes de febrero el mayor registro de desbalance llegó a valores de 12,52% en la fase A, 2,15% en la fase B y 10,37% en la fase C.

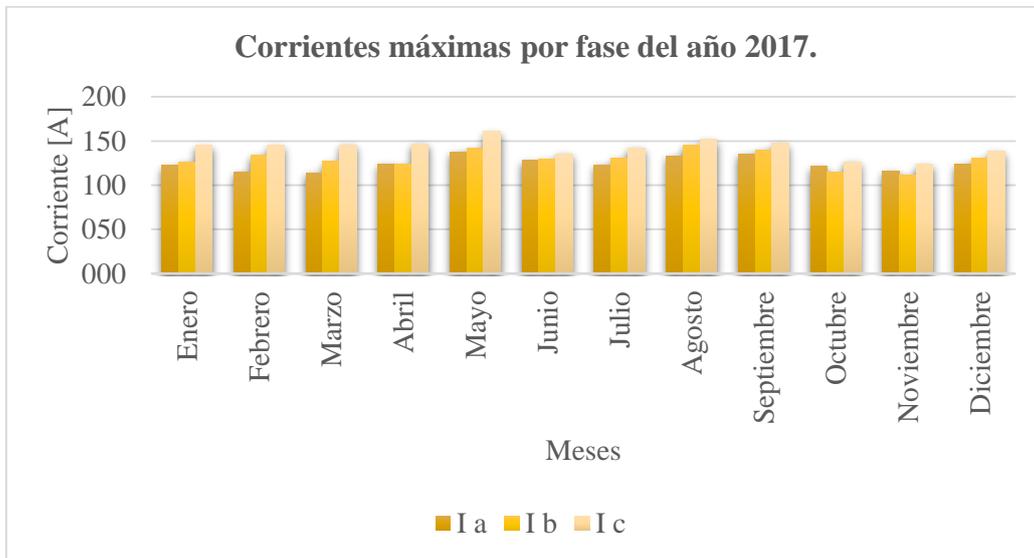


Figura 3-31. Corrientes mensuales por fase del alimentador Atahualpa registrados en la cabecera de la S/E.

Fuente: Autores.

3.4.3.6 Perfil de carga diaria del Alimentador Atahualpa.

La curva típica del alimentador Atahualpa empieza con modificaciones en las franjas horarias, la franja “Base” tiene una demanda de 2.468,56 kVA a las 06h:00, a las 11h:00 en un horario de franja “Media” la carga aumenta a 2.743,46 kVA a las 15h:00, por último en la franja “Pico” a las 19h:00 la demanda es de 3.160,25 kVA, además se considera un comportamiento de tipo residencial y característica urbano-rural, véase la figura 3-32.

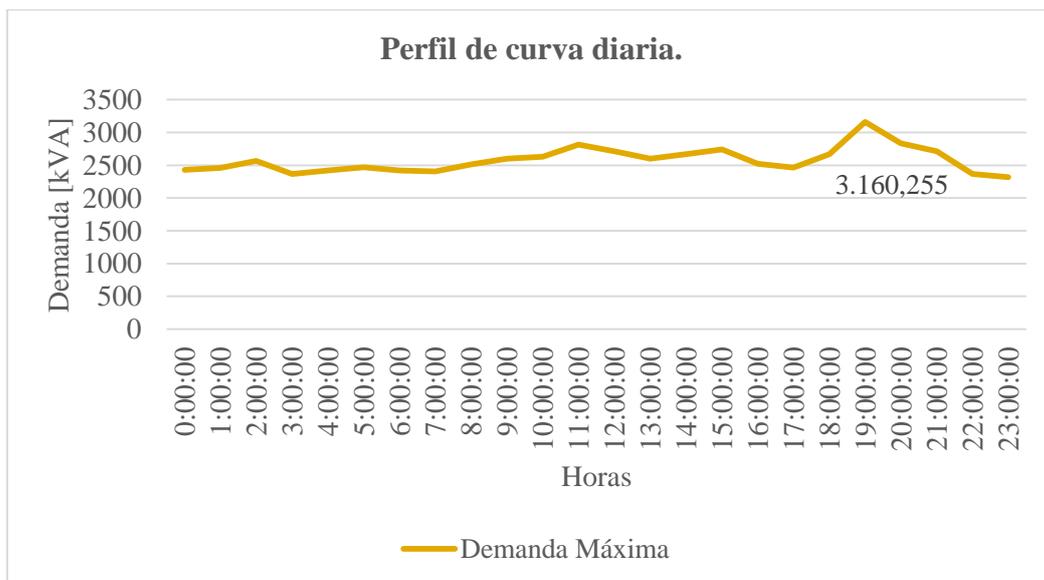


Figura 3-32. Curva de carga horaria del alimentador Atahualpa durante el periodo de la demanda máxima.

Fuente: Autores.

El Fc del alimentador Atahualpa es del 68,82%, está por debajo del 70% por lo que la funcionalidad del alimentador se ve afectada con variaciones en la conexión y desconexión de carga.

3.4.4 Análisis del Alimentador Osorio ALIM-07PO100T14.

Se describe a continuación los resultados el alimentador Osorio del año 2016 y 2017.

3.4.4.1 Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.

La máxima demanda se da el 18 de octubre a las 10h:50 con una potencia de 4.939,12 kVA y 4.804,94 kW, se da en una franja horaria “Media”, la menor potencia ocurrió el 8 de marzo a las 10h:20 con un valor de 4.187,998 kVA de igual forma en una franja media. La tabla 3-23 muestra que los resultados mantienen parámetros similares de consumo en kVA.

Tabla 3-23. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Osorio, año 2016.

Fuente: Autores.

Osorio 2016		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-28 12:00:00	4082,562	2872,179	4220,119	2922,768
Febrero	Feb-03 09:00:00	4117,035	2837,728	4242,662	2877,554
Marzo	Mar-08 10:20:00	4066,128	2950,917	4187,998	3000,078
Abril	Abr-17 18:30:00	4710,555	3289,473	4831,076	3353,592
Mayo	May-19 18:50:00	4666,814	3398,910	4770,443	3459,114
Junio	Jun-02 19:00:00	4414,917	3308,970	4488,700	3362,233
Julio	Jul-27 11:10:00	4654,878	3314,495	4805,053	3382,863
Agosto	Ago-26 10:50:00	4700,821	3400,724	4838,878	3462,467
Septiembre	Sep-09 18:40:00	4667,758	3472,569	4758,928	3525,646
Octubre	Oct-18 10:50:00	4804,948	3409,714	4939,124	3461,018
Noviembre	Nov-28 20:40:00	4656,722	3572,321	4706,310	3618,805
Diciembre	Dic-02 10:50:00	4589,791	3054,978	4683,358	3082,451

Enero, febrero y marzo mantienen una demanda de 4.187,99 kVA, es la más baja respecto a las demás mediciones, en los meses de abril hasta octubre se registran valores de 4.838,87 kVA y al final la demanda decrece a 4.683,35 kVA. El factor de carga del alimentador es de 70,07%, véase la figura 3-33.

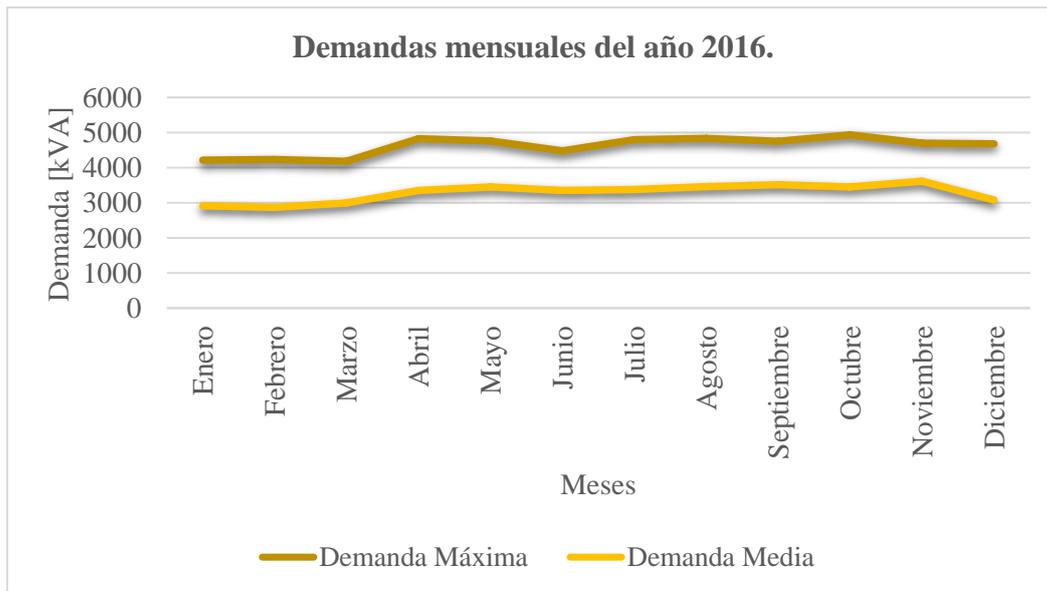


Figura 3-33. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Osorio, año 2016.

Fuente: Autores.

3.4.4.2 Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.

El mes de ocurrencia de la mayor demanda es el 21 de febrero a las 11h:30 con una demanda de 4.270,892 kVA y 4.189,114 kW, en una franja horaria “Media”, valor que representa el 27% de la potencia disponible del transformador de la subestación. La menor demanda se dio el 23 de noviembre a las 09h:00 con valores de 2.990,15 kVA y 2.966,362 kW. En la tabla 3-24, se detalla las demandas de cada mes.

Tabla 3-24. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Osorio, año 2017.

Fuente: Autores.

Osorio 2017		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-13 19:50:00	3630,249	2430,868	3642,880	2443,590
Febrero	Feb-21 11:30:00	4189,114	2757,784	4270,892	2769,757
Marzo	Mar-03 16:40:00	4092,463	2699,800	4166,937	2711,807
Abril	Abr-17 11:40:00	3581,464	2327,450	3631,519	2337,079
Mayo	May-11 18:50:00	3537,071	2472,627	3546,845	2480,269
Junio	Jun-30 20:00:00	4113,338	2659,932	4154,408	2672,553
Julio	Jul-25 10:40:00	4062,882	2897,626	4121,052	2909,895
Agosto	Ago-17 11:30:00	4097,359	2778,590	4188,272	2793,912
Septiembre	Sep-14 12:00:00	4163,516	2902,922	4231,338	2916,922
Octubre	Oct-08 20:40:00	3414,433	2149,588	3444,729	2155,237
Noviembre	Nov-23 09:40:00	2966,362	2050,560	2990,152	2058,127
Diciembre	Dic-11 10:50:00	3099,080	2220,054	3137,912	2228,541

El mes de enero tiene un consumo inicial de 3.642,88 kVA y en los meses de febrero, marzo, junio, julio y agosto poseen demandas de 4.188,27 kVA, al final en octubre, noviembre y diciembre la carga disminuye a 3.137,91 kVA, véase la figura 3-34.

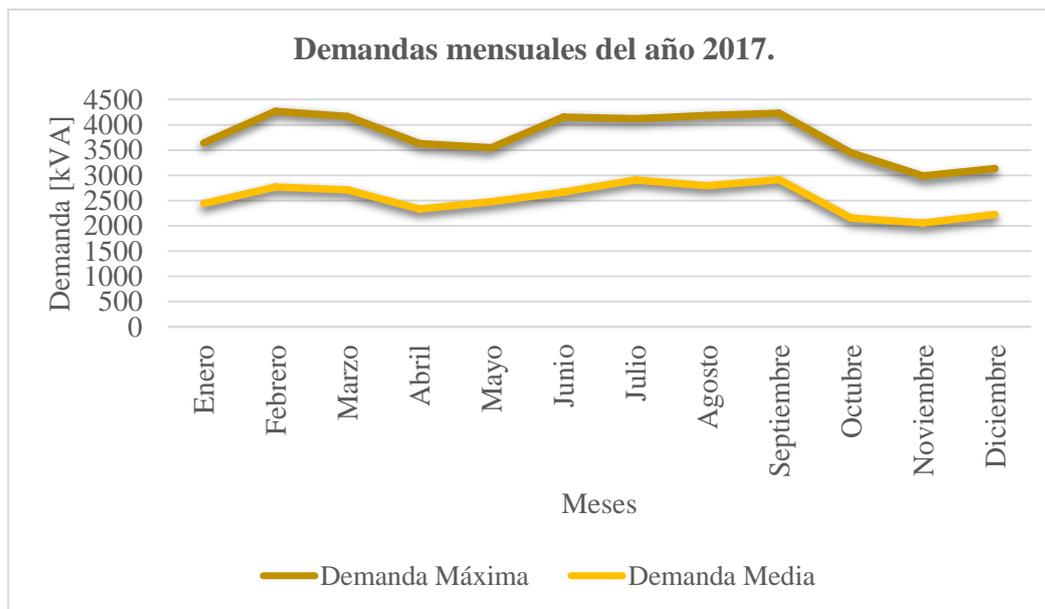


Figura 3-34. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Osorio, año 2017.
Fuente: Autores.

3.4.4.3 Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.

Los datos de la demanda son muy variables, es decir, existen cambios considerables en el aumento y reducción de la carga conectada en el circuito ya que el alimentador Osorio suministra servicio de energía eléctrica a la mayor parte del cantón Portovelo y un pequeño sector industrial minero. La tasa de crecimiento de febrero 2017 respecto al mes del año anterior es del 0,665% y la tasa de anual esta alrededor del -17,929%, véase la tabla 3-25. El bajo crecimiento anual se debe a modificaciones en topologías de red y suspensión de industrias mineras, se prevé que esta tasa de crecimiento se mantenga con idénticos parámetros para el periodo 2018.

Tabla 3-25. Datos estadísticos del alimentador Osorio año 2016-2017.
Fuente: Autores.

Mes	2016	2017	Periodo 16-17
	Potencia kVA		Tasa de Crecimiento %
	DM	DM	
Enero	4220,119	3642,880	-13,678
Febrero	4242,662	4270,892	0,665
Marzo	4187,998	4166,937	-0,503
Abril	4831,076	3631,519	-24,830
Mayo	4770,443	3546,845	-25,650
Junio	4488,700	4154,408	-7,447
Julio	4805,053	4121,052	-14,235
Agosto	4838,878	4188,272	-13,445
Septiembre	4758,928	4231,338	-11,086
Octubre	4939,124	3444,729	-30,256
Noviembre	4706,310	2990,152	-36,465
Diciembre	4683,358	3137,912	-32,999

Promedio	4622,721	3793,911	-17,929
-----------------	-----------------	-----------------	----------------

Enero 2017 arranca con una demanda de 3.642,88 kVA menor a enero del 2016, después las cargas son similares en febrero y marzo 2016-2017 con valores de 4.166,93 kVA, a partir de abril la curva 2017 comienza a tener una reducción considerable hasta mayo para luego mantener una demanda de 4.231,33 kVA hasta septiembre y en los últimos meses decae a 3.137,91 kVA, véase la figura 3-35.

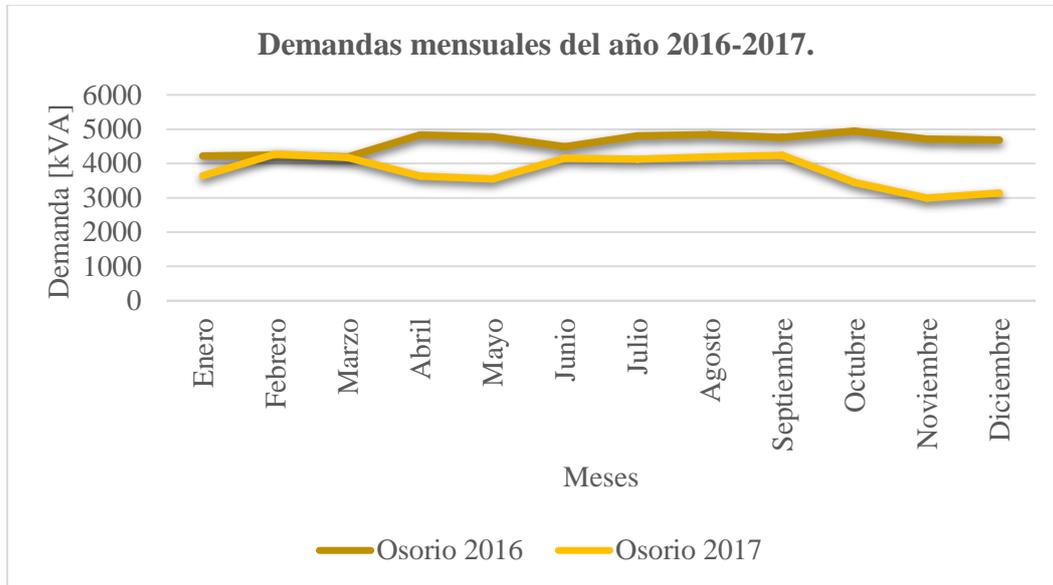


Figura 3-35. Demandas máximas por mes del Alimentador Osorio año 2016-2017.

Fuente: Autores.

3.4.4.4 Niveles de voltajes registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Osorio año 2017.

En febrero el voltaje en la cabecera del alimentador alcanzó un nivel de 12,338 kVLL equivalente al 89% referido a un nivel de 13,8 kV, mientras que en mayo el voltaje registrado es de 12,22 kVLL con una demanda máxima de 3.546,845 kVA, véase la tabla 3-26.

Tabla 3-26. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Osorio.

Fuente: Autores.

Mes	VLL ab	VLL bc	VLL ca	V LL Avg
Enero	12634,070	12332,322	12544,260	12503,551
Febrero	12436,708	12217,847	12361,881	12338,812
Marzo	12938,453	12728,547	12867,604	12844,868
Abril	12588,387	12394,173	12560,613	12514,391
Mayo	12353,371	12052,032	12255,729	12220,377
Junio	12566,015	12271,258	12456,200	12431,158
Julio	12484,251	12324,997	12422,573	12410,607
Agosto	12436,955	12262,378	12402,873	12367,402
Septiembre	12410,565	12224,468	12378,811	12337,948
Octubre	12930,608	12661,756	12855,510	12815,958
Noviembre	12889,163	12737,344	12869,187	12831,898
Diciembre	12806,784	12606,519	12777,537	12730,280

La figura 3-36 muestra como el nivel de voltaje no sobrepasa los 13 kVLL, llegando a valores máximos de 12,84 kVLL. Se puede notar que la fase VLLbc tiene niveles bajos en relación con las otras fases VLL ab y VLL ca.

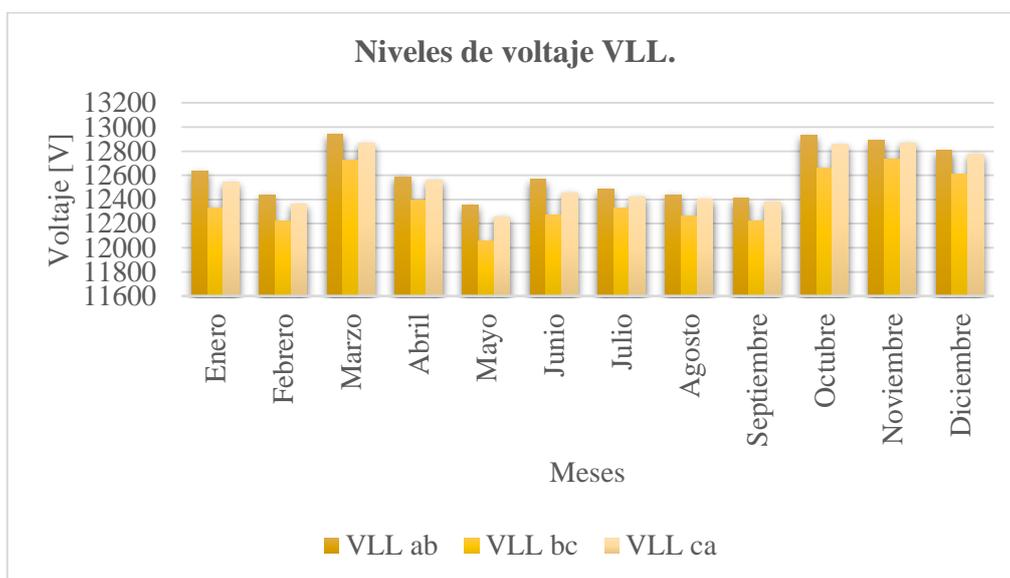


Figura 3-36. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Osorio registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.

Fuente: Autores.

3.4.4.5 Desbalance de la demanda por fase del alimentador Osorio.

En la cabecera del alimentador Osorio se registran los siguientes desbalances. La fase B presenta el mayor porcentaje con el 9,59%, luego sigue la fase A con el 5,82% y el 3,77% en la fase C. Un análisis anual indica que la fase B tiene un desbalance del 12,55% y para reducir ese porcentaje se debe transferir carga a la fase C ya que tiene el 3,15%, véase la tabla 3-27.

Tabla 3-27. Desbalance por fase del alimentador Osorio, año 2017.

Fuente: Autores.

Mes	I por fase			Promedio I Avg	% Desbalance		
	I a	I b	I c		I a	I b	I c
Enero	156,228	189,594	162,953	169,592	7,880	11,794	3,914
Febrero	188,432	219,288	192,533	200,084	5,824	9,598	3,774
Marzo	174,397	206,319	181,941	187,552	7,014	10,006	2,992
Abril	147,489	187,878	167,824	167,731	12,068	12,012	0,056
Mayo	153,236	193,065	159,848	168,716	9,176	14,432	5,256
Junio	170,122	232,989	176,495	193,202	11,946	20,594	8,647
Julio	180,597	207,680	187,324	191,867	5,874	8,242	2,368
Agosto	175,786	218,231	193,316	195,777	10,211	11,469	1,257
Septiembre	179,690	219,141	195,931	198,254	9,364	10,536	1,172
Octubre	137,740	179,599	148,884	155,407	11,369	15,566	4,198
Noviembre	119,974	153,108	131,031	134,704	10,935	13,662	2,727
Diciembre	123,786	162,892	141,076	142,585	13,184	14,242	1,058
Promedio	158,956	197,482	169,930	175,456	9,404	12,554	3,150

En febrero se consiguió las siguientes corrientes por fase; en la fase A (188,43 A), en la fase B (219,28 A) y la fase C (192,53 A). En la figura 3-37, el mayor desbalance se dio el mes de junio con porcentajes de 11,95% en la fase A, 20,59% en la fase B y 8,65% en la fase C.

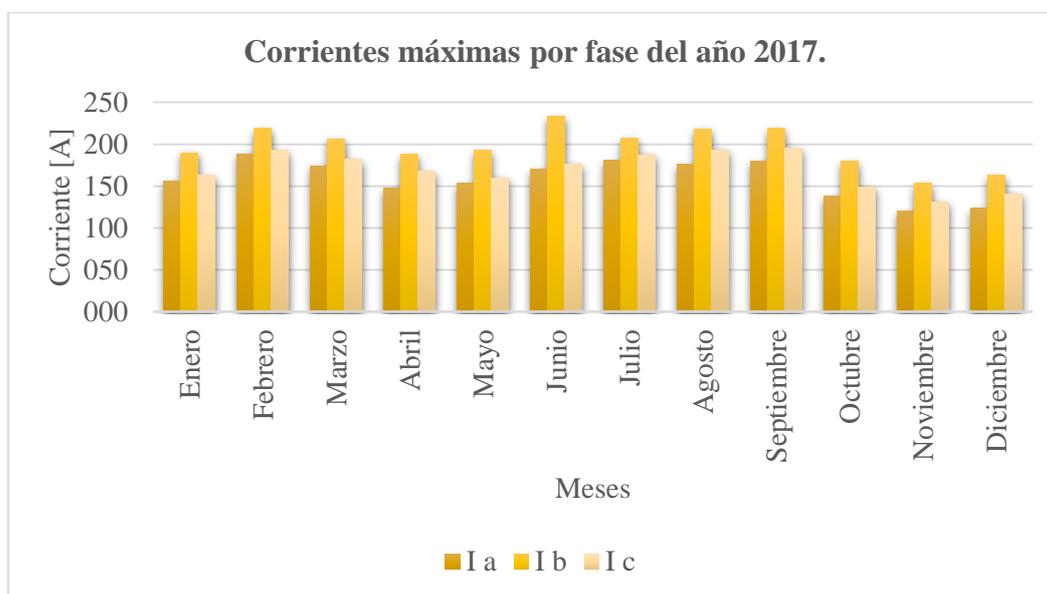


Figura 3-37. Corrientes mensuales por fase del alimentador Osorio registrados en la cabecera de la S/E.
Fuente: Autores.

3.4.4.6 Perfil de carga diaria del Alimentador Osorio.

El perfil de carga diaria del alimentador Osorio es de tipo industrial, es claro dado que suministra energía eléctrica a pequeñas industrias locales que se dedican a la actividad minera en la zona de Portovelo. Su curva de carga tiene algunas modificaciones en los horarios como se muestra en la figura 3.38. En la franja horaria “Base” la demanda tiene algunos valores, registrándose a las 06h:00 una potencia de 3.020,84 kVA, luego en el horario de franja “Media” la demanda máxima se da a las 11h:00 con una carga de 4.270,89 kVA y al final en el horario de las 20h:00 “Pico” la carga disminuye a 3.507,86 kVA.

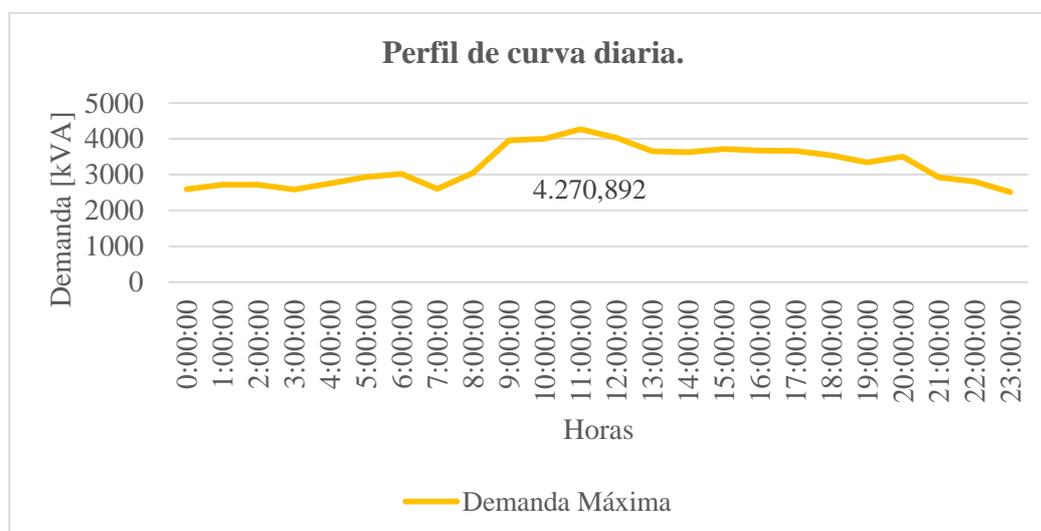


Figura 3-38. Curva de carga horaria del alimentador Osorio durante el periodo de la demanda máxima.
Fuente: Autores.

Se observa en la figura 3-38 que el perfil de carga tiene variaciones en la demanda por lo que el F_c se considera un porcentaje del 64,85%.

3.4.5 Análisis del Alimentador Pindo ALIM-07PO100T14.

Se realiza una descripción del análisis de la demanda y voltajes en alimentador Pindo del año 2016 y 2017.

3.4.5.1 Perfil de la demanda máxima y media del año 2016.

El 27 de octubre a las 14h:10 la demanda máxima registrada es de 5.102,937 kVA y 4.769,599 kW en una franja “Media”, como se observa en la tabla 3-28. La menor potencia se dio el 01 de junio a las 11h:50 con una carga de 3.379,96 kVA en una zona horaria media.

Tabla 3-28. Registro de las demandas máximas y medias del alimentador Pindo, año 2016.

Fuente: Autores.

Pindo 2016		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-14 09:40:00	3418,738	2591,654	3623,724	2741,366
Febrero	Feb-24 11:00:00	3282,678	2686,086	3426,098	2820,452
Marzo	Mar-17 15:50:00	3364,705	2680,838	3595,980	2831,365
Abril	Abr-06 11:00:00	3519,468	2727,229	3791,517	2908,171
Mayo	May-12 10:50:00	3373,459	2598,745	3601,346	2744,034
Junio	Jun-01 11:50:00	3164,724	2518,914	3379,967	2712,395
Julio	Jul-28 14:20:00	3688,382	2731,893	4032,917	2982,080
Agosto	Ago-11 15:00:00	4052,964	3074,695	4447,734	3326,846
Septiembre	Sep-03 10:40:00	4086,628	3078,676	4467,774	3330,168
Octubre	Oct-27 14:10:00	4769,588	2850,414	5102,937	3047,982
Noviembre	Nov-10 15:50:00	3860,723	3010,697	4149,306	3199,938
Diciembre	Dic-09 11:10:00	3916,320	2892,104	4124,339	3011,995

En el primer semestre la demanda máxima es similar, con ciertas variaciones en la potencia los meses de enero (3.623,72 kVA) y Abril (3.791,517), se observa que la curva tiene un incremento de junio hasta septiembre a valores de 4.467,77 kVA y solo en el mes de octubre se da un consumo alto, véase la figura 3-39. El factor de carga del alimentador Pindo es de 59,73%. Este porcentaje determina que el alimentador ha tenido interrupciones no programadas.

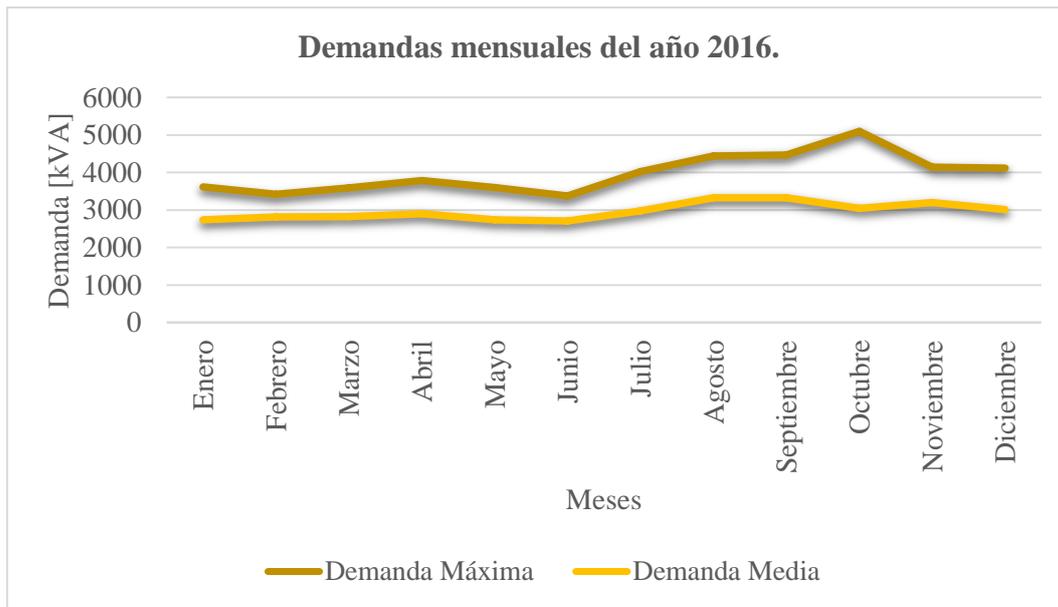


Figura 3-39. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Pindo, año 2016.
Fuente: Autores.

3.4.5.2 Perfil de la demanda máxima y media del año 2017.

La demanda paso de octubre 2016 a diciembre 2017 con una demanda de 4.508,707 kVA y 4.331,855 kW, manteniendo la franja horaria en “Media”. El valor registrado en kVA representa el 28% de la capacidad del transformador de la subestación mientras que el menor valor de potencia es de 3.575,16 kVA el día 25 de enero a las 10h:40. Los datos del alimentador Pindo son descritos en la tabla 3-29.

Tabla 3-29. Resultados del registro de datos de la demanda del alimentador Zaruma, año 2017.
Fuente: Autores.

Pindo 2017		Potencia kW		Potencia kVA	
Mes	Fecha	Máxima	Media	Máxima	Media
Enero	Ene-25 10:40:00	3422,215	2579,601	3575,165	2624,249
Febrero	Feb-16 11:30:00	3564,612	2653,492	3691,412	2738,897
Marzo	Mar-02 13:40:00	3459,467	2781,156	3631,993	2894,213
Abril	Abr-05 13:10:00	3743,793	2871,454	3861,187	2977,946
Mayo	May-03 12:40:00	3704,642	2903,763	3865,018	3011,716
Junio	Jun-27 10:00:00	3837,283	3007,880	3977,095	3126,707
Julio	Jul-14 15:10:00	3884,845	3055,556	4042,783	3186,375
Agosto	Ago-04 11:30:00	3745,977	3029,871	3915,700	3168,880
Septiembre	Sep-13 14:40:00	4069,432	2999,917	4262,809	2401,100
Octubre	Oct-31 10:40:00	3546,338	2595,248	3752,088	2706,082
Noviembre	Nov-17 11:00:00	3515,118	2659,393	3692,222	2752,078
Diciembre	Dic-19 13:50:00	4331,855	2836,607	4508,707	2932,623

En la figura 3-40, la curva de la demanda máxima tiene un aumento ascendente de la carga los meses de enero hasta agosto, en septiembre la potencia tiene un crecimiento de 4.262,80 kVA y el siguiente mes disminuye la carga.

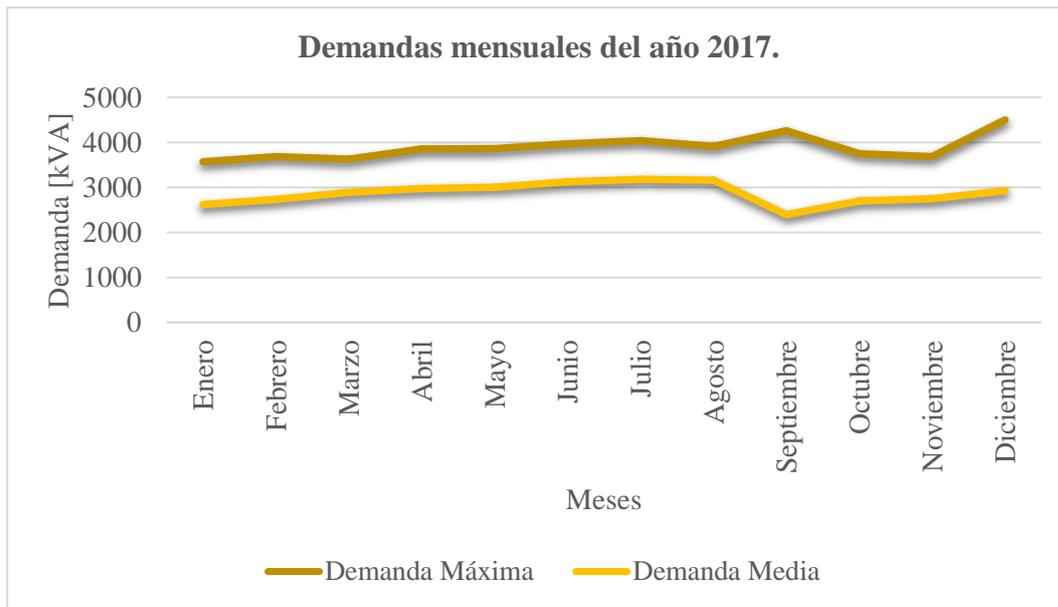


Figura 3-40. Curva anual de la demanda máxima y media del alimentador Pindo, año 2017.
Fuente: Autores.

3.4.5.3 Comparación de los resultados de demanda año 2016-2017.

El mes de diciembre la demanda en la zona de influencia aumento considerablemente, dado al funcionamiento de cargas industriales. La tasa de crecimiento en diciembre tiene un porcentaje del 9,32% con un crecimiento anual alrededor del -2,026%, esto debido a la desconexión de carga minera.

Tabla 3-30. Datos estadísticos del alimentador Pindo, año 2016-2017.
Fuente: Autores.

Mes	2016	2017	Periodo 16-17
	Potencia kVA		Tasa de Crecimiento %
	Máxima	Máxima	
Enero	3623,724	3575,165	-1,340
Febrero	3426,098	3691,412	7,744
Marzo	3595,980	3631,993	1,001
Abril	3791,517	3861,187	1,838
Mayo	3601,346	3865,018	7,321
Junio	3379,967	3977,095	17,667
Julio	4032,917	4042,783	0,245
Agosto	4447,734	3915,700	-11,962
Septiembre	4467,774	4262,809	-4,588
Octubre	5102,937	3752,088	-26,472
Noviembre	4149,306	3692,222	-11,016
Diciembre	4124,339	4508,707	9,320
Promedio	3978,637	3898,015	-2,026

En la figura 3-41, se observa el comportamiento de la curva de la demanda 2016 y 2017. El consumo está en parámetros similares los meses de enero hasta abril, después la curva 2017

presenta una disminución respecto a la curva 2016 y en diciembre incrementa a un valor de 4.508,70 kVA.

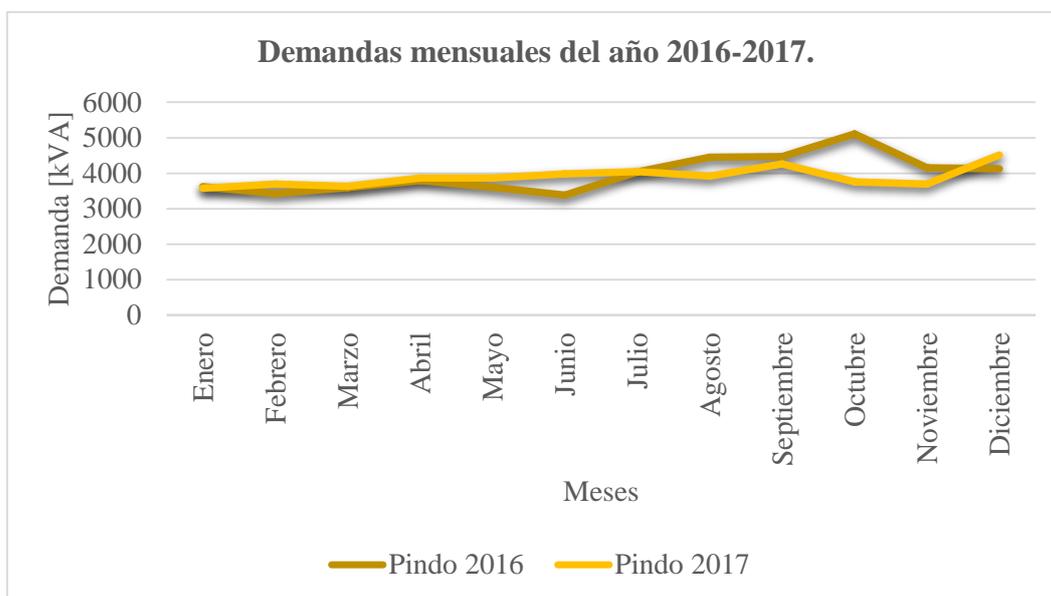


Figura 3-41. Demandas máximas por mes del Alimentador Pindo, año 2016-2017.

Fuente: Autores.

3.4.5.4 Niveles de voltaje registrados correspondientes a la demanda máxima del alimentador Pindo año 2017.

En la tabla 3-31, el mes de diciembre el valor alcanzó 12,722 kV en la demanda máxima, el voltaje es bajo con un porcentaje del 92% referido al nivel de tensión normalizado 13,8 kV, siendo el nivel crítico de voltaje el mes de agosto con 12,2 kVLL equivalente al 89%.

Tabla 3-31. Niveles de tensión registrados en la cabecera del alimentador Pindo.

Fuente: Autores.

Mes	VLL ab	VLL bc	VLL ca	V LL Avg
Enero	12674,148	12470,809	12615,860	12586,939
Febrero	12536,577	12327,504	12464,994	12443,025
Marzo	12666,718	12444,227	12606,253	12572,399
Abril	12943,749	12740,292	12905,455	12863,165
Mayo	12953,521	12769,991	12916,170	12879,894
Junio	12578,772	12407,307	12523,654	12503,244
Julio	12653,314	12481,639	12604,397	12579,784
Agosto	12270,716	12102,677	12233,704	12202,366
Septiembre	12681,030	12504,368	12665,337	12616,912
Octubre	13013,008	12835,343	12992,344	12946,898
Noviembre	13089,981	12899,179	13069,788	13019,649
Diciembre	12787,927	12596,937	12781,693	12722,186

Los niveles de voltaje VLLab, VLLbc y VLLca cambian cada mes como se muestra en la figura 3-42. El nivel de voltaje más alto registrado en la cabecera del alimentador se dio en noviembre con un voltaje de 13,089 kVLL con una demanda de 3.692,22 kVA.

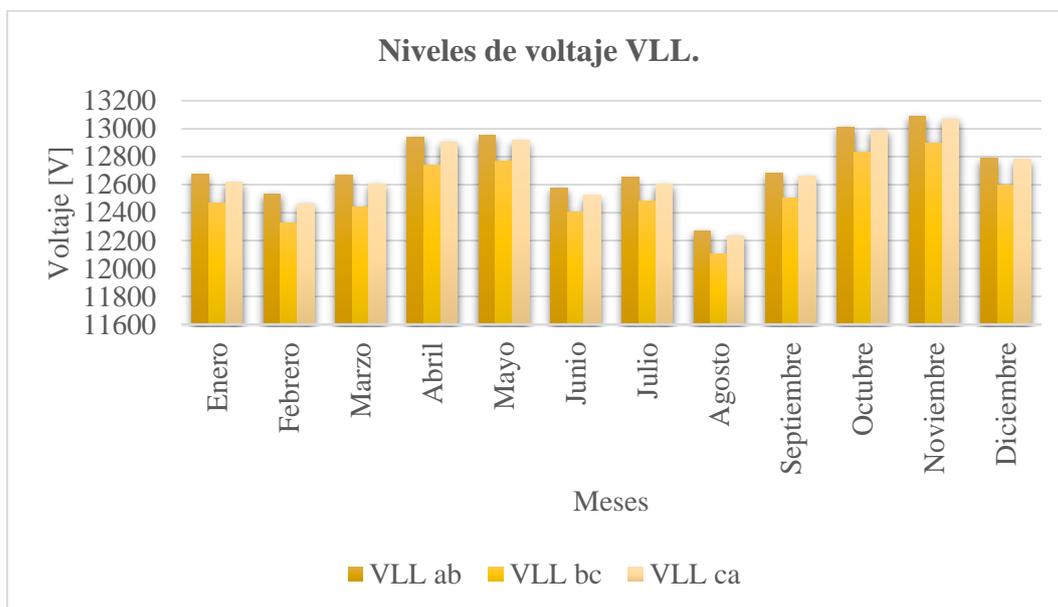


Figura 3-42. Niveles de voltaje kVLL del alimentador Pindo registrados en la demanda máxima mensual en cabecera de la subestación.

Fuente: Autores.

3.4.5.5 Desbalance de la demanda por fase del alimentador Pindo.

En la tabla 3-32, se describe los desbalances que existen en las fases del alimentador Pindo mensuales. El mes de diciembre la fase A tiene el mayor porcentaje de 9,43%, le siguen las fases B con 5,18% y la fase C con 4,25%.

Tabla 3-32. Desbalance por fase del alimentador Pindo, año 2017.

Fuente: Autores.

Mes	I por fase			Promedio I Avg	% Desbalance		
	I a	I b	I c		I a	I b	I c
Enero	180,078	160,035	152,274	164,129	9,717	2,494	7,223
Febrero	190,259	164,138	159,958	171,452	10,969	4,265	6,704
Marzo	183,789	159,974	156,987	166,917	10,108	4,160	5,949
Abril	191,897	164,343	164,320	173,520	10,591	5,289	5,302
Mayo	186,145	165,907	168,437	173,496	7,290	4,374	2,916
Junio	200,822	177,795	172,894	183,837	9,239	3,287	5,953
Julio	201,646	180,786	174,794	185,742	8,563	2,668	5,894
Agosto	199,955	180,646	175,491	185,364	7,872	2,545	5,327
Septiembre	210,682	188,935	186,017	195,211	7,925	3,215	4,710
Octubre	184,239	160,170	158,054	167,488	10,001	4,369	5,632
Noviembre	178,321	157,845	155,816	163,994	8,736	3,749	4,987
Diciembre	224,124	194,216	196,105	204,815	9,428	5,175	4,252
Promedio	194,330	171,233	168,429	177,997	9,176	3,800	5,375

El alimentador Pindo obtuvo las siguientes corrientes por fases el mes de diciembre; en la fase A (224,12 A), en la fase B (194,22 A) y la fase C (196,11 A). En la figura 3-43, el mayor desbalance se dio el mes de febrero con valores de 10,97% en la fase A, 4,27% en la fase B y 6,70% en la fase C.

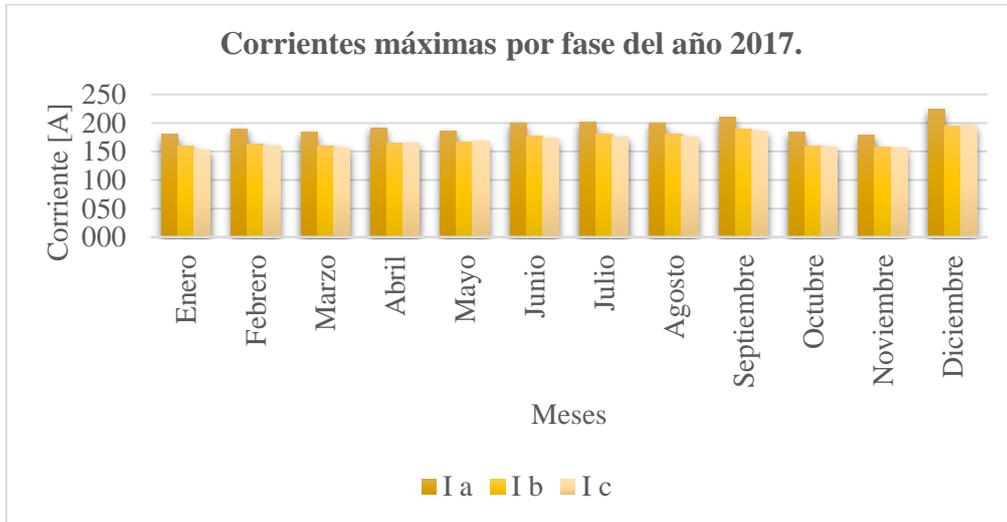


Figura 3-43. Corrientes mensuales por fase del alimentador Pindo registrados en la cabecera de la S/E.
Fuente: Autores.

3.4.5.6 Perfil de la curva diaria del Alimentador Pindo.

Como se observa en la figura 3-44, se muestra una carga considerable de 3940,94 kVA en la franja “Base” en un horario de 00h:00 hasta las 05h:00, a las 06h:00 la carga se reduce a 3.830,43 kVA. En la franja “Media” la carga se incrementa en el horario de 13h:00 llegando a una potencia de 4.508,707 kVA, siendo el mayor registro en el horario “Pico” de 3988,92 kVA a las 20h:00 teniendo una curva del alimentador Pindo de característica industrial.

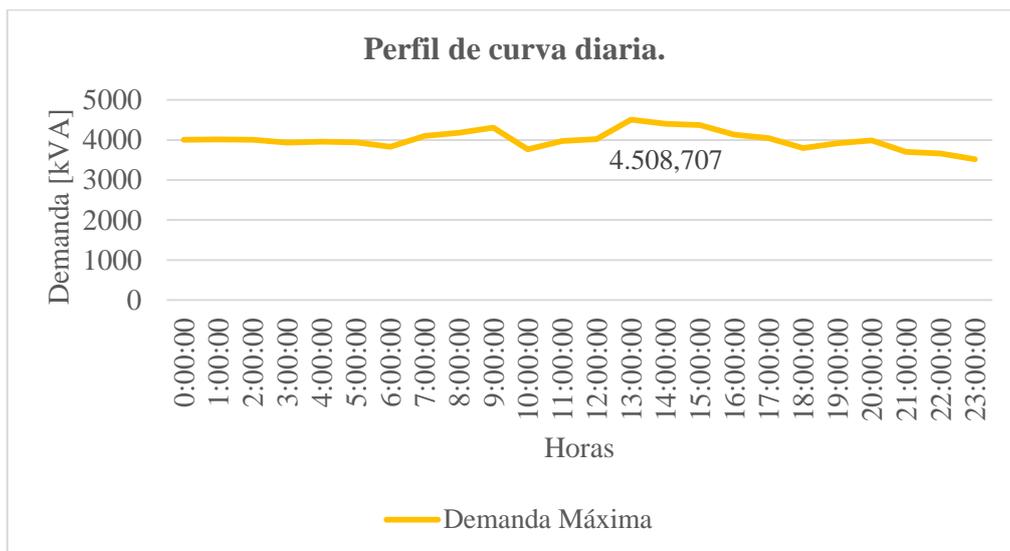


Figura 3-44. Curva de carga horaria del alimentador Pindo durante el periodo de la demanda máxima.
Fuente: Autores.

El Fc del alimentador Pindo registrado en el mes de mayor demanda tiene un valor de 68,95%.

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISIS DE LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN PORTOVELO A TRAVÉS DE FLUJOS DE CARGA EN EL SOFTWARE CYMDIST Y SELECCIÓN DEL MÁS CRÍTICO.

Se procede a realizar un análisis de los cinco alimentadores de la subestación “Portovelo” a través de distribuciones de carga y flujos de potencia en condiciones de funcionamiento normal, todo ello a partir de los datos recopilados de la demanda máxima, nivel de voltaje kVLN y el factor de carga estudiados en el capítulo III.

El objetivo de los flujos de potencia es conocer la condición en la que opera el alimentador, por lo tanto, se consideran factores como: niveles de voltaje (kVLL y kVLN), potencias (kW, kVA y kVAR), pérdidas técnicas, cantidad de clientes y la longitud total que tienen los ramales primarios y secundarios hacia la subestación.

El módulo que se utiliza para resolver los flujos de carga se denomina “Análisis básicos de redes de distribución”, esta herramienta es utilizada por el personal técnico de la CNEL-EP EL ORO para sus respectivos estudios, a través de este software se puede configurar los reportes para obtener resultados que nos servirán para interpretarlos y posterior segregarse el más crítico.

El estudio se basa en el análisis del perfil de voltaje (kVLL y kVLN) y las pérdidas de potencia de los alimentadores de la subestación “Portovelo”. Los límites de voltaje en redes de distribución de media tensión son establecidos por la regulación CONELEC 004/01, la cual establece el porcentaje de caída de voltaje que es del $\pm 8\%$, es decir, el voltaje se ajusta a un nivel de sobretensión del 108% y 92% en subtensión.

A continuación, se detalla los procedimientos para resolver los flujos de carga en el software CYME 8.2 – CYMDIST.

4.1 Análisis del flujo de carga con CYME 8.2 - CYMDIST.

El objetivo principal del módulo es realizar un análisis de un sistema eléctrico de potencia en régimen permanente, ante distintas condiciones de operación. Los valores que se encuentran en los flujos de carga son la amplitud de voltaje en kVLL y kVLN, corrientes de fase en cada barra y las pérdidas por fase que fluye a través de cada línea.

4.1.1 Distribución de carga.

Se ingresan los datos de la demanda máxima en kW y F_p por fase, este procedimiento se lo realiza para los cinco alimentadores de estudio, ver la figura 4-1. El fin de la distribución de carga es realizar un ajuste proporcional de la demanda máxima registrada en la cabecera de la subestación “Portovelo” aguas abajo.

El método de distribución seleccionado es el “kVA conectados” ya que reparte proporcionalmente la máxima demanda a la capacidad de cada transformador conectado en el alimentador de estudio.

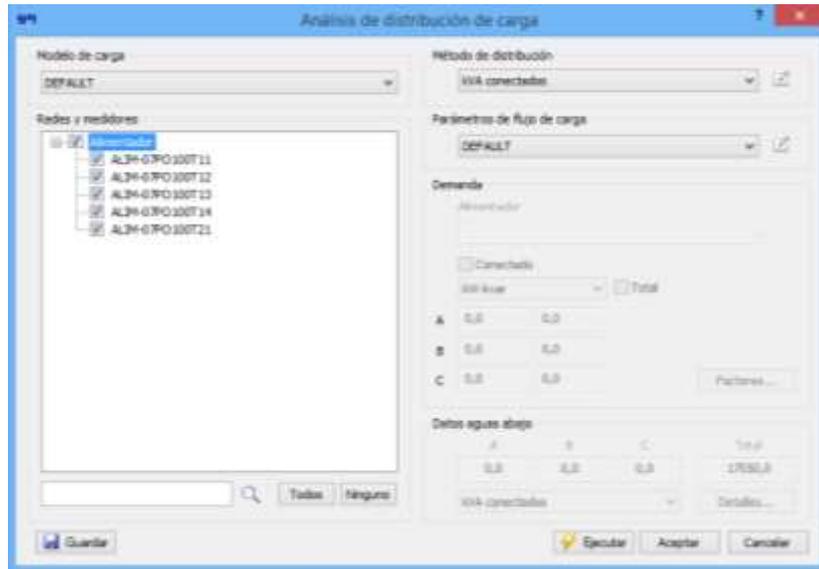


Figura 4-1. Pestaña de Análisis de distribución de carga.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

4.1.2 Flujo de carga.

Los métodos que emplea el software para la resolución de flujos de carga se desarrollan en CYME y se los utiliza de acuerdo a las necesidades del personal técnico. El método de cálculo es la “Caída de tensión desequilibrada” y se lo utiliza debido a que existen caídas de voltajes en niveles críticos como desbalances en tramos trifásicos, bifásicos y monofásicos, ver la figura 4-2.

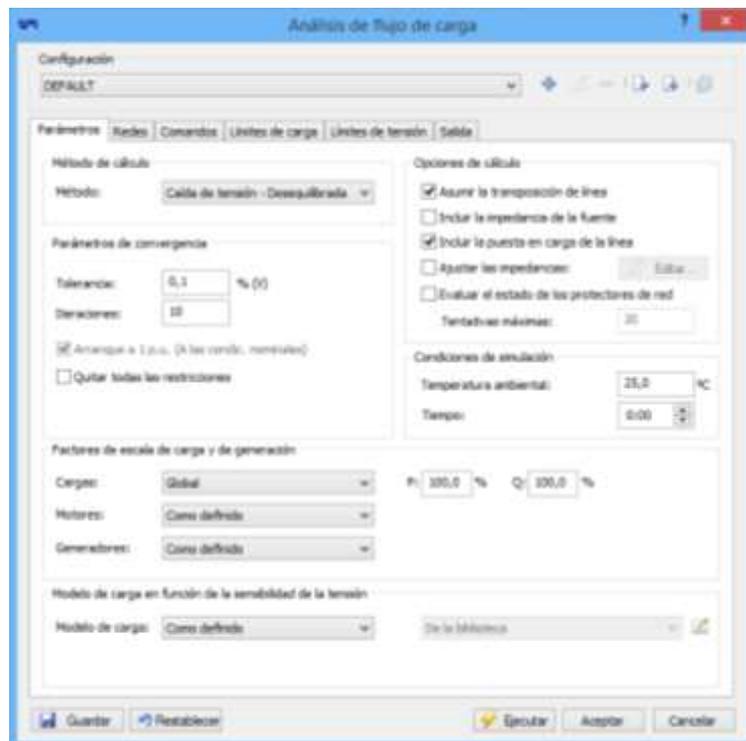


Figura 4-2. Pestaña de Análisis de flujo de carga.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Los cálculos se realizan por tramo cada diez o menos iteraciones con el fin de observar el comportamiento de voltajes fase-fase (VLLab, VLLbc y VLLca), potencias (kVA, kVAR y kW) y las pérdidas que se dan en el alimentador. La convergencia de los flujos de carga depende mucho de los datos de ingreso o de una mala configuración de la red.

Para el análisis de los perfiles de voltaje se deben definir los parámetros establecidos por la regulación CONELEC 004/01. La figura 4-3 muestra las modificaciones realizadas en la pestaña límites de voltaje.

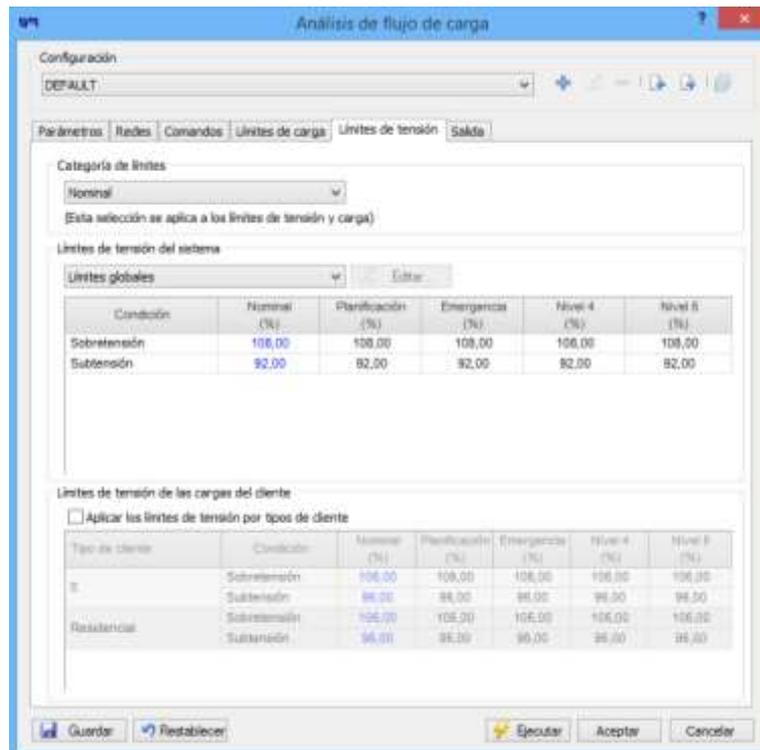


Figura 4-3. Límites de subtensión y sobretensión para los flujos de carga.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

4.1.3 Configuración para la selección de las redes de distribución.

Se realiza una migración de la información georreferenciada de la plataforma GIS a dos archivos denominados “Equipo” y “Red” en formato Microsoft Access Database. La data base “Red” Network Database nos muestra las topologías y estructuras, es decir, características de los nodos (envío y recibo), equipamiento, longitud de los tramos, carga de los transformadores, fases, etc. y, la data “Equipo” Equipment Database muestra los resultados de datos de placa.

Se procede a crear un estudio con la utilización de las bases de datos y se despliega la información de todos los alimentadores existentes de la CNEL-EP EL ORO, para lo cual se seleccionó los marcados en la figura 4-4.

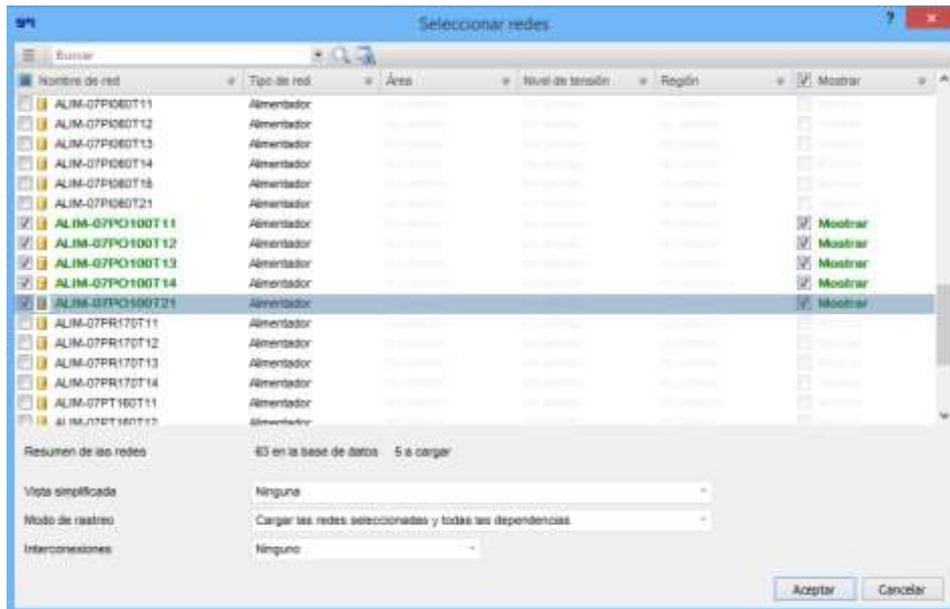


Figura 4-4. Selección de los alimentadores para el respectivo estudio.

Fuente: Software CYMDIST.

4.2 Análisis del Alimentador Zaruma a través de flujos de carga.

El alimentador Zaruma ALIM-07PO100T21 tiene 3000 tramos, divididos en 672 trifásicos, 34 bifásicos y 2.294 monofásicos, cuatro bancos de condensadores shunt de 300 kVAR, tres de ellos colocados a lo largo del ramal principal y uno en cabecera (07_CAPA_CPM_6116) y, un reconectador ubicado en su cabecera, como se observa en la figura 4-5.

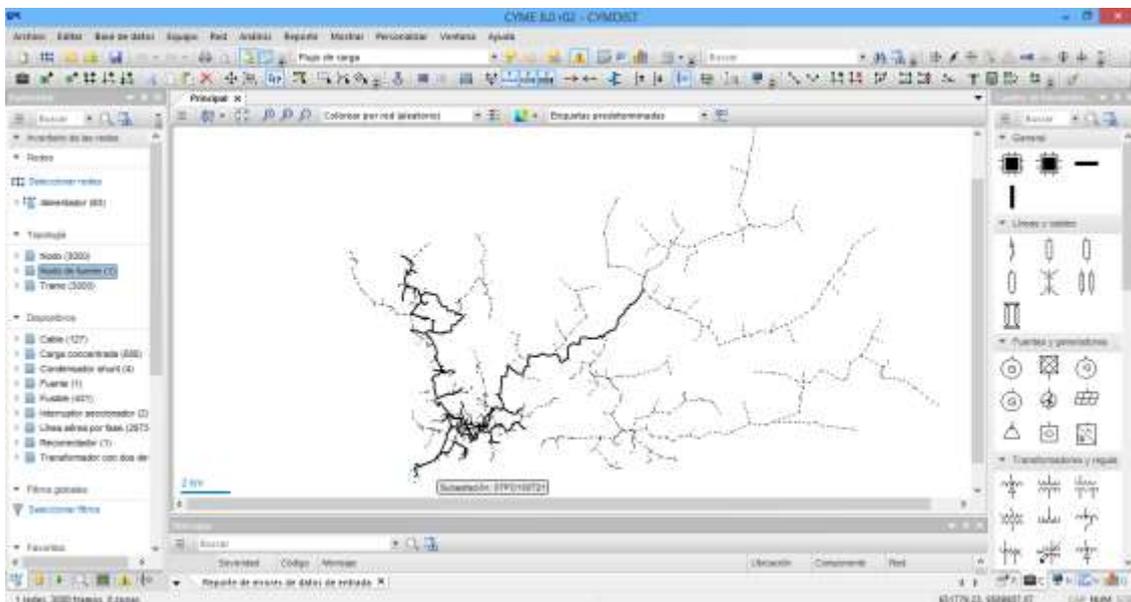


Figura 4-5. Alimentador Zaruma 07PO100T21.

Fuente: Software CYME-CYMDIST.

4.2.1 Ingreso de los datos para la distribución de carga.

La figura 4-6 muestra la pestaña de propiedades de red, donde se ingresa los datos en kW-FP, el voltaje de servicio en kVLN y el Fc.

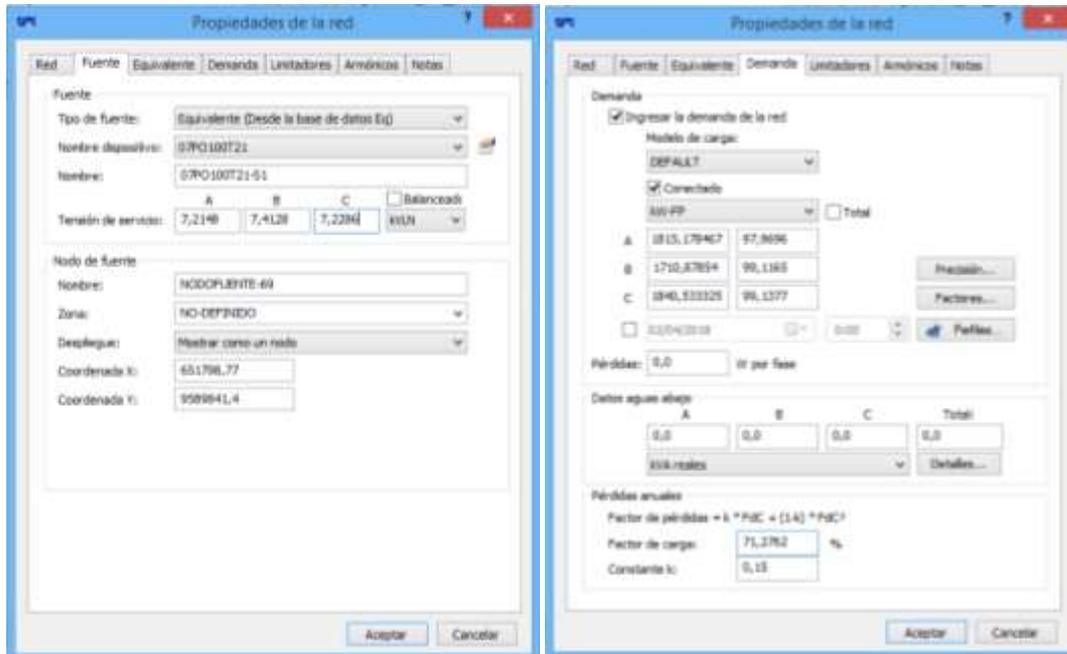


Figura 4-6. Propiedades de red del alimentador Zaruma.

Fuente: Software CYME – CYMDIST.

Se realizó distribución de carga en la que se puede notar el nivel de voltaje está por debajo de los límites, ver la figura 4-7.

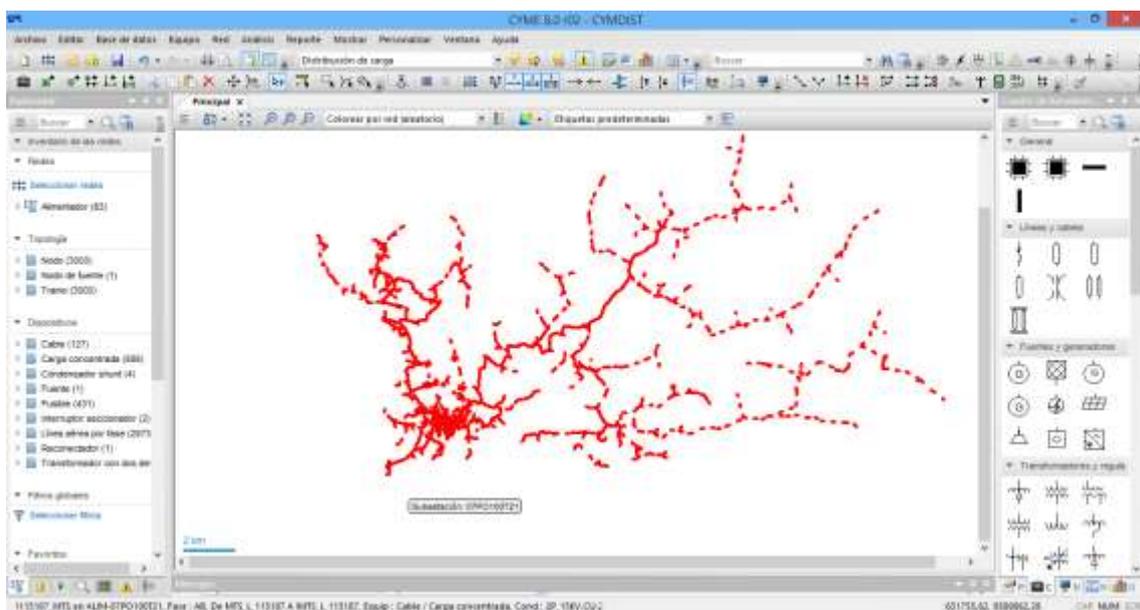


Figura 4-7. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Zaruma.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

4.2.2 Flujos de carga del alimentador Zaruma.

La tabla 4-1 describe las potencias de paso y las pérdidas totales de los tramos iniciales del alimentador Zaruma.

Tabla 4-1. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Zaruma.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Fp Avg (%)
FUENTE-69	MTA_S_3204	0,040	5387,745	824,744	5450,505	2,398	1,311	98,849
MTA_S_3204	MTA_S_225935	0,001	5385,347	823,874	5448,003	0,028	0,048	98,850
MTA_S_225935	MTA_S_225936	0,009	5385,320	823,826	5447,968	0,482	0,840	98,850
MTA_S_225936	MTA_S_101842	0,290	5384,837	1129,841	5502,091	15,376	26,811	97,869
MTA_S_101842	MTA_S_177539	0,184	5358,492	1099,510	5470,134	9,686	16,892	97,959
MTA_S_177539	MTA_S_141395	0,150	5345,088	1081,546	5453,413	7,887	13,754	98,014
MTA_S_141395	MTA_S_101826	0,963	5293,614	1054,599	5397,641	49,895	87,011	98,073
MTA_S_101826	MTA_S_102129	0,466	4939,662	872,975	5016,209	21,390	37,320	98,474
MTA_S_102129	MTA_S_102094	0,197	4913,065	834,441	4983,422	9,005	15,712	98,588
MTA_S_102094	MTA_S_102131	0,065	4904,059	818,846	4971,952	2,987	5,211	98,634
MTA_S_102131	MTA_S_103536	0,103	4901,072	813,673	4968,156	4,736	8,264	98,650
MTA_S_103536	MTA_S_312133	0,040	4891,129	803,980	4956,766	1,851	3,230	98,676
MTA_S_312133	MTA_S_102134	0,100	4880,832	798,051	4945,645	4,566	7,968	98,689
MTA_S_102134	MTA_S_102137	0,035	4865,340	786,680	4928,529	1,585	2,765	98,718
MTA_S_102137	MTA_S_102152	0,086	4787,269	758,371	4846,965	3,758	6,550	98,768
MTA_S_102152	MTA_S_102154	0,112	4773,125	748,885	4831,517	4,883	8,511	98,791

En la tabla 4-1 se observa que en el nodo (MTA_S_141395 – MTA_S_141826) existe un aumento de la potencia de paso reactiva (kVAR), debido a que en ese tramo se tiene instalado un banco de capacitores de 300 kVAR y el Fp registrado en la cabecera del alimentador es de 98,84%.

La tabla 4-2 muestra el reporte del nivel de voltaje kVLN y las corrientes, de los tramos iniciales.

4.2.3 Resultados obtenidos del flujo de carga del alimentador Zaruma.

La figura 4-8 presenta el perfil de potencia en kVA a lo largo del ramal troncal. La demanda máxima se registra en los primeros 3 km con valores de 1.835,2 kVA en la fase A y de 1830,5 kVA en la fase C, luego la potencia disminuye a 720 kVA y se distribuye a lo largo de las tres fases, siendo la potencia de paso A la más sobrecargada hasta una distancia de 15,4 km.

El voltaje en la cabecera es de 12,6 kVLL y a medida que se aleja de la subestación el alimentador tiene una caída del 7,732% a una distancia de 17,9 km, ver la figura 4-9.

Tabla 4-2. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes (A) del alimentador Zaruma.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	IA (A)	IB (A)	IC (A)
FUENTE-69	MTA_S_3204	0,040	7,215	7,413	7,229	261,338	231,403	255,962
MTA_S_3204	MTA_S_225935	0,001	7,211	7,410	7,225	261,342	231,405	255,965
MTA_S_225935	MTA_S_225936	0,009	7,211	7,410	7,225	261,342	231,405	255,965
MTA_S_225936	MTA_S_101842	0,290	7,210	7,409	7,224	264,021	233,713	258,466
MTA_S_101842	MTA_S_177539	0,184	7,182	7,387	7,193	264,013	232,171	258,467
MTA_S_177539	MTA_S_141395	0,150	7,164	7,373	7,174	263,472	232,172	258,469
MTA_S_141395	MTA_S_101826	0,963	7,150	7,362	7,158	261,381	230,038	256,423
MTA_S_101826	MTA_S_102129	0,466	7,060	7,292	7,058	248,724	214,713	240,153
MTA_S_102129	MTA_S_102094	0,197	7,019	7,262	7,013	248,727	214,715	239,387
MTA_S_102094	MTA_S_102131	0,065	7,001	7,249	6,994	248,728	214,716	239,388
MTA_S_102131	MTA_S_103536	0,103	6,996	7,245	6,988	248,728	214,716	239,388
MTA_S_103536	MTA_S_312133	0,040	6,986	7,238	6,978	248,729	214,716	238,618
MTA_S_312133	MTA_S_102134	0,100	6,983	7,236	6,974	248,729	213,506	238,618
MTA_S_102134	MTA_S_102137	0,035	6,974	7,229	6,965	248,193	212,961	238,095
MTA_S_102137	MTA_S_102152	0,086	6,971	7,227	6,961	236,764	212,961	238,095
MTA_S_102152	MTA_S_102154	0,112	6,964	7,221	6,954	236,764	212,962	236,552

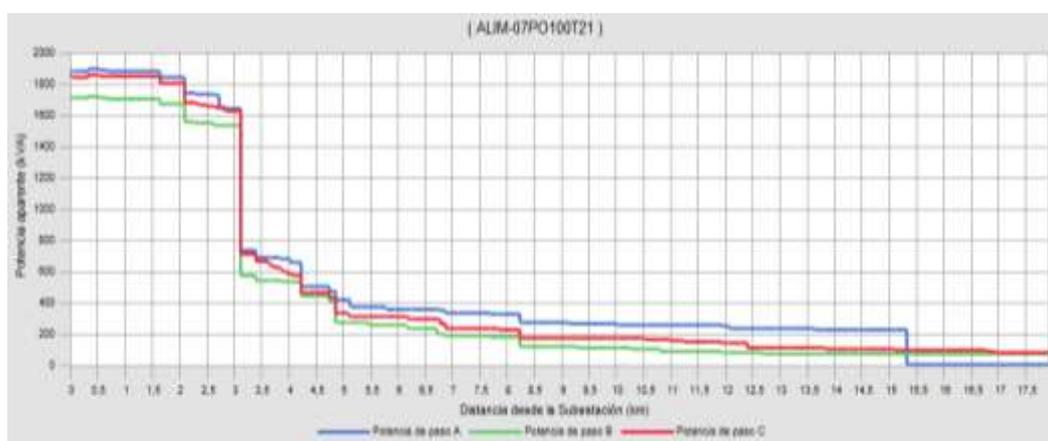


Figura 4-8. Perfil de la demanda en kVA del alimentador Zaruma.

Fuente: Software CYME – CYMDIST.

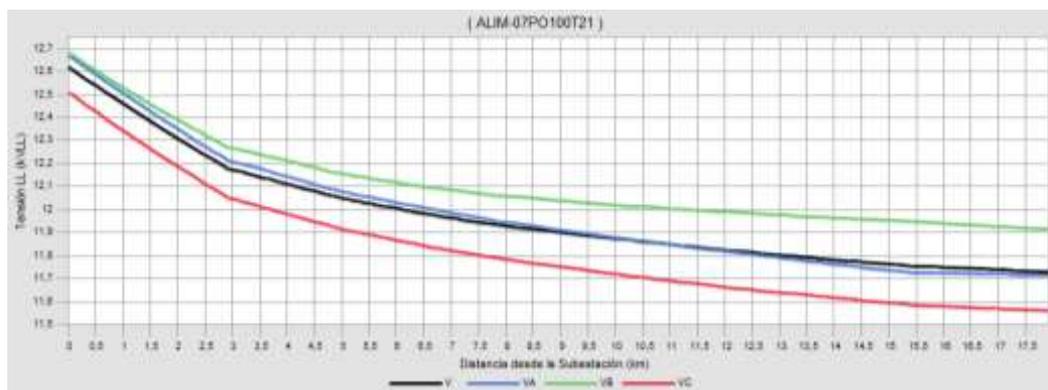


Figura 4-9. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Zaruma.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 4-3 tiene los resultados de caída de voltaje kVLL del alimentador Zaruma teniendo en la fase kVLL AB un mayor porcentaje de caída del 9,017%.

Tabla 4-3. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Zaruma – Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,712	12,875	12,740	12,522
17,931	11,729	11,714	11,914	11,559
%	7,732	9,017	6,483	7,690

El perfil de voltaje kVLN se observa un desbalance en las tres fases en el que la fase B registra un mayor voltaje respecto a las fases A y C, ver la figura 4-10.



Figura 4-10. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Zaruma.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El porcentaje de caída de voltaje en la fase B es de 7,209% y las otras fases valores de 8,51% en A y C de 8,68%, ver la tabla 4-4.

Tabla 4-4. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Zaruma – Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,00	7,285	7,214	7,412	7,228
17,931	6,772	6,600	7,100	6,600
%	7,041	8,511	7,209	8,688

En la tabla 4-5 se presentan las pérdidas en las líneas, cables y transformadores, del circuito Zaruma.

Tabla 4-5. Resultados de las pérdidas del alimentador Zaruma.

Fuente: Autores.

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	258,582	1309,296
Pérdidas en los cables	2,415	12,231
Pérdidas de carga del transformador	26,624	134,808
Pérdidas en vacío del transformador	58,445	511,983
Pérdidas totales	346,067	1968,318

4.3 Análisis del Alimentador Piñas a través de flujos de carga.

El alimentador Piñas ALIM-07PO100T12 tiene 3382 tramos en todo el circuito, divididos en 550 trifásicos y 2.832 monofásicos, un banco de condensadores shunt de 300 kVAR ubicado en el tramo 279593_MTA a una distancia de 3,5 km a la subestación, un reconector que se encuentra a 7,7 km del ramal troncal y un regulador de voltaje trifásico en el ramal principal 369042_MTA a una longitud de 6,2 km, ver la figura 4-11.

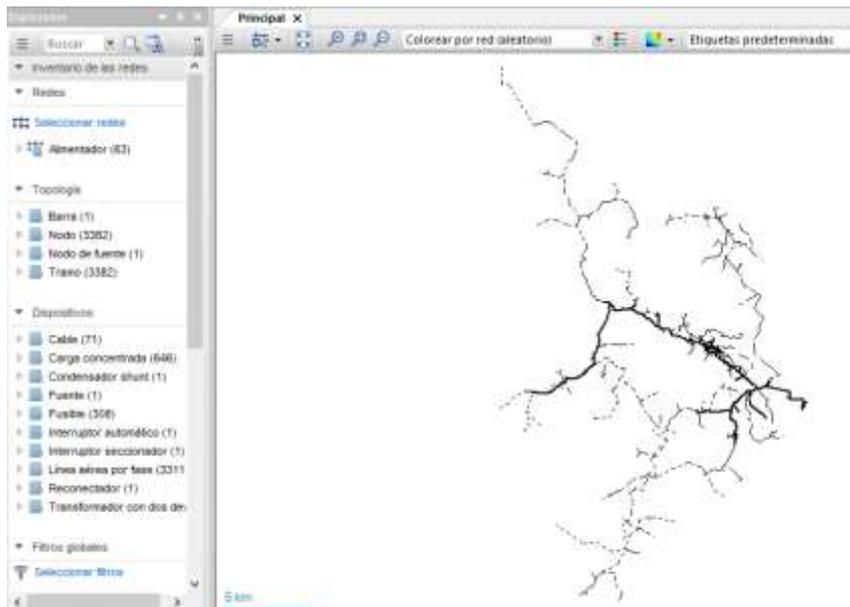


Figura 4-11. Alimentador Piñas 07PO100T12.

Fuente: Software CYME-CYMDIST.

4.3.1 Ingreso de los datos para la distribución de carga.

Ingreso de parámetros kW-FP, voltajes kVLN y el Fc en la pestaña de propiedades de red, ver la figura 4-12.

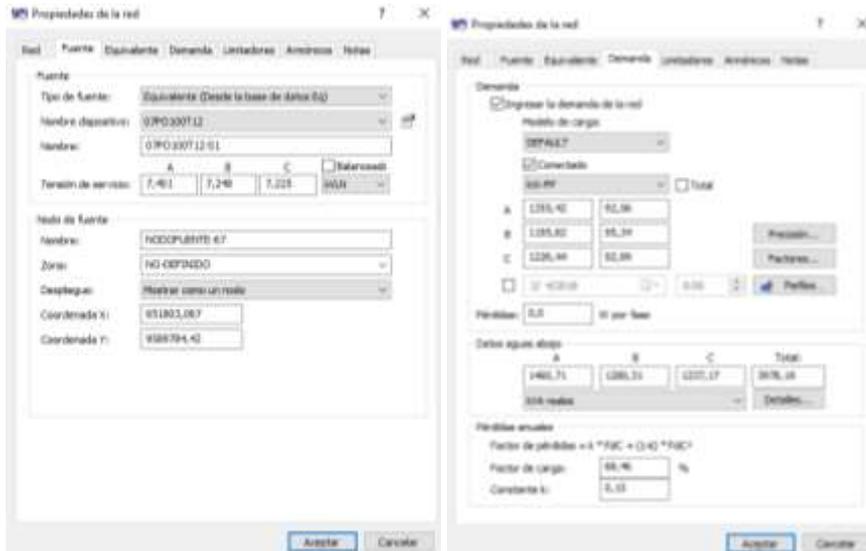


Figura 4-12. Propiedades de red del alimentador Piñas.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La distribución de carga presenta los siguientes resultados, véase la figura 4-13. El alimentador Piñas tiene índices bajos de voltajes dados a los registrados en la cabecera.

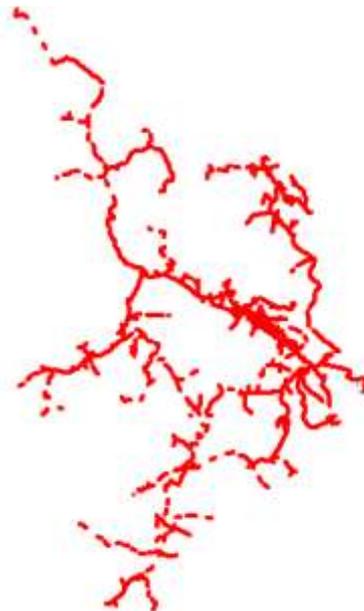


Figura 4-13. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Piñas.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

4.3.2 Flujos de carga del alimentador Piñas.

La tabla 4-6 muestra las potencias, pérdidas totales y el Fp Avg por tramo del alimentador Piñas.

El factor de potencia registrado en la cabecera del alimentador es de 93,57%, el cual está encima de los límites establecidos por el CONELEC 004/01 que es de 92%.

Tabla 4-6. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Fp Avg (%)
NFUENTE-67	MTA_S_176799	0,038	3774,509	1417,854	4032,025	2,405	0,739	93,57
MTA_S_176799	MTA_S_176796	0,196	3772,103	1417,445	4029,630	5,562	9,721	93,57
MTA_S_176796	MTA_S_176785	0,215	3541,114	1314,790	3777,322	5,391	9,426	93,70
MTA_S_176785	MTA_S_152036	0,613	3535,722	1305,499	3769,040	15,373	26,877	93,76
MTA_S_152036	MTA_S_152002	0,135	3520,349	1279,004	3745,492	3,378	5,905	93,94
MTA_S_152002	MTA_S_152003	0,177	3513,645	1271,836	3736,745	4,435	7,754	93,98
MTA_S_152003	MTA_S_152039	0,036	43,961	17,998	47,503	0,000	0,000	92,53
MTA_S_152003	MTA_S_152041	0,170	3465,248	1246,192	3682,518	4,147	7,251	94,05
MTA_S_152041	MTA_S_354993	0,162	3461,101	1239,046	3676,201	3,953	6,911	94,10
MTA_S_354993	MTA_S_354995	1,419	3457,148	1232,233	3670,187	34,637	60,560	94,15
MTA_S_354995	MTA_S_152044	0,084	3411,484	1168,259	3605,975	2,040	3,566	94,56
MTA_S_152044	MTA_S_152998	0,103	270,607	120,415	296,189	0,183	0,163	91,36
MTA_S_152998	MTA_S_152335	0,273	262,316	116,713	287,109	0,456	0,405	91,36
MTA_S_152335	MTA_S_152373	0,210	261,860	116,345	286,543	0,350	0,312	91,39
MTA_S_153320	MTA_S_152337	0,407	256,094	113,721	280,208	0,652	0,580	91,39
MTA_S_152337	MTA_S_152338	0,061	255,442	113,196	279,399	0,098	0,087	91,43

El reporte del nivel de voltaje kVLN y las corrientes por fase de los tramos iniciales del alimentador Piñas se detalla en la tabla 4-7.

Tabla 4-7. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	IA (A)	IB (A)	IC (A)
NFUENTE-67	MTA_S_176799	0,038	7,401	7,248	7,225	199,343	172,133	181,437
MTA_S_176799	MTA_S_176796	0,196	7,396	7,244	7,221	199,349	172,138	181,442
MTA_S_176796	MTA_S_176785	0,215	7,377	7,232	7,205	188,062	161,298	170,065
MTA_S_176785	MTA_S_152036	0,613	7,358	7,221	7,188	188,064	161,300	170,067
MTA_S_152036	MTA_S_152002	0,135	7,303	7,188	7,141	188,071	161,305	170,073
MTA_S_152002	MTA_S_152003	0,177	7,291	7,180	7,131	187,904	161,146	169,906
MTA_S_152003	MTA_S_152039	0,036	7,275	7,171	7,117	2,226	2,142	2,242
MTA_S_152003	MTA_S_152041	0,170	7,275	7,171	7,117	185,682	159,012	167,665
MTA_S_152041	MTA_S_354993	0,162	7,260	7,162	7,104	185,684	159,014	167,667
MTA_S_354993	MTA_S_354995	1,419	7,246	7,153	7,092	185,686	159,015	167,669
MTA_S_354995	MTA_S_152044	0,084	7,121	7,079	6,985	185,137	158,486	167,114
MTA_S_152044	MTA_S_152998	0,103	7,114	-	-	41,634	-	-
MTA_S_152998	MTA_S_152335	0,273	7,108	-	-	40,390	-	-
MTA_S_152335	MTA_S_152373	0,210	7,094	-	-	40,392	-	-
MTA_S_153320	MTA_S_152337	0,407	7,083	-	-	39,561	-	-
MTA_S_152337	MTA_S_152338	0,061	7,062	-	-	39,564	-	-

En los tramos donde no se registran valores, se debe a que son monofásicos. El orden de los nodos dependerá de cómo este realizado el levantamiento de la topología en el software.

4.3.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.

Se registra un desbalance en las tres fases del alimentador Piñas, la fase A tiene un consumo de 1470 kVA superior a las fases B y C. A partir de los 4 km el desbalance cambia a la fase C con valores de 1100 kVA y las líneas A y B entre 800 y 700 kVA, a los 7 km la demanda llega a parámetros similares cerca de 600 kVA y al final la potencia se reduce a valores de 200 kVA, ver la figura 4-14.

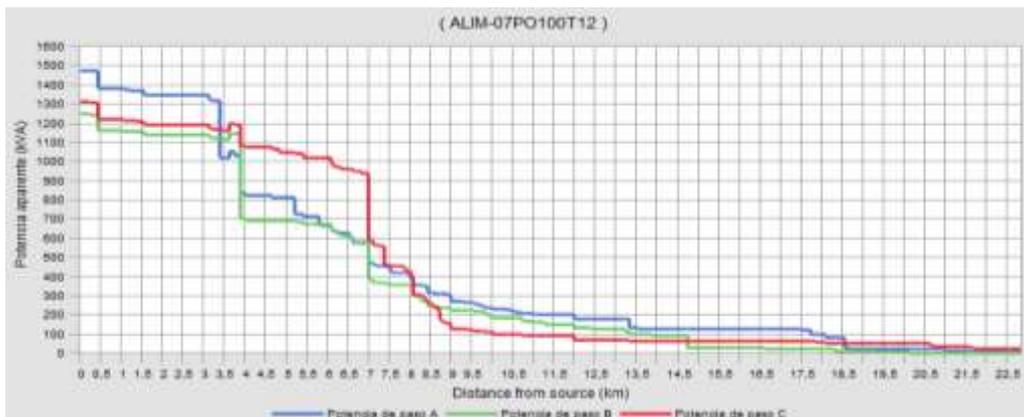


Figura 4-14. Perfil de la demanda en kVA del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME – CYMDIST.

El perfil de voltaje kVLL del alimentador Piñas tiene una caída de voltaje promedio del 8,52% en toda la longitud del ramal troncal. A partir de los 3,5 km la fase VAB es la menos sobrecargada teniendo una menor caída con un voltaje de 11,63 kVLL, ver la figura 4-15.

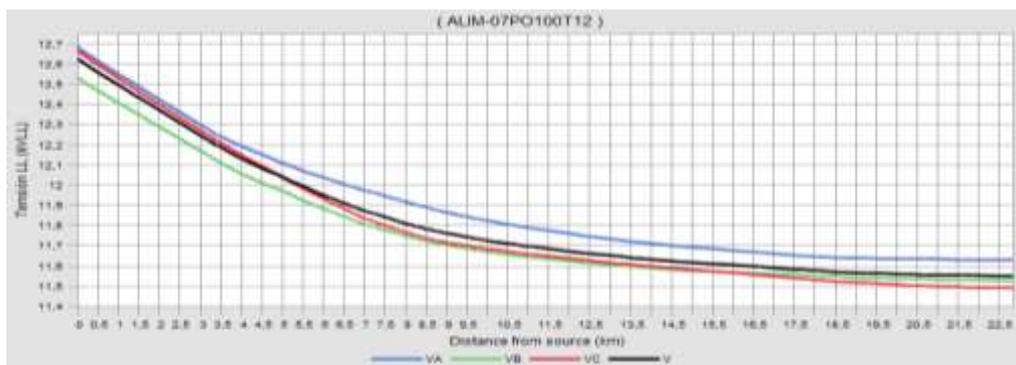


Figura 4-15. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME – CYMDIST

El mayor desbalance se da en la fase VCA con un porcentaje de 9,43% que representa 11,49 kVLL, ver la tabla 4-8. La fase VBC tiene el nivel más bajo en la cabecera, pero el porcentaje de caída menor debido a que tiene menos carga conectada al tramo línea-línea.

Tabla 4-8. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas – Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,628	12,772	12,524	12,689
22,841	11,551	11,633	11,528	11,492
%	8,528	8,917	7,987	9,433

En el perfil de voltaje kVLN se aprecia de mejor manera las caídas que existen en las tres fases, donde la fase C tiene el índice de caída más crítico con el 10,03%, ver la figura 4-16.

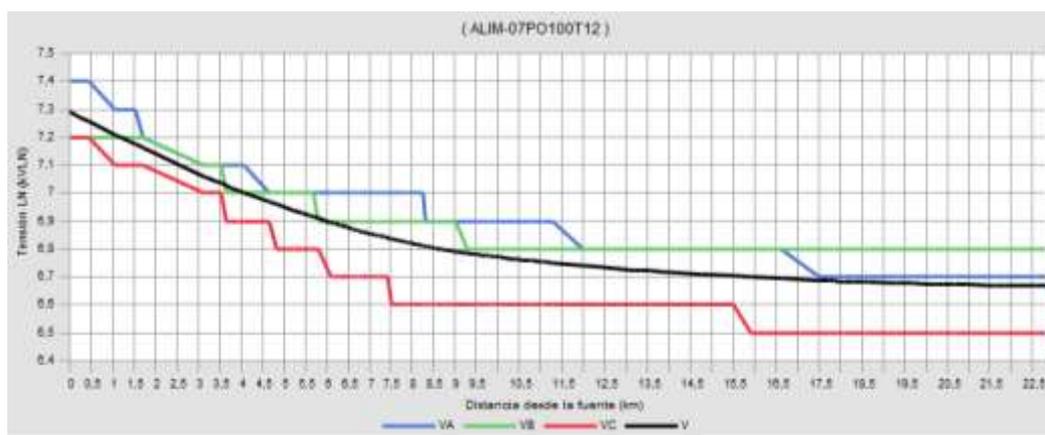


Figura 4-16. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En la tabla 4-9, se observa que la distancia del ramal troncal es mayor por lo que las caídas de voltajes son mayores, la fase VB tiene el menor índice de caída con el 6,18% que representa 6,80 kVLN.

Tabla 4-9. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Piñas – Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,00	7,292	7,401	7,248	7,225
22,841	6,669	6,700	6,800	6,500
%	8,543	9,472	6.181	10,034

En la tabla 4-10, se indican las pérdidas totales del alimentador Piñas al año.

Tabla 4-10. Resultados de las pérdidas del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	181,448	796,530
Pérdidas en los cables	2,409	10,574
Pérdidas de carga del transformador	12,379	54,343
Pérdidas en vacío del transformador	46,644	408,599
Pérdidas totales	242,880	1270,045

4.4 Análisis del Alimentador Atahualpa a través de flujos de carga.

El alimentador Atahualpa ALIM-07PO100T13 tiene 1250 tramos en todo el circuito que se dividen en 374 tramos trifásicos, 15 bifásicos y 861 monofásicos, dos bancos de condensadores shunt de 300 kVAR colocados a lo largo del ramal troncal, uno se encuentra en la cabecera del alimentador y el otro en el tramo 279632_MTA a 13,7 km de la subestación, un reconectador al inicio del alimentador y un regulador de voltaje trifásico ubicado en el tramo 369048_MTA a 9,8 km de la subestación, ver la figura 4-17.

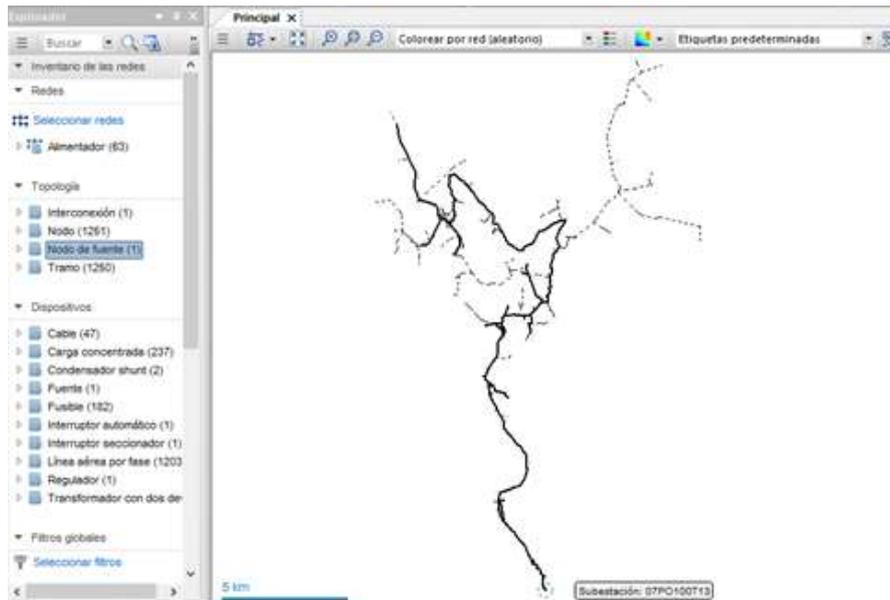


Figura 4-17. Alimentador Atahualpa 07PO100T13.

Fuente: Software CYME-CYMDIST.

4.4.1 Ingreso de los datos para la distribución de carga.

En la figura 4-18, se muestra la pestaña de la red en la cual se ingresaron valores de kW, Fp, Fc y kVLN para la distribución de carga.

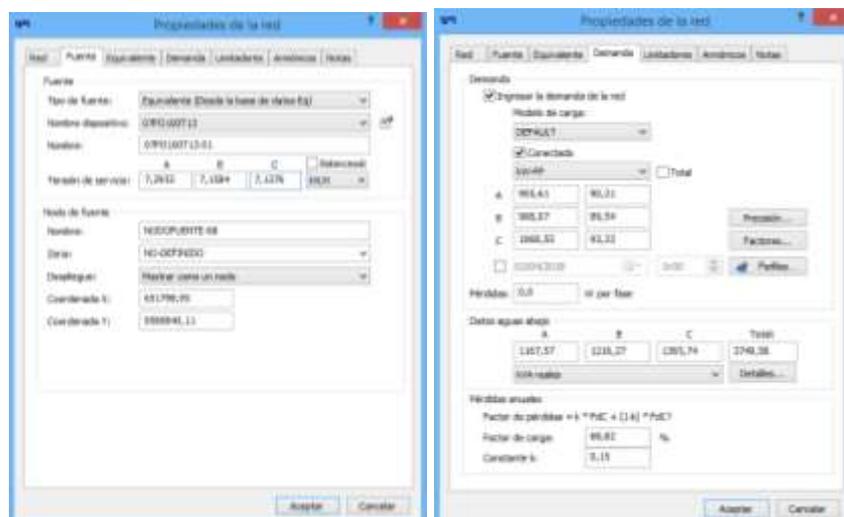


Figura 4-18. Propiedades de red del alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME – CYMDIST.

El alimentador cambio de color lo que identifica problemas de subtensiones en todos los tramos del circuito Atahualpa, ver la figura 4-19.

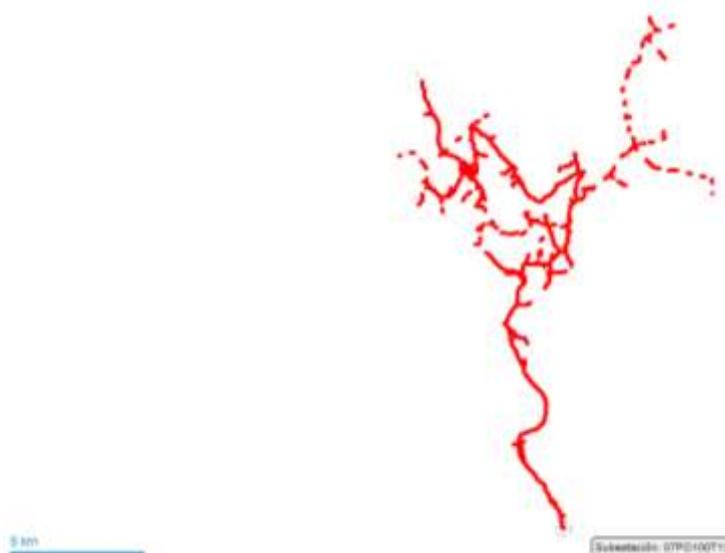


Figura 4-19. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME – CYMDIST.

4.4.2 Flujos de carga del alimentador Atahualpa.

En la tabla 4-11, se detallan los tramos iniciales del alimentador Atahualpa y se presentan los resultados de las potencias de paso, pérdidas totales y el Fp promedio.

Tabla 4-11. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Fp Avg (%)
NFUENTE-68	MTA_S_225940	0,041	2908,878	1285,523	3180,274	0,837	0,459	91,463
MTA_S_225940	MTA_S_225941	0,005	2908,041	1285,498	3179,498	0,107	0,155	91,459
MTA_S_225941	MTA_S_177168	0,085	2907,933	1584,556	3311,630	2,097	3,041	87,806
MTA_S_106981	MTA_S_177168	0,022	36,755	21,743	42,704	0,000	0,000	86,068
MTA_S_106981	MTA_S_64700	0,011	18,388	10,888	21,370	0,000	0,000	86,047
MTA_S_64700	MTA_S_64502	0,002	18,388	10,894	21,373	0,000	0,000	86,034
MTA_S_64502	MTA_L_64502	0,002	18,388	10,895	21,374	0,000	0,000	86,032
MTA_S_106981	MTA_S_206364	0,002	18,366	10,868	21,341	0,000	0,000	86,062
MTA_S_206364	MTA_S_106983	0,046	18,366	10,869	21,341	0,000	0,000	86,060
MTA_S_106983	MTA_L_106983	0,001	18,366	10,896	21,355	0,000	0,000	86,004
MTA_S_177168	MTA_S_108589	0,080	2869,082	1559,824	3265,682	1,915	2,777	87,851
MTA_S_108589	MTA_S_108591	0,019	2830,458	1535,239	3220,008	0,691	0,660	87,898
MTA_S_108591	MTA_S_108609	0,046	2780,881	1505,445	3162,224	1,629	1,556	87,936
MTA_S_108609	MTA_S_311275	0,032	2760,864	1493,018	3138,706	1,142	1,090	87,957
MTA_S_311275	MTA_S_108611	0,234	2753,594	1488,312	3130,072	8,222	7,854	87,968
MTA_S_108611	MTA_S_106990	0,009	2690,353	1447,644	3055,106	0,292	0,279	88,056

La potencia reactiva kVAR en el nodo (MTA_S_225941 – MTA_S_177168) tiene un aumento en el tramo de paso, esto se debe a que se tiene colocado un banco de capacitores de 300 kVAR. Se registra un Fp en la cabecera del alimentador de 91,24% lo que indica que está por debajo del límite establecido por el CONELEC 004/01 que es de 92%, una de las causas por el bajo Fp es por las pérdidas que tiene el circuito Atahualpa. En la tabla 4-12, se tiene el reporte del nivel de voltaje kVLN y las corrientes por fase de los tramos iniciales, del alimentador Atahualpa.

Tabla 4-12. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Atahualpa.
Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	IA (A)	IB (A)	IC (A)
NFUENTE-68	MTA_S_225940	0,041	7,293	7,158	7,127	153,224	148,046	155,444
MTA_S_225940	MTA_S_225941	0,005	7,291	7,156	7,125	153,232	148,054	155,451
MTA_S_225941	MTA_S_177168	0,085	7,290	7,155	7,124	159,752	154,508	160,989
MTA_S_106981	MTA_S_177168	0,022	7,283	7,148	7,117	2,180	2,059	2,078
MTA_S_106981	MTA_S_64700	0,011	7,283	7,148	7,117	1,091	1,031	1,040
MTA_S_64700	MTA_S_64502	0,002	7,283	7,148	7,117	1,091	1,031	1,040
MTA_S_64502	MTA_L_64502	0,002	7,283	7,148	7,117	1,091	1,031	1,040
MTA_S_106981	MTA_S_206364	0,002	7,283	7,148	7,117	1,089	1,029	1,039
MTA_S_206364	MTA_S_106983	0,046	7,283	7,148	7,117	1,089	1,029	1,039
MTA_S_106983	MTA_L_106983	0,001	7,283	7,148	7,117	1,090	1,030	1,039
MTA_S_177168	MTA_S_108589	0,080	7,283	7,148	7,117	157,574	152,451	158,914
MTA_S_108589	MTA_S_108591	0,019	7,276	7,141	7,110	155,393	150,392	156,836
MTA_S_108591	MTA_S_108609	0,046	7,274	7,139	7,108	152,484	147,646	154,067
MTA_S_108609	MTA_S_311275	0,032	7,269	7,134	7,103	151,392	146,614	153,026
MTA_S_311275	MTA_S_108611	0,234	7,266	7,130	7,099	151,393	146,615	151,884
MTA_S_108611	MTA_S_106990	0,009	7,240	7,104	7,074	148,103	143,509	148,750

4.4.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.

En la cabecera del alimentador se tiene el mayor registro con una demanda máxima de 1200 kVA en la fase A, en las fases B y C en parámetros de 1100 y 1150 kVA, ver la figura 4-20. El consumo que tiene el circuito es menor con respecto a los cuatro alimentadores analizados y el desbalance que se produce en las fases es manejable, con cierta sobrecarga en la fase A.

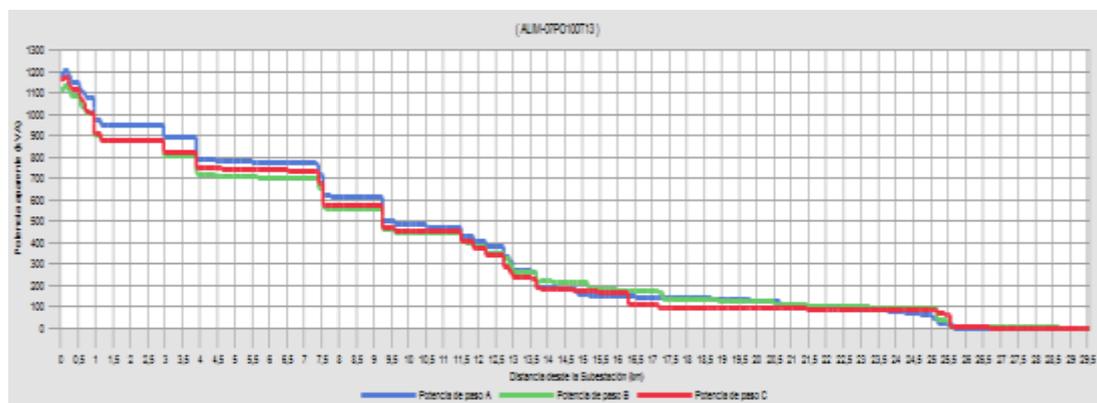


Figura 4-20. Perfil en kVA del alimentador Atahualpa.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La figura 4.21 muestra el perfil de voltaje kVLL del alimentador Atahualpa. La fase línea-línea VBC tiene una mayor caída de voltaje con respecto a las fases VAB y VCA. Uno de los factores es por la sobrecarga en los tramos del circuito.

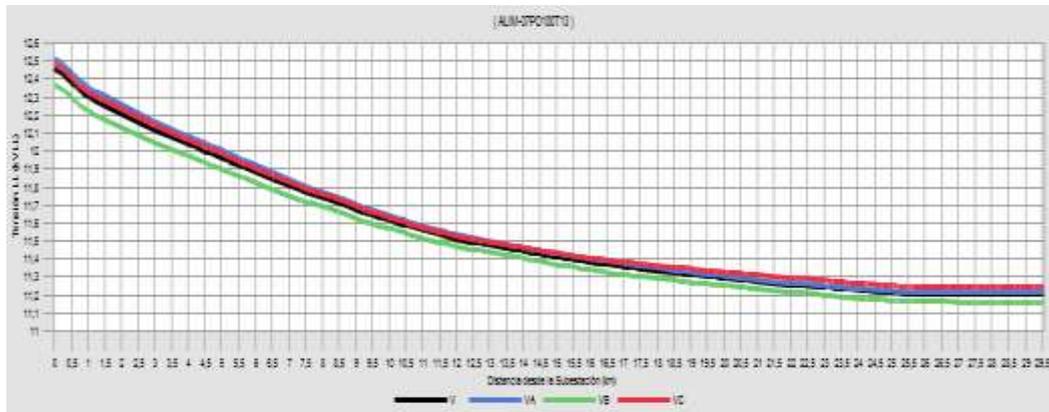


Figura 4-21. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 4-13 presenta los resultados en porcentaje de caída de voltaje kVLL del ramal troncal donde la fase kVLL-VAB tiene el mayor índice de desbalance del 10,96%.

Tabla 4-13. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Atahualpa – Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL(Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,457	12,598	12,228	12,491
29,561	11,208	11,217	11,160	11,246
%	10,026	10,962	8,734	9,433

En el perfil de voltaje kVLN, de la fase A tiene un menor índice de caída de voltaje y la fase B tiene el mayor índice llegando a valores de 6,40 kVLN, ver la figura 4-22.

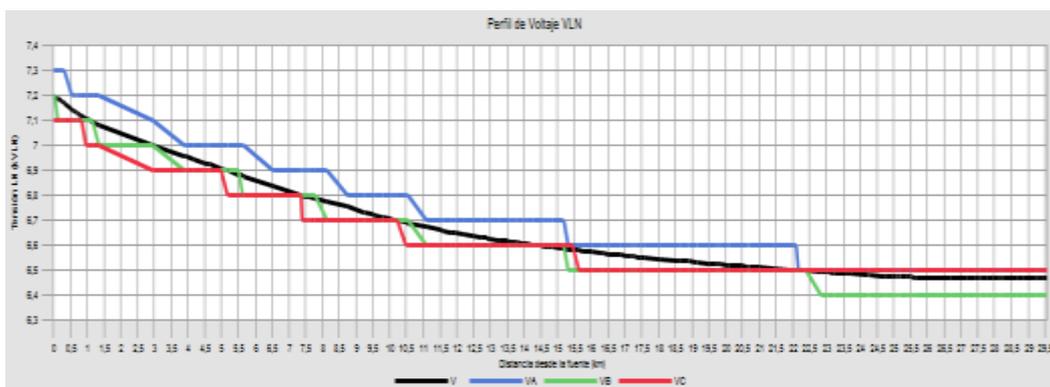


Figura 4-22. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El alimentador Atahualpa tiene el ramal troncal más extenso con 29,56 km por ende las caídas de voltaje son aún mayores y se observa como las fases VA y VB tiene el porcentaje más alto de caída con el 10,87% y 10,58%, ver la tabla 4-14.

Tabla 4-14. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Atahualpa– Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,00	7,193	7,293	7,158	7,127
29,561	6,471	6,500	6,400	6,500
%	10,037	10,873	10,589	8,797

Las pérdidas que tiene el alimentador Atahualpa al año se describen en la tabla 4-15.

Tabla 4-15. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	139,636	618,656
Pérdidas en los cables	0,921	4,082
Pérdidas de carga del transformador	22,397	99,230
Pérdidas en vacío del transformador	26,438	231,594
Pérdidas totales	189,393	953,563

4.5 Análisis del Alimentador Osorio a través de flujos de carga.

El alimentador Osorio tiene un total 1753 tramos, se encuentran repartidos en 428 trifásicos, 3 bifásicos y 1.322 monofásicos, dos bancos de condensadores shunt de 300 kVAR en el ramal principal a una distancia de 2,1 km y 2,9 km y un reconectador en el tramo 290075_MTA a una distancia de 5,4 km desde la subestación, ver la figura 4-23.

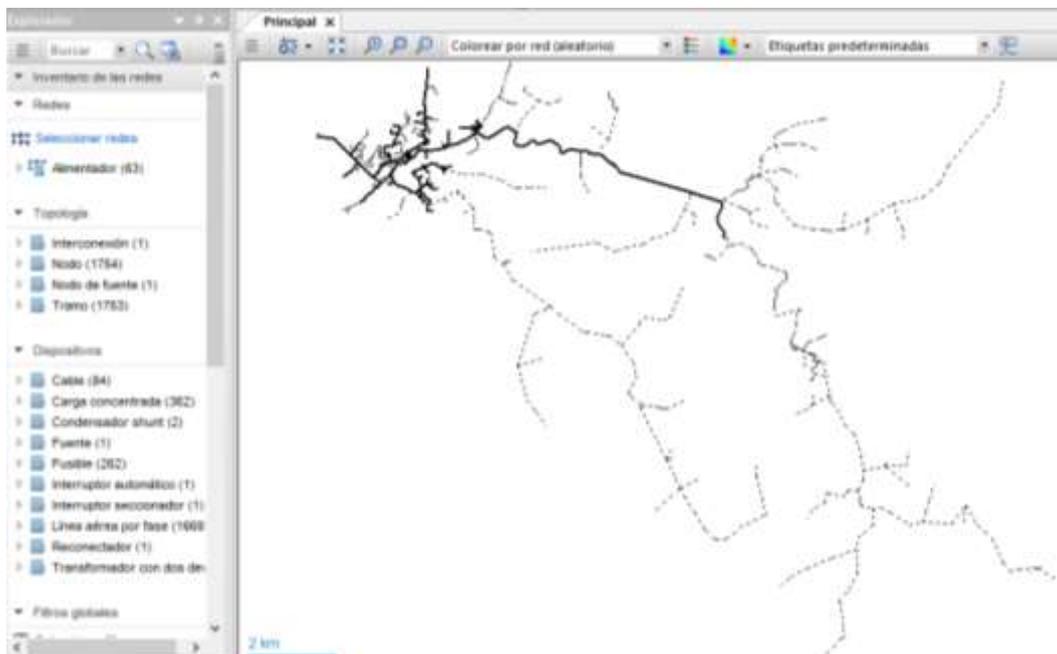


Figura 4-23. Selección del alimentador Osorio 07PO100T14.

Fuente: Software CYME-CYMDIST.

4.5.1 Distribución de carga.

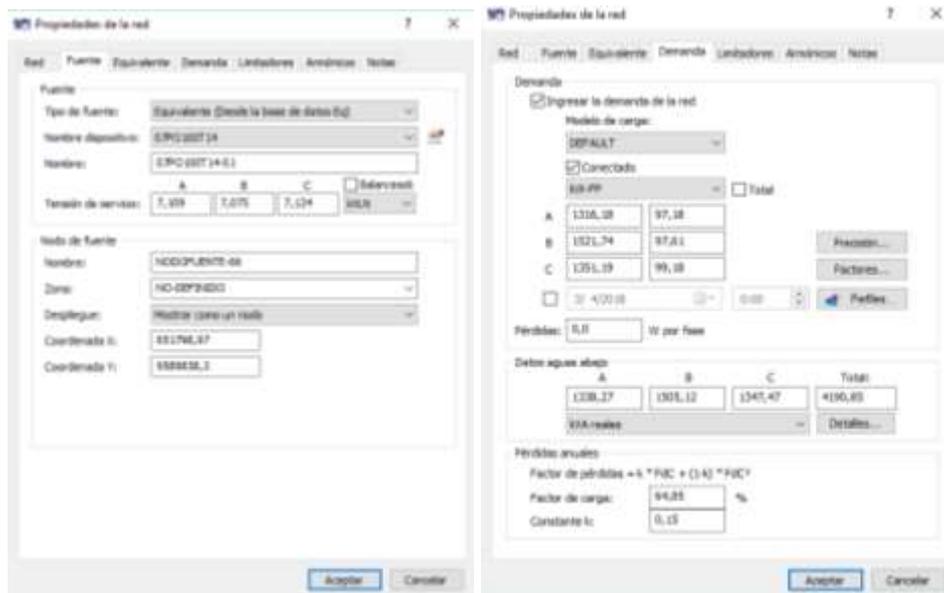


Figura 4-24. Propiedades de red del alimentador Osorio.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Se evidencia en la distribución de carga del circuito Osorio niveles de voltaje por debajo de los límites establecidos, ver la figura 4-25.



Figura 4-25. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Osorio.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

4.5.2 Flujos de carga del alimentador Osorio.

Los resultados de los nodos (origen - destino), potencias de paso (kW, kVA, kVAR), pérdidas totales (kW, kVAR) y el Fp promedio están en la tabla 4-16.

Tabla 4-16. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Osorio.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Fp Avg (%)
NFUENTE-66	MTA_S_3203	0,035	4172,013	823,914	4252,590	2,634	0,810	97,95
MTA_S_3203	MTA_S_192492	0,001	4169,378	823,393	4249,905	0,029	0,050	97,95
MTA_S_192492	MTA_S_192494	0,018	4169,350	823,343	4249,867	0,610	1,068	97,95
MTA_S_192494	MTA_S_192495	0,076	4168,740	822,286	4249,064	2,567	4,494	97,96
MTA_S_192495	MTA_S_196963	0,345	4166,173	817,864	4245,692	11,665	20,422	97,97
MTA_S_196963	MTA_S_336445	0,531	4146,479	795,729	4222,140	17,866	31,283	98,06
MTA_S_336445	MTA_S_245370	0,241	4112,586	760,439	4182,299	8,043	14,084	98,18
MTA_S_245370	MTA_S_192803	0,126	4104,543	746,757	4171,920	4,219	7,389	98,24
MTA_S_192803	MTA_S_192804	0,454	4095,425	737,964	4161,381	15,114	26,463	98,27
MTA_S_192804	MTA_S_192813	0,040	4069,648	708,520	4130,864	1,339	2,344	98,37
MTA_S_192813	MTA_S_192814	0,001	6,410	1,947	6,699	0,000	0,000	95,55
MTA_S_192814	MTA_L_192814	0,001	6,410	1,947	6,699	0,000	0,000	95,55
MTA_L_192814	IMTA_L_192814	0,000	6,286	1,864	6,557	0,000	0,000	95,77
MTA_S_64338	MTA_S_192813	0,018	4061,899	704,250	4122,499	0,581	1,017	98,38
MTA_S_64326	MTA_S_64338	0,012	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,00

En la cabecera del alimentador Osorio se registra un factor de potencia de 97,95%. Se puede observar que la potencia en kVA es consumida en su totalidad por la potencia activa.

El siguiente reporte indica el nivel de voltaje kVLN y las corrientes por fase del alimentador Osorio en la tabla 4-17.

Tabla 4-17. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Osorio.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	IA (A)	IB (A)	IC (A)
NFUENTE-66	MTA_S_3203	0,035	7,109	7,075	7,124	188,43	219,28	192,53
MTA_S_3203	MTA_S_192492	0,001	7,105	7,069	7,120	188,43	219,28	192,53
MTA_S_192492	MTA_S_192494	0,018	7,105	7,069	7,120	188,43	219,28	192,53
MTA_S_192494	MTA_S_192495	0,076	7,104	7,067	7,119	188,43	219,28	192,53
MTA_S_192495	MTA_S_196963	0,345	7,099	7,059	7,116	188,43	219,28	192,53
MTA_S_196963	MTA_S_336445	0,531	7,075	7,023	7,100	188,43	219,28	192,53
MTA_S_336445	MTA_S_245370	0,241	7,039	6,968	7,077	188,43	219,28	192,53
MTA_S_245370	MTA_S_192803	0,126	7,023	6,943	7,067	188,43	219,28	192,53
MTA_S_192803	MTA_S_192804	0,454	7,014	6,930	7,062	188,43	219,28	192,53
MTA_S_192804	MTA_S_192813	0,040	6,983	6,884	7,042	188,43	219,28	192,53
MTA_S_192813	MTA_S_192814	0,001	6,981	6,880	7,041	188,43	219,28	192,53
MTA_S_192814	MTA_L_192814	0,001	6,981	6,880	7,041	188,43	219,28	192,53
MTA_L_192814	IMTA_L_192814	0,000	0,120	0,120	0,121	188,43	219,28	192,53
MTA_S_64338	MTA_S_192813	0,018	6,981	6,880	7,041	188,43	219,28	192,53
MTA_S_64326	MTA_S_64338	0,012	-	6,878	-	-	-	-

En la fase Ib la corriente es de 219,28 A lo que indica que se encuentra sobrecargada originando una caída de voltaje a lo largo del tramo.

4.5.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.

En la figura 4-26, la potencia de paso en kVA de la fase B tiene un mayor registro de consumo con respecto a las fases B y C. La fase B alcanza una demanda de 1600 kVA en una longitud de 2,25 km, a partir de los 3 km en adelante existe un desequilibrio de carga en las fases A, B y la fase C tiene el menor registro de consumo con 50 kVA en los tramos finales.



Figura 4-26. Perfil en kVA del alimentador Osorio.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El perfil de voltaje kVLL del alimentador Osorio presenta un comportamiento distinto para las tres fases línea-línea, la caída de voltaje de la fase VCA es menor en relación a las fases VAB y VBC, ver la figura 4-27.

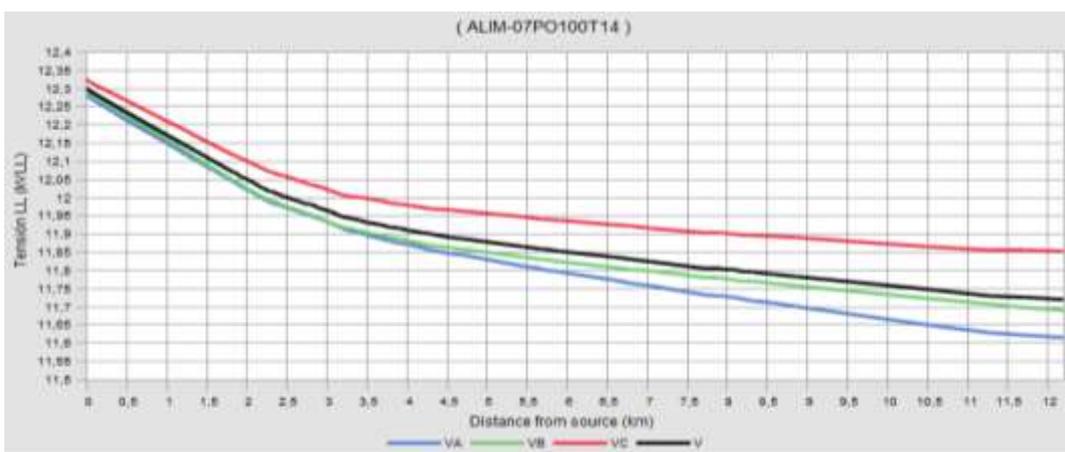


Figura 4-27. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Osorio.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En la tabla 4-18 están los resultados de la caída de voltaje kVLL del circuito Osorio, a partir de la cabecera del alimentador hasta el final del ramal troncal se tiene una caída de voltaje promedio de 4,99%.

Tabla 4-18. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Osorio – Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,338	12,436	12,217	12,361
12,200	11,721	11,615	11,690	11,855
%	4,999	6,601	4,313	4,093

En el perfil de voltaje kVLN la fase C tiene una menor conexión de carga llegando al final a un nivel de 7,0 kVLN.

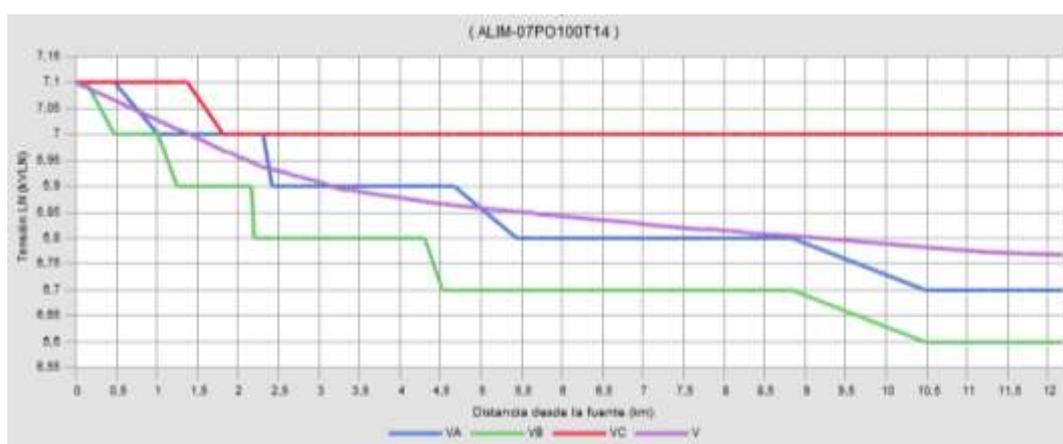


Figura 4-28. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Osorio.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En la fase B el porcentaje de caída de voltaje es de 7,15% siendo el más alto respecto a las fases A y C, ver la tabla 4-19.

Tabla 4-19. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Osorio– Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,000	7,124	7,187	7,109	7,075
12,200	6,767	6,700	6,600	7,000
%	5,011	6,776	7,159	1,060

En la tabla 4-20, se presentan las pérdidas que tiene el alimentador Osorio al año.

Tabla 4-20. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	111,637	444,738
Pérdidas en los cables	2,648	10,551
Pérdidas de carga del transformador	13,652	54,386
Pérdidas en vacío del transformador	42,166	369,376
Pérdidas totales	170,104	879,051

4.6 Análisis del Alimentador Pindo a través de flujos de carga.

El alimentador Pindo es el que menos ramales tiene con respecto a los cuatro alimentadores analizados. Posee un total de 540 tramos, divididos en 358 trifásicos y 182 monofásicos, tiene instalado un banco de condensadores de 300 kVAR en el tramo 196646_MTA a una longitud de 1,4 km y un reconectador situado a la cabecera del alimentador.

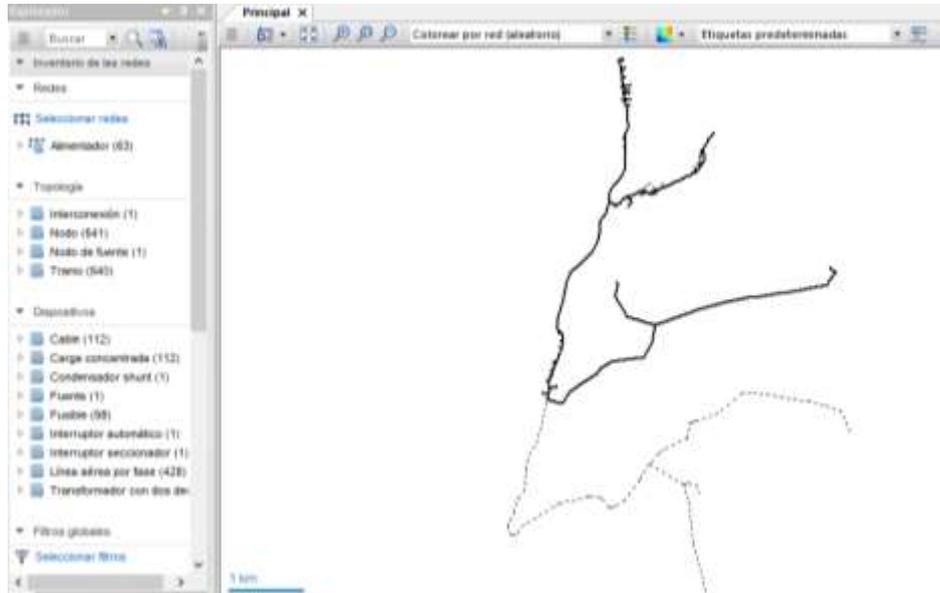


Figura 4-29. Selección del alimentador Pindo 07PO100T11.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

4.6.1 Distribución de carga.

En la figura 4-30, se tiene la pestaña de los parámetros de propiedades de red, se ingresa los datos del nivel de tensión kVLN, modelo de carga KW-FP y el Fc.

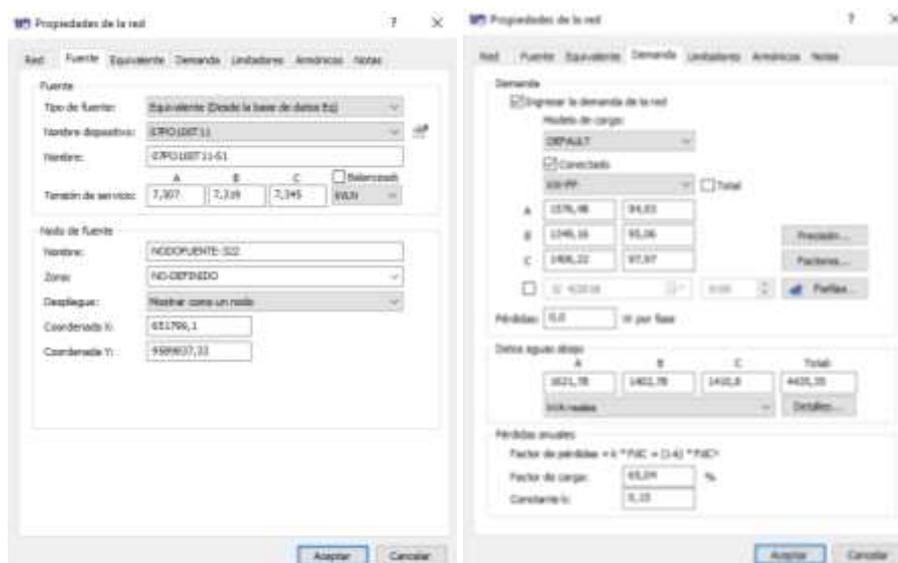


Figura 4-30. Propiedades de red del alimentador Pindo.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Como se muestra en la figura 4-31, la distribución de carga muestra parámetros críticos de nivel de voltaje en kVLL y kVLN.



Figura 4-31. Simulación de la distribución de carga del Alimentador Pindo.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

4.6.2 Flujos de carga del alimentador Pindo.

En la tabla 4-21, se presentan los resultados de las potencias de paso, pérdidas totales y el Fp promedio del alimentador Pindo.

Tabla 4-21. Configuración de los reportes de potencias, pérdidas y Fp del alimentador Pindo.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Fp Avg (%)
NFUENTE-322	MTA_S_44662	0,0318	4330,617	1251,468	4507,817	2,501	0,767	95,96
MTA_S_44662	MTA_S_44807	0,0006	4328,116	1250,980	4505,279	0,022	0,039	95,96
MTA_S_44807	MTA_S_44917	0,0316	4328,093	1250,941	4505,246	1,111	1,939	95,96
MTA_S_44917	MTA_S_44663	0,0284	4326,982	1249,022	4503,646	1,000	1,745	95,97
MTA_S_44663	MTA_S_353292	0,0187	4325,982	1247,294	4502,206	0,656	1,145	95,98
MTA_S_353292	MTA_S_353291	0,0627	3937,160	1111,610	4091,076	1,821	3,179	96,13
MTA_S_353291	MTA_S_44922	0,0009	14,325	4,853	15,125	0,000	0,000	94,60
MTA_S_44922	MTA_L_44922	0,0010	14,325	4,853	15,125	0,000	0,000	94,60
MTA_L_44922	IMTA_L_44922	0,0000	14,094	4,642	14,839	0,000	0,000	94,86
MTA_S_353291	MTA_S_240167	0,0016	3921,013	1103,617	4073,366	0,046	0,081	96,15
MTA_S_240167	MTA_L_240167	0,0006	0,000	-0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
MTA_S_240167	MTA_S_353592	0,0516	3920,966	1103,537	4073,300	1,487	2,596	96,15
MTA_S_353592	MTA_S_318576	0,0006	4,149	1,570	4,436	0,000	0,000	93,53
MTA_S_318576	MTA_L_318576	0,0006	4,149	1,570	4,436	0,000	0,000	93,52
MTA_L_318576	IMTA_L_318576	0,0000	4,083	1,479	4,342	0,000	0,000	94,02

En la cabecera del alimentador Pindo se registra un factor de potencia de 95,96%, según los parámetros cumple con el límite de 92%.

En la tabla 4-22, se presenta el reporte del nivel de voltaje kVLN y las corrientes por fase de los tramos iniciales, del alimentador Pindo.

Tabla 4-22. Configuración de los reportes de voltajes kVLN y corrientes A del alimentador Pindo.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Long. (km)	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	IA (A)	IB (A)	IC (A)
NFUENTE-322	MTA_S_44662	0,0318	7,3070	7,3190	7,3450	224,120	194,210	196,100
MTA_S_44662	MTA_S_44807	0,0006	7,3023	7,3148	7,3412	224,120	194,210	196,100
MTA_S_44807	MTA_S_44917	0,0316	7,3023	7,3147	7,3412	224,120	194,210	196,100
MTA_S_44917	MTA_S_44663	0,0284	7,2995	7,3121	7,3389	224,120	194,210	196,100
MTA_S_44663	MTA_S_353292	0,0187	7,2969	7,3097	7,3368	224,120	194,210	196,100
MTA_S_353292	MTA_S_353291	0,0627	7,2953	7,3081	7,3355	224,120	194,210	196,100
MTA_S_353291	MTA_S_44922	0,0009	7,2902	7,3033	7,3314	224,120	194,210	196,100
MTA_S_44922	MTA_L_44922	0,0010	7,2902	7,3033	7,3314	224,120	194,210	196,100
MTA_L_44922	IMTA_L_44922	0,0000	0,1258	0,1262	0,1263	224,120	194,210	196,100
MTA_S_353291	MTA_S_240167	0,0016	7,2902	7,3033	7,3314	224,120	194,210	196,100
MTA_S_240167	MTA_L_240167	0,0006	7,2901	7,3032	7,3313	224,120	194,210	196,100
MTA_S_240167	MTA_S_353592	0,0516	7,2901	7,3032	7,3313	224,120	194,210	196,100
MTA_S_353592	MTA_S_318576	0,0006	7,2859	-	-	-	-	-
MTA_S_318576	MTA_L_318576	0,0006	7,2859	-	-	-	-	-
MTA_L_318576	IMTA_L_318576	0,0000	0,1255	-	-	-	-	-

4.6.3 Resultados obtenidos del flujo de carga.

El comportamiento de la demanda en el circuito Pindo es más escalonado a lo largo del ramal troncal. En la cabecera del alimentador se registran potencias de 1625 kVA en la fase A, 1500 kVA en la fase B y 1395 kVA en la fase C, se puede notar que a lo largo del ramal troncal la fase A tiene una mayor conexión de tramos monofásicos, ver la figura 4-32.

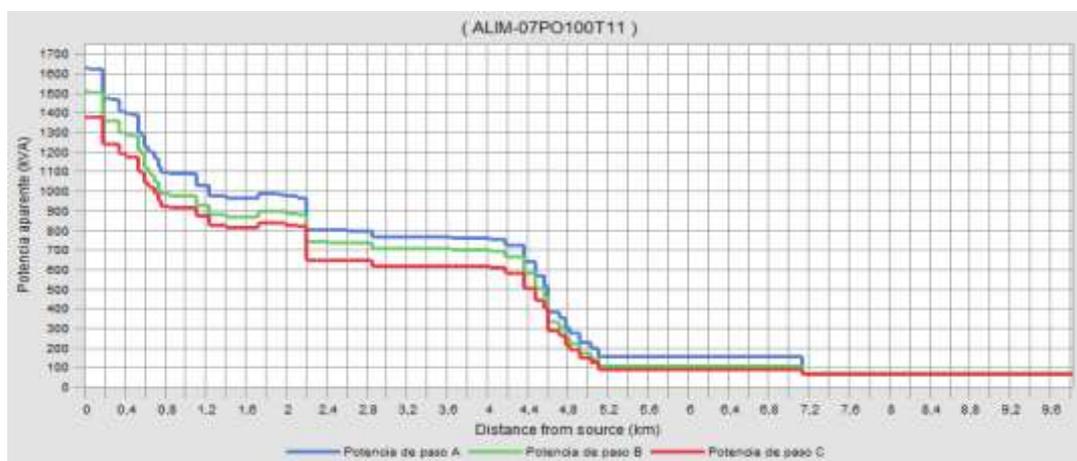


Figura 4-32. Perfil en kVA del alimentador Pindo.

Fuente: Software CYME – CYMDIST.

En el perfil de voltaje línea-línea, la fase VAB presenta una mayor caída de voltaje que a partir de la cabecera del alimentador hasta los 4,8 km tiene una disminución muy notoria llegando a valores de 12,15 kVLL y al final del ramal troncal se registra 12,07 kVLL, ver la figura 4-33.

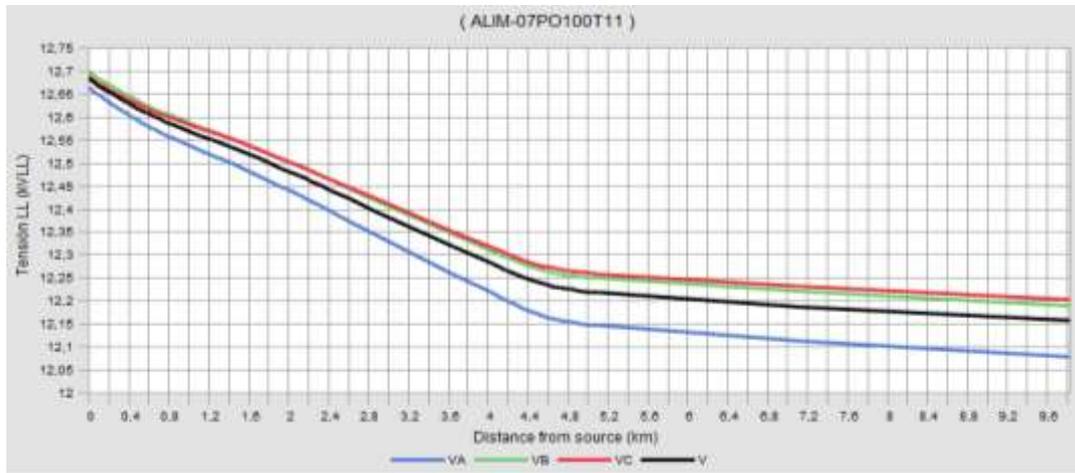


Figura 4-33. Perfil de voltaje kVLL del alimentador Pindo.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Resultados de la caída de voltaje en porcentajes de las fases VAB, VBC y VCA del alimentador Pindo. Los datos son analizados desde la subestación hasta el tramo final del ramal troncal, ver la tabla 4-23.

Tabla 4-23. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Pindo – Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,722	12,787	12,596	12,781
9,826	12,157	12,078	12,191	12,202
%	4,441	5,544	3,215	4,530

En la figura 4-34, se observa el perfil de voltaje kVLN donde se aprecia un desbalance en los niveles de voltaje, siendo el más crítico la fase A y B.

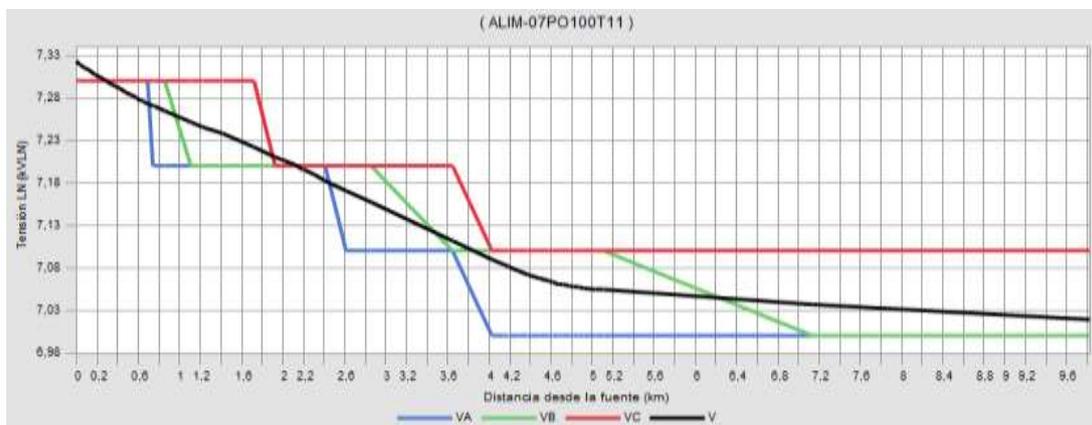


Figura 4-34. Perfil de voltaje kVLN del alimentador Pindo.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Los voltajes al final del ramal troncal muestran niveles críticos teniendo valores de 7,01 kVLN que representa una caída del 12% referido a un voltaje normalizado de 7,96 kVLN, ver la tabla 4-24.

Tabla 4-24. Resultados de la caída de voltaje kVLN del Alimentador Pindo– Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
0,000	7,345	7,409	7,307	7,319
9,826	7,019	7,000	7,000	7,100
%	4,438	5,520	4,201	2,992

En la tabla 4-25, se muestran las pérdidas en las líneas y cables que tiene el alimentador Pindo.

Tabla 4-25. Resultados de las pérdidas del alimentador Pindo.

Fuente: Autores.

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	68,444	274,107
Pérdidas en los cables	2,531	10,136
Pérdidas de carga del transformador	18,307	73,316
Pérdidas en vacío del transformador	35,040	306,954
Pérdidas totales	124,322	664,512

4.7 Determinación del alimentador más crítico de la subestación Portovelo.

Una vez realizado los flujos de carga a los alimentadores Zaruma, Piñas, Atahualpa, Osorio y Pindo, en donde de los resultados obtenidos son los voltajes en kVLL y kVLN, se realizó la segregación del más crítico, donde se tomó en cuenta las distancias que poseen los ramales troncales y la influencia que tienen en la red de distribución.

En la tabla 4-26, se detalla la longitud total del ramal troncal, así como el nivel de voltaje línea – línea, donde los alimentadores con mayor distancia son el Piñas y el Atahualpa.

Tabla 4-26. Comparación de los resultados de niveles de voltaje kVLL de los cinco alimentadores.

Fuente: Autores.

S/E	Barra	ALIM	Ramal	Longitud	V Avg	V AB	V BC	V CA
				[Km]	[kVLL]	[kVLL]	[kVLL]	[kVLL]
Portovelo	B-36	Zaruma	Primario	17,931	11,729	11,713	11,913	11,559
	B-35	Piñas	Primario	22,841	11,551	11,632	11,527	11,492
		Atahualpa	Primario	29,561	11,208	11,217	11,160	11,246
		Osorio	Primario	12,200	11,721	11,615	11,690	11,855
		Pindo	Primario	9,826	12,157	12,078	12,190	12,202

El nivel de voltaje que se registra en el circuito Piñas y Atahualpa presenta índices altos de caída de voltaje como se observa en la tabla 4.26. En comparación con los alimentadores Zaruma, Osorio y Pindo que tienen un ligero aumento en los ramales primarios. Se puede notar que existe cierta similitud de voltaje entre el alimentador Zaruma y Piñas, pero se escogió el

Piñas dado que posee un mayor número de clientes y carga instalada en toda el área de influencia.

En un análisis por fase se puede establecer de mejor manera el más crítico, debido a que los circuitos en su mayoría cuentan con conexiones de ramales monofásicos. Por lo cual se escogieron los alimentadores Piñas y Atahualpa dado a los niveles que presentan los ramales monofásicos al final del circuito. Con respecto a los voltajes de fase entre el alimentador Zaruma y Piñas se optó por el circuito Piñas ya que presenta mayor número de ramales monofásicos colocados a lo largo del cantón, ver la tabla 4-27.

Tabla 4-27. Comparación de los resultados de niveles de voltaje kVLN de los cinco alimentadores.

Fuente: Autores.

S/E	Barra	ALIM	Ramal	Longitud	V Avg	V A	V B	V C
				[km]	[kVLN]	[kVLN]	[kVLN]	[kVLN]
Portovelo	B-36	Zaruma	Primario	17,931	6,772	6,600	7,100	6,600
	B-35	Piñas	Primario	22,841	6,669	6,700	6,800	6,500
		Atahualpa	Primario	29,561	6,471	6,500	6,400	6,500
		Osorio	Primario	12,200	6,767	6,700	6,600	7,000
		Pindo	Primario	9,826	7,019	7,000	7,000	7,100

El alimentador Atahualpa presenta además de los niveles bajos de voltaje, factores críticos de Fp lo que ocasiona mayores pérdidas en el sistema. Otro inconveniente es que el ramal troncal tiene secciones de conductores ACSR 3/0 lo que genera una mayor impedancia por ende produce una mayor caída de voltaje.

Los dos circuitos seleccionados pertenecen a la misma conexión de barra (B35), por lo que las caídas de voltaje afectan a los alimentadores Osorio y Pindo, por lo tanto, se busca dar una solución inmediata a los circuitos Piñas y Atahualpa.

Definido los alimentadores Piñas y Atahualpa para el estudio, se procede a determinar los desbalances existentes en la cabecera de los dos circuitos a partir de los valores de la demanda máxima en kVA la cual toma los registros de las corrientes de las tres fases. Se prefirió tomar los datos de la corriente ya que estos son más susceptibles a desbalances y sirve para ver el comportamiento ante la conexión y desconexión de cargas. Para los desbalances por fase se utilizó la ecuación 3-3 y para obtener el desbalance del circuito la ecuación 3-4, ver la tabla 4-28.

Tabla 4-28. Desbalance en la cabecera de los alimentadores Piñas y Atahualpa.

Fuente: Autores.

Alimentador	I (A)	I (B)	I (C)	I (Avg)	Desbalance Fase %	Desbalance Circuito %
Piñas	197,849	173,037	182,520	184,468	7,253	12,540
					6,197	
					1,056	
Atahualpa	137,651	141,676	160,634	146,654	6,138	14,307
					3,394	
					9,532	

El desbalance máximo que debe existir tanto en el circuito Piñas y Atahualpa no debe sobrepasar el 15%, valor registrado por la CNEL-EP EL ORO. Los resultados muestran que los dos alimentadores están dentro de los rangos permitidos. Por lo que se procede a realizar los estudios en condiciones normales.

Se muestra las pérdidas que se registran en las líneas, cables y transformadores (carga y vacío), véase la tabla 4-29.

Tabla 4-29. Comparación de los resultados de las pérdidas en kW de los cinco alimentadores.

Fuente: Autores.

	Zaruma	Piñas	Atahualpa	Osorio	Pindo
Pérdidas del sistema	kW	kW	kW	kW	kW
Pérdidas en las líneas	258,582	181,448	139,636	111,637	68,444
Pérdidas en los cables	2,415	2,409	0,921	2,648	2,531
Pérdidas de carga del transformador	26,624	12,379	22,397	13,652	18,307
Pérdidas en vacío del transformador	58,445	46,644	26,438	42,166	35,04
Pérdidas totales	346,067	242,88	189,393	170,104	124,322

CAPÍTULO 5

5 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR MÁS CRÍTICO.

Se realizó un estudio para establecer la ubicación óptima de los reguladores de voltaje manteniendo los límites como se establece en la regulación CONELEC 004/01. Se plantean dos metodologías como un modelo matemático y simulaciones a partir de una herramienta del software CYMDIST. El objetivo es poder implementar los dos métodos en los alimentadores seleccionados.

Para la ubicación óptima se toma en cuenta la capacidad en kVA del regulador de voltaje, conexión (estrella, delta y delta abierta), voltaje nominal en la cabecera del alimentador, número de RV, perfil de voltaje y la reducción de las pérdidas de paso en el alimentador.

La implementación de un modelo matemático brinda al personal técnico otro enfoque para la ubicación de reguladores de voltaje, es decir, que a través de métodos heurísticos se busca colocar un regulador de voltaje en el nodo que ofrece la mejor solución posible con el fin de proporcionar mejoras en el perfil de voltaje y la reducción de pérdidas técnicas en kW aguas abajo del alimentador. Si los resultados no son los deseados se procede a seleccionar otro nodo de ubicación y realizar el mismo proceso de análisis en el alimentador.

El modelo es útil para sistemas trifásicos, bifásicos y monofásicos, una característica que se debe tomar en cuenta es el tamaño del RV y el costo de inversión de los equipos ya que precio de los RV trifásicos es más elevado en comparación con los RV monofásicos que son bastante económicos. Utilizar reguladores trifásicos constituye un problema dado que si ocurre una falla se tendría que cambiar el equipo completo, muy distinto a los reguladores monofásicos en el que solo se cambiaría el RV afectado. El uso de reguladores monofásicos hace que la regulación sea independiente, es decir, el desbalance que ocurre en una fase no se relaciona con las otras dos, por lo que se mantendrá los valores de voltaje previstos por cada fase.

La otra metodología a través del software CYMDIST ofrece un módulo denominado “Ubicación Óptima de Reguladores de Voltaje” para colocar los reguladores en los alimentadores críticos. El módulo maneja dos técnicas de búsqueda (secuencial e iterativa) para disminuir la complejidad de las redes de distribución, muestra la mejor opción posible para ubicar los reguladores, escoge la posición de los taps y determina el número de reguladores. Se requiere la intervención del personal técnico para establecer los parámetros iniciales como el voltaje deseado, pasos de búsqueda (km), número máximo y mínimo de RV, ancho de banda y las restricciones de tramos para la selección de la mejor ubicación posible. De igual forma se realizó la comparación de los niveles de subtensión y sobretensión, así como las pérdidas técnicas en kW.

Finalmente se realizó una comparación del modelo matemático y del módulo del CYMDIST. El fin es poder analizar si cumple con las condiciones de perfil de voltaje el cual busca obtener resultados similares con un error no mayor al 7%.

A continuación se detalla el estudio de la metodología, mismo que busca dar con pasos para la solución de la ubicación de los RV.

5.1 Ubicación de los reguladores de voltaje aplicando la metodología heurística.

Para determinar la ubicación óptima de los RV a través de un método heurístico se parte de un reporte que se obtiene a partir del software CYMDIST, mismo que consta de características propias de la topología de los alimentadores “Piñas” y “Atahualpa”. Contiene los nodos (envió y recibo), distancias de cada tramo, sección del conductor, impedancia de secuencia positiva y la capacidad en kVA de cada nodo. En la figura 5-1, se muestra un flujograma el cual presenta los pasos que se realizan para un flujo de carga, estos resultados serán presentados en EXCEL para observar el margen de error que existe con respecto al reporte del flujo hecho en CYMDIST.

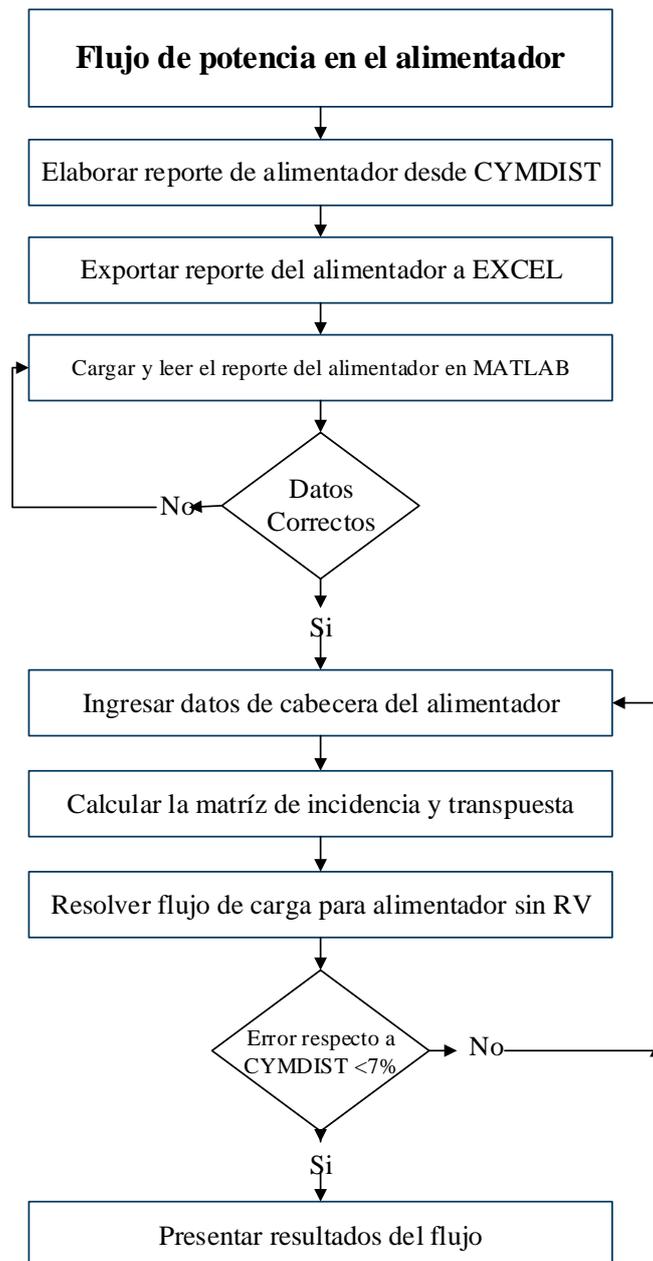


Figura 5-1. Flujograma implementado para un flujo de carga.

Fuente: Autores.

5.1.1 Pasos para realizar los flujos de carga en el alimentador Piñas y Atahualpa a partir de un reporte del CYMDIST.

Para realizar los flujos de carga, se elabora un reporte generado en el CYMDIST, tanto para el alimentador Piñas y Atahualpa los cuales son exportados en formato “.xlsx” (EXCEL), deben mantener un orden entre columnas para que no existan errores en la ejecución del flujo de potencia. En vista del alto número de nodos que registran, se procede a mostrar los tramos (ramales) iniciales para cada alimentador, donde los nodos con distancias cero solo representan una referencia para el siguiente nodo de estudio y los que se registran con “IMTA_L_” o “IMTA_S_” se eliminan ya que se consideran distancias cero. Los nodos de origen y destino serán enumerados de acuerdo como están en la topología radial, es decir, nos ayudara a identificar el orden partiendo de la cabecera del circuito hacia aguas abajo.

Se incluye además la carga instalada en kVA de los transformadores en los nodos de origen y destino. Existen muchos transformadores (trifásicos, bifásicos y monofásicos) colocados a lo largo de los dos alimentadores por lo que se presentan solo los tramos iniciales para ver cómo se elabora el reporte.

5.1.1.1 Data inicial de los alimentadores.

La tabla 5-1 presenta el reporte del alimentador Piñas el cual posee un registro de 3.383 tramos repartidos a lo largo del circuito. El reporte en CYMDIST muestra 6766 nodos divididos en (Nodo Fuente, Cable, Nodo y Línea aérea por Fase).

Tabla 5-1. Reporte de la topología del Alimentador Piñas exportado a EXCEL.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Longitud (km)	Cond A	Cond B	Cond C	X1 Línea (Ω)	R1 Línea (Ω)
NODOFUENTE67	MTA_S_176799	0,03787	3P.Cu.2/0	3P.Cu.2/0	3P.Cu.2/0	0,00719	0,02341
MTA_S_176799	MTA_S_176799	0,00000					
MTA_S_176799	MTA_S_176796	0,19588	ACSR.4/0	ACSR.4/0	ACSR.4/0	0,09434	0,05417
MTA_S_176796	MTA_S_176796	0,00000					
MTA_S_176796	MTA_S_176785	0,21493	ACSR.4/0	ACSR.4/0	ACSR.4/0	0,10352	0,05944
MTA_S_176785	MTA_S_176785	0,00000					
MTA_S_176785	MTA_S_152036	0,61285	ACSR.4/0	ACSR.4/0	ACSR.4/0	0,29516	0,16948
MTA_S_152036	MTA_S_152036	0,00000					
MTA_S_152036	MTA_S_152002	0,13465	ACSR.4/0	ACSR.4/0	ACSR.4/0	0,06485	0,03724
MTA_S_152002	MTA_S_152002	0,00000					
MTA_S_152002	MTA_S_152003	0,17714	ACSR.4/0	ACSR.4/0	ACSR.4/0	0,08531	0,04899
MTA_S_152003	MTA_S_152003	0,00000					
MTA_S_152003	MTA_S_152039	0,03622	ACSR.3/0	ACSR.3/0	ACSR.3/0	0,01828	0,01260
MTA_S_152039	MTA_S_152039	0,00000					
MTA_S_152039	MTA_S_152040	0,00100	ACSR.2	ACSR.2	ACSR.2	0,00053	0,00088
MTA_S_152040	MTA_S_152040	0,00000					
MTA_S_152040	MTA_L_152040	0,00100	ACSR.2	ACSR.2	ACSR.2	0,00053	0,00088
MTA_L_152040	MTA_L_152040	0,00000					

Los tramos trifásicos que tienen un espaciamiento “3CP” y distintos conductores, presentan cambios en la impedancia de secuencia positiva. En los conductores ACSR 4/0 es $0,2765+j0,4816$ [Ω/km], en el ACSR 3/0 ($0,348+j0,5046$) [Ω/km], el ACSR 2 ($0,8762+j0,5319$) [Ω/km]. Los tramos monofásicos con un espaciamiento “1CP” emplean conductores ACSR 2 ($1,023+j0,9106$) [Ω/km]. En las columnas siete y ocho se presenta las impedancias de secuencia positiva para cada tramo. Los valores de X1 y R1 ya se encuentran multiplicados por la distancia de cada ramal (km) y las impedancias de fase $R+jX$ (Ω/km).

La tabla 5-2 detalla el reporte de los transformadores existentes a lo largo del alimentador Piñas, se registran 646 transformadores ubicados en los nodos descritos, de los cuales 593 son transformadores monofásicos y 53 trifásicos.

Tabla 5-2. Reporte de los transformadores del Alimentador Piñas exportado a EXCEL.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Cap Nom (kVA)	Tens prim (kVLL)	Tens sec (kVLL)	Carga (%)	Número de fases	Fase
MTA_S_152040	MTA_L_152040	200,00	13,80	0,24	24,2	3	ABC
MTA_S_152043	MTA_L_152043	37,50	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_321238	MTA_L_321238	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_152850	MTA_L_152850	25,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_222484	MTA_L_222457	25,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_319156	MTA_L_319156	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_322044	MTA_L_322044	10,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_319894	MTA_L_319894	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_321322	MTA_L_321322	25,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_322772	MTA_L_322772	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_318458	MTA_L_318458	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_318460	MTA_L_318460	25,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_321324	MTA_L_321324	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_320552	MTA_L_320552	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_221761	MTA_L_221763	10,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_322774	MTA_L_322774	15,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTA_S_319158	MTA_L_319158	10,00	13,80	0,24	22,1	1	A
MTS_S_118370	MTS_L_118370	50,00	13,80	0,24	22,1	1	A

En la figura 5-2, se muestran los transformadores monofásicos conectados en las tres fases ABC.

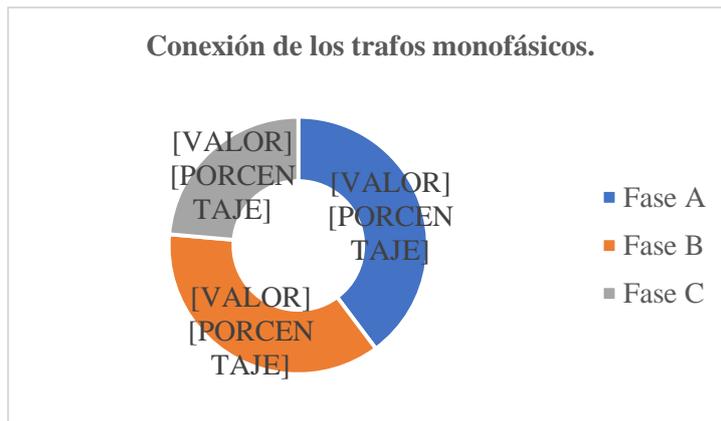


Figura 5-2. Conexiones de los transformadores monofásicos en el Alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Se detalla a continuación el reporte del alimentador Atahualpa en la tabla 5-3. En el circuito se registran 1250 tramos entre trifásicos y monofásicos y 2501 nodos en el reporte CYMDIST.

Tabla 5-3. Reporte de la topología del Alimentador Atahualpa exportado a EXCEL.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Longitud (km)	Cond A	Cond B	Cond C	X1 Línea (Ω)	R1 Línea (Ω)
NODOFUENTE68	MTA_S_225940	0,04065	3P.Cu.2/0	3P.Cu.2/0	3P.Cu.2/0	0,00704	0,01284
MTA_S_225940	MTA_S_225940	0,00000					
MTA_S_225940	MTA_S_225941	0,00472	ACSR.3/0	ACSR.3/0	ACSR.3/0	0,00238	0,00164
MTA_S_225941	MTA_S_225941	0,00000					
MTA_S_225941	MTA_S_177168	0,08517	ACSR.3/0	ACSR.3/0	ACSR.3/0	0,04298	0,02964
MTA_S_177168	MTA_S_177168	0,00000					
MTA_S_106981	MTA_S_177168	0,02178	ACSR.3/0	ACSR.3/0	ACSR.3/0	0,01099	0,00758
MTA_S_106981	MTA_S_106981	0,00000					
MTA_S_106981	MTA_S_64700	0,01090	ACSR.1/0	ACSR.1/0	ACSR.1/0	0,00575	0,00602
MTA_S_64700	MTA_S_64700	0,00000					
MTA_S_64700	MTA_S_64502	0,00189	ACSR.2	ACSR.2	ACSR.2	0,00101	0,00166
MTA_S_64502	MTA_S_64502	0,00000					
MTA_S_64502	MTA_L_64502	0,00248	ACSR.2	ACSR.2	ACSR.2	0,00132	0,00217
MTA_L_64502	MTA_L_64502	0,00000					
MTA_S_106981	MTA_S_206364	0,00158	ACSR.3/0	ACSR.3/0	ACSR.3/0	0,00080	0,00055
MTA_S_206364	MTA_S_206364	0,00000					
MTA_S_206364	MTA_S_106983	0,04551	ACSR.3/0	ACSR.3/0	ACSR.3/0	0,02296	0,01584
MTA_S_106983	MTA_S_106983	0,00000					

El conductor que se emplea en el alimentador Atahualpa es el ACSR 3/0, esta sección es menor con respecto al circuito Piñas que tiene ACSR 4/0, los ramales trifásicos y monofásicos con una topología “3CP” y “1CP” presentan las siguientes impedancias de secuencia positiva, los conductores ACSR 3/0 (0,348+j0,5046) [Ω/km], el ACSR 1/0 (0,2765+j0,4816) [Ω/km] y el ACSR 2 (0,8762+j0,5319) [Ω/km] y en los ramales monofásicos se utiliza el conductor ACSR 2 (1,023+j0,9106) [Ω/km]. Los valores registrados en las columnas siete y ocho representan a las impedancias de fase R+jX (Ω/km).

Se observa la ubicación de los transformadores de distribución en los nodos de origen y destino en la tabla 5-4. En el alimentador existen 520 transformadores divididos en 36 trifásicos, 5 bifásicos y 196 monofásicos.

Tabla 5-4. Reporte de los transformadores del Alimentador Atahualpa exportado a EXCEL.

Fuente: Autores.

Nodo origen	Nodo destino	Cap Nom (kVA)	Tens prim (kVLL)	Tens sec (kVLL)	Carga (%)	Número de fases	Fase
MTA_S_64502	MTA_L_64502	75,00	13,80	0,240	29,651	3	ABC
MTA_S_106983	MTA_L_106983	75,00	13,80	0,240	29,651	3	ABC
MTA_S_107002	MTA_L_107002	50,00	13,80	0,240	29,651	3	ABC
MTA_S_353004	MTA_L_353004	25,00	13,80	0,240	26,194	1	B
MTA_S_106991	MTA_L_106991	50,00	13,80	0,240	50,328	2	BC
MTS_S_55285	MTS_L_55285	500,00	13,80	0,240	29,651	3	ABC
MTA_S_107017	MTA_L_107017	15,00	13,80	0,240	26,194	1	B
MTS_S_55288	MTS_L_55288	500,00	13,80	0,240	29,651	3	ABC
MTS_S_55288	MTS_L_55289	25,00	13,80	0,240	26,194	1	B
MTA_S_307596	MTA_L_307596	15,00	13,80	0,240	29,652	1	C
MTA_S_108622	MTA_L_108622	45,00	13,80	0,240	29,651	3	ABC
MTA_S_107063	MTA_L_107063	25,00	13,80	0,240	29,654	1	C
MTA_S_107074	MTA_L_107074	500,00	13,80	0,240	29,652	3	ABC
MTA_S_307598	MTA_L_307598	25,00	13,80	0,240	29,654	1	C
MTA_S_310660	MTA_L_310660	10,00	13,80	0,240	29,654	1	C
MTA_S_320089	MTA_L_247619	500,00	13,80	0,240	29,652	3	ABC
MTA_S_320090	MTA_L_320090	25,00	13,80	0,240	24,805	1	A
MTA_S_107103	MTA_L_107103	15,00	13,80	0,240	26,196	1	B

Las figuras 5-3 y 5-4 muestran las cantidades de transformadores bifásicos y monofásicos en las fases ABC correspondientes al alimentador Atahualpa.

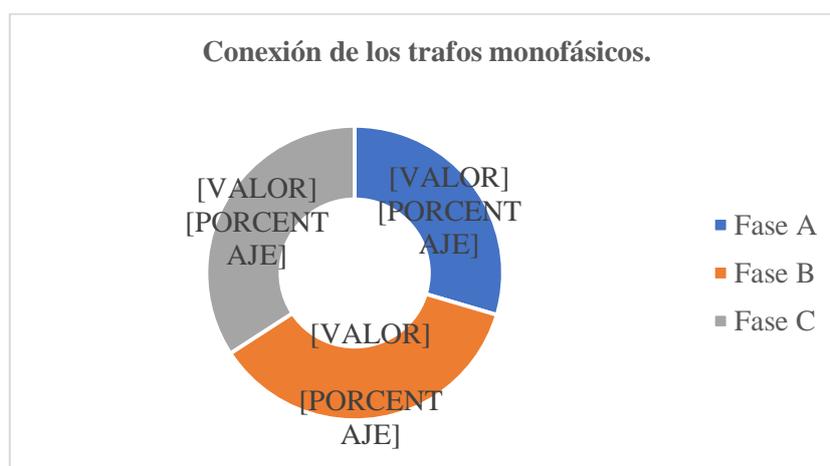


Figura 5-3. Transformadores monofásicos conectados en el Alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.



Figura 5-4. Transformadores bifásicos conectados en el Alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Definida la data inicial de la topología de red y la carga instalada en kVA del alimentador Piñas y Atahualpa, se procede a cargar el archivo a MatLab el cual evalúa el reporte guardado, si los datos son los correctos se ingresan los valores de la demanda máxima en kVA, nivel de voltaje en kVLL, el factor de potencia (Fp) y el factor de carga (Fc). Los datos mencionados se los pueden encontrar en el capítulo III, secciones 3.4.2 y 3.4.3.

5.1.1.2 Flujos de carga en los alimentadores Piñas y Atahualpa.

Para iniciar los flujos de carga primero se elabora una matriz de incidencia y transpuesta para el alimentador “Piñas” y “Atahualpa”, la matriz de incidencia nos permite visualizar la representación de cómo están ubicados los nodos del sistema aguas abajo. Es una matriz binaria de unos y ceros que se define como $M = [N \times A]$ o también $M = [i \times j]$. A partir de los datos de las dos primeras columnas de las tablas 5-1 y 5-3 se procede asignar a los nodos de envío “i” y recibo “j” una numeración que dependerá de cómo estén constituidos en la topología radial, además se busca relacionar con la capacidad instalada en kVA $S(t)$, las distancias L_{ij} en km y calibres de sus conductores.

Se realiza una distribución de carga a través del método de kVA conectados para distribuir la demanda total aguas abajo, este método realizado es similar al calculado en el CYMDIST y las fórmulas que se emplean se las puede revisar en la sección 2.2.2. El número de iteraciones dependerá del margen mínimo de error que se requiera.

Para resolver el flujo de carga se utiliza el método de Ardvinson descrito en la sección 2.2.1, es un método de solución nodo a nodo y empleado específicamente para sistemas radiales, es decir, toma la asignación de los nodos “i” y “j” de la red el cual ejecuta un análisis de caídas de voltaje ($\Delta V\%$) y determinar las pérdidas de potencia activa en kW para observar los resultados totales y comprobar si el alimentador de estudio cumple con los requerimientos planteados.

En las tablas 5-5 y 5-6 se muestran los resultados referentes a los flujos de carga realizados a los alimentadores Piñas y Atahualpa.

En la tabla 5-5 se presenta los resultados del flujo de carga realizado en el alimentador Atahualpa el cual registra una demanda máxima de 3.209,687 kVA, además se puede apreciar que existe un desbalance en las tres fases, que no supera el límite del 15%.

Tabla 5-5. Resultados del flujo de carga en la cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Cabecera	Flujo de carga					
	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	V (kV)	Fp	%Desbalance
A	910,455	438,372	1010,494	7,281	0,901	5,552
B	912,239	467,101	1024,872	7,150	0,890	4,178
C	1074,744	470,703	1173,302	7,116	0,916	9,699
Total	2897,948	1379,850	3209,687	7,182	0,903	13,876

Después de observar los datos del flujo de carga en la figura 5-5 se observan las pérdidas en los tramos iniciales del ramal troncal, donde en el nodo 30 se observa un valor cercano a los 8 kW de perdidas activas. Las pérdidas totales que se tiene en el alimentador una vez implementado en flujo de carga son de 192,526 kW.

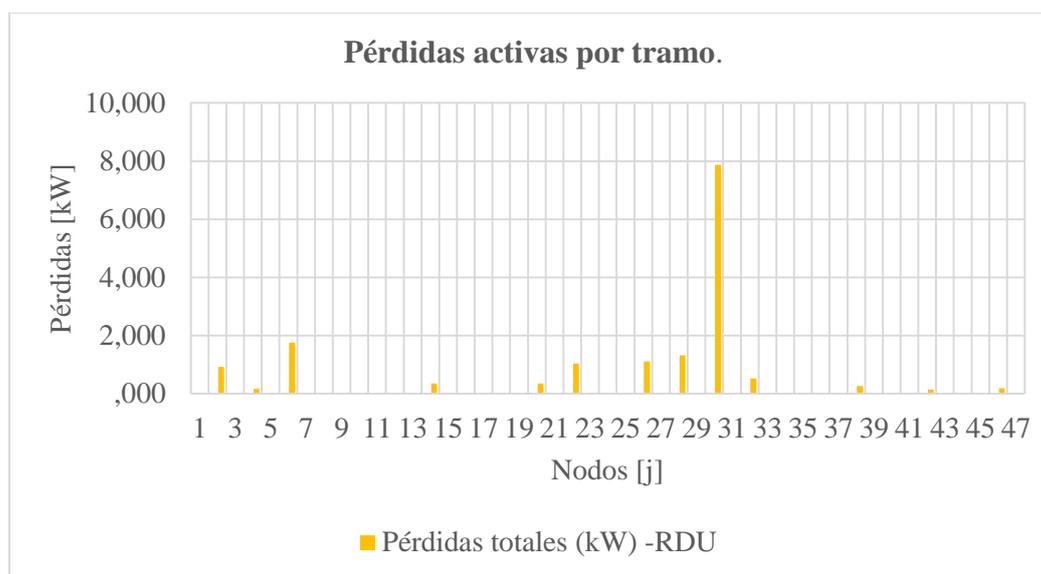


Figura 5-5. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Ahora se detallan los resultados obtenidos del voltaje [kVLN] que se tiene nodo a nodo la cual indica que la fase C tiene una mayor caída de voltaje, parte en la cabecera con un valor de 7,1163 kVLN, luego sigue la fase B con 7,1495 kVLN y la menos sobrecargada es la fase A con 7,2805 kVLN, por lo tanto, el voltaje promedio de las tres fases esta alrededor de 7,1821 kVLN. En la figura 5-6, se observa los voltajes de las tres fases los cuales están registrados hasta el nodo 47, los nodos en los que no registran voltajes se deben a que son tramos monofásicos.

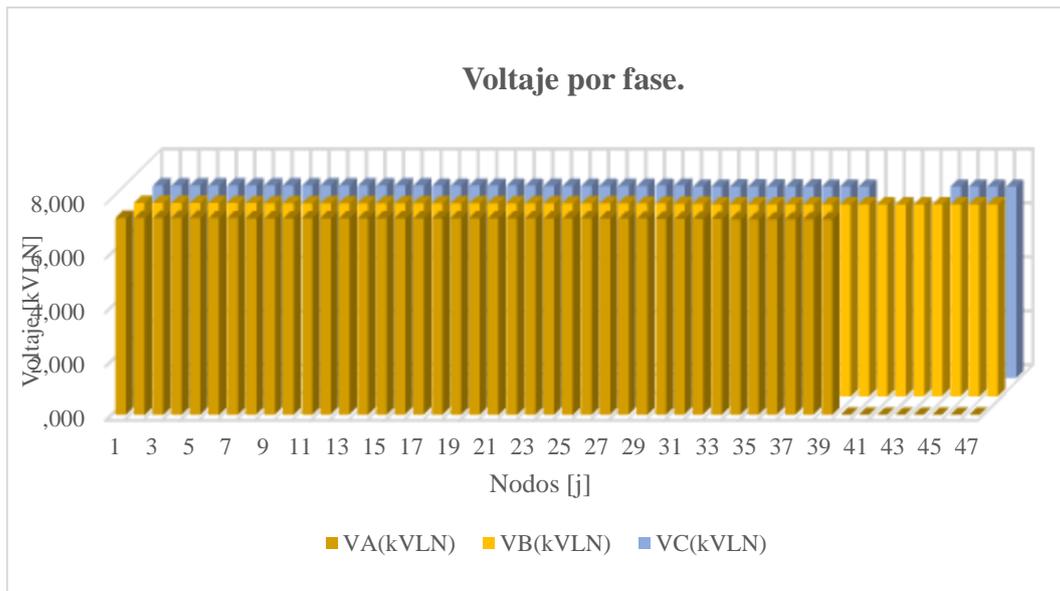


Figura 5-6. Voltaje por fase de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Para una mejor comprensión en la figura 5-7 se muestra el perfil de voltaje del alimentador Atahualpa hasta una distancia de 0,5508 km. A partir de una longitud 0,2103 km comienza a existir una reducción considerable de voltaje la cual se debe a la concentración de carga minera en el sector, además el valor de voltaje en cabecera está por debajo de los límites de regulación.

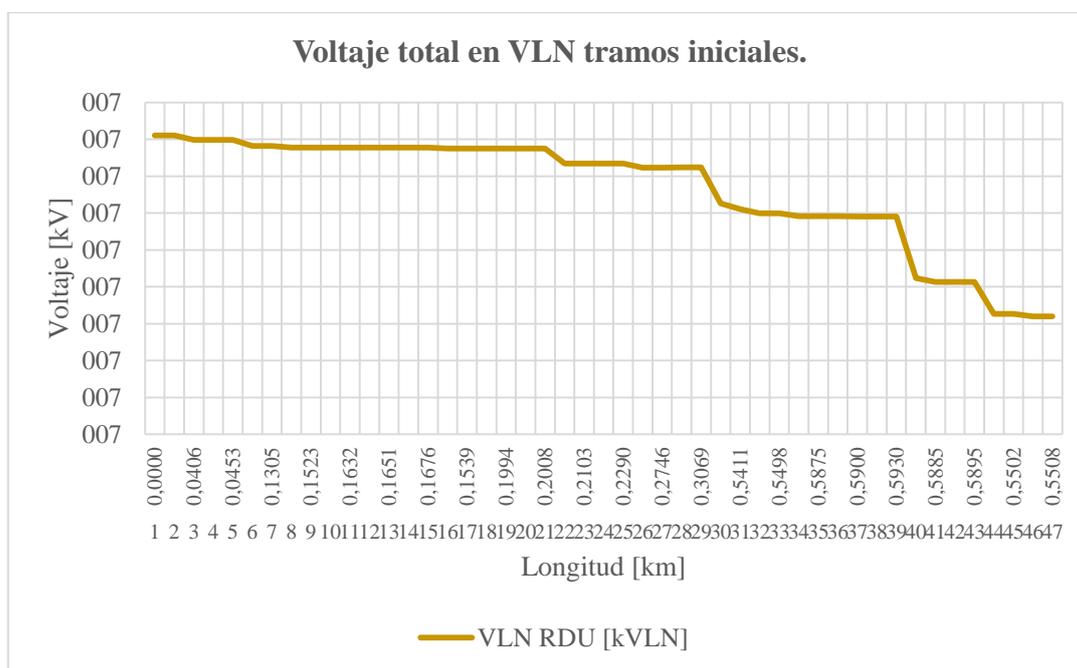


Figura 5-7. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Referente al alimentador Piñas se tienen los siguientes resultados en la cabecera del alimentador, los cuales se describen en la tabla 5-6.

Tabla 5-6. Resultados del flujo de carga en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Cabecera	Flujo de carga					
	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	V (kV)	Fp	%Desbalance
A	1352,699	568,060	1467,136	7,400	0,922	8,220
B	1192,374	392,760	1255,395	7,244	0,950	6,767
C	1224,860	484,096	1317,054	7,216	0,930	2,188
Total	3769,991	1438,245	4035,019	7,286	0,934	14,432

A partir de una demanda en la cabecera de 4.035,019 kVA y una potencia activa de 3.769,991 kW, las pérdidas que registra el alimentador Piñas esta por 239,936 kW. En la figura 5-8, se muestran las pérdidas de los nodos iniciales donde en el nodo 24 las perdidas llegan a 35 kW.

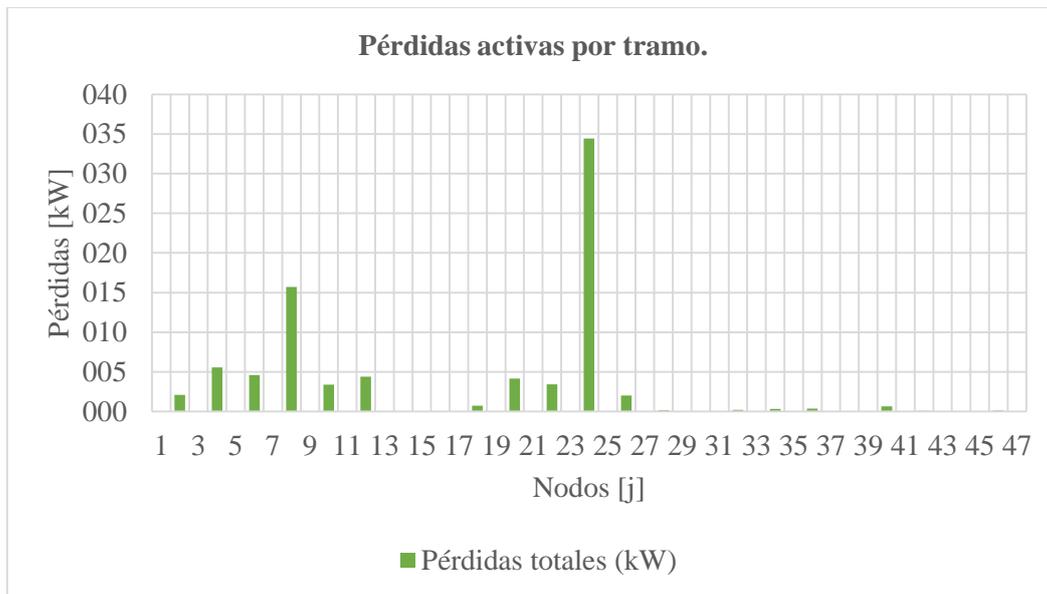


Figura 5-8. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

En el alimentador Piñas existe un desbalance entre las fases A y B-C, las fases B y C tienen la mayor conexión de carga por ende existe una disminución de voltaje en 7,2435 kVLN y 7,2163 kVLN y la menos sobrecargada llega a 7,3995 kVLN. En la figura 5-9 se tiene el comportamiento de voltaje de las tres fases la cual registran un voltaje promedio de 7,2864 kVLN, de igual forma los nodos que no registran valores se deben a que no representan tramos trifásicos y en la figura 5-10 se observa el perfil de voltaje del alimentador hasta una distancia de 4,4120 km, se observa que existe una reducción considerable de voltaje dado a las diversas cargas existentes en la zona.

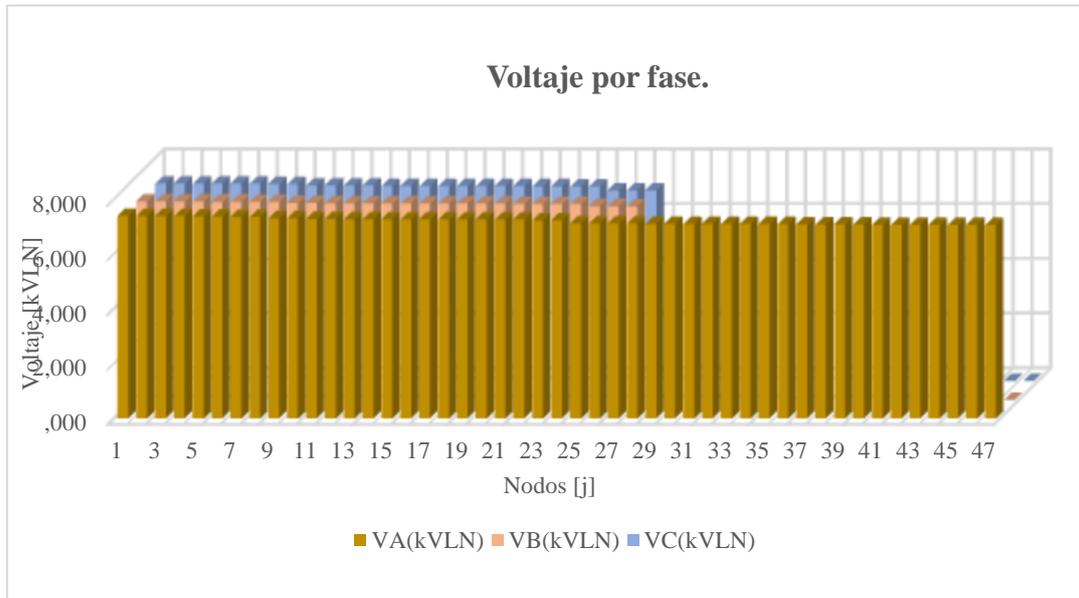


Figura 5-9. Voltaje por fase de los tramos iniciales del alimentador Piñas.
Fuente: Autores.

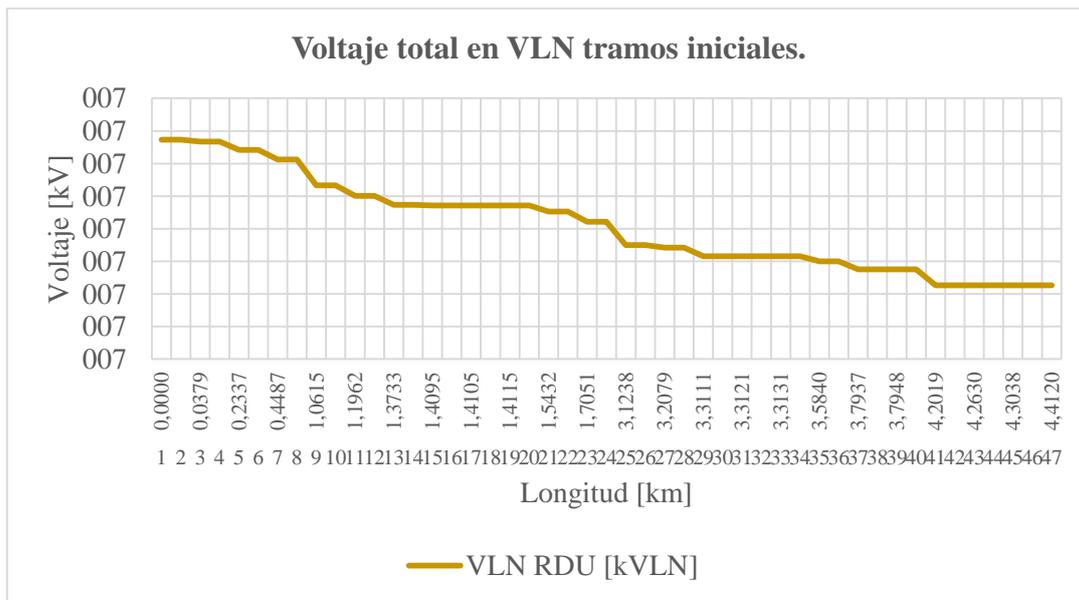


Figura 5-10. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Piñas.
Fuente: Autores.

5.1.2 Ubicación óptima de los reguladores de voltaje en los alimentadores Piñas y Atahualpa.

En la figura 5-11, se presenta un diagrama de flujos el cual muestra los pasos a seguir para determinar la ubicación y el número de reguladores de voltaje a utilizar en los alimentadores Piñas y Atahualpa.

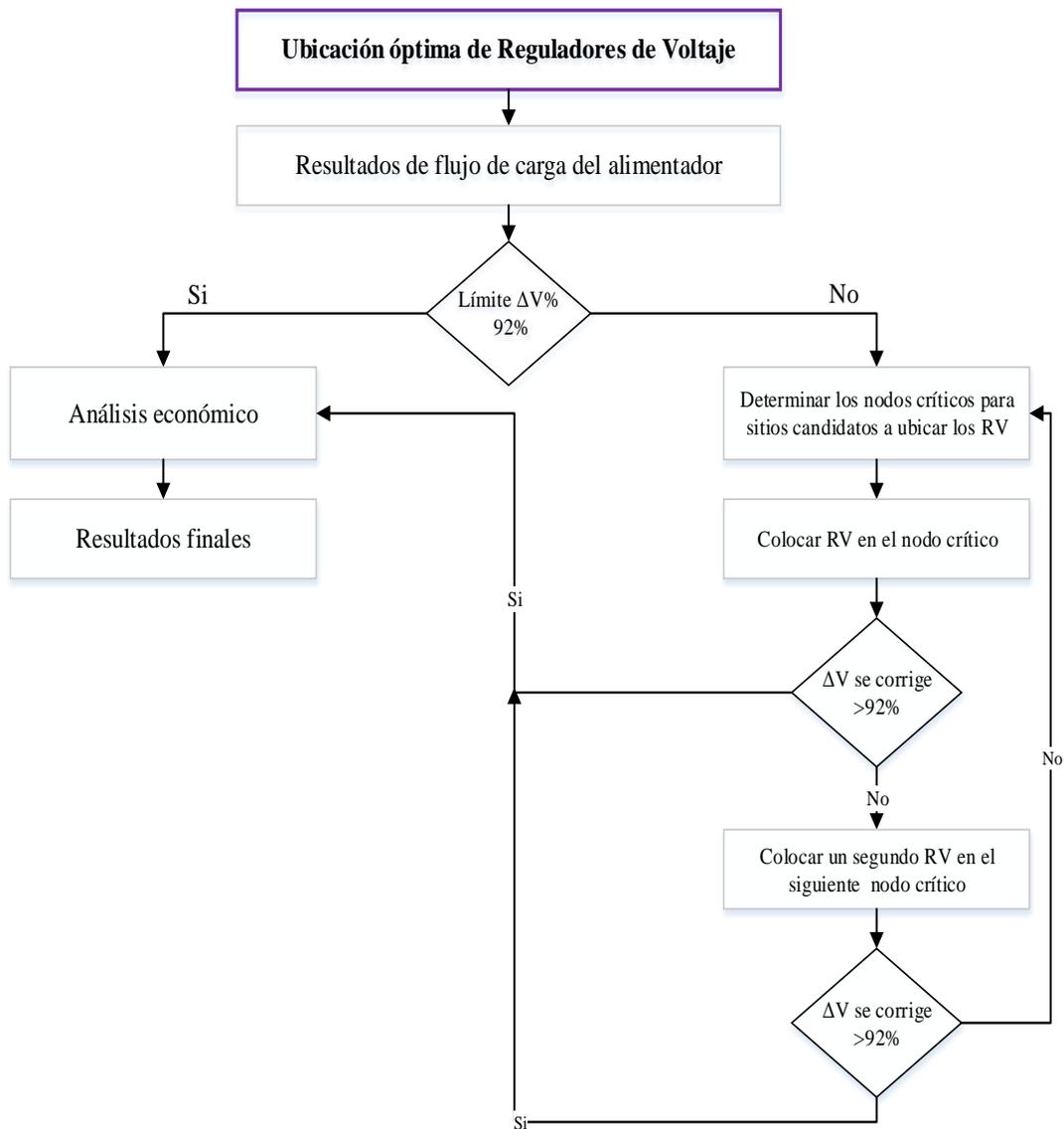


Figura 5-11. Lógica del diagrama de flujo implementado para la Ubicación de los RV.
Fuente: Autores.

La metodología debe proporcionar una solución para ubicar los reguladores de voltaje a través de un modelo matemático propuesto y determinar si la ubicación asignada es el óptimo, caso contrario buscar otro nodo posible para ver si cumple con los requerimientos del perfil de voltaje y la reducción de las pérdidas en kW.

La capacidad en kVA del regulador de voltaje está en función de su porcentaje de regulación, revisar la sección 2.6. El margen de operación de selección es del 10% obteniéndose el tap más alto de $\pm 16\%$ donde cada salto equivale a 0,625%, se determinó este margen dado a las condiciones de voltaje que presentan los alimentadores “Piñas” y “Atahualpa” en la cabecera. La corriente de carga influye para la elección del regulador ya que define la capacidad en la que puede cargarse el regulador, los RV normalizados se los puede revisar en el Anexo 5 referentes a las Homologaciones de las unidades de Propiedad (UP) del MEER. Para la selección de los bancos se revisará la tabla 5-7, en el cual se presentan los RV que se requieren para el estudio.

Tabla 5-7. Reguladores de Voltaje descritos en la Unidad de Propiedad (UP) del MEER.

Fuente: Autores.

Ítem	Código	ID.UP-UC	ID.UP-UCa	Descripción
47	ECT0047	ECT-1RM127	C1RM127T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 127 kVA ctrl manual
48	ECT0048	ECT-1RM144	C1RM144T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 144 kVA ctrl manual
49	ECT0049	ECT-1RM167	C1RM167T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 167 kVA ctrl manual
50	ECT0050	ECT-1RM288	C1RM288T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 288 kVA ctrl manual

Metodología del modelo matemático.

A partir del flujo de carga realizado en los dos alimentadores “Piñas” y “Atahualpa” se determinó el procedimiento de selección e instalación de reguladores de voltaje en la red de distribución radial, donde se busca evaluar los voltajes (kVLL - kVLN) y las pérdidas activas (kW) por tramo. El uso de bancos de condensadores, en particular en los alimentadores, no hace que aumente significativamente el voltaje por lo que hace indispensable utilizar RV.

El voltaje en cada nodo de la red “i” debe estar limitado entre niveles específicos $V_{i_{min}}$ – $V_{i_{max}}$ y afectado por el tamaño y carácter de la carga, para que la caída total de voltaje a lo largo de la red y para cada uno de sus extremos sea menor que un porcentaje de voltaje nominal regulado del 92%. Si no se cumple este requerimiento, se debe aplicar el método de regulación de voltaje.

Se inicia con una concentración de las cargas en kVA a lo largo del ramal troncal de los dos alimentadores, es decir, se toman los resultados obtenidos del flujo de carga de la demanda en kVA y los porcentajes de caída de voltaje nodo a nodo o por tramo. En la figura 5-12 se muestra una representación del ramal troncal del alimentador Piñas y Atahualpa.

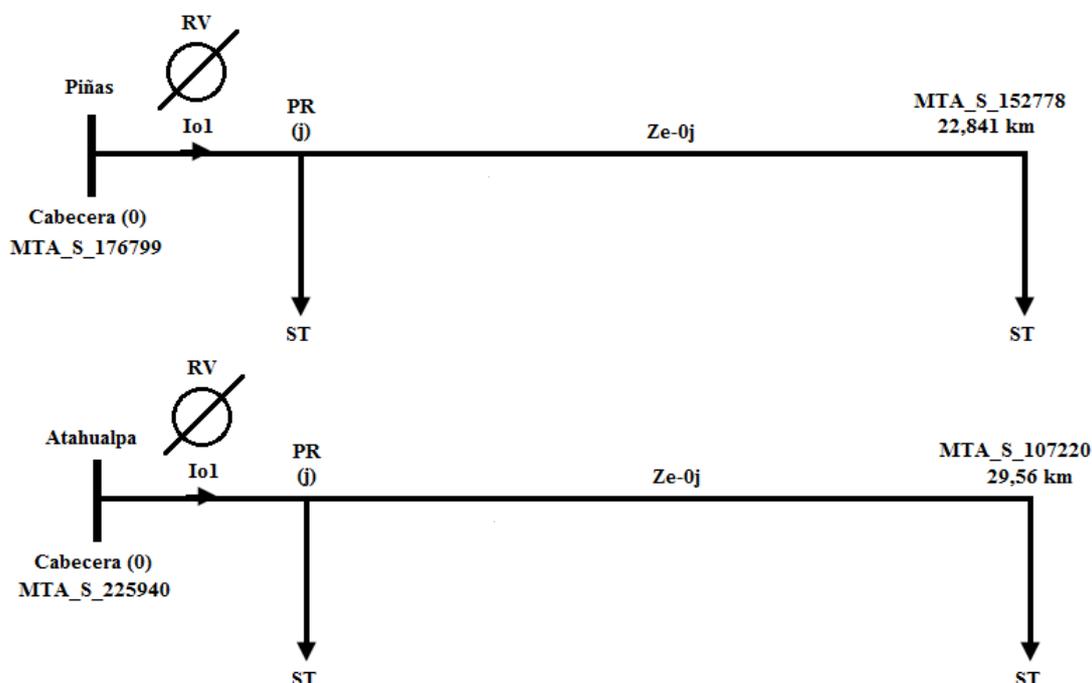


Figura 5-12. Ramal troncal trifásico del alimentador Piñas y Atahualpa.

Fuente: Autores.

Para determinar si la capacidad del regulador de voltaje que utiliza la CNEL EP EL ORO funciona y opera dentro de las condiciones normales en los alimentadores “Piñas” y

“Atahualpa” se procede aplicar la ecuación 2-10. En la tabla 5-8 se presentan los resultados donde se observa que la capacidad de los RV cumple con los requerimientos de la demanda máxima.

Tabla 5-8. Capacidad en kVA de los alimentadores Piñas y Atahualpa.

Fuente: Autores.

Alimentador Piñas			Alimentador Atahualpa		
Regulación	10	%	Regulación	10	%
Sistema Trifásico conectado en estrella o delta cerrado.					
St:	134,5006	kVA	St:	105,3418	kVA
Sistema Monofásico.					
S1:	146,435	kVA	S1:	100,392	kVA
S2:	125,433	kVA	S2:	101,419	kVA
S3:	131,889	kVA	S3:	114,495	kVA

La corriente nominal que posee el alimentador Piñas es de 184,481 A y el Atahualpa de 146,469 A, estos valores están dentro del límite establecido del RV comercial de 210 A.

Se toma los resultados de las caídas de voltaje por tramo del ramal troncal del Alimentador Piñas y Atahualpa para realizar el voltaje de balance. El voltaje de balance es el que tiene que haber en el primario del transformador de distribución para lograr el voltaje deseado en los consumidores, para el caso en los dos alimentadores se toma un voltaje referido al secundario de 120 V. En la regulación se debe tomar en cuenta el perfil de voltaje de la figura 2-10 ya que indica como al aumentar el voltaje en el PR (punto de regulación) “j” el voltaje cambia en la cabecera lo que en cierto modo puede provocar un sobre voltaje.

Utilizando una relación de transformación de los transformadores de distribución y la posición de la derivación se calcula el voltaje de balance para el lado de alto voltaje aplicando la ecuación 5-1, la derivación que se emplea de acuerdo a las tomas de los trafos es de -2,5%.

$$V_{Balance/Alta} = V_{Balance/Baja} \frac{\left(1 + \frac{Tap \%}{100}\right) \times V_{Nominal-primario}}{V_{Nominal-secundario}} \quad 51$$

Donde:

$V_{Balance/Alta}$: Voltaje de balance referido en alta.

$V_{Balance/Baja}$: Voltaje de balance referido en baja.

$V_{Nominal-primario}$: Voltaje nominal primario (fuente).

$V_{Nominal-secundario}$: Voltaje nominal (120 V).

$Tap \%$: Derivación del transformador de distribución.

En la figura 5-13 se muestra los parámetros descritos para obtener el “ $V_{Balance/Alta}$ ” en la cual se considera el punto de regulación y el nodo de cabecera para el alimentador Piñas y Atahualpa.

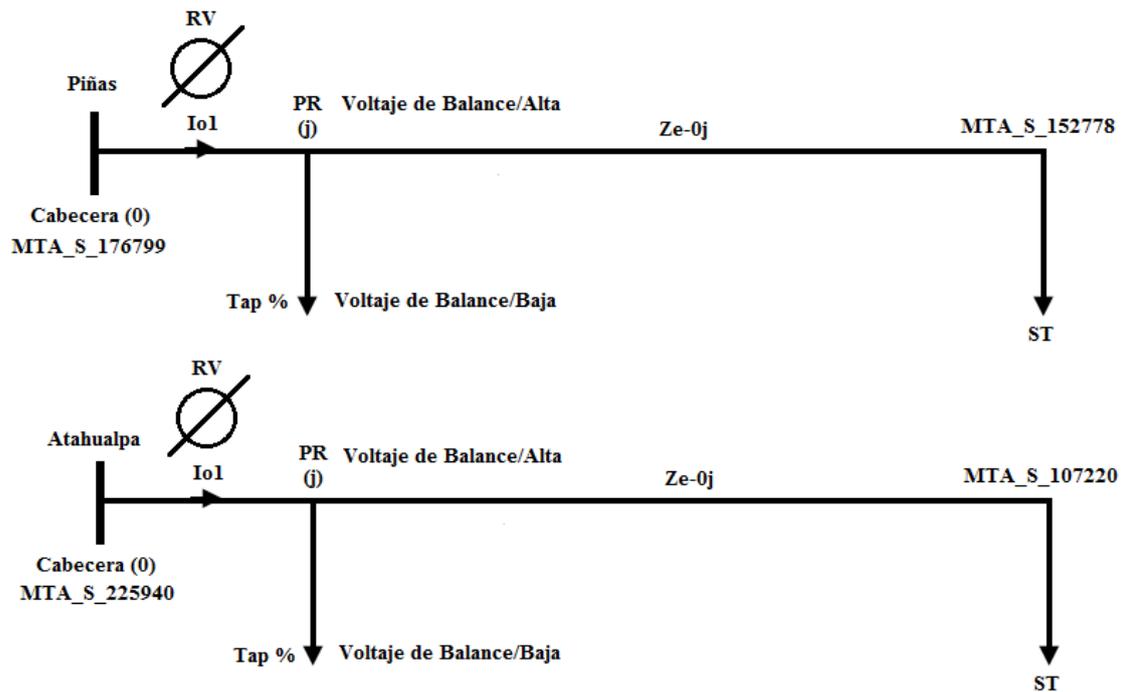


Figura 5-13. Descripción para obtener el voltaje de balance en alta.

Fuente: Autores

El propósito del modelo matemático es obtener un valor de voltaje para regular en el nodo crítico (j) donde se toma en cuenta que el nivel de voltaje en el nodo (i) es diferente al nodo (j). Para que el RV opere dentro de las condiciones normales se debe trasladar lo que ocurre en el punto de regulación hasta el punto de ubicación del RV, es decir, a partir del circuito compensador de caída de línea permite al RV detectar lo que está sucediendo en el punto alejado que debe controlar.

Definido el “ $V_{Balance/Alta}$ ” se procede ahora obtener el nivel de voltaje en el nodo en el cual se ubicará el regulador de voltaje. Aplicando la ley de Kirchoff para los voltajes y teniendo en cuenta las caídas de volta entre el punto de regulación PR y el nodo donde se colocará el RV se aplica la siguiente ecuación:

$$V_{nodo-RV} = V_{PR} + \sum \Delta V_{i-j} \times V_{Nominal-primario} \quad 52$$

Donde:

$V_{nodo-RV}$: Voltaje registrado cuando se coloca el RV.

V_{PR} : Voltaje de balance referido en alta.

$\sum \Delta V_{i-j}$: Caídas de voltaje registrados entre el nodo del RV y el punto de regulación.

$V_{Nominal-primario}$: Voltaje nominal primario (Fuente).

Al tener valores muy extensos de nodos y tramos en los dos alimentadores se procede a programar ese método en el software MatLab. El cual se toma los valores de las caídas de voltaje de cada tramo y se procede a realizar lo siguiente:

Para representar el comportamiento del RV se procede a realizar una multiplicación de la matriz de incidencia con el vector de caídas de voltaje de cada tramo. El cual al final nos da un único

vector, para conseguir el nuevo voltaje se procede realizar un producto con la sumatoria de las caídas de voltaje hacia aguas arriba de cada tramo, además de un valor V_{S_j} y el voltaje de la fuente V_{S_0} .

$$[\Delta V_j] = [M_i \times N_j] \times [\Delta V_{n_{i-j}}] \quad 53$$

$$[\Delta V_j] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & n \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & . \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & . \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & . \\ n & . & . & . & . & . \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta V_{1-2} \\ \Delta V_{2-3} \\ \Delta V_{3-4} \\ \Delta V_{4-5} \\ \Delta V_{5-6} \\ \Delta V_{n_{i-j}} \end{bmatrix} \quad 54$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \\ \Delta V_4 \\ \Delta V_5 \\ \Delta V_{n_j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S_1} + \sum \Delta V_{2-n} \times V_{S_0} \\ V_{S_2} + \sum \Delta V_{3-n} \times V_{S_0} \\ V_{S_3} + \sum \Delta V_{4-n} \times V_{S_0} \\ V_{S_4} + \sum \Delta V_{5-n} \times V_{S_0} \\ V_{S_5} + \sum \Delta V_{6-n} \times V_{S_0} \\ V_{S_j} + \sum \Delta V_{j-n} \times V_{S_0} \end{bmatrix} \quad 55$$

Cuando se especifica el nodo en el cual se instala el RV se procede a identificar la posición del TAP% el cual define la funcionalidad de regulación. Para obtener el TAP de regulación se aplica la ecuación 2-13, si el TAP excede el 16% se debe proponer otro nodo más cercano al de cabecera el cual brinde una solución más adecuada.

Para saber si el voltaje en el secundario en el cual se encuentra colocado el RV está dentro de los rangos permitidos se aplica la ecuación 5-6:

$$V_{consumidor} = V_{nodo-RV} \times \frac{V_{Nominal-secundario}}{\left(1 + \frac{Tap \%}{100}\right) \times V_{Nominal-primario}} - \Delta V \text{ en Baja.} \quad 56$$

Donde:

$V_{consumidor}$: Voltaje del consumidor en baja.

$V_{nodo-RV}$: Voltaje regulado del nodo.

$V_{Nominal-primario}$: Voltaje nominal primario (fuente).

$V_{Nominal-secundario}$: Voltaje nominal (120 V).

$Tap \%$: Derivación del transformador de distribución.

$\Delta V \text{ en baja}$: Caída de voltaje en baja.

No se toma en consideración la caída de voltaje en baja por lo tanto se define un valor de 120 V.

Para definir el ajuste del circuito compensador del alimentador “Piñas” y “Atahualpa” se aplica la ecuación 2-29, donde se utiliza la demanda máxima en kVA y la longitud [km] por tramo. El

ajuste del CCCV es importante ya que así se puede conocer el comportamiento a lo largo del ramal troncal. Además, se toma en consideración la ecuación 2-18 para definir la relación del TC y TP, la cual se interpreta de la siguiente manera para obtener el ajuste:

$$Z_c = R + Xj \quad 57$$

$$S_n = [\text{Vector de potencia}] \quad 58$$

$$[Z_{c1} \quad Z_{c2} \quad Z_{cn}] \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_n \end{bmatrix} = [Z_{c1} \times S_1 \quad Z_{c2} \times S_2 \quad Z_{cn} \times S_n] \quad 59$$

$$= \frac{1}{S_T} \times \sum_{n=1}^n [Z_{cn} \times S_n] \times \frac{I_{nominal\ primario}}{kp} \quad 510$$

El objetivo del modelo es poder obtener una impedancia equivalente total del alimentador primario donde se desea colocar el regulador de voltaje, esto ayuda a establecer los valores del circuito compensador Vr y Vx, para luego revisar que ocurre en la cabecera del alimentador con el nuevo voltaje elevado, es decir, ver si afecta a los usuarios iniciales el nuevo perfil de voltaje.

Ubicación óptima de los reguladores de voltaje en el alimentador Piñas.

Primero se analiza colocar reguladores de voltaje al alimentador Piñas el cual se analiza los voltajes registrados en cada tramo del alimentador. Como se puede observar existe a partir del nodo inicial un límite de regulación por debajo de lo establecido, por lo que se procede a colocar un regulador de voltaje en nodo (MTA_S_176799 – MTA__S_176799) a una distancia de 0,2337 km, el voltaje que registra el sistema sin RV es de 7,2864 kVLN Avg.

Tabla 5-9. Resultados del flujo de carga del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Nodo Origen	Nodo Destino	ni	nj	Long. [km]	VA(kVLN)	VB(kVLN)	VC(kVLN)	V(kVLN)
NODFUENTE-67	NODFUENTE-67	0	1	0,000	7,399	7,244	7,216	7,286
NODFUENTE-67	MTA_S_176799	1	2	0,038	7,399	7,244	7,216	7,286
MTA_S_176799	MTA_S_176799	2	3	0,038	7,394	7,241	7,215	7,284
MTA_S_176799	MTA_S_176796	2	4	0,234	7,394	7,241	7,215	7,284
MTA_S_176796	MTA_S_176796	4	5	0,234	7,375	7,231	7,207	7,271
MTA_S_176796	MTA_S_176785	4	6	0,449	7,375	7,231	7,207	7,271
MTA_S_176785	MTA_S_176785	6	7	0,449	7,354	7,226	7,188	7,256
MTA_S_176785	MTA_S_152036	6	8	1,062	7,354	7,226	7,188	7,256
MTA_S_152036	MTA_S_152036	8	9	1,062	7,316	7,191	7,144	7,218
MTA_S_152036	MTA_S_152002	8	10	1,196	7,316	7,191	7,144	7,218
MTA_S_152002	MTA_S_152002	10	11	1,196	7,299	7,169	7,138	7,200
MTA_S_152002	MTA_S_152003	10	12	1,373	7,299	7,169	7,138	7,200
MTA_S_152003	MTA_S_152003	12	13	1,373	7,276	7,166	7,117	7,187
MTA_S_152003	MTA_S_152039	12	14	1,409	7,276	7,166	7,117	7,187
MTA_S_152039	MTA_S_152039	14	15	1,409	7,276	7,165	7,117	7,186

La capacidad en kVA de los reguladores de voltaje cumplen con los rangos establecidos, tales resultados se los puede revisar en la tabla 5-8. Al ser un sistema con un ramal trifásico conectado en estrella, se debe utilizar 3 RV con una capacidad de regulación de 167 kVA.

En la figura 5-14 se puede observar el nodo de selección para el PR el cual es el MTA_S_274777.

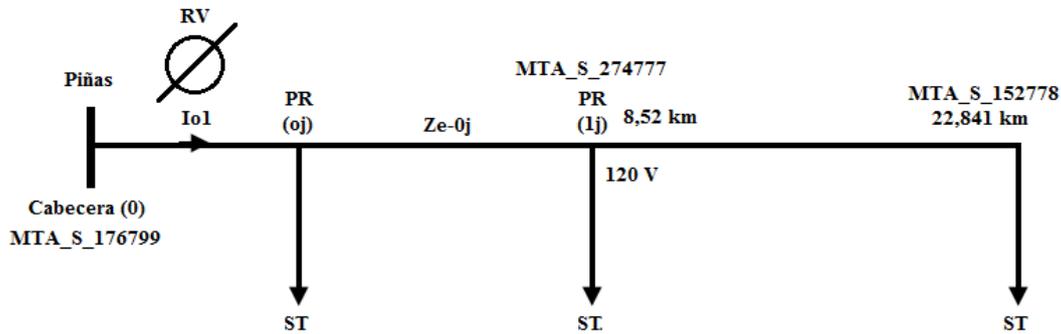


Figura 5-14. Regulador de Voltaje ubicado en la cabecera del alimentador y el PR a 8,52 km.

Fuente: Autores.

En la figura 5-15 se observa el perfil de voltaje kVLN tras ubicar un RV en la cabecera del alimentador Piñas.

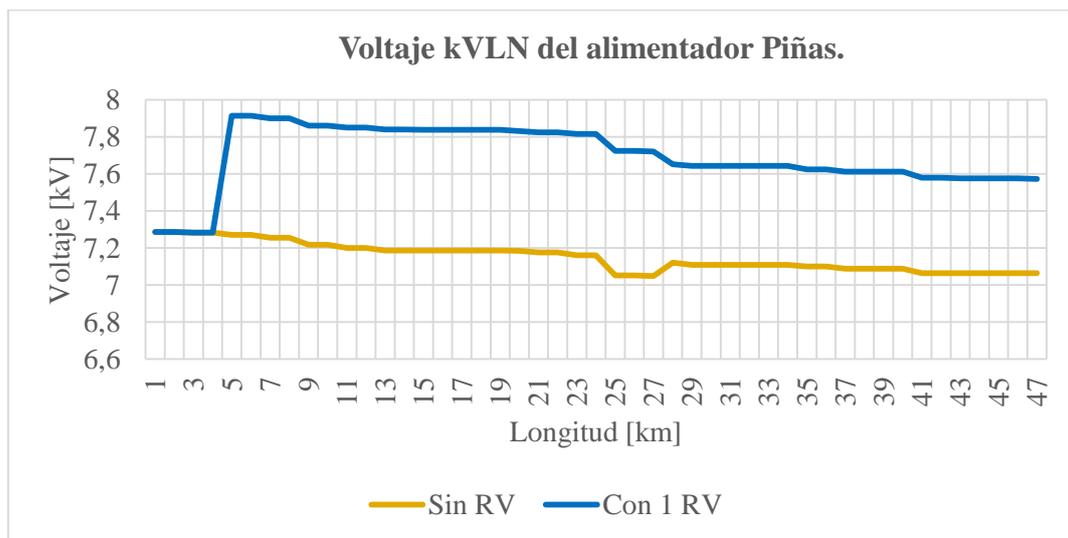


Figura 5-15. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Piñas con un RV en cabecera.

Fuente: Autores.

En la tabla 5-10 se detallan los ajustes de los taps, los cuales están en el máximo de regulación posible que es del 10%.

Tabla 5-10. Ajustes de los Taps del RV en el alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Nodo Origen	Nodo Destino	ni	nj	Long. [km]	VA(kVLN)	VB(kVLN)	VC(kVLN)	V(kVLN)
NODFUENTE-67	NODFUENTE-67	0	1	0,000	7,399	7,244	7,216	7,286
NODFUENTE-67	MTA_S_176799	1	2	0,038	7,399	7,244	7,216	7,286
MTA_S_176799	MTA_S_176799	2	3	0,038	7,394	7,241	7,215	7,284
MTA_S_176799	MTA_S_176796	2	4	0,234	7,394	7,241	7,215	7,284
MTA_S_176796	MTA_S_176796	4	5	0,234	7,909	7,908	7,926	7,915
MTA_S_152003	MTA_S_152039	12	14	1,409	7,816	7,851	7,856	7,841
MTA_S_152039	MTA_S_152039	14	15	1,409	7,811	7,851	7,853	7,838

Taps del Regulador de Voltaje	12 %	16 %	16 %	
-------------------------------	------	------	------	--

En la tabla 5-11, se muestra los resultados del flujo de carga cuando se instaló un RV en la cabecera, se puede notar que la demanda en kVA no cambia en relación a un sistema sin RV.

Tabla 5-11. Resultados del flujo de carga con la ubicación de un RV en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Cabecera	Flujo de carga					
	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	V (kV)	Fp	%Desbalance
A	1353,995	564,482	1466,950	7,400	0,923	8,186
B	1193,684	393,192	1256,774	7,244	0,950	6,688
C	1225,987	480,675	1316,850	7,216	0,931	2,228
Total	3773,801	1428,757	4035,210	7,286	0,935	14,327

Las pérdidas totales que registra el sistema cuando se instaló un RV son de 232,583 kW, se redujo 3.06% respecto al sistema sin RV y se puede observar su comportamiento en la figura 5-16.

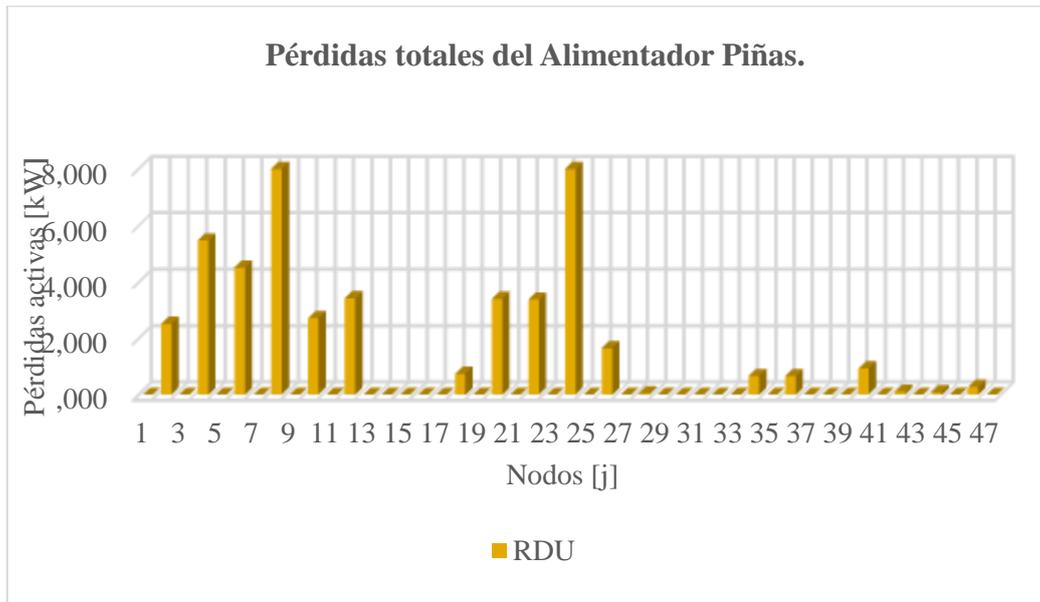


Figura 5-16. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Piñas con un RV en cabecera.

Fuente: Autores.

Ajuste del circuito compensador del alimentador Piñas.

El análisis del ajuste del “CCCV” es importante ya que así se puede conocer el comportamiento del alimentador Piñas. Por lo tanto, se considera aspectos relacionados entre el punto de ubicación del RV “nodo 0” y el punto de regulación “nodo j”. Dado a la topología del alimentador que posee varias distancias en los tramos y secciones de conductores diferentes, es necesario obtener una impedancia equivalente.

Se debe realizar una concentración de las cargas a lo largo del ramal troncal para obtener un valor en kVA en cada tramo, es decir, si se conocen las cargas “Sj” y los factores de potencia

son diferentes se sustituye las corrientes por la parte real e imaginaria de las impedancias de cada tramo para lo cual se emplea la ecuación 2-29.

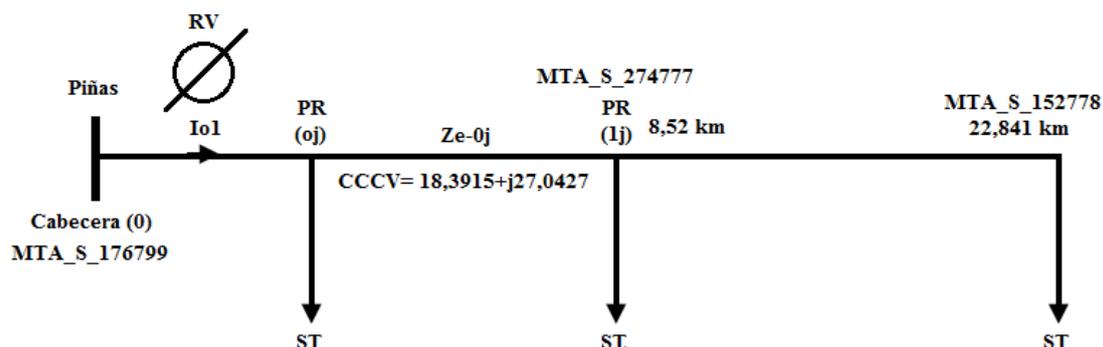


Figura 5-17. Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje del Alimentador (ramal troncal).

Fuente: Autores.

La impedancia equivalente del alimentador Piñas es de $18,3915 + j27,0427[V]$ el cual se consideró el tramo inicial MTA_S_176799 hasta el punto de regulación (PR) MTA_S_152778, ver la figura 5-13. En su mayoría el ajuste del circuito compensador CCCV se refiere en voltios debido a que su ingreso en el controlador se define de la siguiente manera:

$$V_R = 18,3915 V.$$

$$V_X = 27,0427 V.$$

Ubicación óptima de los reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.

Según los resultados obtenidos de los flujos de carga expuestos en la tabla 5-12, se puede observar que los índices de voltaje están por debajo de los regulados, el voltaje del sistema sin RV es de 7,179 kVLN Avg. Esto nos lleva a colocar un RV en la cabecera del alimentador en el nodo (MTA_S_225940 – MTA_S_225940) a una distancia de 0,0453 km.

Tabla 5-12. Resultados del flujo de carga del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Nodo Origen	Nodo Destino	ni	nj	Long. [km]	VA(kVLN)	VB(kVLN)	VC(kVLN)	V(kVLN)
NODFUENTE-68	NODFUENTE-68	0	1	0,000	7,281	7,149	7,116	7,182
NDOFUENTE-68	MTA_S_225940	1	2	0,041	7,281	7,149	7,116	7,182
MTA_S_225940	MTA_S_225940	2	3	0,041	7,279	7,149	7,112	7,179
MTA_S_225940	MTA_S_225941	2	4	0,045	7,279	7,149	7,112	7,179
MTA_S_225941	MTA_S_225941	4	5	0,045	7,279	7,149	7,112	7,179
MTA_S_225941	MTA_S_177168	4	6	0,131	7,275	7,145	7,110	7,176
MTA_S_177168	MTA_S_177168	6	7	0,131	7,275	7,145	7,110	7,176
MTA_S_106981	MTA_S_177168	6	8	0,152	7,273	7,143	7,110	7,176
MTA_S_106981	MTA_S_106981	8	9	0,152	7,273	7,143	7,110	7,176
MTA_S_106981	MTA_S_64700	8	10	0,163	7,273	7,143	7,110	7,176
MTA_S_64700	MTA_S_64700	10	11	0,163	7,273	7,143	7,110	7,176
MTA_S_64700	MTA_S_64502	10	12	0,165	7,273	7,143	7,110	7,176
MTA_S_64502	MTA_S_64502	12	13	0,165	7,273	7,143	7,110	7,176
MTA_S_64502	MTA_L_64502	12	14	0,168	7,273	7,143	7,110	7,176
MTA_L_64502	MTA_L_64502	14	15	0,168	7,273	7,143	7,110	7,176

Según los resultados de la tabla 5-8, vemos que la capacidad en kVA del RV cumple con los requerimientos por lo que se procede a realizar la selección del punto PR el cual está ubicado en el tramo MTA_S_107052, ver la figura 5-18.

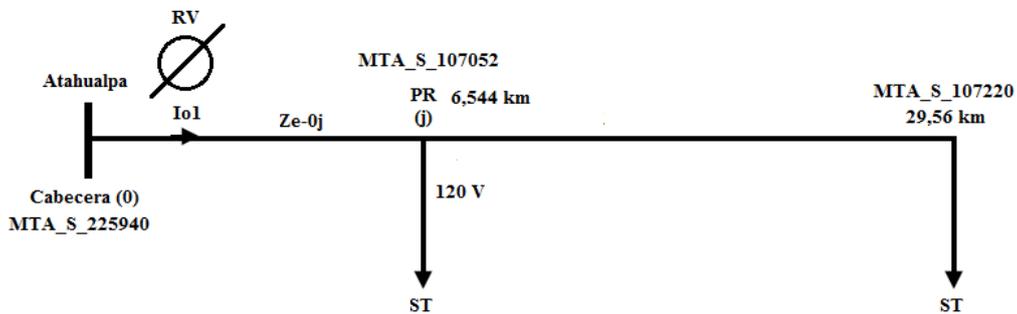


Figura 5-18. Regulador de Voltaje ubicado en la cabecera del alimentador y el PR a 6,544 km.
Fuente: Autores.

En la figura 5-19 se observa el perfil de voltaje del alimentador Atahualpa luego de haber ubicada un RV, en el cual se puede observar que la curva tiene las mismas características solo cambia el nivel de voltaje registrado.

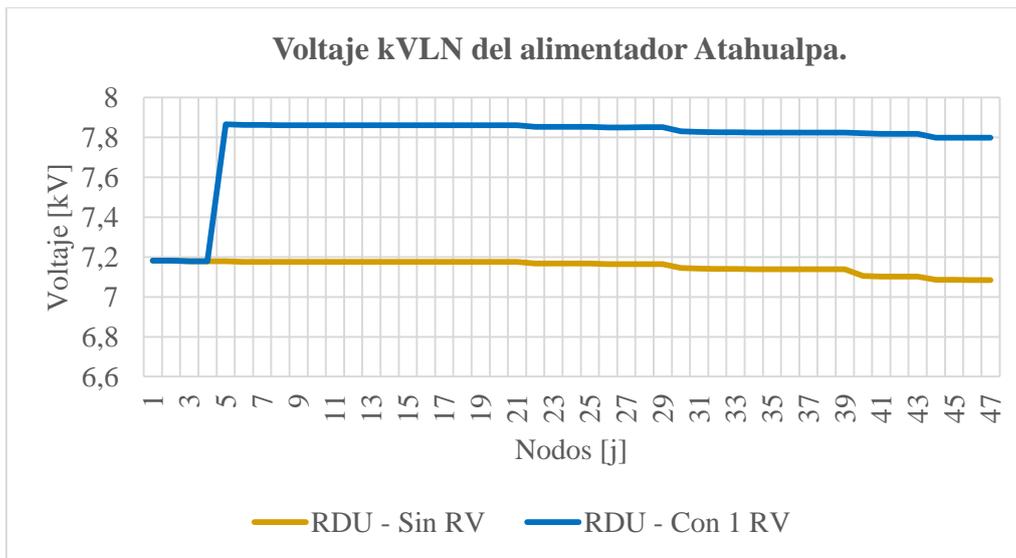


Figura 5-19. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa con un RV en cabecera.
Fuente: Autores.

En la tabla 5-13 se detallan los ajustes de los taps, los cuales están en el máximo de regulación posible que es del 10%.

Tabla 5-13. Ajustes de los Taps del RV en el alimentador Atahualpa.
Fuente: Autores

Nodo Origen	Nodo Destino	ni	nj	Long. [km]	VA(kVLN)	VB(kVLN)	VC(kVLN)	V(kVLN)
NODFUENTE-68	NODFUENTE-68	0	1	0,000	7,281	7,149	7,116	7,182
NDOFUENTE-68	MTA_S_225940	1	2	0,041	7,281	7,149	7,116	7,182
MTA_S_225940	MTA_S_225940	2	3	0,041	7,279	7,149	7,112	7,179

MTA_S_225940	MTA_S_225941	2	4	0,045	7,279	7,149	7,112	7,179
MTA_S_225941	MTA_S_225941	4	5	0,045	7,908	7,865	7,824	7,866
MTA_S_225941	MTA_S_177168	4	6	0,131	7,904	7,861	7,823	7,863
Taps del Regulador de Voltaje					16 %	16 %	16 %	

En la tabla 5-14, se muestra los resultados del flujo de carga cuando se instaló un RV en la cabecera, se puede notar que la demanda en kVA tiene un ligero incremento en relación a un sistema sin RV.

Tabla 5-14. Resultados del flujo de carga con la ubicación de un RV en la cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Cabecera	Flujo de carga					
	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	V (kV)	Fp	%Desbalances
A	911,545	466,746	1024,093	7,908	0,890	4,686
B	915,469	443,123	1017,075	7,865	0,900	5,339
C	1076,954	487,533	1182,167	7,824	0,911	10,025
Total	2903,967	1404,290	3225,687	7,866	0,900	13,965

En la figura 5-20 se presentan los resultados de las pérdidas activas de los primeros nodos los cuales registran unas pérdidas totales de 188,435 kW que disminuyen en 2,12% con respecto al sistema sin RV.

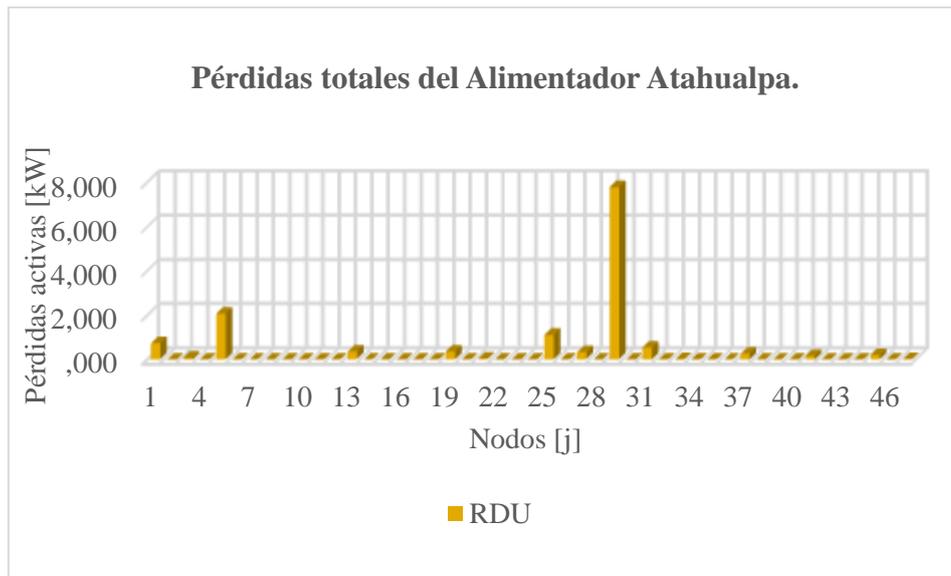


Figura 5-20. Pérdidas activas [kW] de los tramos iniciales del alimentador Atahualpa con un RV en cabecera.

Fuente: Autores.

Los resultados analizados muestran que emplear un RV no cumple con las necesidades de mejorar el perfil de voltaje a lo largo del ramal troncal. Por lo que se procede a ubicar un segundo RV en los tramos en los cuales el límite de regulación está por debajo del 92% referido a un voltaje de 13,8 kV. En la tabla 5-15 se puede observar el segundo RV ubicado en el tramo MTA_S_107052 y el tap de operación de este.

En la figura 5-21 se muestran los puntos en los cuales se ubicará el segundo RV, se toma en consideración el PR el cual está situado a una distancia de 23,068 km.

El perfil del voltaje del segundo RV se encuentra en la figura 5-22, donde se puede observar que en nodo 133 – 134 el voltaje tiene un incremento lo que hace que el voltaje mejore aguas abajo.

Tabla 5-15. Resultados del flujo de carga del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Nodo Origen	Nodo Destino	ni	nj	Long. [km]	VA(kVLN)	VB(kVLN)	VC(kVLN)	V(kVLN)
MTA_S_107058	MTA_S_107047	122	124	5,203	7,595	7,549	7,518	7,554
MTA_S_107047	MTA_S_107047	124	125	5,203	7,591	7,549	7,518	7,553
MTA_S_107047	MTA_S_107059	124	126	5,506	7,591	7,549	7,518	7,553
MTA_S_107059	MTA_S_107059	126	127	5,506	7,583	7,533	7,506	7,541
MTA_S_107059	MTA_S_107060	126	128	5,628	7,583	7,533	7,506	7,541
MTA_S_107060	MTA_S_107060	128	129	5,628	7,581	7,531	7,501	7,538
MTA_S_107060	MTA_S_107051	128	130	5,676	7,581	7,531	7,501	7,538
MTA_S_107051	MTA_S_107051	130	131	5,676	7,580	7,525	7,492	7,532
MTA_S_107051	MTA_S_107052	130	132	6,544	7,580	7,525	7,492	7,532
MTA_S_107052	MTA_S_107052	132	133	6,544	7,521	7,479	7,446	7,482
MTA_S_107052	MTA_S_107062	132	134	7,360	7,959	7,929	7,985	7,958
MTA_S_107062	MTA_S_107062	134	135	7,360	7,959	7,929	7,985	7,958
MTA_S_107062	MTA_S_107063	134	136	7,360	7,959	7,888	7,961	7,936
MTA_S_107063	MTA_S_107063	136	137	7,360	0,000	0,000	7,961	7,961
MTA_S_107063	MTA_L_107063	136	138	7,361	0,000	0,000	7,961	7,961
MTA_L_107063	MTA_L_107063	138	139	7,361	0,000	0,000	7,961	7,961
MTA_S_107062	MTA_S_107065	134	140	7,412	0,000	0,000	7,961	7,961
MTA_S_107065	MTA_S_107065	140	141	7,412	7,959	7,888	7,957	7,935
MTA_S_107065	MTA_S_107073	140	142	7,421	7,946	7,885	7,956	7,929
MTA_S_107073	MTA_S_107073	142	143	7,421	7,946	7,885	7,956	7,929
MTA_S_107073	MTA_S_107074	142	144	7,422	7,946	7,885	7,953	7,928
Tap del Regulador de voltaje					10 %	10%	12 %	

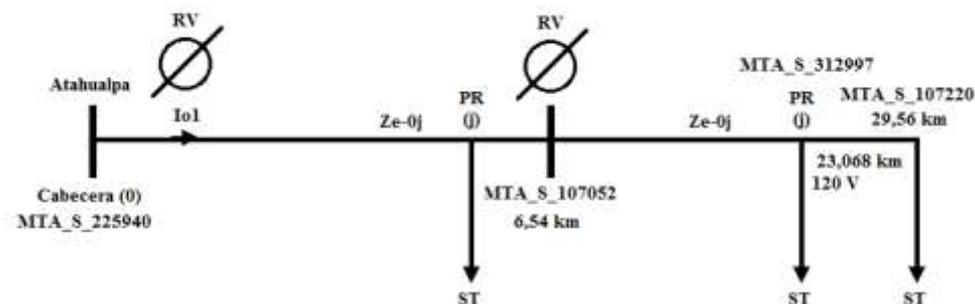


Figura 5-21. Regulador de Voltaje ubicado en la cabecera del alimentador y el PR a 6,544 km.

Fuente: Autores.

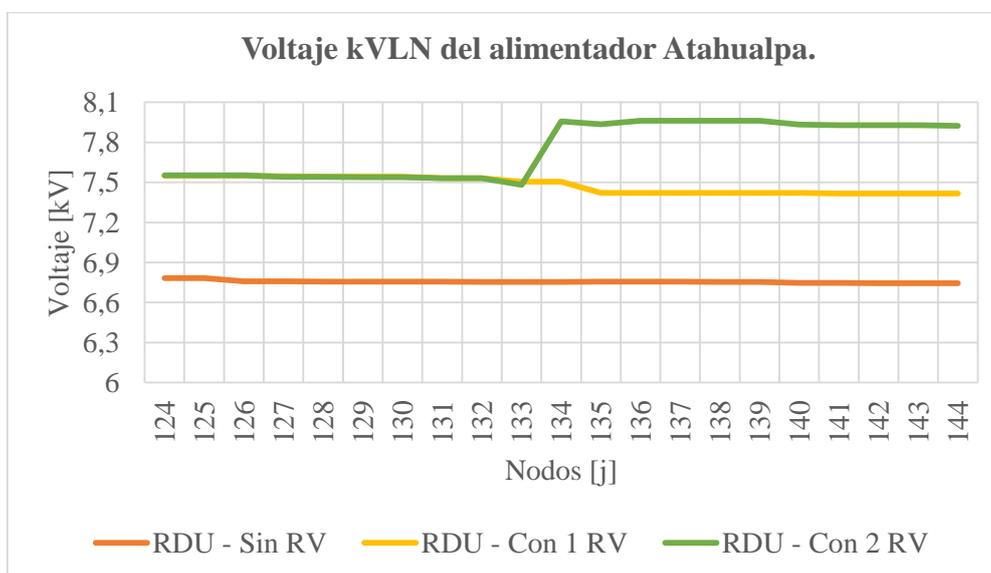


Figura 5-22. Perfil de voltaje [kVLN] de los tramos del alimentador Atahualpa con otro RV ubicado en el tramo MTA_S_107052.

Fuente: Autores.

Los resultados del flujo de carga cuando se ubica un segundo RV en el tramo MTA_S_107052 se detallan en la tabla 5-16.

Tabla 5-16. Resultados del flujo de carga con la ubicación de un segundo RV en el tramo MTA_S_107052 del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Cabecera	Flujo de carga					
	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	V (kV)	Fp	%Desbalance
A	911,667	467,061	1024,345	7,908	0,890	4,641
B	915,797	440,424	1016,198	7,865	0,901	5,400
C	1076,879	487,499	1182,084	7,824	0,911	10,042
Total	2904,366	1403,461	3225,686	7,866	0,900	14,033

Las pérdidas totales que se tiene cuando se coloca dos RV en la cabecera y en el tramo MTA_S_107052 son de 183,638 kW, disminuyen en 2,545% con respecto al sistema con un RV y 4.616% con respecto al sistema sin RV, además se puede ver las pérdidas por tramo a partir del nodo 124 hasta el 144 en la figura 5-23.

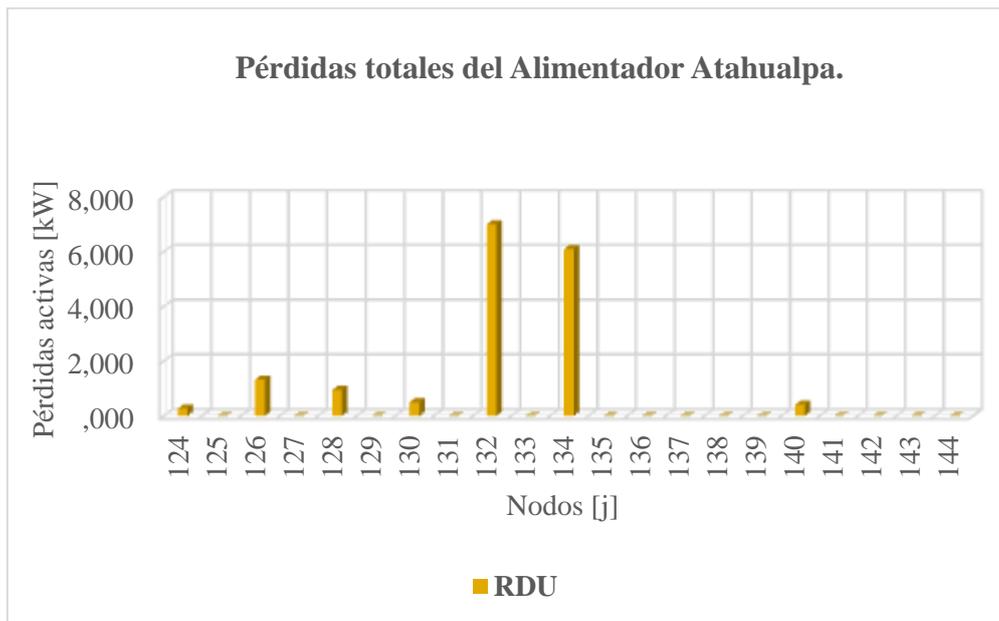


Figura 5-23. Pérdidas activas [kW] de los tramos 124 hasta el 144 del alimentador Atahualpa cuando se tiene un segundo RV.

Fuente: Autores.

Ajuste del circuito compensador del alimentador Atahualpa.

En la figura 5-24 se muestra una representación del alimentador Atahualpa la cual toma en consideración el tramo de ubicación de RV y PR (j) y la distancia del ramal troncal la cual tiene 29,56 km.

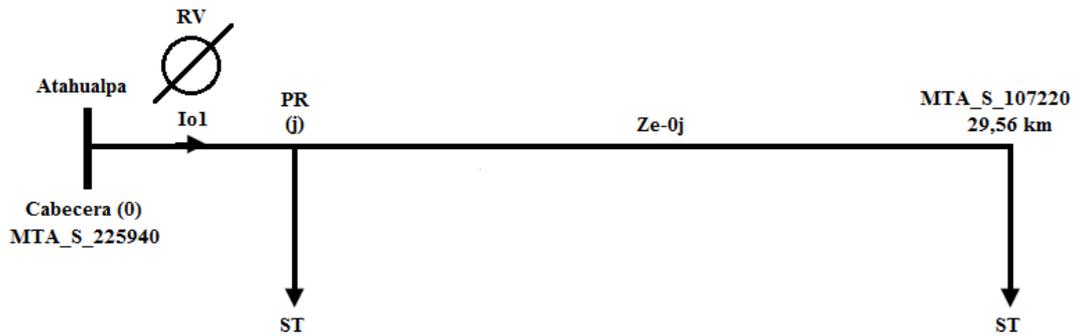


Figura 5-24. Regulador de voltaje ubicado en la cabecera del alimentador Atahualpa.
Fuente: Autores.

Al igual que el alimentador Piñas en el Atahualpa se deben concentrar las cargas en cada tramo del ramal troncal para proceder aplicar la ecuación 2-29.

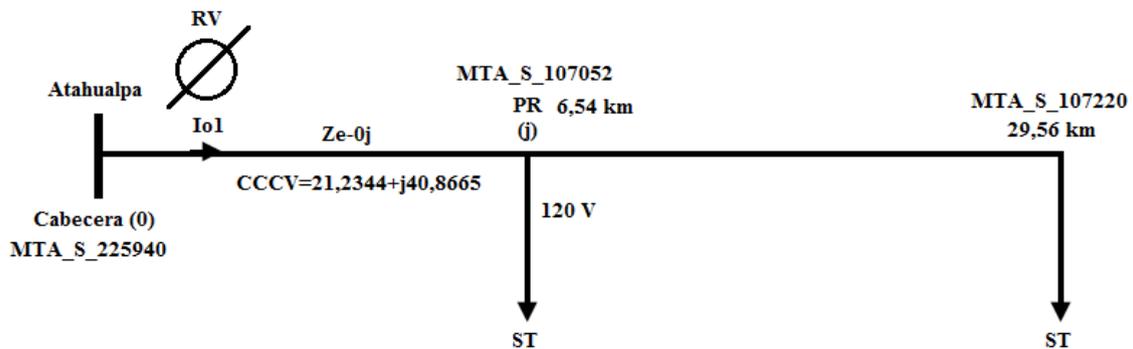


Figura 5-25. Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje del Alimentador Atahualpa (ramal troncal).
Fuente: Autores.

La impedancia equivalente del alimentador Atahualpa es de $21,2344 + j40,8665[V]$, este análisis está realizado cuando se coloca un RV en la cabecera del circuito, específicamente en los tramos MTA_S_225940 y el MTA_S_107220, ver la figura 5-25. El ajuste del circuito compensador queda definido de la siguiente manera:

$$V_R = 21,2344 \text{ V.}$$

$$V_X = 40,8665 \text{ V.}$$

En vista de que la carga existente en los tramos iniciales es muy elevada hace que los valores de voltaje en los tramos iniciales del alimentador disminuyen considerablemente, por lo tanto, se plantea el uso de otro RV para que aumente el voltaje de salida del siguiente RV y mejore el perfil de voltaje en el ramal troncal final. Para este caso se debe utilizar la ecuación 2-28 en dos etapas como se observa en la figura 5-26.

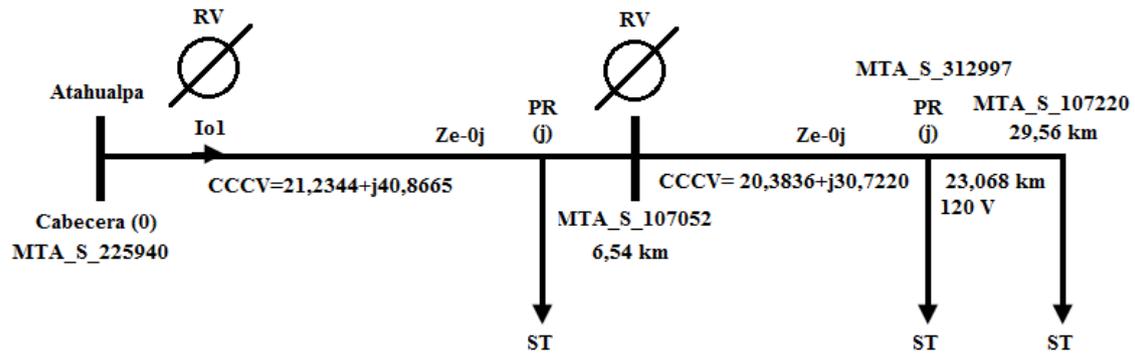


Figura 5-26. Ajuste del circuito compensador de caída de voltaje del Alimentador Atahualpa (ramal troncal).

Fuente: Autores.

Los resultados obtenidos en la figura 5-26 muestran dos impedancias equivalentes en el alimentador Atahualpa divididos en dos etapas, La primera etapa comprende el tramo MTA_S_225940 hasta el MTA_S_107051 con un valor de $21,2344 + j40,8665[V]$ y en la segunda etapa esta designado el tramo MTA_S_107052 y el MTA_S_312997 con una impedancia de $20,3836 + j30,7220[V]$ a una distancia de 23,068 km. El ajuste del compensador referido a valores en voltios es:

El ajuste del CCCV en la primera etapa con un RV en el tramo MTA_S_225940 se define como:

$$V_R = 21,2344 V.$$

$$V_X = 40,8665 V.$$

El ajuste del CCCV en la segunda etapa con otro RV en el tramo MTA_S_107052 es:

$$V_R = 20,3836 V.$$

$$V_X = 30,7220 V.$$

5.2 Ubicación de los reguladores de voltaje a través del software CYMDIST.

El método de búsqueda iterativa (evalúa cada tramo de ubicación posible para brindar una solución integral) busca dar con posibles ubicaciones que brinden una solución al nivel crítico de voltaje en el alimentador “Piñas” y “Atahualpa”, tratando de aplanar el nivel de voltaje a los límites en media tensión establecidos por el CONELEC 004/01 y proporcionar soluciones para reducir las pérdidas de potencia activa kW de paso de energía en cada tramo de los dos alimentadores.

Los pasos de búsqueda dependerán de que tan eficiente es la localización de los tramos para la instalación de un regulador de voltaje, a medida que se reduce la longitud hace que el proceso sea más lento, pero brinda mejores soluciones posibles. Con un gran número de tramos en el alimentador Piñas (3383) y Atahualpa (1250) se especificó una distancia de búsqueda de 0,5 km para los dos alimentadores.

Los reguladores de voltaje generalmente se encuentran ubicados en el ramal troncal trifásico del alimentador. Por lo tanto, para la instalación se procedió a ignorar los tramos trifásicos, bifásicos y monofásicos de los ramales secundarios aéreos – subterráneos del circuito Piñas y Atahualpa. Las restricciones nos permiten reducir el área de influencia para ubicar de forma óptima los reguladores ya que en la cabecera se concentra toda la demanda.

El regulador que se utiliza para la simulación es el “Regulador de Voltaje Monofásico tipo transformador por pasos Modelo RAV-2 con control modelo CTR-2”, en el software CYMDIST el equipo está cargado como REG-ITB-B, el ajuste de control de selección del RV es de modo invertido bidireccional que tiene un comportamiento de flujo en las dos direcciones, esto evita que el regulador se bloquee ante variaciones de voltajes y que pueda causar sobretensiones y subtensiones. Se definió la tensión deseada para cada fase que es de 120 V para las fases A, B y C y el ancho de banda es de ± 2 voltios valor por el cual la curva se mantiene a valores de 122 y 118 voltios.

5.2.1 Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Piñas.

5.2.1.1 Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Piñas para demanda máxima.

Aplicando el módulo se tiene los siguientes sitios candidatos para ubicar el regulador de voltaje como se observa en la figura 5-27.

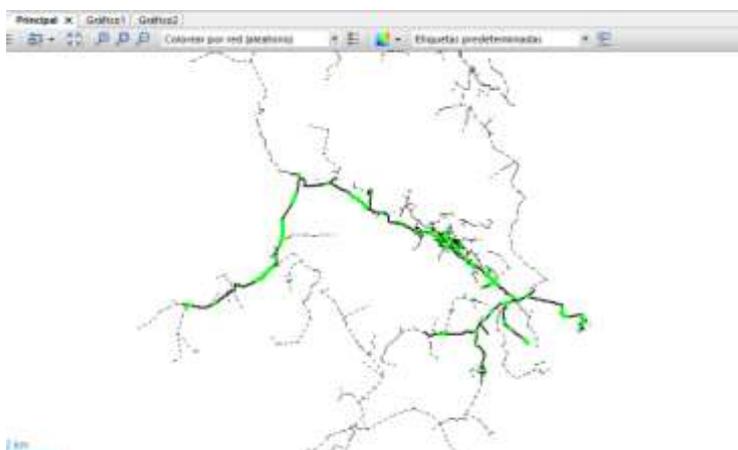


Figura 5-27. Ubicaciones óptimas para los reguladores de voltaje en el alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En vista del nivel crítico de voltaje que presenta el alimentador Piñas, se procede a colocar en la cabecera un RV como primer escenario de estudio. A partir de la ubicación se analizará si cumple con los márgenes de voltaje deseado, ver la figura 5-28.

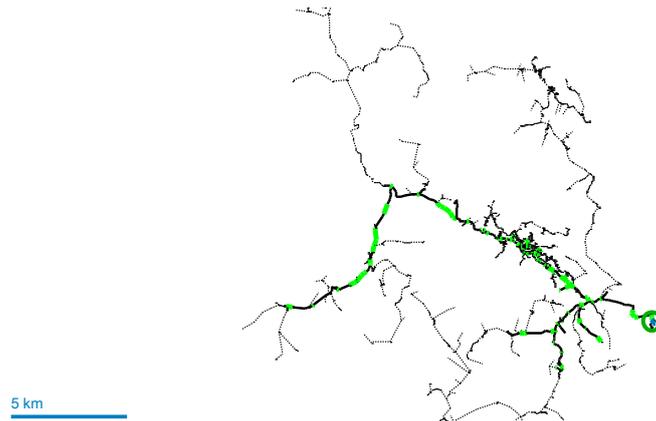


Figura 5-28. Regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 5-17 muestra el mejor tramo de ubicación el cual presenta menos pérdidas totales en kW, cero sobretensiones y 2754 subtensiones.

Tabla 5-17. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

# RV	Pérdidas totales [kW]	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	FO	Tramo #1	Equipos #1
1	241,5	813590,0	0	0	9,007	166799_MTA	REG-ITB-B

Al ser un sistema trifásico se empleó tres reguladores de voltaje en la cabecera del circuito con un tipo de conexión “estrella” debido a que esta configuración se tiene en la cabecera con el neutro aterrizado, esto hace que el circuito tenga retorno por el neutro y evita fluctuaciones en el voltaje, ver la figura 5-29. Los parámetros analizados son convenientes para sistemas radiales ya que brinda estabilidad y confiabilidad del sistema.

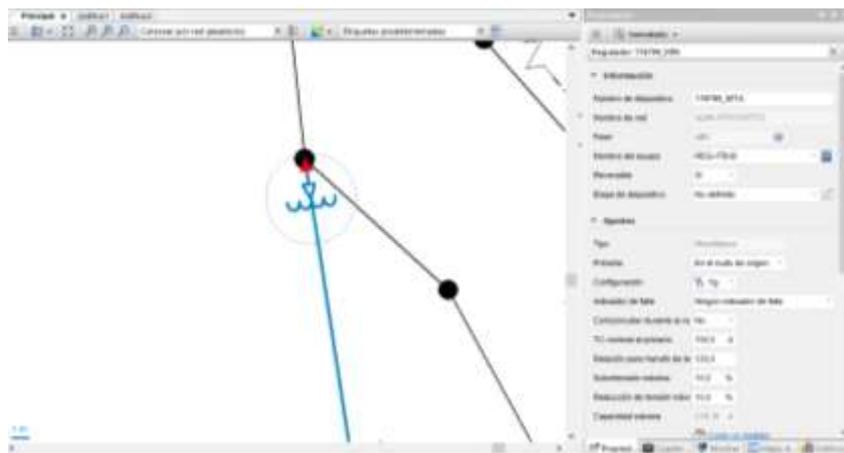


Figura 5-29. Propiedades de ajuste del regulador de voltaje.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La capacidad del equipo REG-ITB-B es de 167 kVA, con una corriente de 219 A y un nivel de voltaje nominal por fase de 7,62 kV, a partir del flujo de carga vemos que cumple con las condiciones de operación.

La figura 5-30 presenta el comportamiento que tiene el alimentador Piñas cuando se ha colocado un regulador de voltaje en cabecera. El perfil de voltaje a lo largo del ramal troncal y ramales secundarios tiene una mejora significativa elevando el voltaje de 12,628 kVLL a 13,710 kVLL cumpliendo con los límites establecidos con un porcentaje del 93% referido a 13,8 kV. En los ramales monofásicos con mayor longitud, el perfil de voltaje tiene inconvenientes con los límites regulados debido a tener las fases sobrecargadas y distancias con ramales muy extensos lo que produce una caída aún mayor.

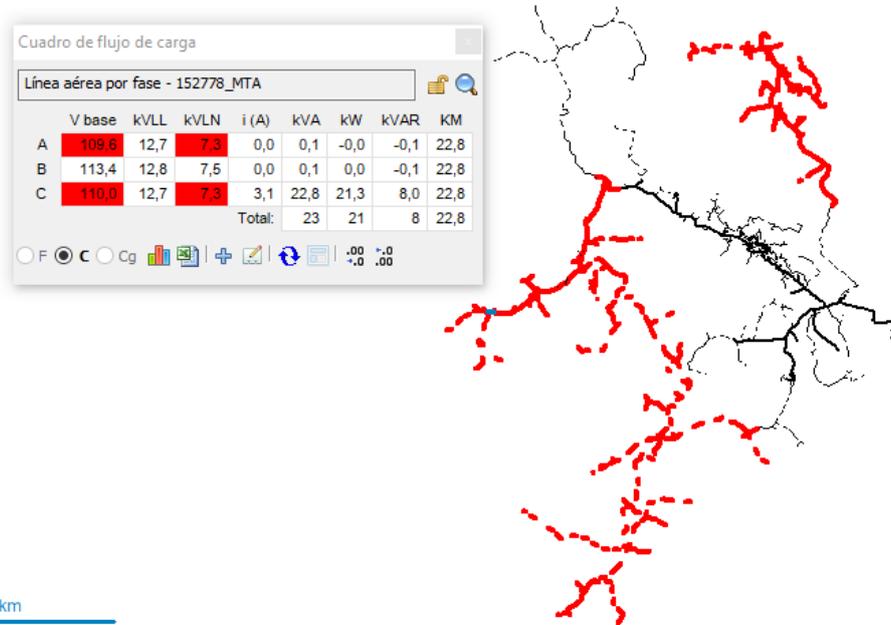


Figura 5-30. Mejora del nivel de voltaje a lo largo del ramal troncal del alimentador Piñas.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Los ajustes de la toma (taps) que realiza el RV para elevar el nivel de voltaje en la cabecera del alimentador se muestra en la tabla 5-18, se observa que en cada fase tiene una toma distinta para la regulación debido a que existe un desbalance en el alimentador y al alto grado de conexiones monofásicas en las fases B y C.

Tabla 5-18. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Fase	Toma	Regulación	Voltaje	Ancho
	Tap	Porcentual	Deseado	de banda
		[%]	[V]	[V]
A	12	±7,50%	120	2
B	15	±9,38%	120	2
C	16	±10,0%	120	2

El perfil de voltaje ha mejorado a lo largo del ramal troncal trifásico del alimentador elevándose a un nivel de 13,71 kVLL en la cabecera y a lo largo del alimentador el perfil disminuye alcanzando a una distancia de 22,84 km valores de 12,76 kVLL, véase la figura 5-31.

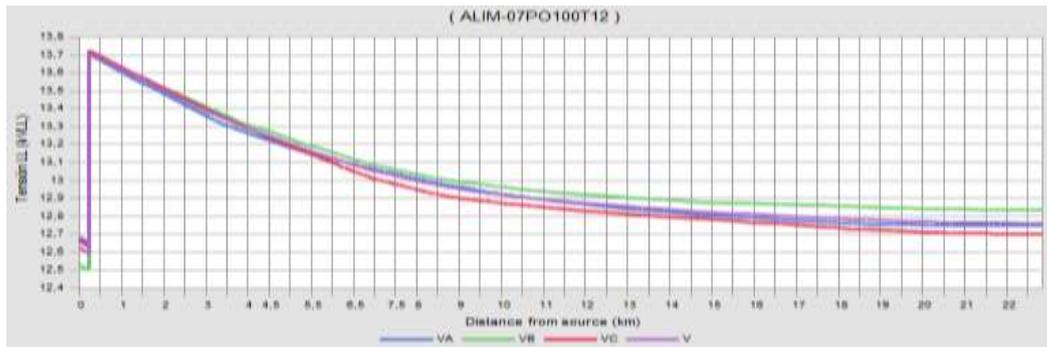


Figura 5-31. Perfil de voltaje kVLL con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El regulador de voltaje se encuentra ubicado en el tramo 166799_MTA a una distancia de 0,233 km, aumenta a 13,71 kVLL en el arranque del circuito y el porcentaje de caída de voltaje que tiene al final del alimentador es del 6,929%, ver la tabla 5-19.

Tabla 5-19. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,629	12,686	12,534	12,666
0,233	13,710	13,701	13,708	13,722
22,841	12,762	12,749	12,835	12,700
%	6,929	6,948	6,368	7,447

El perfil de voltaje kVLN es distinto en las tres fases como se observa en la figura 5-32, las fases A y C tienen una mayor disminución de voltaje dado a las distintas cargas concentradas a lo largo del alimentador. En cabecera el voltaje inicia en 7,9 kVLN y en los tramos finales llega a valores de 7,36 kVLN Avg.

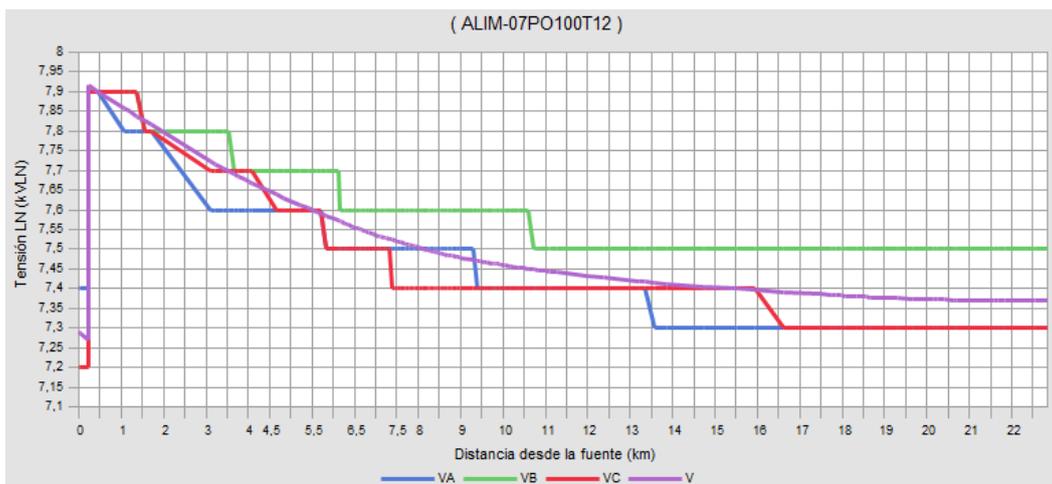


Figura 5-32. Perfil de voltaje kVLN con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 5-20 detalla los resultados del nivel de voltaje kVLN del alimentador en varias longitudes donde el porcentaje de caída de voltaje es mayor en las fases VA y VC con respecto a la fase VB que es menor.

Tabla 5-20. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Piñas - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
0,000	7,291	7,400	7,200	7,200
0,233	7,916	7,900	7,900	7,900
13,559	7,415	7,300	7,500	7,400
16,633	7,392	7,300	7,500	7,300
22,841	7,368	7,300	7,500	7,300
%	6,922	7,594	5,063	7,594

La tabla 5-21 tiene los resultados de las pérdidas totales en kW cuando se ubica un regulador de voltaje en la cabecera del alimentador en el cual las pérdidas de potencia activa se reducen cuando tiene instalado un RV, distinto de cuando opera en condiciones normales llegando a 242,880 kW.

Tabla 5-21. Resultados de las pérdidas con RV en el alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Pérdidas del sistema.	[kW]
Pérdidas en las líneas	172,116
Pérdidas en los cables	2,522
Pérdidas de carga del transformador	10,783
Pérdidas en vacío del transformador	56,049
Pérdidas totales	241,471

5.2.1.2 Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Piñas para la peor condición de voltaje.

El siguiente escenario de análisis se da en mínimas ocasiones, debido a problemas que se registran en el sistema de subtransmisión, donde los niveles de voltaje llegan a 62 kV. En el sistema de distribución los datos de la peor condición de voltaje se obtuvieron el día 08 de septiembre a las 18h:20 en un horario de franja “Pico” en el año 2017 con una demanda registrada en la peor condición de voltaje es de 3,221.266 kVA, ver en la tabla 5-22

Tabla 5-22. Registro de datos de la peor condición de voltaje en el alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

kVLL (Avg)	kVLL (VAB)	kVLL (VBC)	kVLL (VCA)
11,962	12,043	11,833	12,011

Se realizó la distribución y un flujo de carga para analizar el comportamiento del circuito, las figuras 5-33 y 5-34 muestran el perfil de voltaje kVLL y kVLN del ramal troncal en los que se observan que los tramos finales el voltaje disminuye a 11,1 kVLL y 6,41 kVLN.

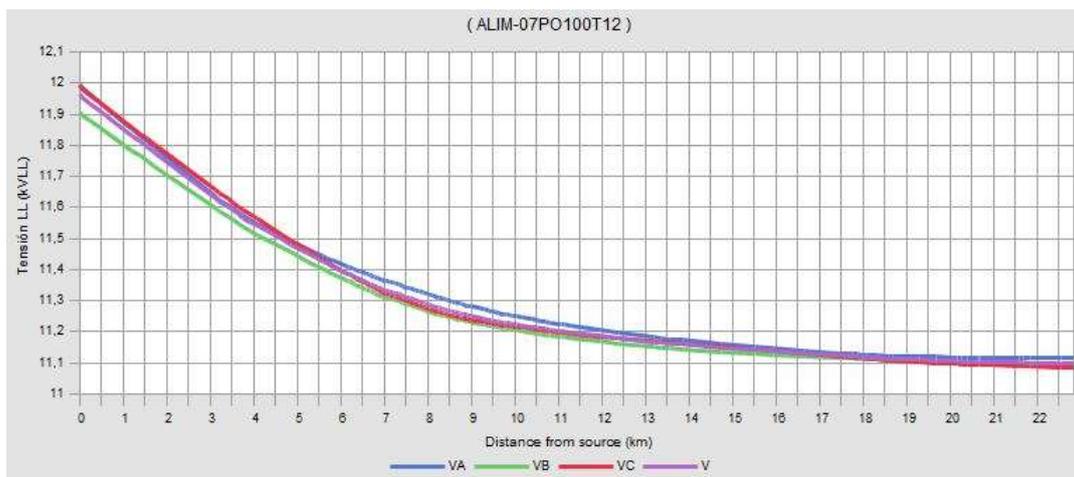


Figura 5-33. Perfil de voltaje kVLL con la peor condición de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

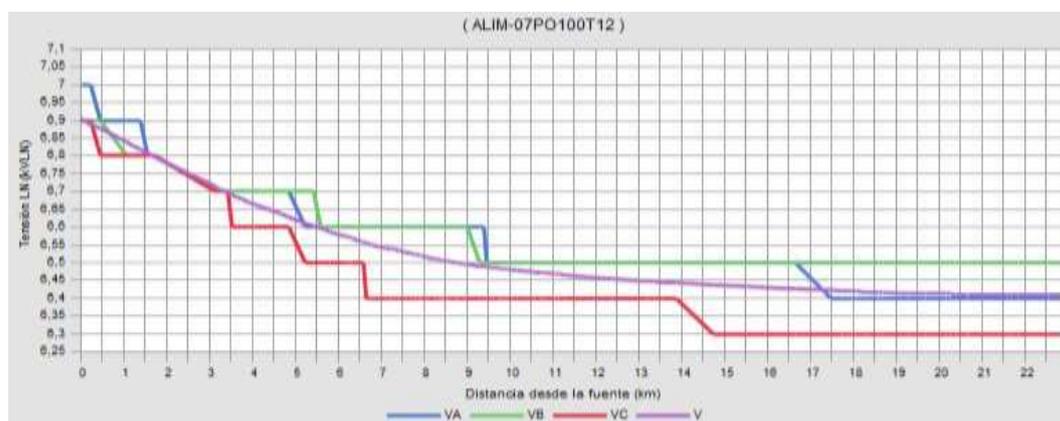


Figura 5-34. Perfil de voltaje kVLN con la peor condición de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Dado el nivel crítico de voltaje se ejecuta la ubicación óptima de un segundo RV para ver si mejora el perfil de voltaje. La tabla 5-23 muestra la ubicación en la cabecera del alimentador la cual indica que las sobretensiones en los tramos son cero y las subtensiones llegan a 7738 tramos, por lo que a simple vista es crítico.

Tabla 5-23. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

# RV	Pérdidas totales [kW]	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	FO	Tramo #1	Equipos #1
1	198,4	2379578,6	0	7738	13,899	176799_MTA	REG-ITB-B

El regulador ubicado en tramo 176799_MTA no es suficiente para mejorar el perfil de voltaje de todo el ramal troncal ya que el área de influencia que tiene el RV llega a una distancia de 5,42 km a partir de la cabecera, ver la figura 5-35.

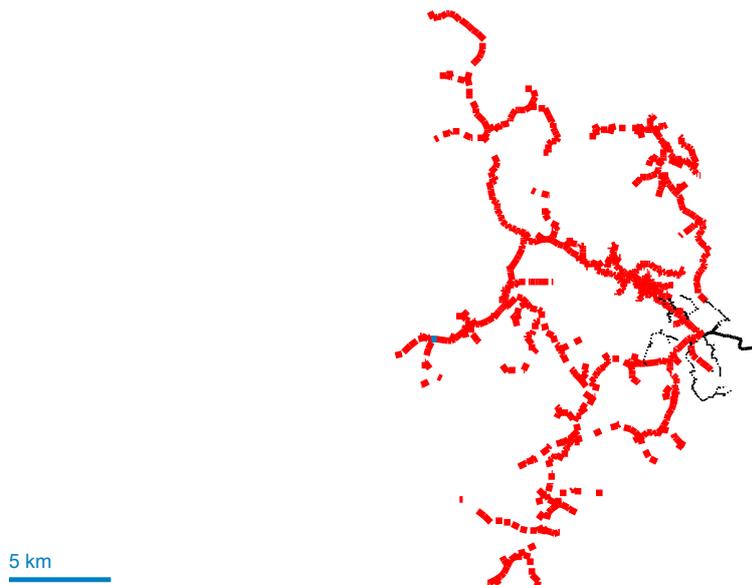


Figura 5-35. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubica un RV.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El ajuste de los taps de regulación se encuentra en el máximo ajuste, dado a las condiciones en la que se encuentra el alimentador, en las tres fases la regulación porcentual está en el límite del $\pm 10,0\%$ con un voltaje en cabecera de 13,12 kVLL, ver la tabla 5-24.

Tabla 5-24. Ajustes de la toma del RV ubicado en cabecera del alimentador Piñas.
Fuente: Autores.

Fase	Toma	Regulación Porcentual	Voltaje Deseado	Ancho de banda
	Tap	[%]	[V]	[V]
A	16	$\pm 10,0\%$	120	2
B	16	$\pm 10,0\%$	120	2
C	16	$\pm 10,0\%$	120	2

En las figuras 5-36 se observa el perfil de voltaje kVLL a lo largo del ramal troncal con una regulación de 13,12 kVLL y al final del tramo troncal se tiene 12,3 kVLL.

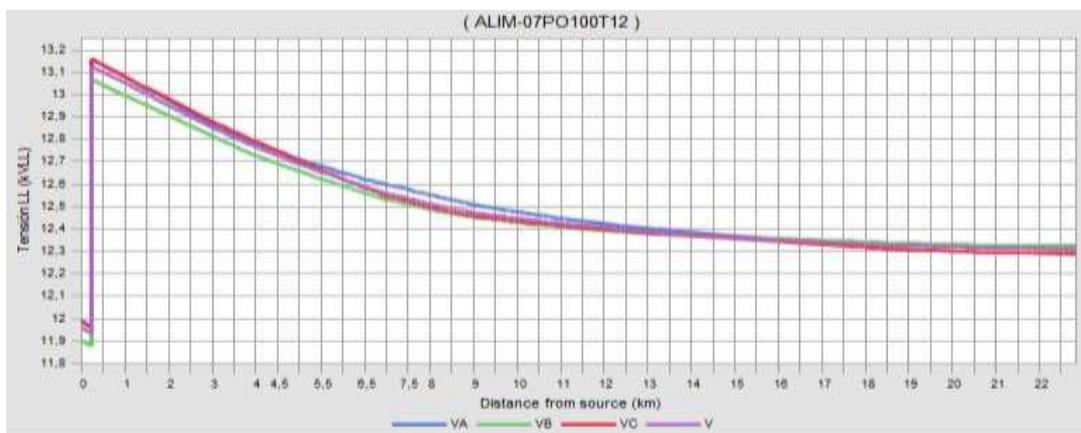


Figura 5-36. Perfil de voltaje kVLL con un RV en cabecera del alimentador Piñas (voltaje crítico).
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Los niveles de voltaje kVLL que se tienen ubicando un RV en cabecera del alimentador en condiciones críticas de voltaje son los de la tabla 5-25.

Tabla 5-25. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas - Ramal Troncal (voltaje crítico).

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kV LL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	11,963	11,994	11,905	11,990
0,233	13,126	13,159	13,065	13,155
5,420	12,663	12,686	12,631	12,670
22,841	12,313	12,321	12,324	12,290
%	6,173	6,311	5,702	6,575

Los resultados del estudio muestran aun condiciones críticas de voltaje a partir de una distancia de 4,5 km dando pérdidas en la red de 174,99 kW para la peor condición de voltaje que presenta el alimentador Piñas, por lo que se plantea colocar un segundo regulador para observar si el perfil de voltaje mejora y las pérdidas de paso se reducen a lo largo del circuito.

5.2.1.3 Ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Piñas para la peor condición de voltaje.

Se realiza la ubicación de dos RV en el alimentador por los niveles críticos en los que se encuentra. La ubicación óptima se observa en la figura 5-37 el cual indica que el primer RV está en la cabecera del circuito y el segundo RV está a una distancia de 3,5 km.



Figura 5-37. Ubicación óptima de los dos bancos de RV en el alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La distribución y el flujo de carga muestra que el nivel de voltaje en el circuito mejora considerablemente, solo en un ramal monofásico se tiene inconvenientes en el perfil de voltaje, ver la figura 5-38.

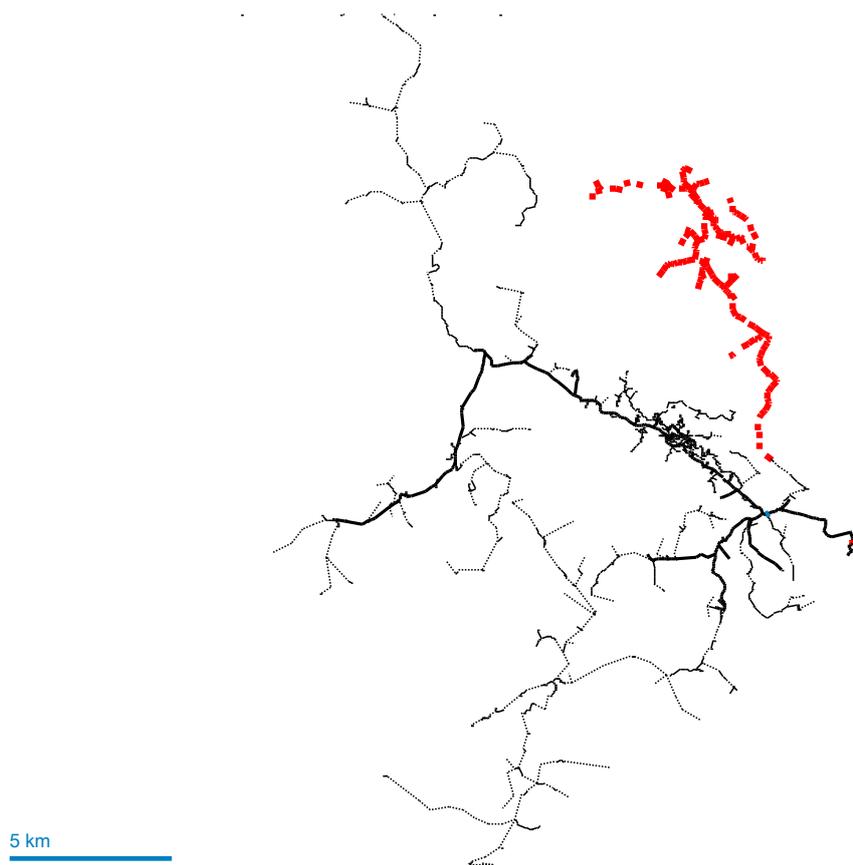


Figura 5-38. Ubicación del segundo regulador de voltaje a una distancia de 3,5 km.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El perfil de voltaje cuando se ubica el segundo regulador a una distancia de 3,5 km tiene una mejora significativa, aumenta a 13,85 kVLL y en los tramos finales llega a 13,55 kVLL, ver la figura 5-39.

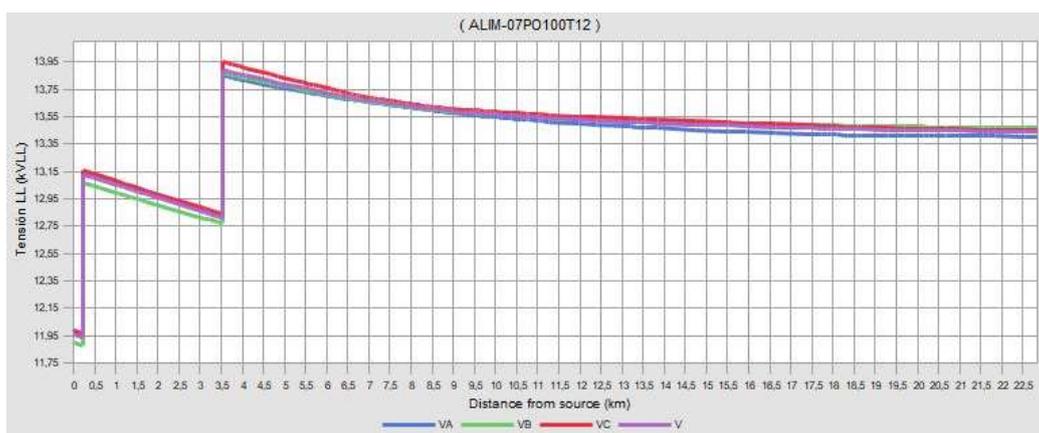


Figura 5-39. Perfil de voltaje kVLL con el segundo regulador de voltaje a 3,5 km (voltaje crítico).
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 5-26 presenta los resultados de la ubicación de dos reguladores de voltaje, donde en la cabecera del alimentador el voltaje aumenta de 11,96 kVLL a 13,12 kVLL y cuando se coloca el segundo RV existe un mayor aumento de voltaje de 13,89 kVLL.

Tabla 5-26. Resultados cuando se coloca un segundo RV en el Alimentador Piñas - Ramal Troncal (voltaje crítico).

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	11,963	11,994	11,905	11,990
0,233	13,127	13,160	13,065	13,156
3,522	12,815	12,8314	12,771	12,842
%	2,377	2,500	2,250	2,387
3,522	13,893	13,854	13,874	13,951
22,841	13,443	13,406	13,469	13,452
%	3,239	3,249	2,956	3,584

Las pérdidas en kW que se originan en el alimentador cuando se colocan dos reguladores de voltaje llegan a 173,695 kW, tiene poca disminución con respecto a cuándo posee un solo RV en la cabecera en la cual tiene 174,99 kW. Por lo que colocar dos RV no es muy conveniente ya que solo mejora el nivel de voltaje más no las pérdidas.

5.2.2 Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.

5.2.2.1 Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para una demanda máxima.

La figura 5-40 muestra los tramos candidatos para ubicar los reguladores de voltaje. Las condiciones críticas de voltaje llevan a colocar un regulador en la cabecera del alimentador para ver si cumple con los márgenes de voltaje deseados y reducción de las pérdidas de paso.

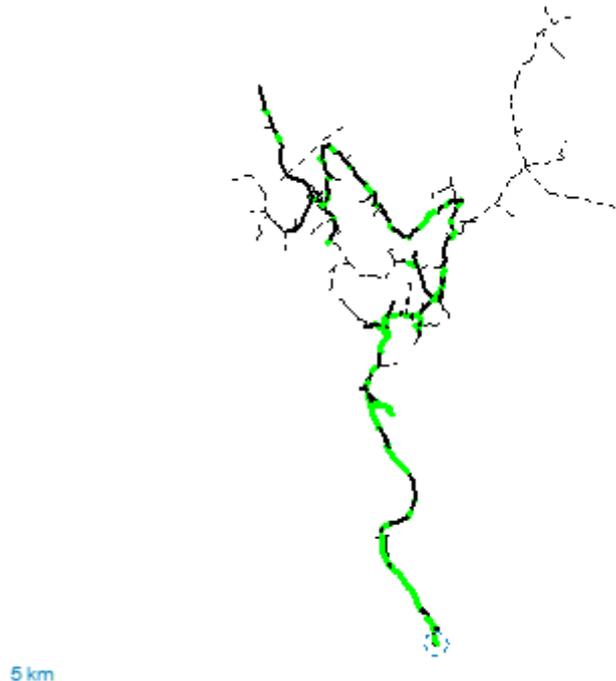


Figura 5-40. Ubicaciones óptimas para los reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El tramo de selección para ubicar el RV en la cabecera del alimentador es el 225940_MTA donde las pérdidas totales disminuyen en relación a un sistema sin RV que tiene 189,393 kW de pérdidas, además se incluye que no tiene sobretensiones y las subtensiones llegan a 2573 tramos, ver la tabla 5-27.

Tabla 5-27. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

# RV	Pérdidas totales [kW]	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	FO	Tramo #1	Equipos #1
1	176,3	1175494,8	0	2573	16,602	225940_MTA	REG-ITB-B

La figura 5-41 muestra los ajustes que se realizaron en el RV como la conexión estrella y parámetros de funcionamiento del regulador.

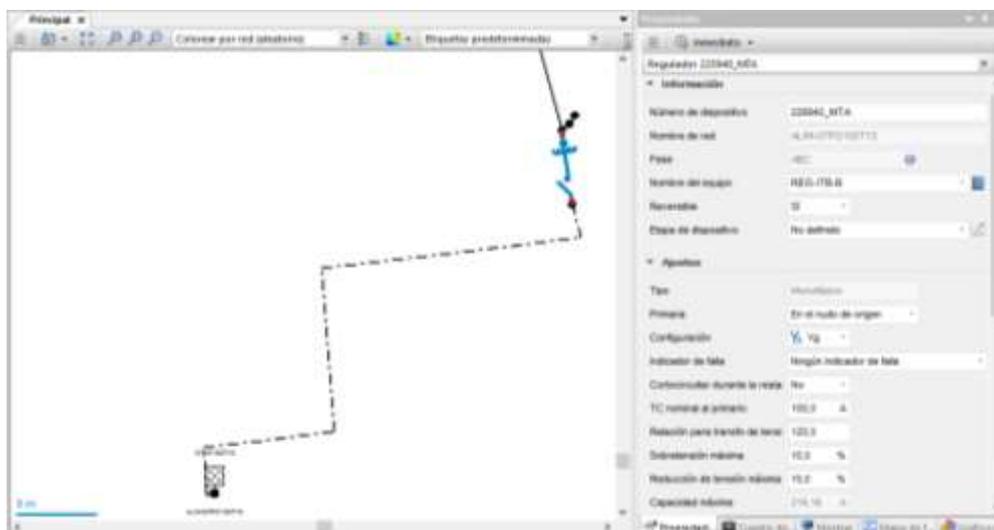


Figura 5-41. Propiedades de ajuste del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El regulador de voltaje ubicado en la cabecera del alimentador Atahualpa tiene un aumento en el nivel de voltaje de 12,459 kVLL a 13,643 kVLL en el cual existe una mejora en el perfil hasta el tramo 107081_MTA a una distancia de 8,7 km del ramal troncal. Los tramos siguientes tienen un porcentaje de caída mayor del 8% referido a 13,8 kV y al final del ramal troncal el voltaje es de 12,204 kVLL. Una de las condiciones para que exista una caída considerable de voltaje a una longitud de 8,7 km se debe a una mayor conexión de carga minera y el tener una sección de conductor en el ramal troncal de ACSR 3/0 que aumenta la resistencia y por ende una mayor caída de voltaje, ver la figura 5-42.

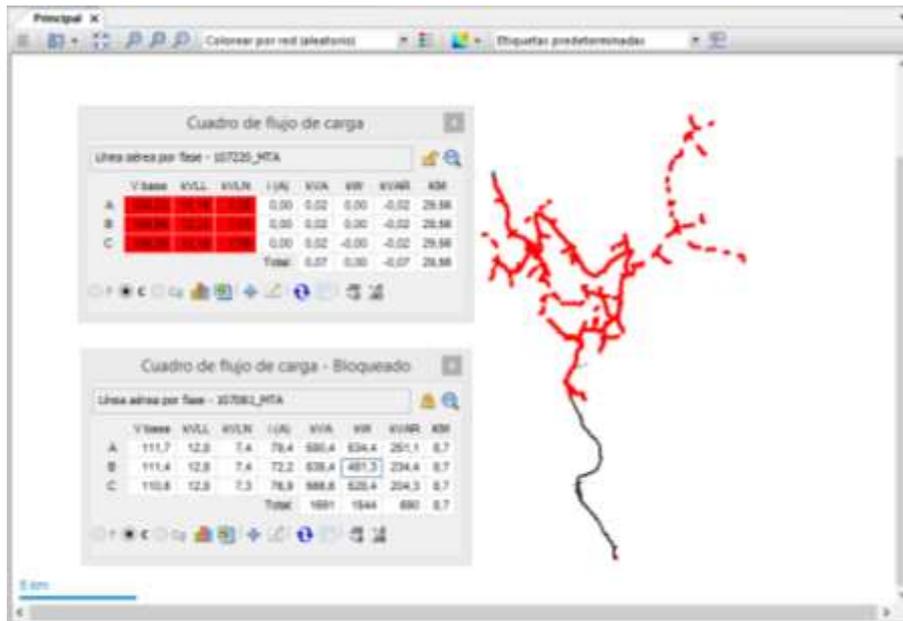


Figura 5-42. Mejora del nivel de voltaje a lo largo del ramal troncal del alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 5-28 muestra los ajustes de los taps del RV, la fase A tiene una toma distinta de regulación a la de los reguladores en las fases B y C, es notorio ya que la fase A tiene un porcentaje menor en conexión de carga monofásica.

Tabla 5-28. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Fase	Toma	Regulación	Voltaje	Ancho
	Tap	Porcentual	Deseado	de banda
		[%]	[V]	[V]
A	14	±8,75%	120	2
B	16	±10,0%	120	2
C	16	±10,0%	120	2

La curva del perfil de voltaje en cierto modo tiene una mejora, pero hasta una distancia de 10,0 km lo que representa un voltaje de 12,70 kVLL equivalente a los límites de regulación del 92% referida a 13,8 kVLL. En la cabecera del alimentador se inicia con un voltaje de 13,643 kVLL y en la cola del ramal troncal se tiene 12,204 kVLL, ver la figura 5-43.

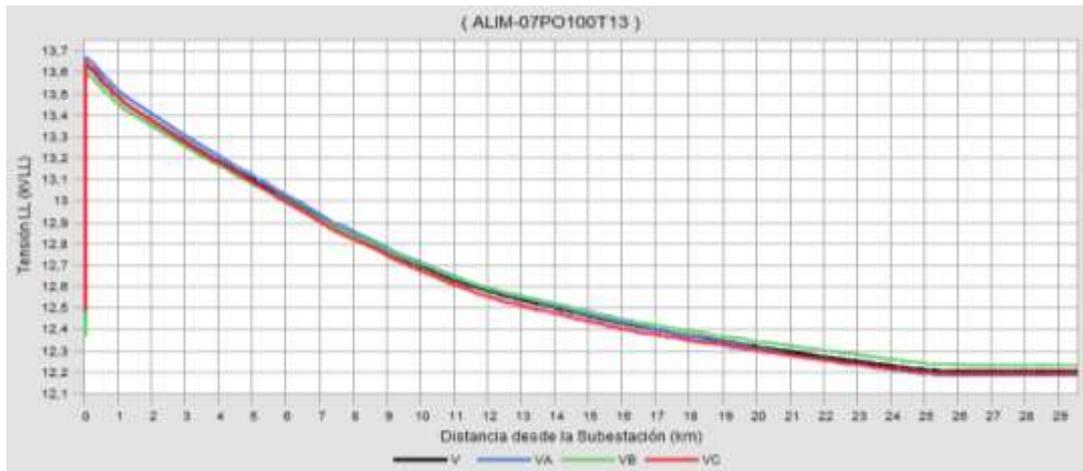


Figura 5-43. Perfil de voltaje kVLL con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Atahualpa.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 5-29 describe las caídas de voltaje kVLL que existen en el alimentador en donde se aprecia que ha de una distancia de 11,627 km los límites de voltaje están por debajo del 92%.

Tabla 5-29. Resultados de la caída de tensión kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.
Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,459	12,516	12,372	12,489
0,045	13,643	13,676	13,604	13,647
11,627	12,601	12,613	12,614	12,575
12,493	12,558	12,569	12,574	12,532
29,561	12,204	12,187	12,233	12,193
%	10,547	10,887	10,077	10,654

La figura 5-44 muestra el perfil de voltaje kVLN del ramal troncal, la regulación en cabecera es de 7,887 kVLN y a la cola del alimentador de 7,046 kVLN siendo la fase C la de mayor caída de voltaje.

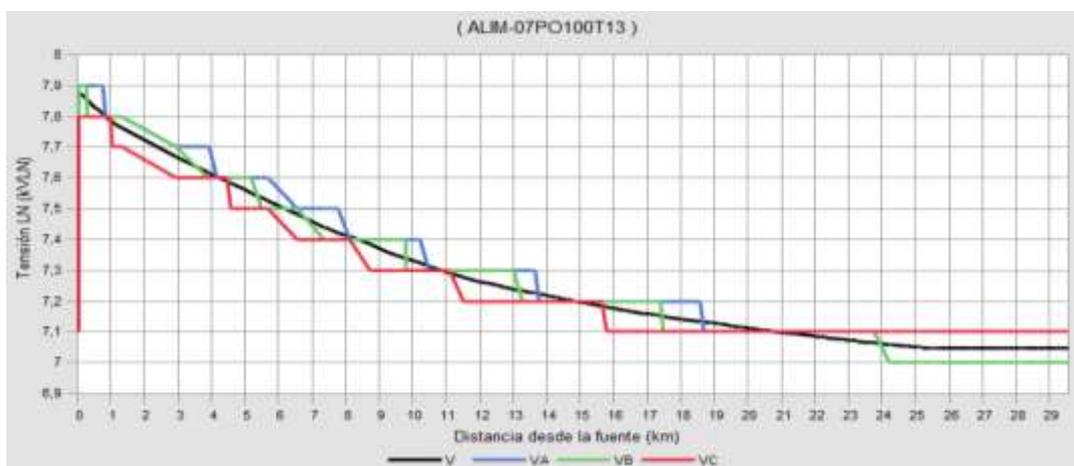


Figura 5-44. Perfil de voltaje kVLN con regulador de voltaje en cabecera del alimentador Atahualpa.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 5-30 describe las distintas caídas de voltaje que existe a longitudes tomadas del ramal troncal siendo la fase B la de mayor porcentaje de caída con el 11,39 %.

Tabla 5-30. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
0,000	7,193	7,300	7,200	7,100
0,045	7,877	7,900	7,900	7,800
8,745	7,384	7,400	7,400	7,330
9,798	7,339	7,400	7,330	7,330
10,501	7,313	7,300	7,300	7,300
29,561	7,046	7,100	7,000	7,100
%	10,549	10,126	11,392	8,974

Los resultados de las pérdidas totales en kW del alimentador Atahualpa se detallan en la tabla 5-31, se puede ver que existe una reducción de las perdidas con respecto al sistema sin regulador de voltaje que tiene 189,393 kW.

Tabla 5-31. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Perdidas del sistema	[kW]
Pérdidas en las líneas	133,202
Pérdidas en los cables	0,924
Pérdidas de carga del transformador	19,587
Pérdidas en vacío del transformador	32,168
Pérdidas totales	185,880

5.2.2.2 Ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para una demanda máxima.

Con un RV en cabecera, los índices de regulación están por debajo del 92%, a partir de una distancia de 10 km en el ramal troncal para lo cual se propone ubicar dos reguladores en el alimentador, el objetivo es mejorar de alguna manera el perfil de voltaje y reducir las pérdidas de paso, del módulo de CYMDIST se tomaron las siguientes ubicaciones como sitios candidatos, ver la tabla 5-32.

Tabla 5-32. Parámetros de ubicaciones óptimas de dos reguladores de voltaje en alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

RV	Pérdidas totales [kW]	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	Tramo #1	Equipo #1	Tramo #2	Equipo #2
2	180,74	464658,4	20	51	225940_MTA	REG-ITB-B	107081_MTA	REG-ITB-B
2	180,65	467527,5	20	31	225940_MTA	REG-ITB-B	107066_MTA	REG-ITB-B
2	180,03	476677,3	20	26	225940_MTA	REG-ITB-B	107052_MTA	REG-ITB-B

En la figura 5-45 se observan las ubicaciones de los dos reguladores en el alimentador Atahualpa para los tres casos posibles, en los tres escenarios se coloca un regulador en la cabecera del alimentador dado a las condiciones críticas de voltaje en la barra y el segundo regulador cambia de tramo según las condiciones referente a las pérdidas totales, número de sobretensiones - subtensiones y la instalación posible en el área de influencia.

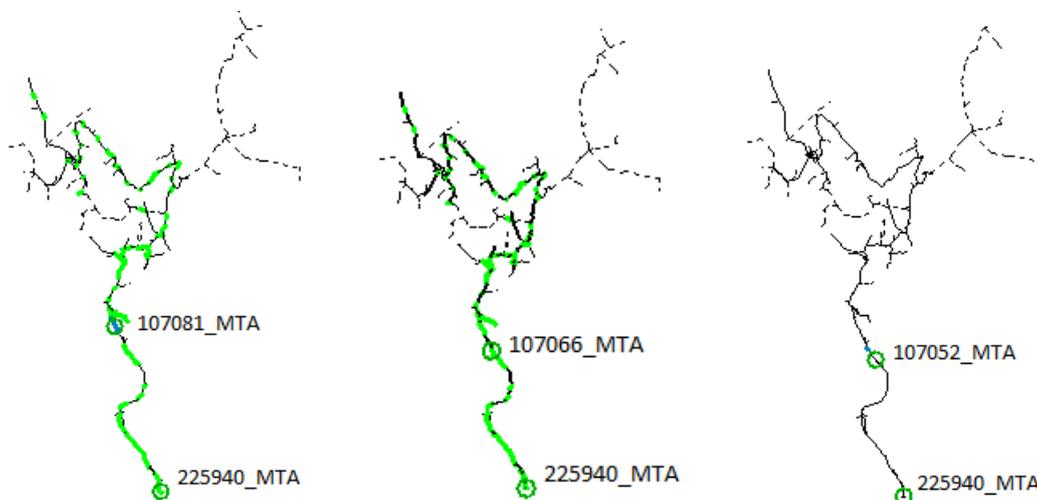


Figura 5-45. Ubicaciones de los tres escenarios posibles reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Primero se tiene ubicado un RV en el tramo 225940_MTA el cual regula un nivel de voltaje en la cabecera del circuito a 13,643 kVLL y el segundo RV está a una distancia de 8,123 km en el tramo 107081_MTA y regula a 13,875 kVLL, el tramo anterior al 107081_MTA tiene 12,85 kVLL y al final del ramal troncal el nivel de voltaje registrado es de 13,274 kVLL que representa el 96% referido a 13,8 kV.

Para el segundo caso además del regulador ubicado en cabecera (225940_MTA) con un voltaje de 13,642 kVLL se tiene en el tramo 107066_MTA otro RV a una distancia de 7,36 km y registra un voltaje de 13,82 kVLL y en la cola del alimentador el voltaje llega a 13,168 kVLL equivalente al 95% referido a 13,8 kVLL.

El tercer caso también presenta la ubicación de un RV en la cabecera del alimentador en el tramo 225940_MTA con 13,643 kVLL y a una distancia de 6,544 km se encuentra ubicado el segundo RV en el tramo 107052_MTA, este aumenta el voltaje a 13,812 kVLL, mientras que al final del ramal troncal el voltaje se encuentra en 13,09 kVLL equivalente el 95% a un voltaje de 13,8 kV.

En vista de estos resultados se optó por tomar el tercer escenario en la cual se coloca el segundo regulador en el tramo 107052_MTA ya que ofrece un mejor perfil de voltaje e intenta aplanar el perfil en el alimentador Atahualpa. En la figura 5-46, se observa cómo influye el uso del segundo regulador en el circuito Atahualpa.

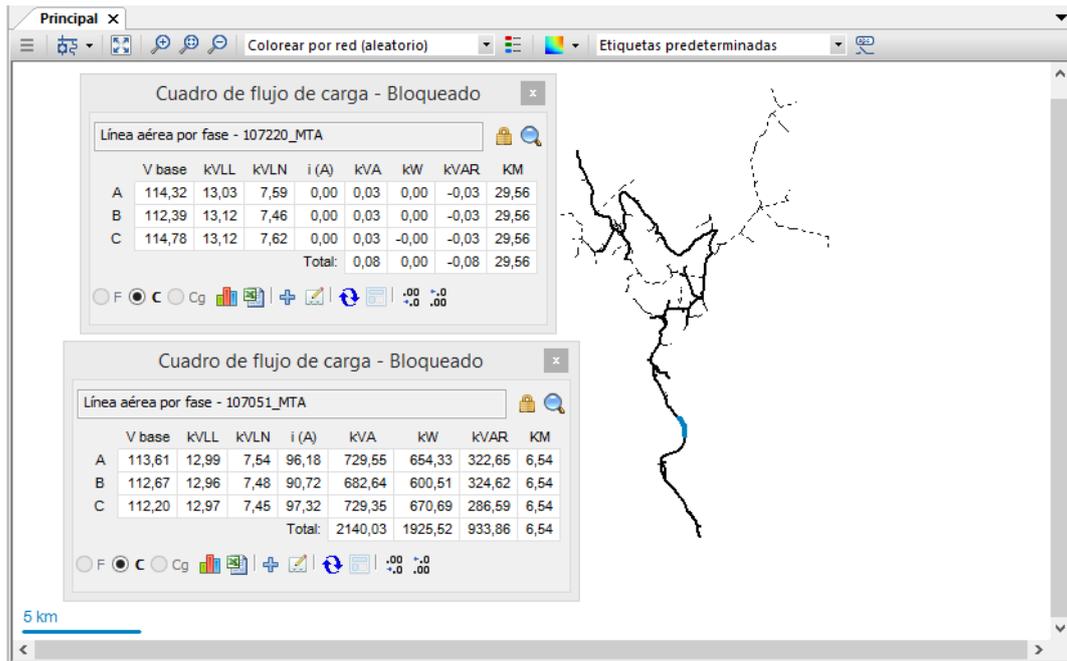


Figura 5-46. Mejora del nivel de voltaje a lo largo del ramal troncal del alimentador Atahualpa con dos reguladores de voltaje.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Los ajustes de las tomas están regulados de acuerdo al nodo (tramo) de ubicación del RV, donde el primer banco de RV colocados en el tramo 225940_MTA tiene los ajustes de la tabla 5-33, se puede notar que los RV de las fases B y C están en su máxima regulación porcentual $\pm 10,0\%$, así mismo en la tabla 5-22 se presenta los ajustes del segundo RV que está ubicado en el tramo 107052_MTA.

Tabla 5-33. Ajustes de las tomas de los dos bancos de RV en el alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

RV	Fase	Toma	Regulación	Voltaje	Ancho
		Tap	Porcentual	Deseado	de banda
			[%]	[V]	[V]
225940_MTA	A	14	$\pm 8,75\%$	120	2
	B	16	$\pm 10,0\%$	120	2
	C	16	$\pm 10,0\%$	120	2
107052_MTA	A	10	$\pm 6,25\%$	120	2
	B	10	$\pm 6,25\%$	120	2
	C	12	$\pm 7,50\%$	120	2

El voltaje inicial pasa de 12,459 kVLL a 13,643 kVLL en el tramo 225940_MTA, mientras que a una distancia de 6,544 km el voltaje aumenta a 13,812 kVLL, luego existe una caída llegando a valores de 13,09 kVLL a una longitud de 29,56 km, ver la figura 5-47.

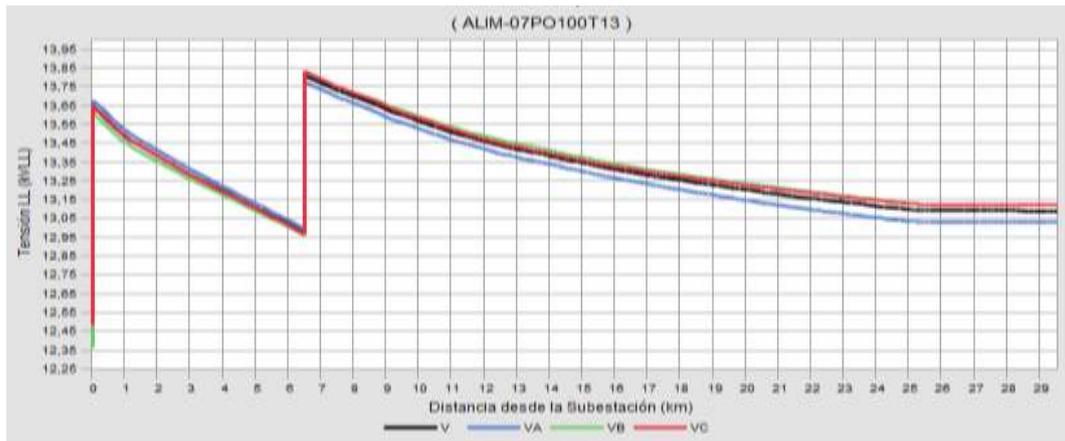


Figura 5-47. Perfil de voltaje kVLL con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El porcentaje de caída de voltaje cuando se tienen ubicados dos bancos de RV en los tramos 225940_MTA y 107052_MTA se describen en la tabla 5-34.

Tabla 5-34. Resultados de la caída de tensión kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,459	12,516	12,372	12,489
0,045	13,643	13,676	13,605	13,647
6,544	12,975	12,994	12,963	12,967
%	4,896	5,016	4,718	5,036
6,544	13,812	13,777	13,827	13,831
29,561	13,090	13,028	13,121	13,121
%	5,227	5,436	5,105	5,133

La figura 5-48 muestra el perfil de voltaje kVLN, donde a una distancia de 6,544 km la fase C tiene una caída de 100 V en relación con las fases A y B que se mantienen en 7,5 kVLN, cuando se colocó el segundo banco de RV las fases A y C tiene 8,0 kVLN y la fase B llega a 7,9 kVLN.

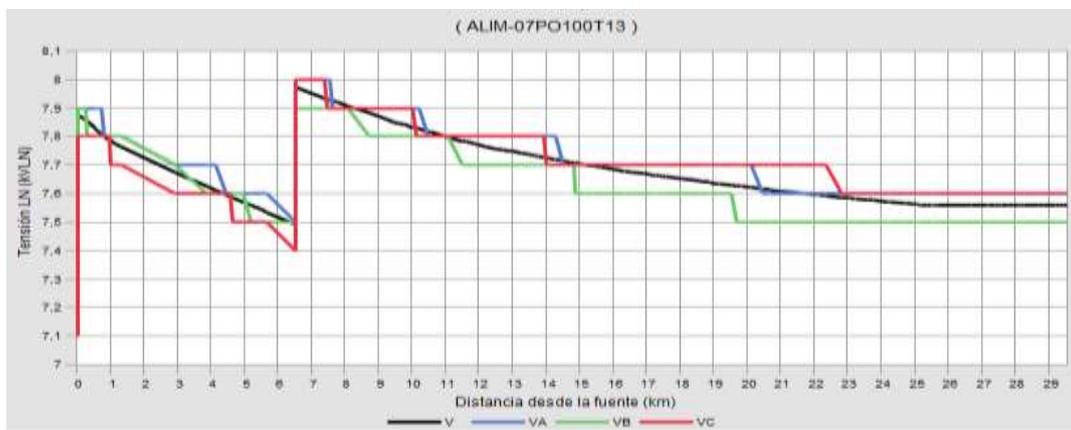


Figura 5-48. Perfil de voltaje kVLN con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Los resultados del nivel de voltaje del alimentador Atahualpa tomadas a ciertas distancias cuando existen caídas de voltaje en los ramales monofásicos se muestran en la tabla 5-35. El porcentaje de caída en la primera ubicación del regulador es de 4,9% y en el segundo regulador es de 5,216%.

Tabla 5-35. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
0,000	7,193	7,300	7,200	7,100
0,045	7,877	7,900	7,900	7,800
6,544	7,491	7,500	7,500	7,400
%	4,900	5,063	5,063	5,128
6,544	7,974	8,000	7,900	8,000
29,561	7,558	7,600	7,500	7,600
%	5,216	5,000	5,063	5,000

Las pérdidas en kW se reducen cuando se tienen colocados dos RV en el alimentador Atahualpa, ver la tabla 5-36, muy distinto cuando opera sin y con un solo RV donde las pérdidas llegan a 185,88 kW y 242,88 kW respectivamente.

Tabla 5-36. Resultados de las pérdidas del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Pérdidas del sistema	[kW]
Pérdidas en las líneas	125,871
Pérdidas en los cables	0,881
Pérdidas de carga del transformador	17,803
Pérdidas en vacío del transformador	35,480
Pérdidas totales	180,037

5.2.2.3 Ubicación de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para la peor condición de voltaje.

Cabe mencionar que esta situación ocurre en mínimas ocasiones, dándose la peor condición de voltaje el día 15 de septiembre a las 11h:40 en un horario de franja “Media” donde la demanda máxima fue de 2435,093 kVA, ver en la tabla 5-37.

Tabla 5-37. Registro de voltaje kVLL en la peor condición de voltaje en el alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

kVLL (Avg)	kVLL (VAB)	kVLL (VBC)	kVLL (VCA)
12,043	12,121	11,931	12,077

Con el registro del voltaje crítico se procede a recopilar todos los datos que intervienen para una distribución y flujo de carga. El resultado del flujo muestra un perfil de la demanda en kVA de todo el ramal principal del alimentador con pérdidas totales de 128,79 kW, ver la figura 5-49.

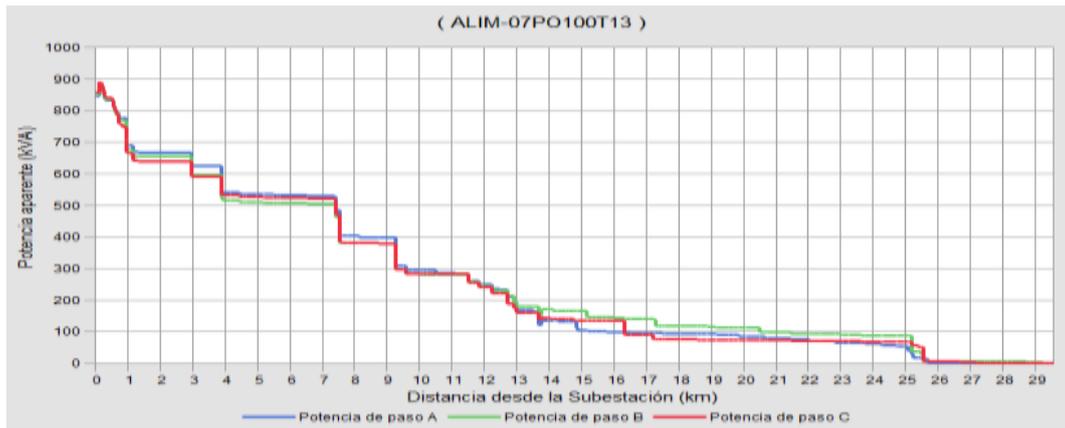


Figura 5-49. Perfil en kVA del alimentador Atahualpa en la peor condición de voltaje.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En la cabecera se inicia con un voltaje de 12,043 kVLL y al final del ramal troncal se tiene 11,98 kVLL, esta condición se da por variaciones en el sistema de subtransmisión donde llega a 62 kV, ver la figura 5-50.

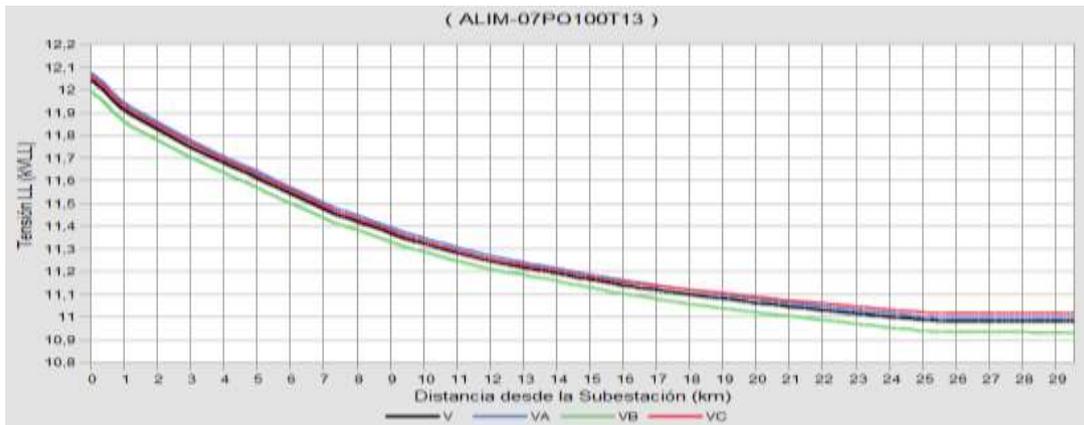


Figura 5-50. Perfil de voltaje kVLL con la peor condición de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 5-38 detalla el porcentaje de caída que existe en las fases línea-línea del alimentador Atahualpa ante el caso de una condición crítica de voltaje.

Tabla 5-38. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal (voltaje crítico).

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,043	12,074	11,993	12,062
14,747	11,170	11,192	11,136	11,183
29,561	10,980	10,996	10,931	11,014
%	8,826	8,928	8,857	8,688

A partir de los resultados críticos de voltaje se realiza la ubicación de un banco de RV para ver si se corrige de alguna forma la curva de voltaje. En la tabla 5-39, se observa los parámetros que

intervienen para la selección del RV en el alimentador el cual registra un número de 2742 tramos de subtensiones y unas pérdidas totales de 122,183 kW.

Tabla 5-39. Parámetros de la ubicación óptima del regulador de voltaje en la cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

# RV	Pérdidas totales [kW]	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	FO	Tramo #1	Equipos #1
1	122,183	1516099,7	0	2742	18,563	225940_MTA	REG-ITB-B

Al colocar un RV en el tramo 225940_MTA el voltaje pasa de 12,043 kVLL a 13,244 kVLL lo que equivale al 96% referido a un nivel de 13,8 kV, el voltaje regulado no alcanza un nivel más alto dado a las condiciones iniciales en la barra del alimentador. El límite de voltaje llega hasta una distancia de 7 km por lo que el área de influencia no es favorable y registran pérdidas totales de 122,1834 kW, ver la figura 5-51.

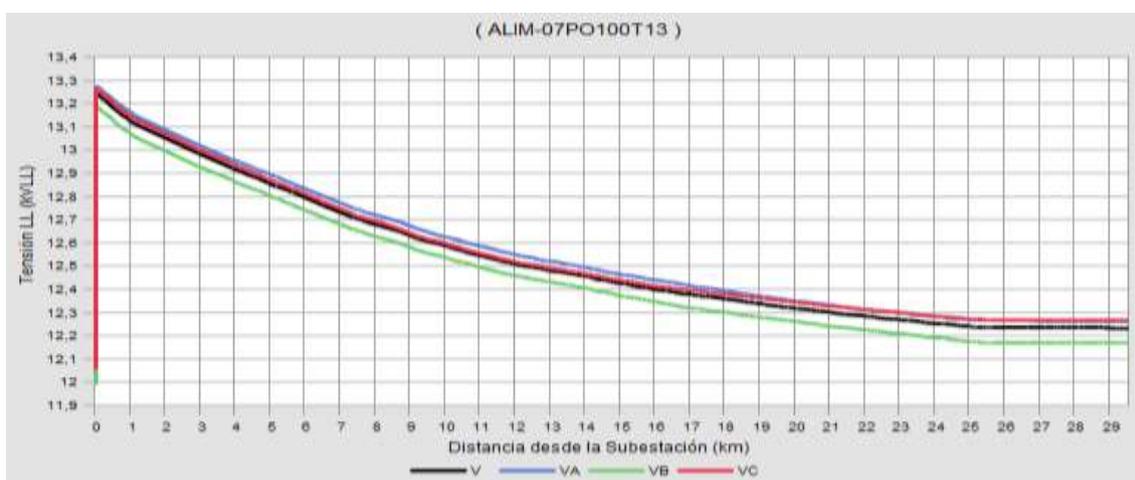


Figura 5-51. Perfil de voltaje kVLL con un regulador de voltaje en cabecera del alimentador Atahualpa (voltaje crítico).

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En la tabla 5-40 se puede observar cómo se dan los porcentajes de caída de voltaje a ciertas distancias del ramal troncal. Los ajustes del cambio de toma que realiza el regulador están al límite registrando el máximo tap 16 con un porcentaje de regulación del $\pm 10,0\%$ en las tres fases.

Tabla 5-40. Resultados con un RV en el Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal (voltaje crítico).

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,043	12,074	11,993	12,062
0,045	13,244	13,278	13,188	13,265
7,360	12,714	12,753	12,662	12,726
8,123	12,678	12,716	12,626	12,690
8,745	12,650	12,688	12,599	12,661
29,561	12,234	12,264	12,169	12,268

%	7,626	7,636	7,726	7,516
---	-------	-------	-------	-------

Las pérdidas totales que registra el sistema con un RV colocado en la cabecera del alimentador son de 122,183 kW y según los casos analizados colocar un solo regulador no es conveniente ya que no satisface los requerimientos de corrección del perfil de voltaje y la reducción de las pérdidas activas.

5.2.2.4 Ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa para la peor condición de voltaje.

Se propone ubicar dos bancos de RV para corregir el perfil de voltaje a lo largo del ramal troncal, de acuerdo con CYMDIST los siguientes tramos son candidatos para ubicar el banco de reguladores, ver la tabla 5-41.

Tabla 5-41. Parámetros de ubicaciones óptimas de dos reguladores de voltaje en alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

RV	Pérdidas totales [kW]	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	Tramo #1	Equipo #1	Tramo #2	Equipo #2
2	124,576	487871,8	0	45	225940_MTA	REG-ITB-B	107066_MTA	REG-ITB-B
2	123,777	489337,6	0	34	225940_MTA	REG-ITB-B	107052_MTA	REG-ITB-B
2	122,835	485048,6	0	26	225940_MTA	REG-ITB-B	107051_MTA	REG-ITB-B

En los tres casos se tiene colocado un banco de RV en la cabecera 225940_MTA y el segundo banco de RV está situado en tres tramos distintos los cuales buscan mejorar el perfil de voltaje y reducir las pérdidas de paso, ver la figura 5-52.

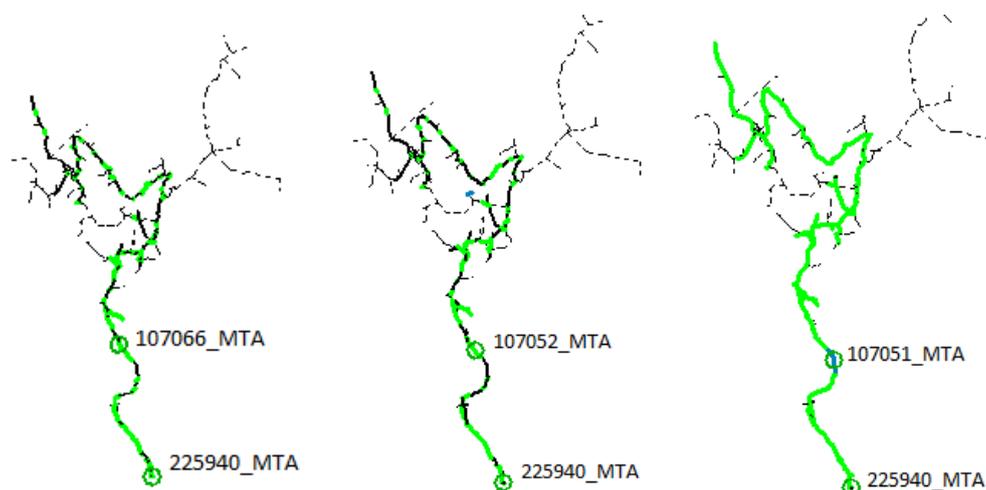


Figura 5-52. Ubicaciones de los tres escenarios posibles de reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa (voltaje crítico).

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Los tres escenarios tienen el RV ubicado en el tramo inicial 225940_MTA manteniendo los mismos parámetros de regulación a 13,244 kVLL. Para la ubicación del segundo RV se consideró el tramo 107066_MTA a una distancia de 7,36 km que tiene una regulación de 12,69 kVLL a 13,76 kVLL, el segundo tramo candidato es el 107052_MTA a una longitud de 6,54 km

que registra un cambio de 12,748 kVLL a 13,764 kVLL y por último el tramo 107051_MTA que regula de 12,80 kVLL a 13,744 kVLL. A partir de los resultados analizados se determinó utilizar el segundo caso el cual se conecta en el tramo 107052_MTA con un porcentaje de caída de voltaje del 93%, ver la figura 5-53.

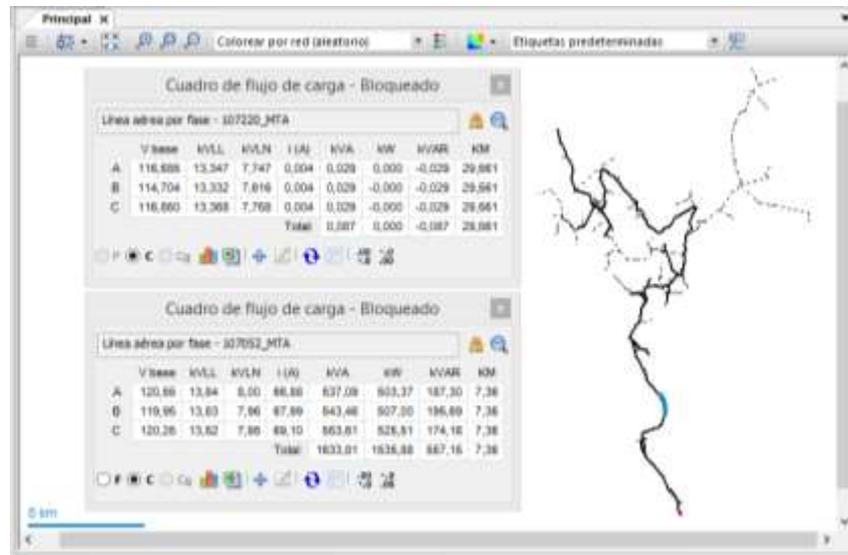


Figura 5-53. Nivel de voltaje cuando se ubican dos reguladores de voltaje en la peor condición de voltaje.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El tramo 107052_MTA es el mismo en el cual se ubicó el RV para el análisis en demanda máxima. Es importante mencionar que estos casos de voltajes críticos se dan en raras ocasiones ya que no es ideal tener esos niveles de voltajes críticos. Al ubicar los dos bancos de reguladores en los tramos citados el alimentador presenta un mejor perfil de voltaje, lo cual nos hace determinar que los tramos seleccionados funcionan tanto para un sistema de máxima demanda y el peor caso de voltaje.

El voltaje que registra el primer regulador en el tramo 225940_MTA tiene un aumento de 13,24 kVLL a una distancia de 6,544 km que representa una caída de voltaje del 3,745%, mantiene una distancia corta dado que el voltaje regulado no llega a los normalizados de 13,8 kV. El segundo regulador se encuentra ubicado en el tramo 107052_MTA y tiene una regulación de 13,76 kVLL en este caso cumple con el voltaje normalizado ya que en el tramo anterior el voltaje llega a 12,75 kVLL, ver la figura 5-54

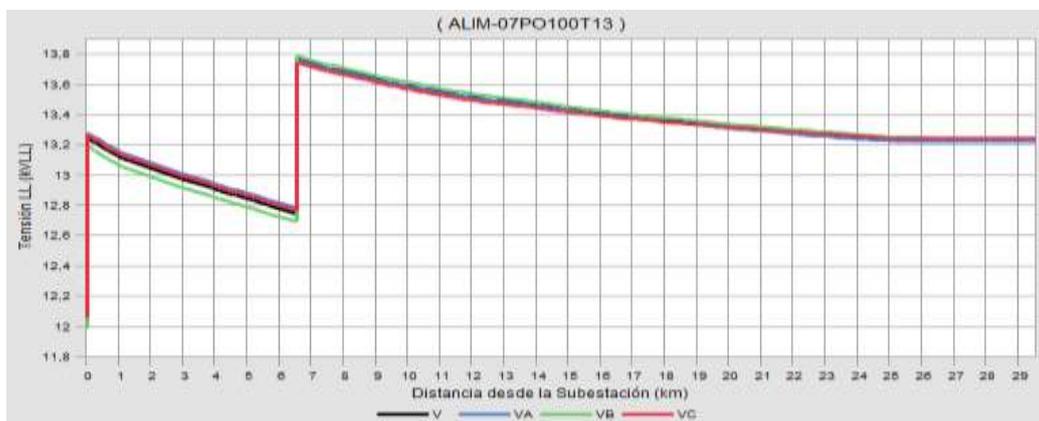


Figura 5-54. Perfil de voltaje kVLL con el segundo regulador de voltaje a 6,544 km (voltaje crítico).

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En la fase VBC existe una pequeña caída de voltaje dado a las conexiones que se dan en los tramos iniciales, luego el perfil de voltaje y el porcentaje de caída se mantiene similar a lo largo del ramal troncal, ver la tabla 5-42.

Tabla 5-42. Resultados cuando se coloca un segundo RV en el Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal (voltaje crítico).

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,043	12,074	11,993	12,062
0,045	13,244	13,278	13,188	13,265
6,544	12,748	12,783	12,692	12,768
%	3,745	3,727	3,760	3,746
6,544	13,764	13,760	13,789	13,744
29,561	13,237	13,221	13,247	13,241
%	3,828	3,917	3,930	3,659

El porcentaje de regulación del primer banco de RV es del $\pm 10,0\%$ con el máximo tap 16, estos ajustes de regulación se encuentran al límite, dado a las condiciones del alimentador. En el segundo RV el ajuste cambia dado a la menor carga conectada en el tramo aguas abajo, las fases B y C tiene el mismo porcentaje de regulación que corresponde a la toma 14 ($\pm 8,75\%$) y la fase A llega a la toma 11 ($\pm 6,875\%$).

Implementar un sistema con la ubicación de dos bancos de RV es factible en el alimentador Atahualpa, ya que las pérdidas totales son de 123,77 kW que son menores en relación con el sistema sin RV donde las pérdidas activas llegan a 128,798 kW, el uso de un banco de RV genera unas pérdidas de 122,183 kW, este porcentaje es menor debido a que la operación de un RV es similar a un transformador de distribución el cual genera un consumo de energía y por ende pérdidas en kW. Por lo tanto, es factible instalar los dos bancos de RV en el alimentador Atahualpa para mejorar el perfil de voltaje.

5.3 Análisis de los resultados de las metodologías planteadas.

Una vez realizado el estudio respectivo de los dos alimentadores Piñas y Atahualpa aplicando la metodología del modelo matemático y del CYMDIST, se procede a establecer una comparación de los resultados del flujo de carga, la selección de los nodos para la ubicación de los RV y el ajuste de las tomas.

Para saber si el método planteado es conveniente con los datos obtenidos del flujo de carga del CYMDIST, se procede a determinar el porcentaje de error aplicando la ecuación 5-11.

$$Error\% = \frac{Valor\ CYMDIST - Valor\ Calculado}{Valor\ CYMDIST} \times 100\% \quad 511$$

Donde:

$Error\%$ = Error porcentual.

$Valor\ CYMDIST$ = Valores registrados en el reporte CYMDIST.

Valor Calculado = Valores calculados a partir de la metodología planteada.

El porcentaje de error total promedio respecto al flujo de carga realizado al alimentador Piñas y Atahualpa se presentan en la tabla 5-43 la cual indica que tan confiable es el sistema propuesto con un software confiable como el CYMDIST. Además se puede notar que los resultados son tomados de los procedimientos resueltos en las secciones de los capítulos 4 y 5 respectivamente. Para que exista un aumento en el error de cálculo se consideran factores como la topología del alimentador, demanda máxima en el tramo de estudio y de cierto modo interviene la data inicial registrada en el ArcGis la cual luego es exportada a archivos CYME.

Tabla 5-43. Error porcentual calculado para el modelo propuesto y el CYMDIST.

Fuente: Autores.

Alimentador Piñas	Alimentador Atahualpa
2,524%	3,833%

Como se puede observar el porcentaje de error tiene un incremento mayor al dos por ciento. Esto se debe a que los nodos que se manejan son demasiados, es decir, el alimentador Piñas posee 6766 nodos y el Atahualpa 2501 nodos, por lo tanto, interpretar estos datos nodos a nodo de cierto modo generara un porcentaje de error mayor.

5.3.1 Análisis del alimentador Piñas.

5.3.1.1 Análisis en condiciones normales.

En la figura 5-55, se muestra una comparación de las potencias las cuales indican un porcentaje de error en el nodo de cabecera del alimentador Piñas de -0,006956%.

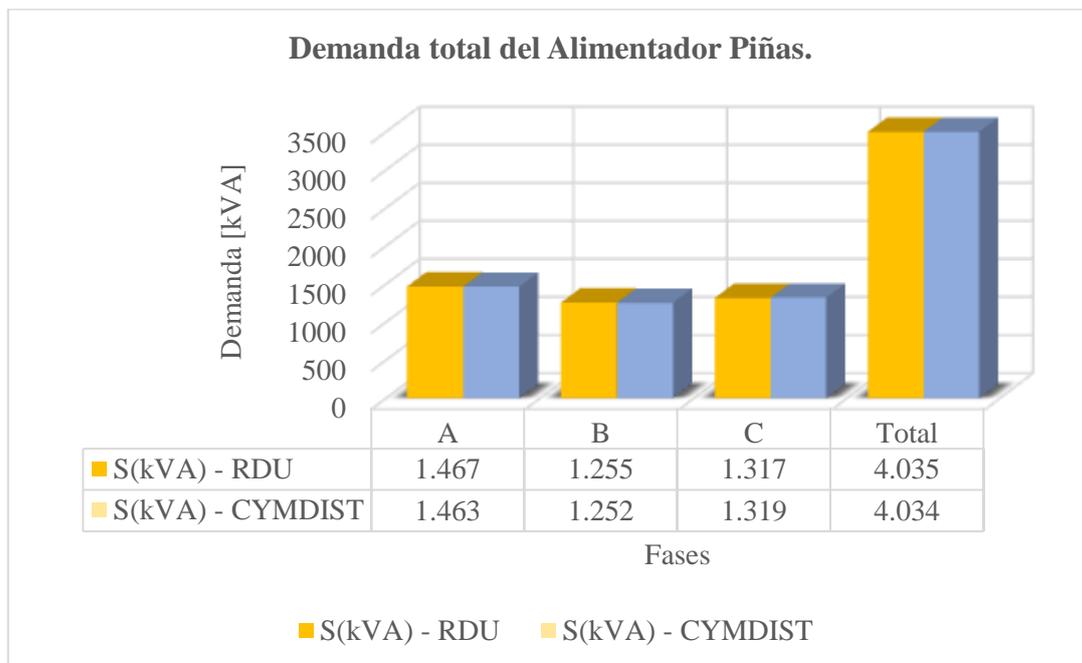


Figura 5-55. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

De igual manera se presenta el error por tramo de los nodos iniciales de las potencias de paso en la figura 5-56.

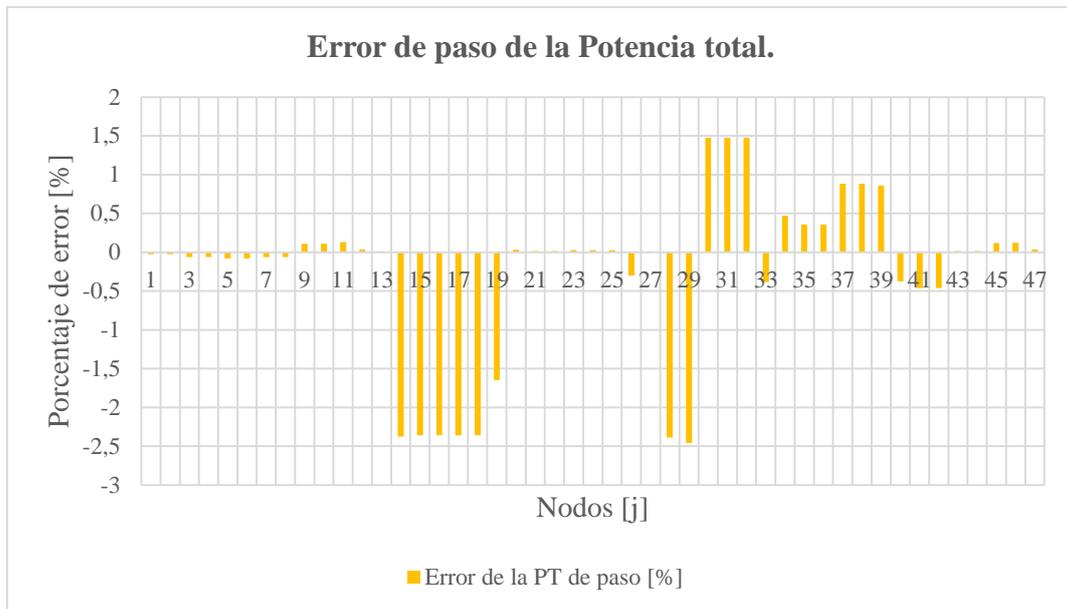


Figura 5-56. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.

Fuente: Autores.

El porcentaje de error total de las pérdidas activas kW es de 1,4351%, en la figura 5-57 se puede observar el comportamiento en cada nodo.

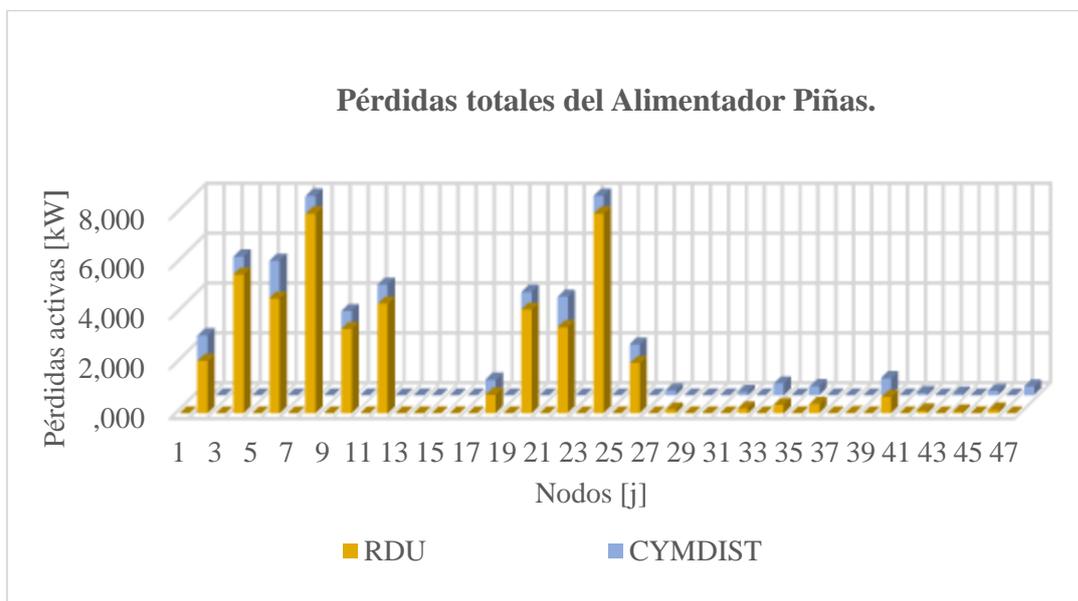


Figura 5-57. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

5.3.1.2 Análisis cuando se tiene colocado un RV.

En la figura 5-58, se muestra una comparación de las potencias las cuales indican un porcentaje de error en el nodo de cabecera de alimentador Piñas de -0,0069552%.

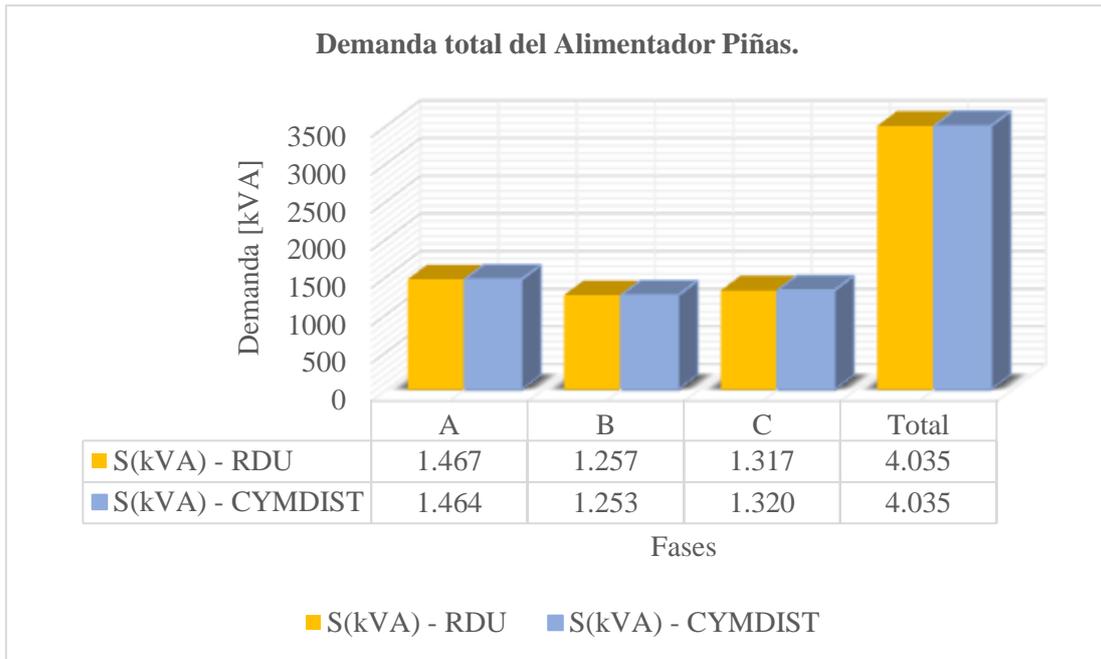


Figura 5-58. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

En la figura 5-59 se observa el error de las potencias de paso del Alimentador Piñas.

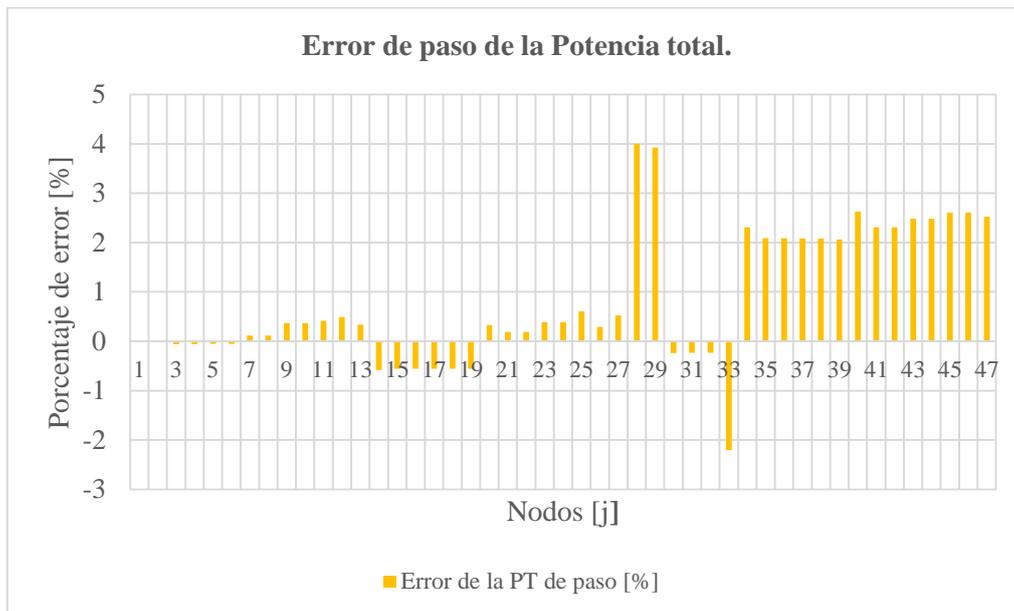


Figura 5-59. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.

Fuente: Autores.

El porcentaje de error total de las pérdidas activas kW es de 1,2365%, en la figura 5-60 se puede observar el comportamiento en cada nodo.

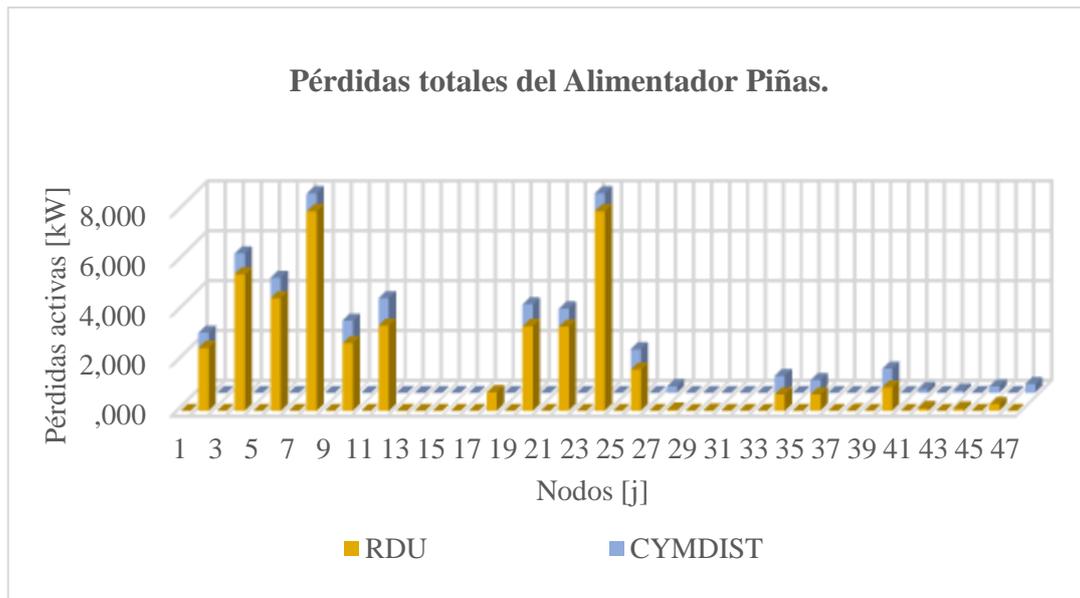


Figura 5-60. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

5.3.2 Análisis del alimentador Atahualpa.

5.3.2.1 Análisis en condiciones sin RV.

En la figura 5-61, se muestra una comparación de las potencias las cuales indican un porcentaje de error en el nodo de cabecera de alimentador Atahualpa de -0,924833%.

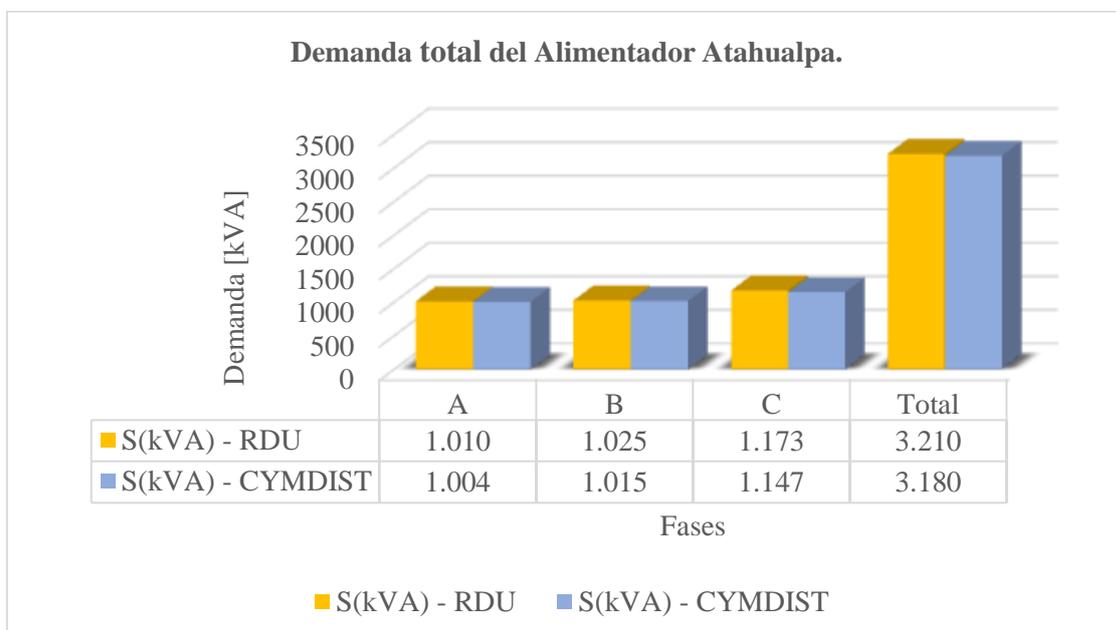


Figura 5-61. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

En la figura 5-62 se observa el error de las potencias de paso del Alimentador Atahualpa.

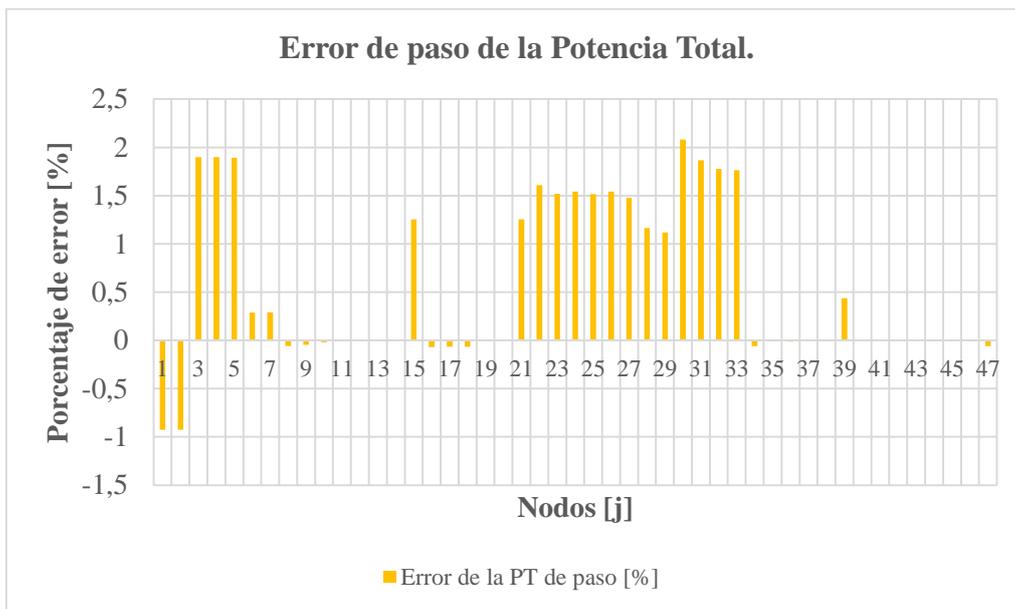


Figura 5-62. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.

Fuente: Autores.

El porcentaje de error total de las pérdidas activas kW es de -1,6542%, en la figura 5-63 se puede observar el comportamiento en cada nodo.

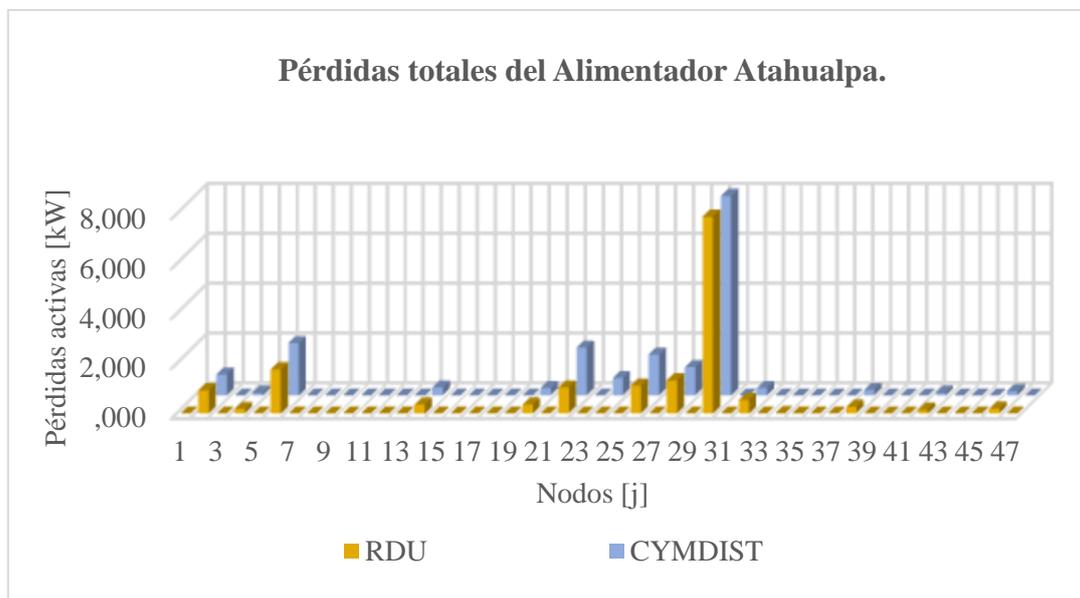


Figura 5-63. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

5.3.2.2 Análisis cuando se tiene ubicado 2 RV.

En la figura 5-64, se muestra una comparación de las potencias las cuales indican un porcentaje de error en el nodo de cabecera de alimentador Atahualpa de -0,924833%.

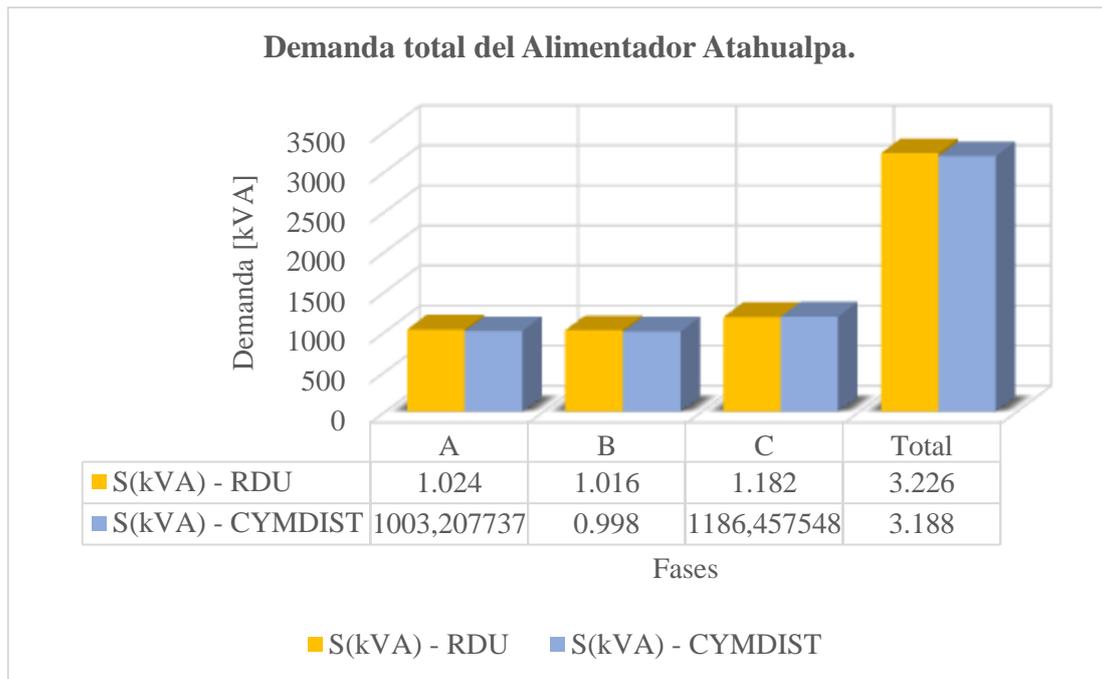


Figura 5-64. Potencia total en kVA: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

En la figura 5-65 se observa el error de las potencias de paso del Alimentador Atahualpa.

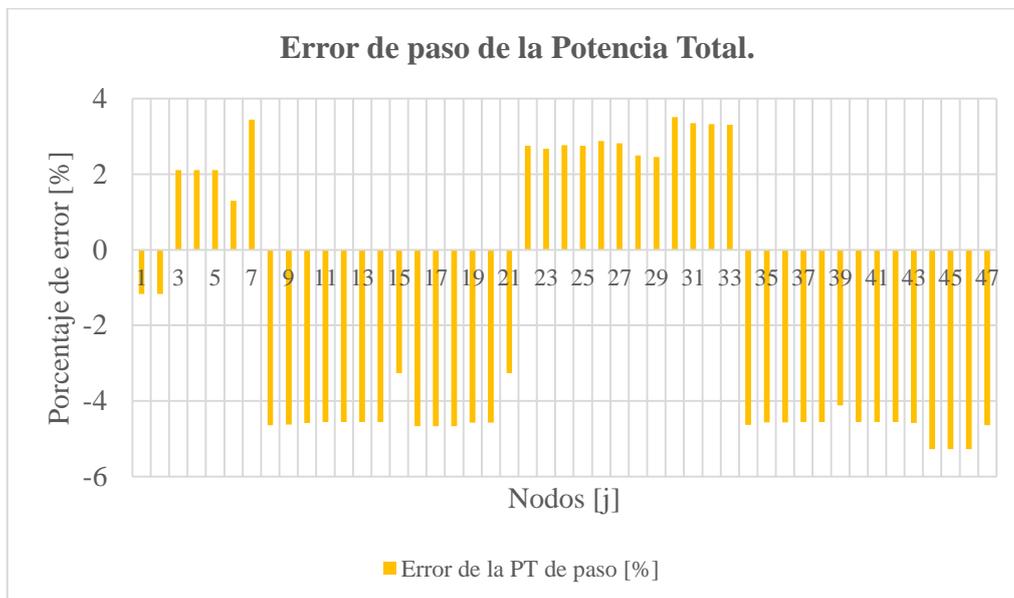


Figura 5-65. Porcentaje de error de la potencia total de los nodos iniciales.

Fuente: Autores.

El porcentaje de error total de las pérdidas activas kW es de -2,001%, en la figura 5-66 se puede observar el comportamiento en cada nodo.

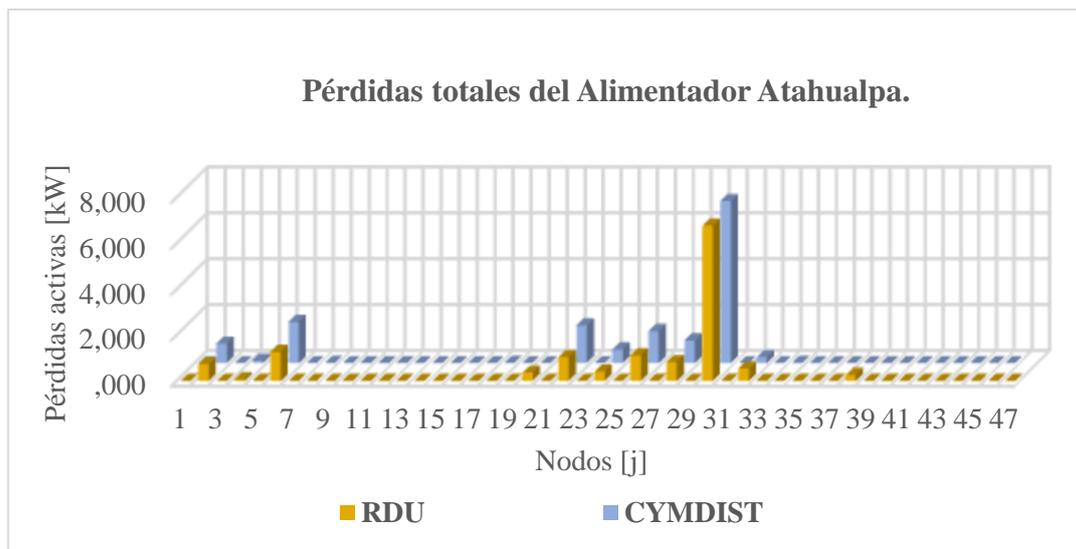


Figura 5-66. Pérdidas activas totales kW: Flujo de carga vs CYMDIST.

Fuente: Autores.

5.3.3 Selección de nodos y tomas en los alimentadores.

Con respecto al análisis y selección de los nodos de ubicación de los reguladores de voltaje, se trabajó con los resultados del flujo de potencia realizado en condiciones normales de funcionamiento, donde se pudo notar a simple vista que los dos alimentadores de estudio presentan en la cabecera límites de voltaje por debajo de la regulación CONELEC 004/01 por lo que es notorio un análisis integro desde el arranque del alimentador. Se determinó implementar para los dos alimentadores en los nodos iniciales la puesta en marcha de dos bancos de RV. En la tabla 5-44, se puede observar que los nodos seleccionados son los mismos esto debido a que se busca corregir desde la cabecera el perfil de voltaje de los dos alimentadores de estudio.

Tabla 5-44. Nodos de selección para la ubicación de los RV en la cabecera del alimentador.

Fuente: Autores.

Alimentador	Nodo propuesto		Nodos CYMDIST		Nodo PR
	Envío	Recibo	Envío	Recibo	
Piñas	4	5	MTA_S_176796	MTA_S_176796	MTA_S_274777
Atahualpa	4	5	MTA_S_225941	MTA_S_225941	MTA_S_107052

A partir de los resultados tomados de las tablas 5-9 y 5-12 de las secciones 5.2.1.1 y 5.2.2.1 se puede observar en la tabla que los nodos de selección son los mismos, esto se debe a que en los dos casos se seleccionó los nodos iniciales para cada alimentador. En el alimentador Piñas el banco de RV se ubicó en el tramo MTA_S_176796 esta ubicación brinda a lo largo del ramal troncal obtener un mejor perfil de voltaje lo que de cierto modo evito colocar un segundo banco. Con respecto al alimentador Atahualpa el banco de RV se ubicó en el tramo MTA_S_225941 el cual según los resultados analizados en la tabla 5-13 muestra una mejora en el perfil de voltaje, pero a partir del tramo MTA_S_314919 los límites están debajo del 92%, por lo que es necesario colocar un segundo banco de RV.

A continuación se presentan los resultados de la demanda registrada en cabecera de los dos alimentadores donde se aprecia los siguientes resultados.

Tabla 5-45. Resultados de cabecera del alimentador Piñas y Atahualpa.

Fuente: Autores.

Alimentador	Demanda	Método Propuesto		CYMDIST
		Sin RV	Con 1 RV	Con 1 RV
Piñas	P [kW]	3.769,991	3.773,801	3.776,915
	Q [kVAR]	1.438,245	1.428,757	1.419,708
	S [kVA]	4.035,019	4.035,210	4.034,930
Atahualpa	P [kW]	2.897,948	2.903,967	2.915,716
	Q [kVAR]	1.379,850	1.404,290	1.289,393
	S [kVA]	3.209,687	3.225,687	3.187,659

En la tabla 5-46, se muestra la ubicación de un segundo banco de RV específicamente para el alimentador Atahualpa el cual presenta aun límites de regulación por debajo de lo establecido. De igual forma se toman los resultados del flujo de carga de la tabla 5-15 y a partir de allí se tienen los siguientes nodos.

Tabla 5-46. Nodos de selección para la ubicación de los RV en la cabecera del alimentador.

Fuente: Autores.

Alimentador	Nodo propuesto		Nodos CYMDIST		Nodo
	Envío	Recibo	Envío	Recibo	PR
Atahualpa	132	134	MTA_S_107052	MTA_S_107062	MTA_S_312997

Definida la ubicación posible se tienen los siguientes resultados del flujo de carga cuando se ubica un segundo banco de RV en el alimentador Atahualpa, ver la tabla 5-47.

Tabla 5-47. Resultados de cabecera del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Alimentador	Demanda	Método Propuesto		CYMDIST
		Con 1 RV	Con 2 RV	Con 2 RV
Atahualpa	P [kW]	2.903,967	2.904,366	2.916,035
	Q [kVAR]	1.404,290	1.403,461	1.289,208
	S [kVA]	3.225,687	3.225,686	3.188,309

Según lo analizado hasta el momento en el aspecto técnico se puede estimar que la mejor solución es la implementación de un banco de RV en la cabecera del alimentador Piñas en cambio para el Alimentador Atahualpa la mejor opción es la ubicación de dos bancos de RV en la cabecera y en el tramo MTA_S_107052. Con respecto a un análisis económico en el capítulo siete se podrá entender de mejor manera la solución posible y su rentabilidad.

Continuando con el análisis, ahora se procede a comprar el ajuste de los taps que se realizaron a través de los dos métodos planteados.

Con respecto a la comparación de los ajustes de los tap tanto para el modelo implementado y del software CYMDIST se presentan los siguientes resultados en la tabla 5-48.

Tabla 5-48. Comparación de los ajustes de los taps de los RV para el alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Fase	Modelo Propuesto		Modelo CYMDIST	
	Toma	Regulación Porcentual	Toma	Regulación Porcentual
	Tap	[%]	Tap	[%]
A	12	±7,50%	12	±7,50%
B	16	±10,0%	15	±9,38%
C	16	±10,0%	16	±10,0%

Para el alimentador Atahualpa en la tabla 5-49, se presenta la comparación de los resultados de los tap del modelo matemático y del CYMDIST.

Tabla 5-49. Comparación de los ajustes de los taps de los RV para el alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Fase	Modelo Propuesto		Modelo CYMDIST	
	Toma	Regulación Porcentual	Toma	Regulación Porcentual
	Tap	[%]	Tap	[%]
A	16	±10,0%	14	±8,75%
B	16	±10,0%	16	±10,0%
C	16	±10,0%	16	±10,0%

En la tabla 5-50, se muestran, los resultados del ajuste de los tap cuando se coloca un segundo RV en el tramo MTA_S_107052, para el alimentador Atahualpa.

Tabla 5-50. Comparación de los ajustes de los taps de los RV para el alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Fase	Modelo Propuesto		Modelo CYMDIST	
	Toma	Regulación Porcentual	Toma	Regulación Porcentual
	Tap	[%]	Tap	[%]
A	10	±6,25%	10	±6,25%
B	10	±6,25%	10	±6,25%
C	12	±7,50%	12	±7,50%

CAPÍTULO 6

6 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA [kVA] EN FUNCIÓN DE UNA TASA VEGETATIVA Y EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE.

En este capítulo se realiza una proyección de la demanda en kVA de los alimentadores Piñas y Atahualpa, por lo tanto, para estimar la demanda se parte de un histórico que es facilitado por la empresa eléctrica CNEL-EP EL ORO mismo que hace referencia al comportamiento que ha tenido el alimentador Piñas y Atahualpa en el año 2017 (Enero - Diciembre), con las nuevas demandas proyectadas se busca determinar si los RV pueden seguir funcionando o en su caso deben ser cambiados, es decir, si los resultados no son los adecuados se determina otros nodos de ubicación los cuales brinden una mejora en el perfil de voltaje y una reducción de pérdidas activas de paso.

Con el registro de datos del año 2017 no se puede ejecutar una estimación de la demanda a 10 años, debido a que no hay una base sólida para proyectar la demanda y ver a futuro si existe o no un incremento, en vista de esta situación se tomó una proyección para dos años, los cuales nos darán una idea hacia donde se dirige la demanda en los dos alimentadores de estudio. Los datos recopilados muestran que el Alimentador “Piñas” tiene un incremento mes a mes de la demanda, mientras que en el alimentador “Atahualpa” según los datos presenta un índice mínimo de incremento, debido a la desconexión de carga minera que se produjo en este año.

6.1 Comportamiento de la demanda máxima actual del año 2017.

Se describe el comportamiento de los alimentadores Piñas y Atahualpa, donde al existir un registro muy corto se decidió dividir los valores mensuales por semana para aumentar el número de datos disponibles. Al separar los registros mensuales se obtuvo 48 semanas que representan los datos del año 2017, el objetivo de realizar este filtrado es para poder aplicar el método de regresión lineal y obtener una recta de ajuste única.

6.1.1 Comportamiento de la demanda máxima del alimentador Piñas.

Los valores de la demanda máxima en kVA del alimentador Piñas fueron tomadas de los registros analizados en el ANEXO 4. La demanda máxima se dio el 29 de Diciembre a las 19h:10 con un valor de 4.035,024 kVA en un horario de franja “Pico” con un porcentaje de crecimiento del 5,36% en relación al mes de diciembre 2016-2017, ver la tabla 3-15. Esta tasa de crecimiento no representa un valor claro a considerar, solo es un comparativo que se realiza en ese mes. Por lo tanto, en la figura 6-1 se presenta la recta de ajuste de la demanda correspondiente al año 2017.

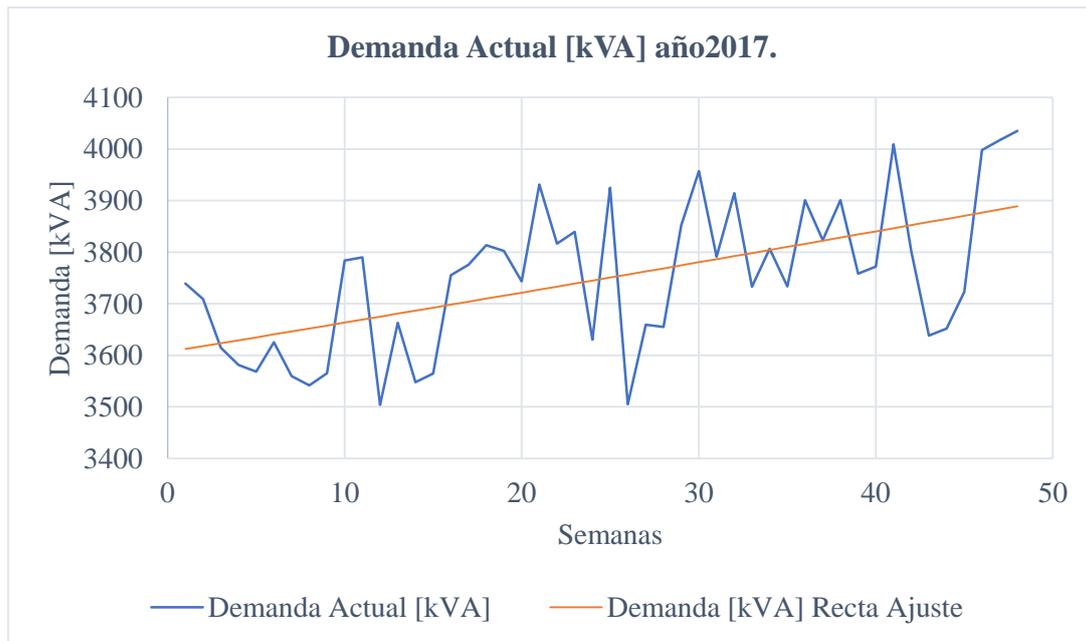


Figura 6-1. Demanda máxima por semanas del Alimentador Piñas, Periodo 2017.

Fuente: Autores.

Los valores de la demanda en kVA que se registran en la figura 6-1 están muy dispersos por lo que se obtuvo una recta de ajuste para observar de mejor manera su comportamiento, el cual es creciente. Parte de un valor inicial de 3.612,003 kVA en la semana 1 hasta un valor de 3.888,927 kVA en la semana 48, la pendiente es de 0,001571 y la recta de ajuste se muestra en la ecuación 6-1, estos resultados se obtienen a partir de aplicar las ecuaciones 2-41, 2-42 del capítulo II.

$$\text{Recta de Ajuste} = y = 8,19122 + 0,00157X \quad 61$$

Donde “X” representa las 48 semanas del año 2017, y “Y” equivale a los valores de la demanda máxima en kVA.

6.1.2 Comportamiento de la demanda máxima del alimentador Atahualpa.

Los registros de datos de la demanda máxima en kVA del alimentador Atahualpa se encuentran en el ANEXO 4. El día 03 de Mayo a las 19h:10 en una franja “Pico” se presentó la máxima demanda registrando 3.160,255 kVA y la media de 2.174,784 kVA, en relación con el mes de mayo del 2016 se tiene una tasa de crecimiento negativa de -7,028%, ver la tabla 3-20. En la figura 6-2 se muestra la recta de ajuste única correspondiente al año 2017 del Atahualpa.

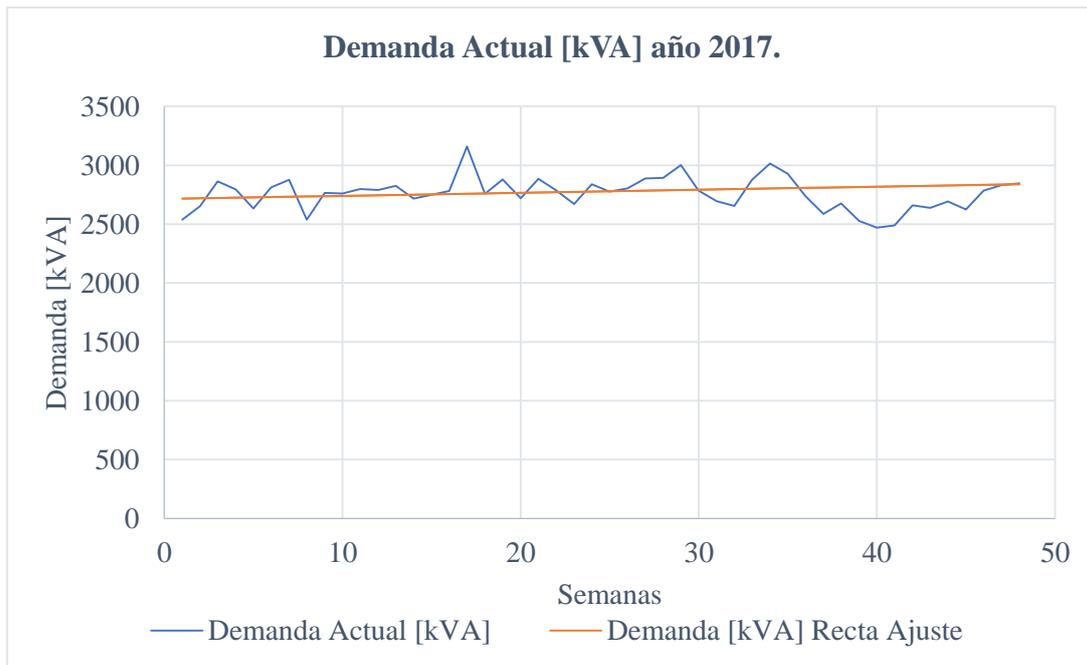


Figura 6-2. Demanda Máxima por semanas del Alimentador Atahualpa, Periodo 2017.

Fuente: Autores.

Al tener datos dispersos se obtuvo una recta de ajuste para analizar el comportamiento de la demanda el cual muestra un crecimiento mínimo. En la semana inicial se parte con una demanda de 2.538,301 kVA y en la semana 48 llega a 2.847,738 kVA, la pendiente calculada es de 0,000943 y la recta de ajuste se describe en la ecuación 6-2, de igual forma se utilizaron las ecuaciones 2-41, 2-42 descritas en el capítulo II.

$$\text{Recta de Ajuste} = y = 7,9063735 + 0,000943X \quad 62$$

De igual forma “X” representa las semanas divididas en el año y “Y” a los valores de la demanda máxima en kVA.

6.2 Proyección de la demanda mediante el método de regresión por mínimos cuadrados.

Una proyección de la demanda permite analizar con exactitud el comportamiento que tendrá la demanda de los alimentadores Piña y Atahualpa para la planificación de la red de distribución de medio voltaje. Para la empresa eléctrica CNEL-EP EL ORO es importante este análisis ya que busca dar soluciones integrales y determinar el funcionamiento correcto de los equipos y dispositivos ubicados en los alimentadores de estudio.

6.2.1 Metodología.

De acuerdo al registro de datos, la demanda en kVA de los alimentadores Piñas y Atahualpa actúa de distinta manera, es decir, en el transcurso del año 2017 el crecimiento que tiene el circuito “Piñas” es mayor ya que los factores que intervienen en su consumo de energía se debe a la cantidad de carga instalada y clientes, mientras que en el “Atahualpa” la recta tiende a tener valores casi similares y el consumo se concentra en mayor parte al sector minero ubicado en

todo el ramal troncal y la carga residencial-comercial se encuentra al final del alimentador. Todo este análisis se basa en el registro de datos proporcionados por la CNEL-EP EL ORO al año 2017.

Para realizar la proyección de la demanda se trabaja con los valores máximos los cuales son separados por semana para obtener un mayor número de datos, revisar ANEXO 4. La proyección solo se cumple para dos años ya que la data histórica es escasa. Realizar una estimación para 10 años como inicialmente se había planteado no es conveniente ya que los nuevos datos no serían confiables.

Los datos tomados registran valores muy dispersos por lo que el error es significativo, se considera realizar un ajuste para obtener una recta única. Para la curva de proyección de la demanda se utiliza la regresión por mínimos cuadrados, método de regresión lineal, este método es válido ya que parte de un historial de la vida real, el cual presenta resultados verdaderos y se analiza mejor el crecimiento o reducción de la demanda.

6.2.2 Proyección de la demanda del alimentador Piñas.

La figura 6-3 muestra la demanda proyectada en kVA del alimentador Piñas para el periodo 2018 -2019. Se puede observar que posee dos brechas denominadas Óptima y pesimista, estas curvas indican límites en las que se mueve la recta de ajuste proyectada y además parte de una semana inicial 49 hacia 144 lo que representa un periodo de dos años.

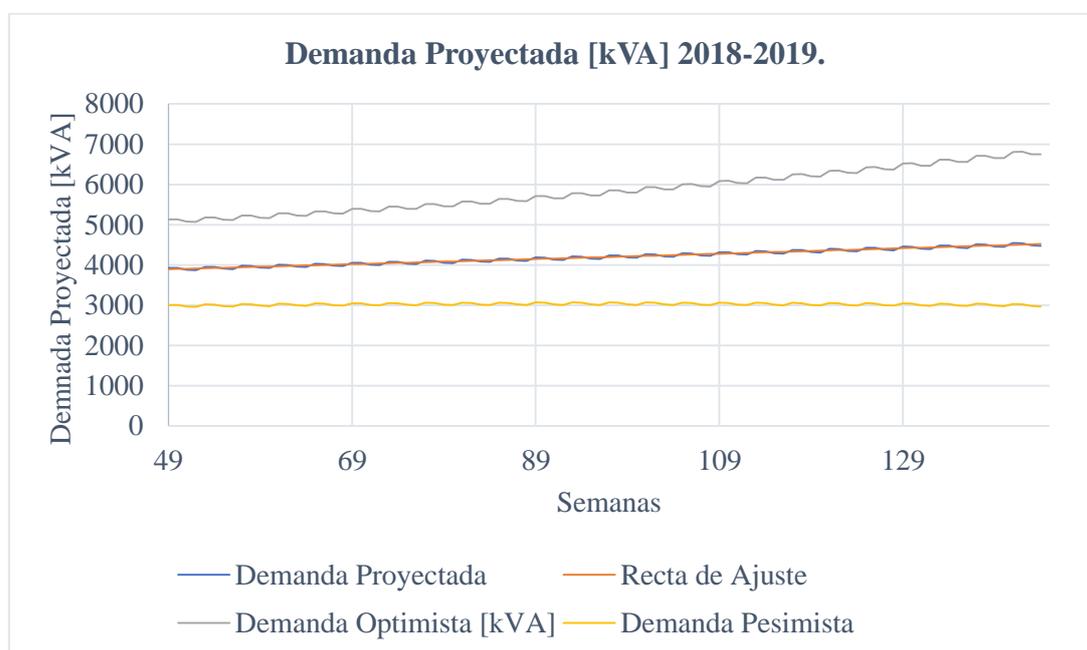


Figura 6-3. Proyección de la demanda en kVA del Alimentador Piñas, Periodo 2018-2019.

Fuente: Autores.

6.2.3 Proyección de la demanda del alimentador Atahualpa.

La figura 6-4 presenta la proyección de la demanda en kVA del alimentador Atahualpa para el periodo 2018-2019, el cual tiene de igual forma dos brechas que indican los límites en los que se mueve la recta de ajuste proyectada.

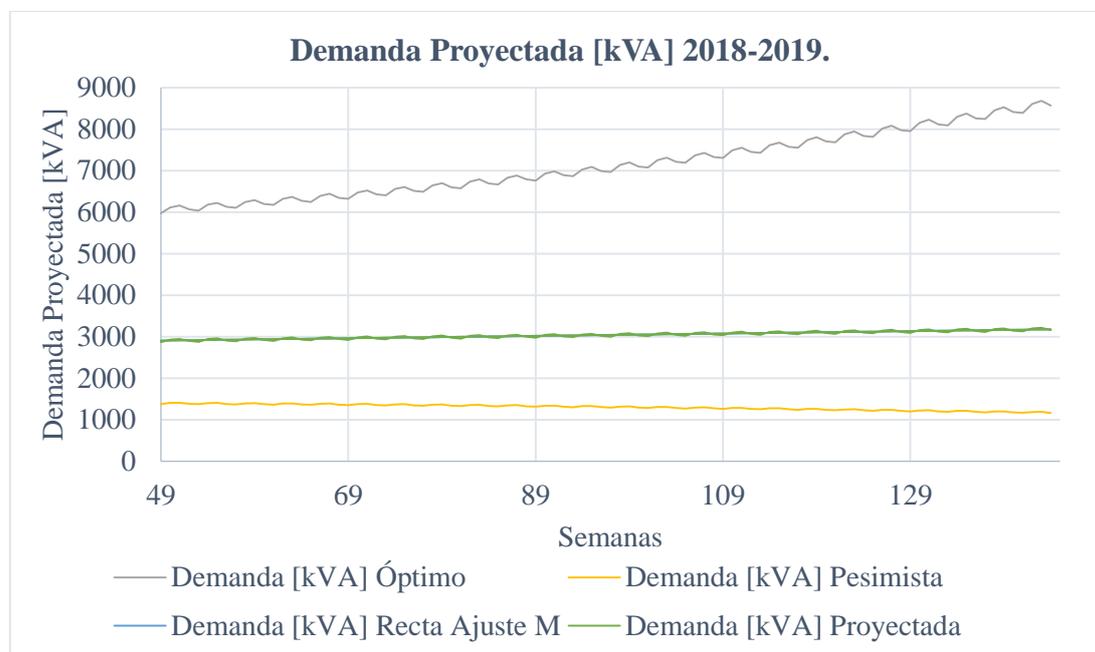


Figura 6-4. Proyección de la demanda en kVA del Alimentador Atahualpa, Periodo 2018-2019.

Fuente: Autores.

6.2.4 Resultados de la proyección de la demanda del alimentador Piñas y Atahualpa.

Las tablas 6-1 y 6-2 presentan las proyecciones de la demanda de los dos alimentadores para un periodo de dos años 2018-2019.

Tabla 6-1. Proyección de la demanda máxima anual del Alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Año	Demanda Proyectada [kVA]
2017	3888,928
2018	4193,669
2019	4608.394

Tabla 6-2. Proyección de la demanda máxima anual del Alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Año	Demanda Proyectada [kVA]
2017	2905,282
2018	3039,864
2019	3180,680

6.3 Ubicación óptima de los reguladores de voltaje con la nueva proyección de la demanda.

El objetivo es comprobar si la ubicación óptima de los regulados de voltaje en los tramos seleccionados en el capítulo IV aun funcionan caso contrario se procede realizar un nuevo estudio para mover los bancos de RV hacia otros tramos los cuales brinden soluciones en el perfil de voltaje y reducir perdidas de paso kW.

6.3.1 Ubicación de los reguladores de voltaje con una nueva demanda en el alimentador Piñas.

Se realizó un estudio con la nueva demanda proyectada con un valor de 4.608,394 kVA para el 2019, que es 14,21% mayor que la demanda del 2017. La demanda se ingresa en los parámetros de red y se procede a ejecutar un flujo de carga en el alimentador, el propósito es analizar su comportamiento y determinar si el RV colocado en el tramo de cabecera cumple con las condiciones adecuadas de perfil de voltaje.

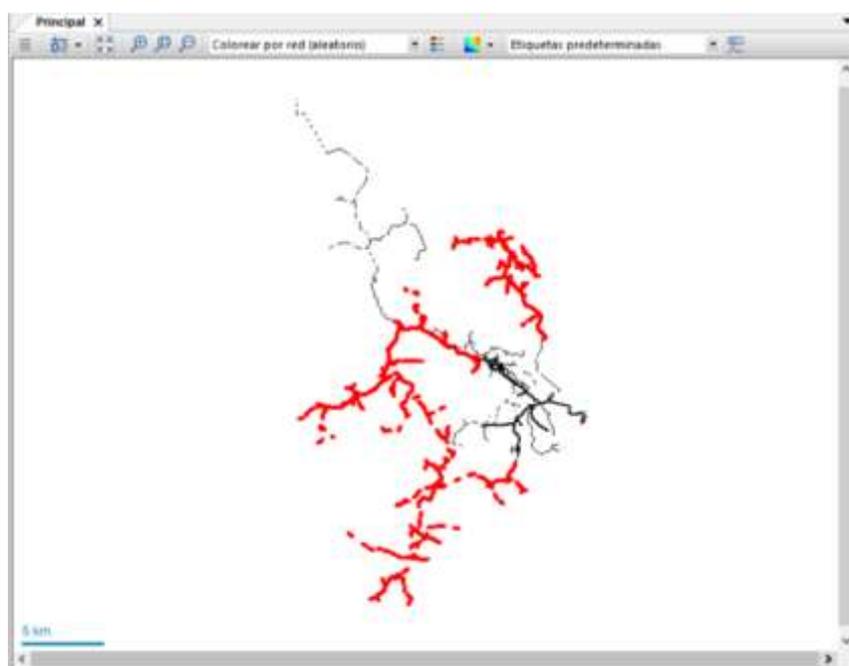


Figura 6-5. Simulación ejecutada con la demanda proyectada en el alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El alimentador Piñas presenta un aumento en la caída de voltaje con la nueva demanda registrada, ver la figura 6-5, este resultado es lógico ya que se incrementó carga y se mantuvo los parámetros iniciales de voltaje. A lo largo del ramal troncal se indica que la fase C presenta una mayor caída con relación a las fases A y B.

En la cabecera del alimentador Piñas se encuentra ubicado un banco de RV con un nuevo valor de demanda donde se observan los valores iniciales de voltajes y potencias del tramo 176799_MTA, ver la figura 6-6.

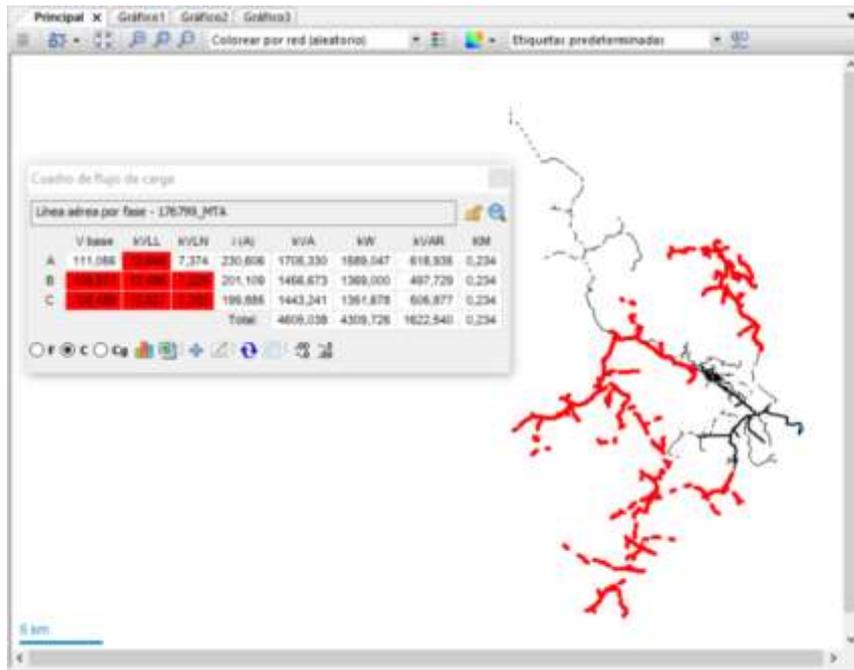


Figura 6-6. Comportamiento del nivel de voltaje con un RV en la cabecera del alimentador Piñas.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

En el ramal troncal a una distancia de 8,815 km el perfil de voltaje kVLL llega a los límites establecidos de la regulación y en el tramo 152778_MTA el nivel de voltaje promedio que se registra es de 12,62 kVLL, ver la figura 6-7.

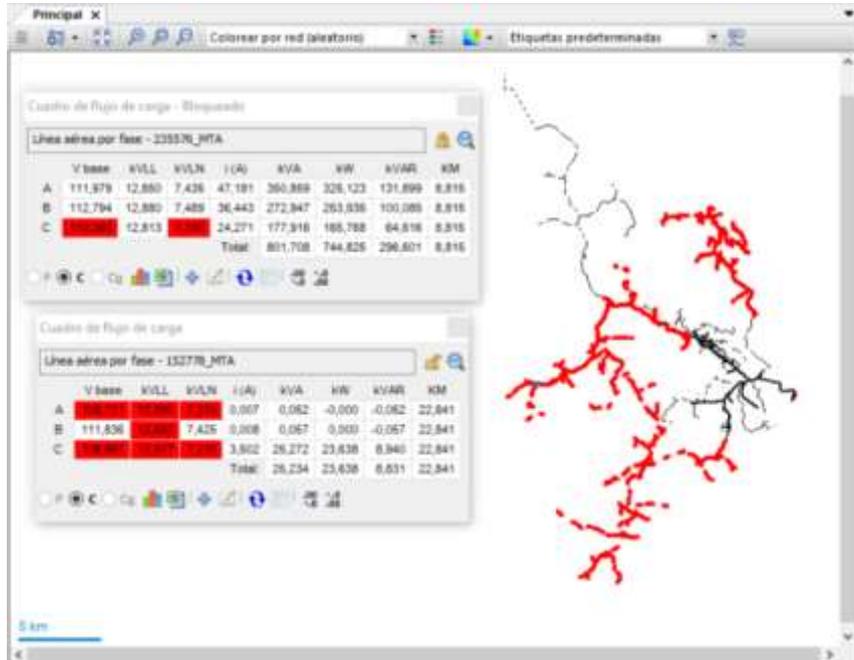


Figura 6-7. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubican dos RV en los tramos 235576_MTA, 152778_MTA del alimentador Piñas.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El perfil de la demanda proyecta registra un valor de 4.608,394 kVA totales, se puede observar que existe un desbalance en las tres fases, y a partir de una distancia de 4 km hasta los 8 km aguas abajo la fase más sobrecargada es la fase C, ver la figura 6-8.

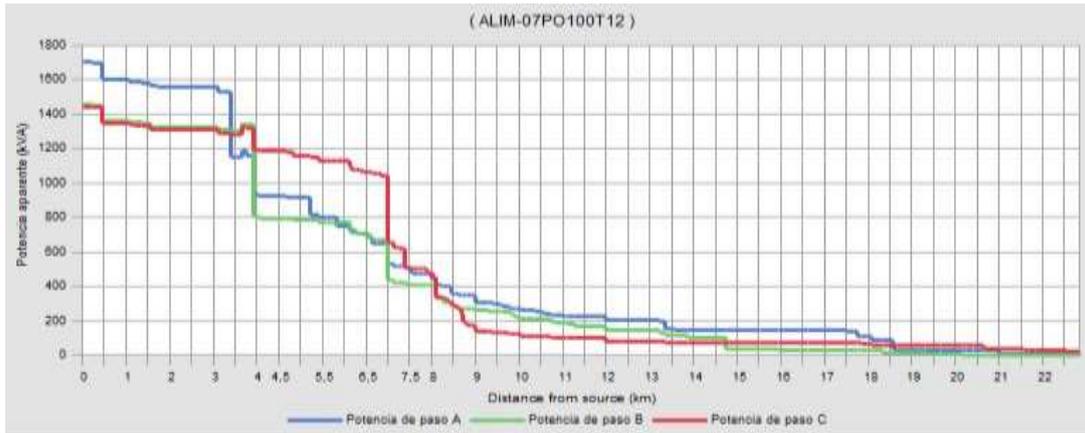


Figura 6-8. Perfil de la demanda proyectada en kVA del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La curva del perfil de voltaje kVLL en el ramal troncal a una distancia de 12 km, el voltaje llega a los límites de regulación del 92%, donde la fase B tiene una menor conexión de carga a una distancia de 9 km, ver la figura 6-9.

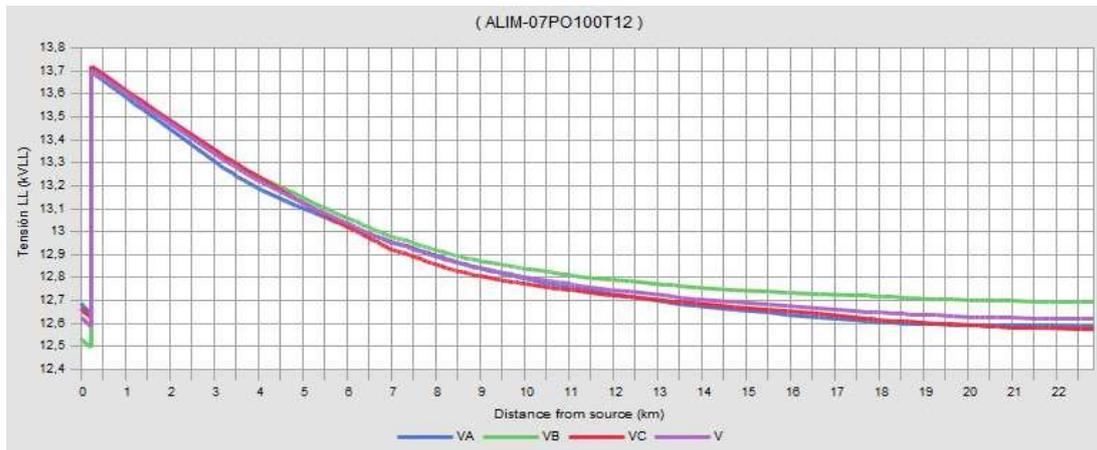


Figura 6-9. Perfil de voltaje kVLL con un banco de RV en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La regulación de voltaje que realiza el banco colocado en la cabecera no cumple el nivel de 13,8 kV, debido a que existe una mayor demanda por lo que el ajuste del tap del RV ubicado en la cabecera del alimentador está a la toma máxima 16 con una regulación porcentual del $\pm 10,0\%$. La regulación de voltaje en sus terminales incrementa a 13,705 kVLL y se puede notar como el nivel de voltaje ha bajado dado al aumento de carga del alimentador, ver la tabla 6-3.

Tabla 6-3. Resultados cuando se coloca un banco de RV en la cabecera del Alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,629	12,686	12,534	12,666
0,233	13,705	13,695	13,703	13,718
13,353	12,717	12,689	12,765	12,697
22,841	12,620	12,589	12,692	12,576
%	7,916	8,075	7,377	8,324

Las pérdidas activas que se generan al colocar un banco de RV están en 279,525 kW que es mayor en relación con la demanda inicial calculada donde llego a 242,88 kW con un banco colocado en el mismo tramo inicial, lo que representa un aumento de 13.11% en las pérdidas.

6.3.2 Ubicación de dos reguladores de voltaje con la demanda proyectada del alimentador Piñas.

Debido a que el perfil de voltaje del alimentador Piñas está afectado por un mayor porcentaje de caída de voltaje, se busca una solución más adecuada para esta nueva demanda. Por lo que se elige colocar un segundo regulador en el alimentador sobre el sistema donde ya se tiene ubicado un banco de RV en la cabecera del circuito y se propone otro tramo a lo largo del ramal troncal para la ubicación óptima.

La tabla 6-4 presenta el tramo que considera el software CYMDIST para la ubicación óptima del RV, a la altura del tramo 369041_MTA comienza a tener una caída de voltaje de 13,023 kVLL que equivale al límite de la regulación del 95%, este tramo se encuentra ubicado al ingreso de la ciudad por lo que existe una concentración de carga. Se consideraron otros ramales de análisis, pero estos tenían ubicaciones que no cumplían con el perfil de voltaje, por lo tanto, se escogió el tramo 369042_MTA.

Tabla 6-4. Parámetros de la ubicación óptima del RV en la cabecera del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

RV	Pérdidas totales [kW]	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	FO	Tramo #1	Equipos #1
1	279,701	972581,6	0	0	95,275	369042_MTA	REG-ITB-B

Al colocar el RV en el tramo 369042_MTA y realizar el flujo de potencia, se tienen los siguientes resultados en la figura 6-10.

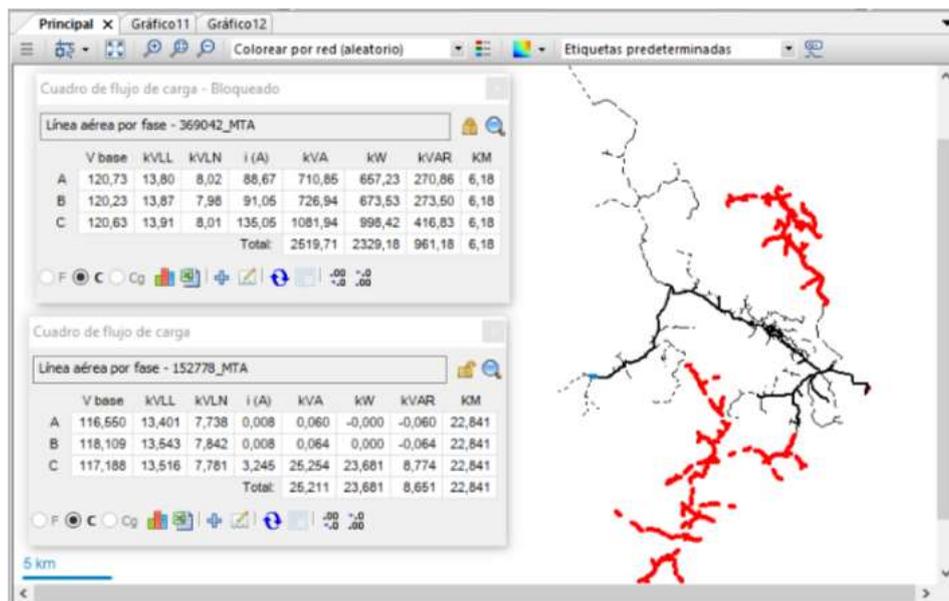


Figura 6-10. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubican dos RV en los tramos 369042_MTA, 152778_MTA del alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Se puede observar en la figura 6-10 que las condiciones de operación del alimentador Piñas mejora considerablemente, los tramos monofásicos marcados con rojo indican que el nivel de voltaje está por debajo del límite permitido del 92%, la longitud de estos ramales es muy extenso lo que origina una mayor caída de voltaje y una de las condiciones para mejorar la red es cambiar a un sistema trifásico para así reducir las caídas de voltaje y las pérdidas activas. En la figura 6-11, se presenta el perfil de la demanda proyectada del alimentador.

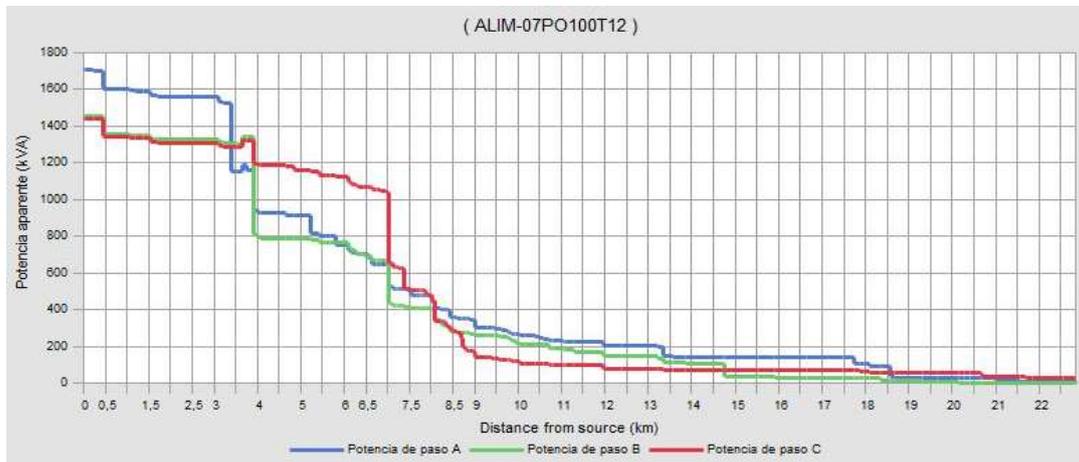


Figura 6-11. Perfil de la demanda proyectada en kVA del alimentador Piñas.
Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 6-5 se muestra resultados de las potencias de paso de las tres fases referentes a la figura 6-11, donde la fase A tiene el mayor índice de sobrecarga con 1.707,8 kVA.

Tabla 6-5. Resultados de las potencias de paso del alimentador Piñas.
Fuente: Autores.

Longitud (km)	Potencia de paso A (kVA)	Potencia de paso B (kVA)	Potencia de paso C (kVA)
0,000	1707,800	1455,800	1444,800
0,233	1701,500	1452	1440,500
6,152	710,900	727,100	1082,400
22,841	0,100	0,100	25,300

En el perfil de voltaje kVLL del alimentador se puede apreciar que en la cola del ramal troncal el nivel de voltaje se mantiene dentro de los límites de regulación del 97,5%.

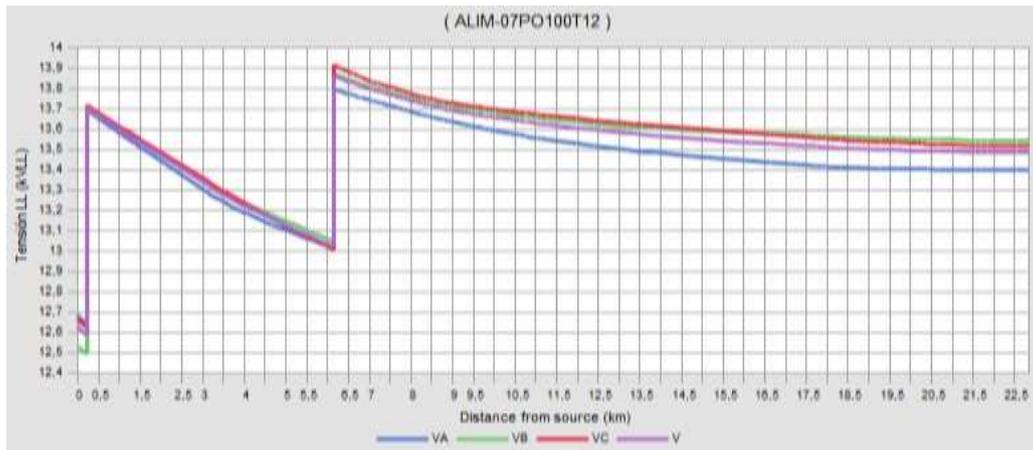


Figura 6-12. Perfil de voltaje kVLL con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Piñas.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La tabla 6-6 indica el nivel de voltaje que se registra en la cabecera del alimentador a una distancia de 0,233 km, mientras que a una longitud de 6,15 km se muestra el voltaje al que regula el segundo banco de RV.

Tabla 6-6. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Piñas - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,629	12,686	12,534	12,666
0,233	13,705	13,695	13,703	13,718
6,152	13,023	13,013	13,048	13,007
%	4,976	4,979	4,779	5,182
6,152	13,863	13,798	13,876	13,916
22,841	13,487	13,401	13,543	13,516
%	2,712	2,877	2,399	2,874

Con esta simulación del alimentador con la nueva demanda proyectada se aprecia que funciona dentro de los límites de operación regulados durante todo el periodo de tiempo.

El ajuste del tap del primer regulador en el tramo 152778_MTA es de 13,705 kVLL que representa el $\pm 10,0\%$ con la máxima toma 16 (tap) y el segundo RV ubicado en el tramo 369042_MTA regula a 13,86 kVLL, las fases A y C tienen el ajuste de la toma en 11 ($\pm 6,875\%$) y la fase B llega a la toma 9 ($\pm 5,625\%$), los ajustes son bajos ya que poseen una menor carga concentrada aguas abajo.

Las pérdidas totales en kW cuando se ubican dos RV en el alimentador Piñas registran unas pérdidas de 279,702 kW, cuando en el caso anterior donde se colocó un RV en la cabecera del circuito se tenía unas pérdidas de 279,525 kW lo que incrementa las pérdidas en 0,063%, por lo que implementar un sistema con dos bancos de RV no es factible si se requiere reducir las pérdidas activas de paso.

6.3.3 Ubicación de reguladores de voltaje con una nueva demanda en el alimentador Atahualpa.

Se procede analizar si la ubicación óptima con una demanda máxima de 3.160,255 kVA funciona ante una nueva demanda, valores tomados de la tabla 6-2. A partir de una demanda proyectada de 3.180,6802 kVA misma que se incrementa en 0,646% en el año 2019. Se determina si cumple con los requerimientos de un adecuado nivel de voltaje y un límite de regulación del 92% de caída de voltaje.

En los parámetros de red se modifica el valor de la demanda en kVA y se mantiene el nivel de voltaje, luego se realizó un flujo de carga con los nuevos datos para estudiar el comportamiento que tiene el alimentador Atahualpa. Luego se evalúa el perfil de voltaje y las pérdidas que se generan al aumentar la demanda, en la figura 6-13 se muestra las condiciones de operación del alimentador donde no existen tramos marcados de color rojo. Lo que indica que el nivel de voltaje está dentro de los límites de regulación del 92% tanto los ramales monofásicos y trifásicos.

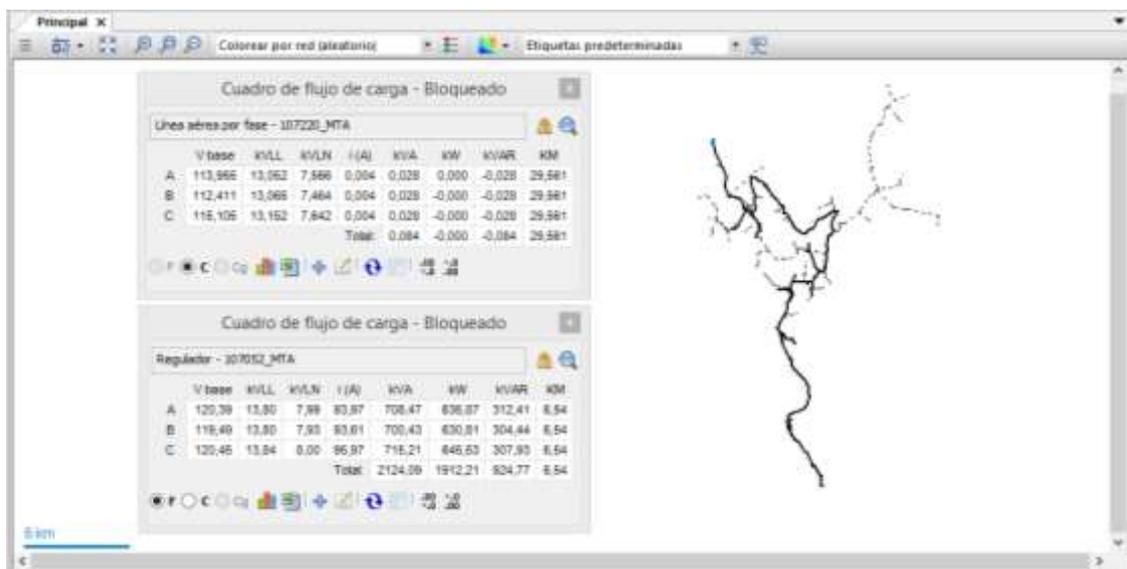


Figura 6-13. Comportamiento del nivel de voltaje cuando se ubican dos RV en los tramos 225940_MTA, 107052_MTA del alimentador Piñas (Demanda Proyectada).

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

La demanda se incrementó en 20,4252 kVA por lo que el sistema ante una pequeña variación no muestra cambios notorios en los tramos donde ya se ubicó los dos bancos de RV. En la figura 6-14 se presenta el perfil de la demanda proyectada en kVA del alimentador Atahualpa.

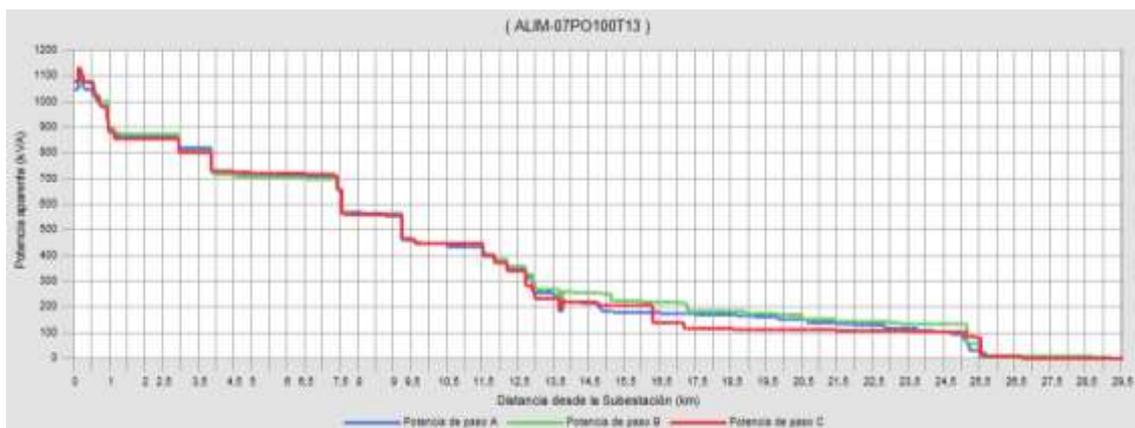


Figura 6-14. Perfil de la demanda proyectada en kVA del alimentador Atahualpa.

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

Detalle de las potencias de paso en kVA de las tres fases en relación a la figura 6-14, el cual registra un desbalance en la cabecera de 14,3% lo que indica que está dentro del rango establecido del 15%, ver la tabla 6-7.

Tabla 6-7. Resultados de las potencias de paso del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Potencia de paso A (kVA)	Potencia de paso B (kVA)	Potencia de paso C (kVA)
0,000	1049,700	1081	1078,300
0,045	1049,400	1080,600	1078
6,544	712,400	704,400	719,400
6,544	708,500	700,400	715,200
29,561	0,000	0,000	0,000

El banco de RV ubicado en el tramo 225940_MTA tiene los siguientes ajustes de la toma (tap) y la regulación porcentual en la tabla 6-8.

Tabla 6-8. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en cabecera del alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).

Fuente: Autores.

Fase	Toma	Regulación Porcentual	Voltaje Deseado	Ancho de banda
	Tap	[%]	[V]	[V]
A	14	±8,75%	120	2
B	16	±10,0%	120	2
C	16	±10,0%	120	2

El segundo banco de reguladores ubicados en el tramo 107052_MTA tienen los siguientes ajustes del tap en la tabla 6-9. En las tres fases las tomas de ajuste se reducen con respecto al primer regulador colocado en el tramo 225940_MTA.

Tabla 6-9. Ajustes de la toma del regulador de voltaje ubicado en el tramo 107052_MTA del alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).

Fuente: Autores.

Fase	Toma	Regulación Porcentual	Voltaje Deseado	Ancho de banda
	Tap	[%]	[V]	[V]
A	10	±6,25%	120	2
B	10	±6,25%	120	2
C	12	±7,50%	120	2

Con el aumento de la demanda a 3.180,6802 kVA, el perfil de voltaje kVLL no se ve modificado a lo largo del ramal troncal, mantiene el voltaje inicial en la cabecera a 13,643 kVLL y a la distancia de 6,544 km el voltaje aumenta a 13,813 kVLL, ver la figura 6-15.

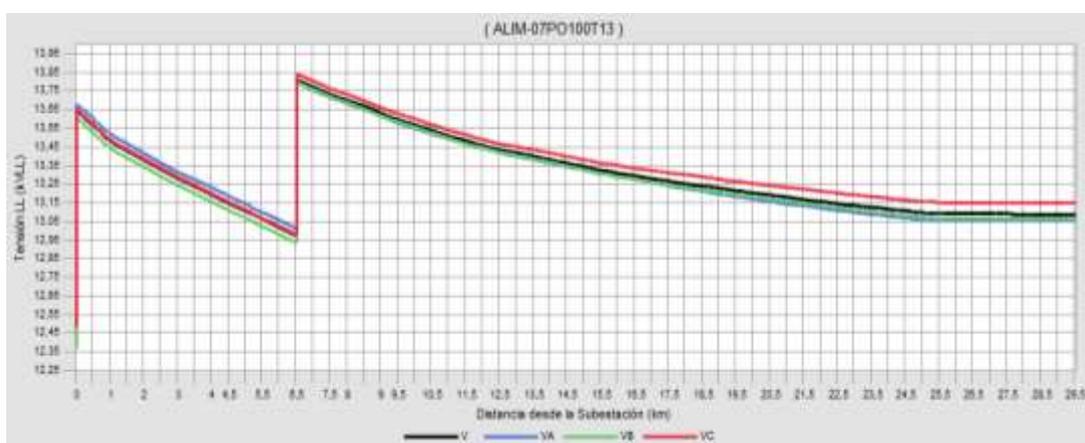


Figura 6-15. Perfil de voltaje kVLL con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El porcentaje de caída de voltaje que registra el banco de RV inicial alcanza el 4,896% antes del tramo 107052_MTA y el otro banco de RV registra 5,227% hasta el final del alimentador, se mantienen los mismos parámetros de voltaje en relación al estudio de demanda máxima (actual), ver la tabla 6-10.

Tabla 6-10. Resultados de la caída de voltaje kVLL del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,459	12,516	12,372	12,489
0,045	13,643	13,677	13,604	13,647
6,544	12,975	13,012	12,936	12,978
%	4,896	4,862	4,910	4,902
6,544	13,813	13,796	13,799	13,843
29,561	13,090	13,052	13,065	13,152
%	5,234	5,392	5,319	4,991

El perfil de voltaje kVLN de las tres fases a lo largo del ramal principal no hay cambios significativos en la curva de voltaje en relación al caso de la demanda actual, ver la figura 6-16.

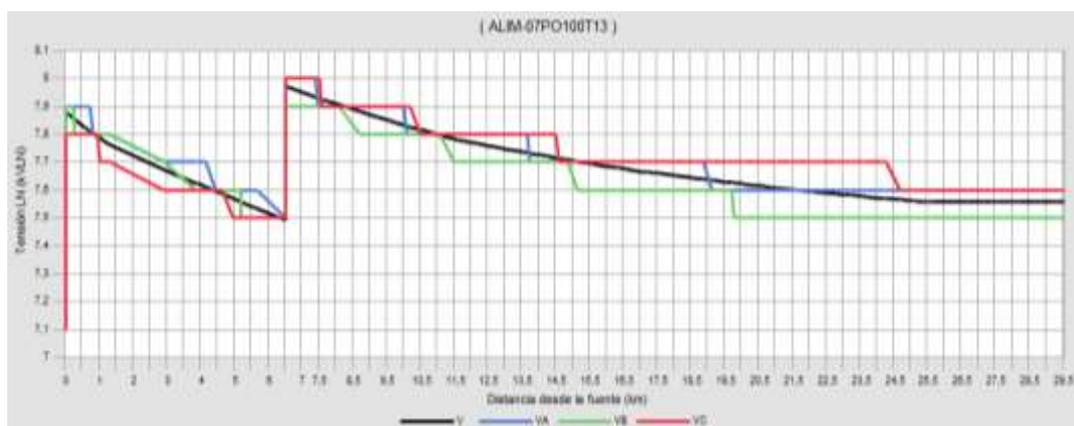


Figura 6-16. Perfil de voltaje kVLN con la ubicación de dos reguladores de voltaje en el alimentador Atahualpa (Demanda Proyectada).

Fuente: Software CYME - CYMDIST.

El porcentaje de caída en la primera ubicación del regulador es de 4,90% y en el segundo regulador es de 5,216%, ver la tabla 6-11.

Tabla 6-11. Resultados de la caída de tensión kVLN del Alimentador Atahualpa - Ramal Troncal.

Fuente: Autores.

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
0,000	7,193	7,300	7,200	7,100
0,045	7,877	7,900	7,900	7,800
6,544	7,491	7,500	7,500	7,500
%	4,900	5,063	5,063	3,846
6,544	7,975	8,000	7,900	8,000
29,561	7,557	7,600	7,500	7,600
%	5,241	5,000	5,063	5,000

Las pérdidas activas totales al ubicar los dos bancos de RV en el alimentador Atahualpa son similares a los del caso de demanda actual, donde las pérdidas pasan de 180,037 kW a 180,041 kW indicando que aumentan en 0,002%, lo que nos dice que no hay mayor cambio.

CAPÍTULO 7

7 ANÁLISIS RBC PARA EL CAMBIO O IMPLEMENTACIÓN DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE AL ALIMENTADOR MÁS CRÍTICO DE LA S/E PORTOVELO.

El procedimiento de análisis RBC sirve de apoyo para la toma de decisiones donde se consideran los datos técnicos (costos de las pérdidas de las líneas en kW) y económicos (precio del RV), estos influyen en gran medida uno en relación al otro. En el costo del regulador de voltaje solo se toma en cuenta el precio del equipo y no los costos de mantenimiento e instalación, se debe tener presente que el capital no es estático y que su cambio está ligado a los años de vida de la inversión.

En el análisis económico intervienen las potencias (kW, kVAR y kVA) y pérdidas (kW) totales del alimentador Piñas y Atahualpa. Además, se incorporan factores como la tasa vegetativa de crecimiento porcentual “rv”, la tasa de interés anual referente al costo de inversión “ri” que hace referencia al interés activo efectivo vigente para el sector financiero privado, público, popular y solidario del mes de Junio 2018 y el costo por las pérdidas de energía “Cp” en el sistema. El costo “Cp” es seleccionado en el “Pliego Tarifario para las empresas Eléctricas de Distribución” documento que es facilitado por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad “ARCONEL” correspondientes al periodo Enero–Diciembre 2018.

Dentro del estudio se debe incluir el tiempo de vida útil (Ta) del equipo (RV), siendo este un tiempo de 15 años, el mismo que puede aumentar o disminuir de acuerdo a los índices de cambio de tomas, es decir, mientras más cambios de ajustes realicen los RV para mantener los niveles de voltaje regulados, el tiempo de vida se reduce. Cabe indicar que los RV tiene un número de 200.000 cambios de pasos (operaciones) cuando las cargas son inferiores al 50% y la inspección se realiza cada 10 años y si la carga supera el 50% de la corriente nominal la inspección inicia después de 4 años o de 100.000 operaciones. Cuando se excede ese límite se debe realizar inspecciones periódicas en los devanados y contactos que realizan los saltos respectivos, para evitar inconvenientes en la red de distribución nos ayudamos con la norma IEEE C57.15–2009 “Standard Requirements, Terminology, and Test Code for Step-Voltage Regulator”.

Para establecer si la implementación de los reguladores de voltaje es conveniente, el valor total RBC debe ser mayor a uno, si es mayor se pone en funcionamiento el sistema ya que los beneficios superan a los costos de inversión, ya que el objetivo es determinar el año de quiebre donde se comienza a obtener beneficios y una rentabilidad económica. Según los resultados obtenidos de los flujos de potencia en condiciones normales sin RV las pérdidas son mayores que para un sistema con RV, por lo que implementar el sistema es técnicamente aceptable.

7.1 Metodología para realizar el análisis económico correspondiente a los alimentadores Piñas y Atahualpa.

Cuando se realiza un análisis económico mediante modelos matemáticos se utiliza en gran medida el método de los costos anuales que serán evaluados a partir de los resultados obtenidos

de los flujos de carga del alimentador Piñas y Atahualpa, revisar los parámetros de la sección 4.3 y 4.4.

Para iniciar los cálculos respectivos se parte con la recopilación de las potencias y pérdidas totales (Activas [kW], Reactivas [kVAR] y Aparente [kVA]) referentes al sistema con y sin banco de RV. Se adiciona el número de años “Ta” en el que se encuentra en funcionamiento el RV, la razón de crecimiento vegetativo “rv” que se obtiene a partir de la estimación de la demanda descritos en la sección 6.2.4, la tasa “ri” del interés bancario que es referente a la inversión pública detallada en la sección 2.13.1 (Para el caso se emplea una tasa de inversión pública del 8,00%), el tiempo “Te” referida para un año (8760 horas), el factor de carga “Fc” de cada alimentador, factor de perdidas “Fp” del circuito y el costo de la energía por perdidas del sistema (viejo y nuevo) tomadas del ARCONEL.

Cuando se define todos los parámetros iniciales se aplican las ecuaciones descritas en la sección 2.13.1. El costo de las perdidas antes de la instalación de los RV “Fc, max” se obtiene aplicando la ecuación 2-34. Luego para determinar “Fc, r” se aplica la ecuación 2-31, que hace referencia al sistema con banco de RV (sistema sin perdidas). Los costos “Fc, max” y “Fc, r” son importantes para obtener el beneficio “Dfc, r” después de instalar los RV con la ecuación 2-35. Estos resultados solo hacen referencia a los costos de las pérdidas de energía, aun el costo de inversión del RV no interviene.

Para obtener datos más precisos se debe incluir aparte de los costos de las pérdidas, el costo de inversión de los reguladores de voltaje. El “C-reg” está en función del factor de recuperación del capital “A⁻¹” que está dado por “ri” y “Ta”, se consigue aplicando la ecuación 2-39 y con la ecuación 2-38 se obtiene el costo total “C-reg” (valor de adquisición y montaje) del regulador de voltaje. El beneficio total “SF” donde ya intervienen todos los costos se aplica la ecuación 2-36.

El método de la relación Beneficio-Costo es un índice que indica que tan rentable resulta poner en funcionamiento de los reguladores de voltaje, revisar la sección 2.15.2. Debe ser mayor a 1 para que los beneficios sean superiores a los costos de inversión, en el tiempo de vida útil del proyecto respetando el crecimiento vegetativo. El “RBC” puede variar en el Alimentador Piñas y Atahualpa ya que tienen distintas demandas y RV instalados. Se calcula también el VAN “Valor Actual Neto” y el TIR “Tasa Interna de Retorno” con las ecuaciones 2-43 y 2-44. El VAN refleja lo mismo que el RBC, es decir, retorno de capital y el TIR indica que si la tasa de retorno es mayor a la tasa de inversión pública es factible la implementación.

7.2 Análisis económico para el alimentador Piñas.

7.2.1 Resultados económicos para una demanda máxima de 4.035,023kVA.

El análisis se lo realiza para un sistema con y sin banco de RV correspondiente al alimentador Piñas. El RV empleado tiene una capacidad de 167 kVA y se encuentra ubicado al inicio del alimentador en el tramo 166799_MTA a una distancia de 0,233 km. En la tabla 7-1, se presentan los datos iniciales para resolver el análisis económico.

Tabla 7-1. Datos iniciales para el análisis económico del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

rv	0,078	Tasa de C.	Costo del RV	62.623,00	USD
ri	0,080	Tasa Pasiva	Longitud	238,790	km
Ta	15	Años	P sin RV	3774,651	kW
Cp viejo	0,098	USD	Q sin RV	1423,060	kVAR
Periodo	8760	Horas	S sin RV	4033,993	kVA
Te	5997	Horas	P con RV	3777,062	kW
F carga	0,685		Q con RV	1418,430	kVAR
F pérdidas	0,251		S con RV	4034,617	kVA

En la tabla 7-2, se puede apreciar los resultados del análisis económico cuando se tiene instalado un banco de RV en el tramo 166799_MTA.

Tabla 7-2. Análisis económico para un periodo de 15 años correspondientes al alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

Ta	(1+ri)^t	Sin Banco de RV		Con Banco de RV		Análisis Económico			
		ΔP	Fc,max	ΔP	Fc,r	Creg	Dfc,r	RBC	SF [B]
		kW	USD	kW	USD	USD	USD		USD
0	1,000	242,94	\$ 233.127,94	233,76	\$ 207.885,98	187.869,00	\$ 25.241,96	0,134	-\$ 162.627,04
1	1,001	261,98	\$ 259.005,36	252,04	\$ 230.964,18	202.898,52	\$ 28.041,18	0,138	-\$ 174.857,34
2	1,002	282,51	\$ 288.149,82	271,79	\$ 256.956,32	105.351,16	\$ 31.193,50	0,296	-\$ 74.157,65
3	1,002	304,65	\$ 321.019,17	293,09	\$ 286.270,80	72.899,47	\$ 34.748,37	0,477	-\$ 38.151,10
4	1,003	328,52	\$ 358.139,98	316,05	\$ 319.377,31	56.721,56	\$ 38.762,66	0,683	-\$ 17.958,90
5	1,004	354,26	\$ 400.118,31	340,82	\$ 356.816,48	47.053,00	\$ 43.301,84	0,920	-\$ 3.751,17
6	1,005	382,03	\$ 447.652,19	367,53	\$ 399.210,92	40.638,96	\$ 48.441,27	1,192	\$ 7.802,32
7	1,006	411,96	\$ 501.546,01	396,32	\$ 447.278,17	36.084,45	\$ 54.267,84	1,504	\$ 18.183,39
8	1,006	444,24	\$ 562.727,28	427,38	\$ 501.845,59	32.691,98	\$ 60.881,69	1,862	\$ 28.189,71
9	1,007	479,05	\$ 632.266,13	460,87	\$ 563.867,73	30.074,02	\$ 68.398,39	2,274	\$ 38.324,38
10	1,008	516,59	\$ 711.397,78	496,98	\$ 634.446,46	27.998,02	\$ 76.951,32	2,748	\$ 48.953,30
11	1,009	557,07	\$ 801.548,77	535,93	\$ 714.854,27	26.316,00	\$ 86.694,50	3,294	\$ 60.378,50
12	1,010	600,73	\$ 904.367,35	577,92	\$ 806.561,45	24.929,28	\$ 97.805,90	3,923	\$ 72.876,62
13	1,010	647,79	\$1.021.758,71	623,21	\$ 911.267,48	23.769,53	\$ 110.491,23	4,648	\$ 86.721,70
14	1,011	698,56	\$1.155.925,95	672,04	\$1.030.937,61	22.787,92	\$ 124.988,34	5,485	\$ 102.200,42
15	1,012	753,29	\$1.309.417,64	724,71	\$1.167.845,25	21.948,65	\$ 141.572,39	6,450	\$ 119.623,74
TOTAL			\$9.908.168,38		\$8.836.386,01		\$1.071.782,37		\$ 111.750,87
						RBC	ACEPTABLE		1,116403334
						VAN	ACEPTABLE		\$ 106.503,73

En el año “cero” el costo de las pérdidas sin RV en el alimentador es de \$ 233.127,935 dólares, pero cuando se coloca el banco de RV el costo se reduce llegando a \$ 207.885,98 dólares. A partir del año seis se registra un retorno de capital de \$ 7.802,32 dólares. El RBC del sistema muestra un valor de 1,116 por lo que los beneficios son mayores a los costos, además se tiene el valor actual neto de \$ 106.503,73 dólares.

7.2.2 Resultados económicos para una demanda proyectada de 4.608,3939kVA.

Se presentan los parámetros iniciales para determinar el análisis económico de una demanda proyectada dentro de dos años, en este caso ya se tiene colocado un banco de RV en la cabecera del alimentador (tramo 166799_MTA), por lo tanto, se procede a ubicar otro banco de RV en el tramo 369042_MTA, ver la tabla 7-3.

Tabla 7-3. Datos iniciales para el análisis económico del alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

rv	0,078	Tasa de C.	Costo del RV	62.623,00	USD
ri	0,080	Tasa Pasiva	Longitud	238,790	km
Ta	15	Años	P sin RV	4312,865	kW
Cp viejo	0,098	USD	Q sin RV	1623,170	kVAR
Periodo	8760	Horas	S sin RV	4608,199	kVA
Te	5997	Horas	P con RV	4312,834	kW
F carga	0,685		Q con RV	1623,090	kVAR
F pérdidas	0,251		S con RV	4608,139	kVA

En el estudio económico implementado para un sistema con dos bancos de RV no tiene resultados favorables para ponerlo en marcha. Se puede observar cuando se coloca el segundo banco de RV las pérdidas del sistema aumentan a 279,70 kW por ende los costos aumentan. El RBC que registra el circuito es de -0,00802 lo que indica que los costos son mayores que los beneficios, por lo tanto, se debe mantener un solo banco en el tramo (166799_MTA), ver la tabla 7-4.

Tabla 7-4. Análisis económico para un periodo de 15 años correspondientes al alimentador Piñas.

Fuente: Autores.

T a	(1+ri)^t	Con 1 Banco de RV		Con 2 Banco de RV		Análisis Económico				
		ΔP	Fc,max	ΔP	Fc,r	Creg	Dfc,r	RBC	SF [B]	
		kW	USD	kW	USD	USD	USD		USD	
0	1,000	279,53	\$ 283.002,74	279,70	\$ 283.179,61	187.869,00	-\$ 176,87	-0,001	-\$ 188.045,87	
1	1,001	301,43	\$ 315.183,06	301,62	\$ 315.379,99	202.898,52	-\$ 196,93	-0,001	-\$ 203.095,45	
2	1,002	325,05	\$ 351.514,32	325,25	\$ 351.733,91	105.351,16	-\$ 219,59	-0,002	-\$ 105.570,74	
3	1,002	350,52	\$ 392.587,15	350,74	\$ 392.832,34	72.899,47	-\$ 245,19	-0,003	-\$ 73.144,66	
4	1,003	377,99	\$ 439.081,67	378,23	\$ 439.355,84	56.721,56	-\$ 274,17	-0,005	-\$ 56.995,73	
5	1,004	407,61	\$ 491.781,54	407,87	\$ 492.088,55	47.053,00	-\$ 307,01	-0,007	-\$ 47.360,01	
6	1,005	439,55	\$ 551.590,28	439,83	\$ 551.934,54	40.638,96	-\$ 344,27	-0,008	-\$ 40.983,22	
7	1,006	473,99	\$ 619.550,14	474,29	\$ 619.936,74	36.084,45	-\$ 386,60	-0,011	-\$ 36.471,05	
8	1,006	511,14	\$ 696.864,11	511,46	\$ 697.298,86	32.691,98	-\$ 434,75	-0,013	-\$ 33.126,73	
9	1,007	551,19	\$ 784.921,29	551,54	\$ 785.410,86	30.074,02	-\$ 489,58	-0,016	-\$ 30.563,59	
10	1,008	594,38	\$ 885.326,52	594,76	\$ 885.878,60	27.998,02	-\$ 552,08	-0,020	-\$ 28.550,11	
11	1,009	640,96	\$ 999.934,65	641,36	\$ 1.000.558,07	26.316,00	-\$ 623,42	-0,024	-\$ 26.939,43	
12	1,010	691,18	\$ 1.130.890,38	691,62	\$ 1.131.595,31	24.929,28	-\$ 704,92	-0,028	-\$ 25.634,20	
13	1,010	745,35	\$ 1.280.674,51	745,81	\$ 1.281.472,64	23.769,53	-\$ 798,13	-0,034	-\$ 24.567,65	
14	1,011	803,75	\$ 1.452.157,63	804,26	\$ 1.453.062,45	22.787,92	-\$ 904,82	-0,040	-\$ 23.692,74	
15	1,012	866,74	\$ 1.648.662,49	867,28	\$ 1.649.689,55	21.948,65	-\$ 1.027,06	-0,047	-\$ 22.975,71	
TOTAL			\$ 12.323.722,49		\$ 12.331.407,87		-\$1.027,06		-\$ 967.716,88	
								RBC	NO ACEPTABLE	-0,0008
								VAN	NO ACEPTABLE	-\$ 964.509,42

7.3 Análisis económico para el alimentador Atahualpa.

7.3.1 Resultados económicos para una demanda máxima de 3160,2546kVA.

La tabla 7-5 muestra los datos que intervienen para el análisis con y sin banco de RV. Cabe indicar que el banco de RV se encuentra ubicado en la cabecera del circuito (tramo 225940_MTA).

Tabla 7-5. Datos iniciales para el análisis económico del alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

rv	0,046	Tasa de C.	Costo del RV	62.623,00	USD
ri	0,080	Tasa Pasiva	Longitud	91,650	km
Ta	15	Años	P sin RV	2908,853	kW
Cp viejo	0,098	USD	Q sin RV	1285,670	kVAR
Periodo	8760	Horas	S sin RV	3180,309	kVA
Te	6028	Horas	P con RV	2915,242	kW
F carga	0,688		Q con RV	1289,390	kVAR
F pérdidas	0,251		S con RV	3187,659	kVA

En la tabla 7-6, se observan los resultados del análisis económico cuando se tiene instalado un banco de RV en el tramo 225940_MTA. Las pérdidas generadas sin banco de RV es de 189,39 kW, al instalar el banco las pérdidas se reducen a 185,88 kW. Este mínimo margen ocasiona que el RBC del sistema sea de 0,4049, lo que indica que los costos son superiores a los beneficios. A partir del año 11 existe un ligero beneficio de \$ 2.685,24 dólares.

Tabla 7-6. Análisis económico para 15 años correspondientes al alimentador Atahualpa.

Fuente: Autores.

Ta	(1+ri)^t	Sin Banco de RV		Con Banco de RV		Análisis Económico			
		ΔP	Fc,max	ΔP	Fc,r	Creg	Dfc,r	RBC	SF [B]
		kW	USD	kW	USD	USD	USD		USD
0	1,000	189,39	\$ 166.206,12	185,88	\$ 151.603,98	187.869,00	\$ 14.602,14	0,078	-\$ 173.266,86
1	1,001	198,17	\$ 176.527,49	194,49	\$ 161.022,10	202.898,52	\$ 15.505,39	0,076	-\$ 187.393,13
2	1,002	207,35	\$ 187.575,53	203,50	\$ 171.103,55	105.351,16	\$ 16.471,98	0,156	-\$ 88.879,17
3	1,002	216,95	\$ 199.407,48	212,93	\$ 181.900,59	72.899,47	\$ 17.506,89	0,240	-\$ 55.392,58
4	1,003	227,00	\$ 212.085,43	222,79	\$ 193.469,92	56.721,56	\$ 18.615,51	0,328	-\$ 38.106,05
5	1,004	237,52	\$ 225.676,83	233,11	\$ 205.873,13	47.053,00	\$ 19.803,70	0,421	-\$ 27.249,30
6	1,005	248,52	\$ 240.254,90	243,91	\$ 219.177,08	40.638,96	\$ 21.077,82	0,519	-\$ 19.561,14
7	1,006	260,03	\$ 255.899,20	255,21	\$ 233.454,42	36.084,45	\$ 22.444,77	0,622	-\$ 13.639,68
8	1,006	272,08	\$ 272.696,17	267,03	\$ 248.784,09	32.691,98	\$ 23.912,08	0,731	-\$ 8.779,90
9	1,007	284,68	\$ 290.739,77	279,40	\$ 265.251,90	30.074,02	\$ 25.487,88	0,848	-\$ 4.586,14
10	1,008	297,87	\$ 310.132,18	292,34	\$ 282.951,13	27.998,02	\$ 27.181,05	0,971	-\$ 816,97
11	1,009	311,66	\$ 330.984,50	305,88	\$ 301.983,26	26.316,00	\$ 29.001,24	1,102	\$ 2.685,24
12	1,010	326,10	\$ 353.417,58	320,05	\$ 322.458,65	24.929,28	\$ 30.958,93	1,242	\$ 6.029,65
13	1,010	341,21	\$ 377.562,94	334,88	\$ 344.497,41	23.769,53	\$ 33.065,53	1,391	\$ 9.296,01
14	1,011	357,01	\$ 403.563,69	350,39	\$ 368.230,23	22.787,92	\$ 35.333,47	1,551	\$ 12.545,55
15	1,012	373,55	\$ 431.575,65	366,62	\$ 393.799,40	21.948,65	\$ 37.776,25	1,721	\$ 15.827,60
TOTAL			\$4.434.305,46		\$ 4.045.560,83		\$ 388.744,62		-\$ 571.286,88
								RBC	NO ACEPTABLE
									0,40492903
								VAN	NO ACEPTABLE
									-\$ 570.872,36

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones.

- Para determinar la demanda máxima en [kVA] de los cinco alimentadores correspondientes a la subestación Portovelo, se tomó un registro inicial de dos años (2016-2017) proporcionados por la CNEL-EP EL ORO, en donde se analizaron mediciones cada 10 minutos que referidas a un año llegan a 51.840 valores. En vista de la gran cantidad, como solución se filtraron los valores llegando a obtener 8760 datos, tomando los registros de la demanda máxima y media en kVA. El estudio se realizó con la demanda máxima para observar el sistema en su peor condición de funcionamiento, además el personal técnico de la CNEL-EP EL ORO para sus respectivos estudios emplea este método de análisis. Luego de comparar las mediciones (2016-2017) se estableció manejar los registros del año 2017, ya que los datos del 2016 no presentan tomas de lectura en los meses de marzo, abril, junio y julio, y además existen valores pico en la demanda debido al arranque de ciertas cargas. Por lo que incluir estos resultados no estaría acorde a la operación normal de los alimentadores Piñas y Atahualpa. En los datos del 2017 existe en menor grado de valores pico y los que eran de corta duración se separaron porque solo representaban arranques de motores y de cargas inductivas, si esos valores en kVA poseen intervalos de mayor duración se tomará como dato de máxima demanda, por lo tanto, en el alimentador Piñas y Atahualpa se eliminaron esos picos de demanda debido a que existían problemas para obtener un factor de carga.
- La curva del perfil de carga se obtuvo a partir de los registros recopilados en el mes de mayor demanda [kVA] correspondientes a los cinco alimentadores. El perfil de la demanda máxima y media se dio en los siguientes meses: “Zaruma” en Julio, “Piñas”, “Pindo” en diciembre, “Atahualpa” el mes de mayo y febrero en el “Osorio”. Para poder analizar el comportamiento del alimentador frente a una condición normal de funcionamiento, se tomó el día donde ocurrió la mayor demanda y a partir de eso realizar la curva diaria para cada alimentador, se consideró este análisis ya que, al realizar una curva de ajuste única del mes de mayor demanda, el perfil sufría cambios en la demanda la cual se reducía hasta en 1.000 kVA. Con el perfil de curva diaria se puede interpretar que el “Zaruma”, “Piñas”, “Atahualpa” y “Osorio” tienen un comportamiento de tipo residencial y el circuito “Pindo” de tipo industrial. Finalmente, se estableció el factor de carga el cual indica su funcionalidad y confiabilidad de la red con rangos que varían de 65 a 72%. Donde el alimentador Zaruma presenta el mayor grado de operación con 71,276%, el “Piñas” con 68,4647%, 68,8167% en el “Atahualpa”, “Osorio” con 64,8519% y el “Pindo” con 65,0435%.
- Para resolver los flujos de carga en el software CYMDIST se tomaron los datos a partir de la demanda máxima registrada para cada alimentador de la S/E Portovelo, mismos que muestran que los alimentadores más críticos son “Piñas” y “Atahualpa” ya que presentan niveles de voltaje por debajo de la regulación 11,5514 kVLL “Piñas” y 11,2175 kVLL “Atahualpa” con respecto a los circuitos “Zaruma”, “Osorio” y “Pindo”. En el estudio los datos de cabecera seleccionados y los resultados del flujo de carga del alimentador Atahualpa no coinciden, es decir que, cuando se ingresaba la demanda de 3160,2546 kVA en los parámetros de red y al resolver el flujo da una nueva demanda de

3180,274 kVA, provocando que para el resultado del análisis del error aumente y para evitar este inconveniente se determinó emplear el valor del flujo de carga del reporte. Por último, el desbalance del circuito “Piñas” es de 12,54% y el “Atahualpa” tiene 14,30% lo que indica que está dentro de los límites permitidos de desbalance del 15%.

- Para identificar los nodos críticos (caída de voltaje $\Delta V\%$ y pérdidas activas en kW) se procede a realizar flujos de cargas radiales aplicando el método de Ardivinson para los alimentadores “Piñas” y “Atahualpa”, ya que este analiza el alimentador nodo a nodo. Se inicia con un reporte que es generado en el CYMDIST para luego ser exportado en formato “.xlsx” cumpliendo con los parámetros de las columnas establecidas, revisar la sección 5.1.1. La data inicial de cada alimentador debe tener una secuencia en relación al nodo de envío y recibo, para luego poder obtener una matriz de incidencia y transpuesta. Es importante que la matriz tenga una representación adecuada ya que luego se busca relacionar las distancias (km), impedancia de secuencia positiva y la carga instalada en el nodo.
- La CNEL-EP EL ORO debe mantener una calidad en el servicio correspondiente al nivel de voltaje los cuales están normalizados por la regulación CONELEC 004/01. Según las características que tiene los alimentadores “Piñas” y “Atahualpa” están ajustados en la subetapa dos la cual indica una operación superior a los dos años. En la subetapa dos los niveles de medio voltaje deben estar en un límite de regulación del $\pm 8,0\%$. El límite de voltaje tiene relación con las distancias que tiene el ramal troncal. Donde el “Piñas” registra una longitud de 22,846 km y el “Atahualpa” de 29,561 km.
- Existen técnicas de regulación que se pueden implementar dentro de las empresas eléctricas de distribución, como utilizar transformadores de cambio de toma en las subestaciones LTCs, manejar estos equipos requiere de un conocimiento integral del alimentador para ejecutar los ajustes (toma) necesarios para aumentar el nivel de voltaje, lo que de cierto modo no es conveniente ya que podría ocasionar una inestabilidad en el sistema. Otro caso es emplear reguladores de voltaje trifásicos en la barra del sistema (B-35), pero existe un problema como la capacidad en kVA del RV ya que necesita abastecer la demanda de consumo de los cuatro alimentadores. La regulación de voltaje con LTCs o RV trifásicos no resulta adecuado ya que si existe una disminución de voltaje en una fase al momento de volver a regular la fase afectada puede causar sobretensiones en las otras dos fases además el costo de inversión de estos equipos es muy alto. Una opción viable y menos costosa es utilizar bancos de RV para el alimentador “Piñas” y “Atahualpa”. Estos son manejables y su capacidad en kVA es de menor rango y depende de la potencia que se maneja, para el caso se emplearon reguladores de voltajes de 167 kVA y la corriente de 210 A. Para que no exista problemas en los niveles de regulación por fase se utilizan RV monofásicos los cuales realizan ajustes por fase. El objetivo es aislar el sistema y evitar que si existe problemas de regulación en una fase no afecte a la otra.
- La ubicación óptima de los bancos de RV a través de una metodología heurística que se propone, es una ayuda para mejorar el perfil de voltaje en los alimentadores “Piñas” y “Atahualpa”. Una de las ventajas que ofrece este método es que es más sencillo y no requiere de un software de alto costo económico para dar soluciones, ya que a partir de

técnicas en base a la experiencia y de conocimientos relacionados al tema se busca identificar los sitios candidatos, es decir, los nodos críticos de cada alimentador. Luego se busca colocar el banco de RV en el nodo seleccionado y se procede a realizar un nuevo flujo de carga para determinar si la ubicación asignada cumple con los requerimientos de un adecuado perfil de voltaje. Si los resultados no son satisfactorios se vuelve a ubicar el banco de RV en otro nodo de estudio y se realiza el mismo proceso, finalmente si el perfil de voltaje es conveniente se deja ubicado en el circuito. El software CYMDIST ofrece un método el cual emplea un módulo “Ubicación óptima de reguladores de voltaje” para ubicar los RV que plantea una búsqueda iterativa en donde evalúa cada tramo de ubicación posible y da una solución integral. De igual forma busca aplanar el nivel de voltaje y reducir de alguna manera las pérdidas en kW. El estudio contempla solo en el ramal troncal ignorando los ramales secundarios aéreos (trifásicos, bifásicos y monofásicos) y subterráneos tanto para el método propuesto y el módulo de CYMDIST.

- El análisis económico es un aspecto importante que tomar en cuenta para la puesta en marcha del proyecto. Se describen condiciones técnicas y económicas, como parámetros en el nivel de voltaje (regulación), pérdidas en kW, operación de la red y el costo de inversión de los equipos, referente a las pérdidas activas se manejan casos con y sin banco de RV el cual nos indicara si los nodos seleccionados son rentables. El análisis muestra que al instalar los RV existe una reducción de pérdidas entre 5 kW a 10 kW en los dos alimentadores. La disminución de pérdidas dependerá de cuantos bancos de RV se utilicen, pero hay que tener en cuenta que los RV también generan consumo de energía y por ende pérdidas. Para obtener un costo del sistema completo se debe incluir el precio del RV. Con esto se podrá determinar si existe beneficio al colocar RV en los alimentadores “Piñas” y “Atahualpa”. La rentabilidad a través de RBC y VAN en el sistema no resulta del todo conveniente ya que el análisis presenta escenarios donde los costos son iguales a los beneficios correspondiente al “Piñas” y en el cual los costos son mayores a los beneficios en relación al “Atahualpa”, lo que se debe analizar cuál es más conveniente si mantener el sistema en condiciones críticas o poner en operación los bancos de RV para mejorar el perfil de voltaje.
- La ubicación de los bancos de condensadores en alimentadores se puede considerar un problema cuando los RV realicen los ajustes de voltaje, ya que si los bancos de condensadores están ubicados aguas arriba del RV no genera problemas en la acción de ajuste del regulador, pero si se encuentra aguas abajo del RV existe un problema porque el RV realiza un censado de la corriente para regular el voltaje, esto no altera el perfil de voltaje del regulador. Otro caso que se debe tomar en cuenta es cuando se tiene un reconectador instalado aguas abajo de un RV, si se tiene una disminución de voltaje debido a ciertas cargas pesadas y el reconectador cae de improviso una fracción de carga por una falla temporal, provoca que el nivel de voltaje en esa zona aumente y que el RV tenga que volver ajustar la toma a un nivel inferior para mantener el perfil. La dificultad para hacer el ajuste está en el sentido de que cada RV tiene un retardo de tiempo para actuar y regular ese nivel de voltaje podría tomar entre 30 a 60 segundos.
- La conexión de los bancos de RV en cascada puede ocasionar problemas de operación y conmutación a lo largo del alimentador, si no se realiza una coordinación de las ubicaciones (tramos) de los bancos colocados en serie y los ajustes de retardo de tiempo

son muy largos pueden producir fluctuaciones del voltaje en la red de distribución. En el alimentador “Piñas” no existe ese problema ya que solo se emplea un banco de RV en la cabecera (tramo 166799_MTA) del circuito, pero en el “Atahualpa” existen dos bancos de RV ubicados en los tramos 225940_MTA y 107052_MTA. Es conveniente que el segundo banco tenga un tiempo más largo para la conmutación de la toma con tiempos de 20 a 45 segundos. Si el segundo banco de RV actúa antes del banco colocado en cabecera (tramo 107052_MTA) puede que los ajustes del tap del segundo banco RV actúen dos veces lo que provocaría oscilaciones en la onda de medio voltaje, asignar un tiempo prudente al controlador del RV evita hacer ajustes (taps) innecesariamente. Por último, colocar varios bancos de RV en un alimentador hace que el sistema cree una fuente muy débil para todos los clientes que requieren del servicio de energía eléctrica. Es decir, si las cargas pesadas son motores al momento del arranque ocasionan parpadeos y debilitan el sistema por lo que lo recomendable es utilizar un máximo de dos bancos de RV en un alimentador para evitar una inestabilidad en la red.

- El ancho de banda define la funcionalidad de los ajustes de la toma de los RV. Si el ancho de banda es mayor reducen la cantidad de cambios de toma y extiende el tiempo de vida del regulador, pero si el ajuste es muy corto los cambios de tap tienen un mayor porcentaje lo que ocasiona un mayor desgaste de los contactos y un menor tiempo de vida del equipo. Se recomienda utilizar un ancho de banda de al menos dos veces el tamaño del paso, 1,5 V para $\pm 10\%$, reguladores de 32 pasos. Los ajustes de 2 y 2,5 V son comunes para emplear en los controladores, los anchos de banda de 3 o 3,5 V no son convenientes ya que tardaría en realizar los ajustes. El ancho de banda de 2 V para $\pm 10\%$ se empleó para el estudio de nuestro proyecto.

Recomendaciones.

- Se sugiere que la empresa eléctrica CNEL-EP El Oro realice una mejora o repotenciación a nivel de subtransmisión 69kV, ya que el problema nace desde aquí al tener niveles bajos en cabecera de la subestación Portovelo, esto es necesario ya que así se evitaría la colocación un regulador de voltaje en cabecera de los alimentadores y en el mejor de los casos evitar el uso de reguladores de voltaje o la utilización de uno solo, lo que genera menos costos de inversión para la empresa.
- Otro punto importante que se pudo notar en los alimentadores de la subestación Portovelo es que a lo largo del ramal troncal existe varias secciones de conductores comenzado con una topología ACSR 3x4/0/2 terminado en el extremo del ramal con 3x2/2, lo que provoca graves caídas de voltaje a lo largo del ramal, por lo que se recomienda que se coloquen únicamente secciones de un solo conductor. Es una alternativa costosa para que ayude en gran parte al funcionamiento del circuito.
- Una alternativa que también mejoraría gran parte de las caídas de voltaje es la de trifasear a los ramales monofásicos que existen en el alimentador, ya que debido a su gran extensión provocan grandes caídas de voltaje y estas no se corrigen ni con la instalación de los reguladores de voltaje debido a su ubicación, por lo que convertir una sección de estos ramales a trifásicos mejoraría sin duda el perfil de voltaje del alimentador, así como también a la reducción de pérdidas debido a las caídas por largas secciones de conductores monofásicas.
- Uno de los principales problemas que sufre esta empresa es la adquisición de datos, ya que en esta área existen varias interrupciones de servicio dado los problemas existentes, los datos recolectados son incompletos, lo que dificulta cualquier estudio que se desee realizar dado que no se tiene un comportamiento adecuado de la demanda y no se puede realizar una proyección adecuada, por lo que los estudios se los realiza a corto y mediano plazo haciendo en varias ocasiones perder las inversiones realizadas ya que dentro de ese tiempo se debe cambiar las alternativas y realizar nuevas inversiones para otras mejoras.
- Una consideración importante que se debe tener en toda la región que cubren los alimentadores Piñas y Portovelo, es que el terreno que existe suele ser rocoso o arenoso, por lo que la puesta a tierra de los equipos es esencial, dado esto se recomienda que para puesta a tierra de equipos como los reguladores de voltaje se le dé un tratamiento adecuado al terreno o con la ayuda de electrodos químicos lograr que todos los equipos tengan una puesta tierra adecuada y que cumpla con normas de calidad, ya que esto brinda mayor confiabilidad a los circuitos y evitaría posibles interrupciones de servicio.
- Se debe tomar en cuenta la topología del alimentador para su estudio, es decir, debe ser radial para poder aplicar el flujo de carga propuesto como también el modelo matemático para la ubicación del regulador de voltaje, si el alimentador de estudio es mallado se debe realizar otro tipo de análisis para posterior aplicar un flujo de carga. Además se debe tener presente el número de nodos o tramos del alimentador en el cual

se plantea realizar el estudio, ya que un mayor número de nodos puede ocasionar que el proceso demore un mayor tiempo tanto para el flujo como para el modelo matemático.

- El estudio de los reguladores de voltaje, comprende una amplia gama de temas que intervienen en su operación, dado esto es importante que se siga analizando casos en los que puedan ser utilizados los reguladores de voltaje o incluso considerar el efecto que estos provocan en el comportamiento de un alimentador primario de distribución, ya que también pueden ser empleados en ramales monofásicos como una herramienta de balanceo al circuito. También se debería estudiar su conexión al sistema SCADA, para que se pueda realizar operaciones en los equipos y monitorearlos sin necesidad de acudir al lugar de su ubicación y con esto programar labores de mantenimiento y asegurar la correcta operación de los equipos.

Referencias.

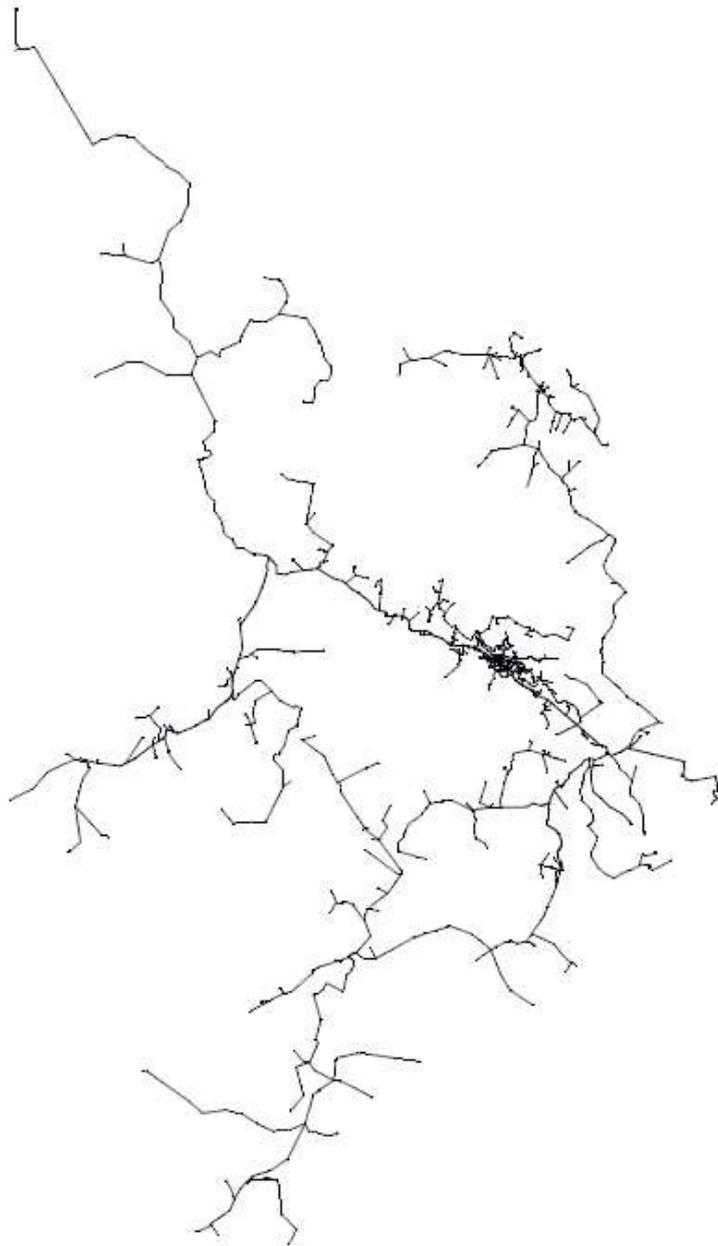
- [1] A. G. Peralta Sevilla and P. D. Robles Lovato, "Ubicación de equipos de seccionamiento e interconexión en alimentadores primarios," 2001.
- [2] S. Ramirez Castaño, *Redes de Distribución de Energía*, Universidad Nacional de Colombia, Tercera Edición, 2004.
- [3] M. Chimbo and H. Molina, "Anteproyecto_Reguladores de Voltaje.", Universidad Politecnica Salesiana, 2018.
- [4] C. International T&D, "CYME 7.2 - Análisis básicos de redes de distribución - Guía del Usuario."
- [5] T. S. Guamán Espinoza, J. C. Velencela Chichay, "Análisis técnico de la interconexión entre el alimentador 124 de la S/E Azogues 1 y el alimentador 221 de la S/E Azogues 2 pertenecientes a la Empresa Eléctrica Azogues", 2018.
- [6] J. A. Asprilla and M. A. Mejía Alzare, "Flujo de potencia para sistemas de distribución considerando diversidad en la demanda y el efecto entre neutro y tierra" pp. 1–55, 2014.
- [7] A. V Garcia and M. G. Zago, "Three-phase fast decoupled power flow for distribution networks," *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 143, no. 2, pp. 188–192, 1996.
- [8] W. M. Lin and J. H. Teng, "Phase-decoupled load flow method for radial and weakly-meshed distribution networks," *Iee Proceedings-Generation Transm. Distrib.*, vol. 143, no. 1, pp. 39–42, 1996.
- [9] M. H. Haque, "Efficient load flow method for distribution systems with radial or mesh configuration," *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 143, no. 1, pp. 33–38, 1996.
- [10] Q. V. Cristhian Mauricio and T. A. Jaime Alexander, "Ubicación óptima decompensadores para alimentadores mediante el uso de métodos heurísticos y contrastados con CYDIST", pp. 113–133, 2018.
- [11] H. S. Llamo Laborí, "Análisis de redes de distribución - Reguladores de Voltaje," Maestría en Ingeniería Eléctrica. pp 136-165, 2002.
- [12] Consejo Nacional Electoral "Regulación CONELEC 004-01 (Calidad Del Servicio).", 2001.
- [13] T&F. Group, *Electric Power Distribution Electric Power Distribution Equipment and Systems*. 2006.
- [14] A. O. Zhungur Procel and E. R. Calva Riofrio, "Diseño de esquemas de control integrado de tensión y potencia reactiva del sistema de distribución de la empresa eléctrica regional centro sur C.A." 2014.
- [15] T. Committee, I. Power, and E. Society, *IEEE Std C57.15-2009 (Revision of IEEE Std C57.15-1999), IEEE Standard Requirements, Terminology, and Test Code for Step-Voltage Regulators*, vol. 2009, no. December. 2009.
- [16] Centrales Electricas del Norte de Santander Gorup, "Especificaciones técnicas de reguladores de tensión - Norma CNS-NT-xx" pp. 1–7, 2015.
- [17] ENSA and Dirección de distribución e ingeniería criterio de construcción, operación y mantenimiento, "Puesta a Tierra," pp. 33–38, 2014.
- [18] C. Power, "MN225008ES Instrucciones de instalación, funcionamiento y mantenimiento del regulador de voltaje VR-32 con cambiador de tomas Quik-Drive MN225008EN,"

2015.

- [19] ITB Equipamientos Electricos, “Reguladores de voltaje monofásico tipo Transformador por pasos modelo RAV-2 con control modelo CTR-2 - Manual de Instrucciones” 2017.
- [20] A. S. Safigianni and G. J. Salis, “Optimum voltage regulator placement in a radial power distribution network,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, no. 2, pp. 879–886, 2000.
- [21] C. A. N. Pereira and C. A. Castro, “Optimal placement of voltage regulators in distribution systems,” *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, pp. 1–5, 2009.
- [22] A. M. F. Almeida, B. A. Souza, F. M. P. Pamplona, and H. D. M. Braz, “Optimal Localization of Voltage Regulator Banks in Distribution Systems,” *Cired*, no. June, pp. 6–9, 2005.
- [23] R. P. Canale and S. C. Chapra, “Numerical methods for engineers,” *Math. Comput. Simul.*, vol. 33, no. 3, p. 260, 2004.
- [24] J. Aguilar and J. Pino, “Diseño eléctrico de la subestación El Bosque de 20/24 MVA a 69 KV con 4 circuitos de salida de 13,8 KV en la ciudad de Machala,” p. 152, 2013.
- [25] “Tasa de Interes Banco Central del Ecuador,” 2018. [Online]. Available: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasVigentes062018.htm>. [Accessed: 10-Jul-2018].
- [26] C. Aching Guzmán, “Matemáticas financieras para toma de decisiones empresariales - César Aching Guzmán - Google Libros.” [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=MwFPWoEn0K0C&pg=PT139&dq=Relacion beneficio-costo%2C TIR y el VAN&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiK9YGF0YjcAhWqzlkKHSTiAGkQ6AEIMjAD#v=onepage&q=Relacion beneficio-costo%2C TIR y el VAN&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=MwFPWoEn0K0C&pg=PT139&dq=Relacion+beneficio-costo%2C+TIR+y+el+VAN&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiK9YGF0YjcAhWqzlkKHSTiAGkQ6AEIMjAD#v=onepage&q=Relacion+beneficio-costo%2C+TIR+y+el+VAN&f=false). [Accessed: 11-Jul-2018].
- [27] J. (Jorge) Mora Urpí, J. Gainza Echeverría, and C. Arroyo Oquendo, *Palmito de pejibaye (Bactris gasipaes Kunth) : su cultivo e industrialización = Peach palm heart of palm (Bactris gasipaes Kunth) : cultivation and industrialization*. Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1999 p. 165-167.
- [28] C. I. Correa Maza, “Estudio de reconfiguración y optimización de los alimenadores de la subestación macala perteneciente a la corporacion nacinal de electricidad S.A. - Regional El Oro” 2010.
- [29] S. Llamo, "Cálculo de los parámetros inductivos de fase y secuencia de las redes de distribución primaria y secundaria", Folleto para curso de maestria., 2002.
- [30] S. Llamo, "Cálculo de los parámetros de secuencia y de fase de las lineas de transmisión" ALT. ISPJAE. 1981.

8 Anexos

8.2 Anexo 2. - Alimentador Piñas.



Leyenda

Capa:
Colorear por red (eléctrico)

Colores:
■ ALIM-07PO100T12

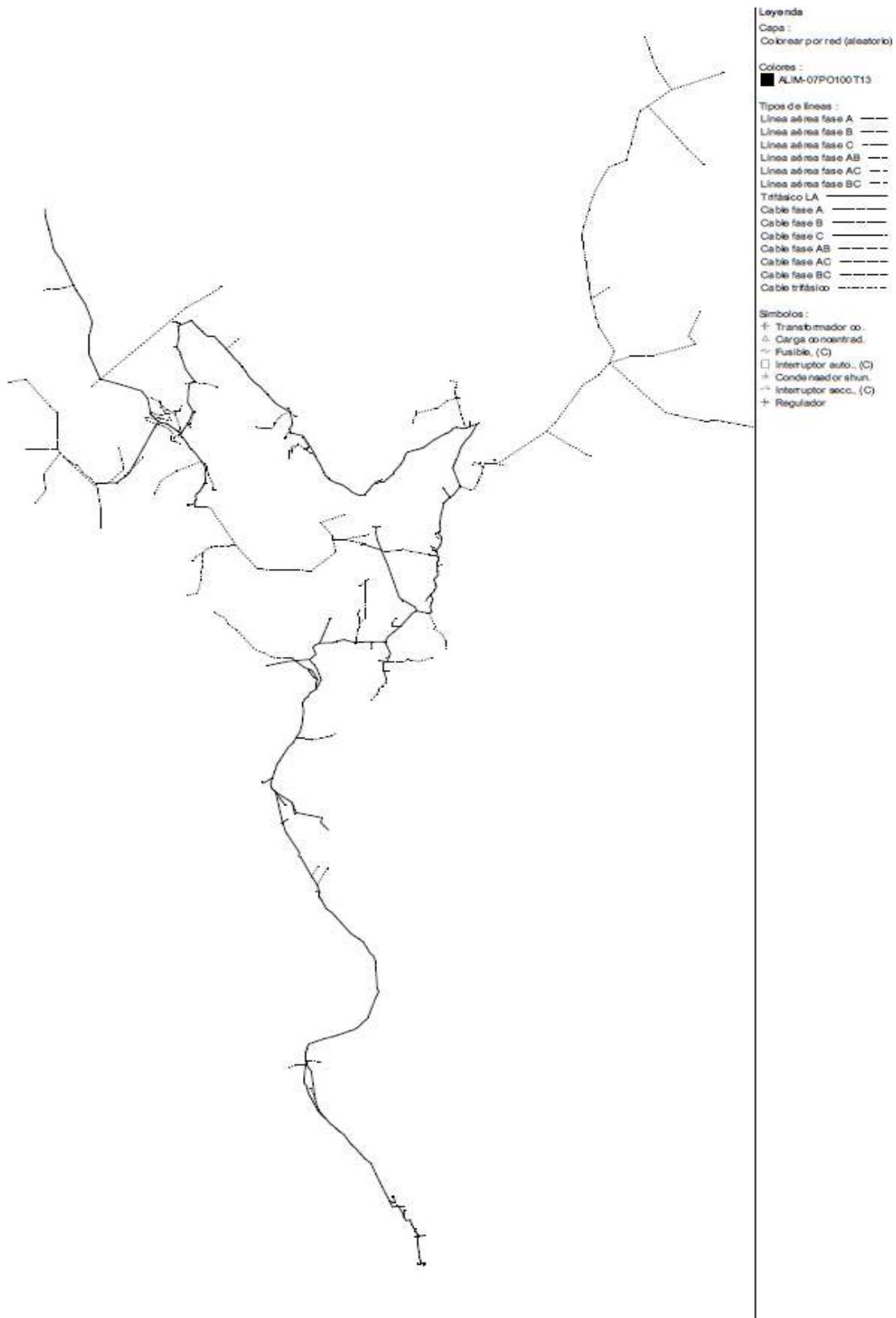
Tipos de líneas:

- Línea aérea fase A
- Línea aérea fase B
- Línea aérea fase C
- Línea aérea fase AB
- Línea aérea fase AC
- Línea aérea fase BC
- Trifásico LA
- Cable fase A
- Cable fase B
- Cable fase C
- Cable fase AB
- Cable fase AC
- Cable fase BC
- Cable trifásico

Simbología:

- △ Carga concentrada.
- Fusible, (C)
- Transformador oo.
- Reconector, (C)
- Interruptor sec., (C)
- Interruptor auto., (C)
- ⊥ Condensador shun.

8.3 Anexo 3. - Alimentador Atahualpa.



8.4 Anexo 4. Hoja de resultados de la proyección de la demanda.

Histórico de consumo [kVA] con brecha por semana correspondiente al año 2017.

8.4.1 Proyección de la demanda Piñas.

Tabla 8-1. Histórico de consumo [kVA] por semana del alimentador Piñas.

Mensual	Semanal	Semanal	Muestra	Demanda [kVA]	Demanda [kW]
1	1	01-08-Ener	1	3739,181396	3455,132813
	2	09-16-Ener	2	3708,898682	3478,510986
	3	17-24-Ener	3	3614,931885	3403,099854
	4	25-31-Ener	4	3581,177734	3280,682373
2	1	01-07-Feb	5	3568,068604	3354,904053
	2	08-14-Feb	6	3625,148926	3416,749756
	3	15-22-Feb	7	3559,726563	3345,303223
	4	23-28-Feb	8	3541,426514	3336,327881
3	1	01-08-Mar	9	3565,449707	3366,578857
	2	9-16-Mar	10	3783,828857	3547,100342
	3	17-24-Mar	11	3790,302002	3504,147461
	4	25-31-Mar	12	3504,147461	3449,521973
4	1	01-08-Abr	13	3662,879395	3416,231934
	2	9-16-Abr	14	3548,040283	3342,897949
	3	17-24-Abr	15	3564,307861	3345,289795
	4	25-30-Abr	16	3755,483643	3498,539551
5	1	01-08-May	17	3775,600098	3525,453857
	2	9-16-May	18	3813,289063	3585,539795
	3	17-24-May	19	3802,660645	3569,970947
	4	25-31-May	20	3743,789307	3526,325195
6	1	01-08-Jun	21	3931,490967	3679,13208
	2	9-16-Jun	22	3816,435059	3573,898438
	3	17-24-Jun	23	3839,792236	3579,213623
	4	25-30-Jun	24	3630,333008	3433,162109
7	1	01-08-Jul	25	3925,244873	3640,922363
	2	9-16-Jul	26	3505,152832	3307,432129
	3	17-24-Jul	27	3659,290527	3448,045166
	4	25-31-Jul	28	3654,695557	3425,331299
8	1	01-08-Ago	29	3851,683838	3592,763672
	2	9-16-Ago	30	3957,384766	3672,462891
	3	17-24-Ago	31	3791,136963	3554,158203
	4	25-31-Ago	32	3914,636475	3670,425293
9	1	01-08-Sep	33	3732,768311	3503,714844
	2	9-16-Sep	34	3806,810791	3583,461182
	3	17-24-Sep	35	3733,430908	3508,246338
	4	25-30-Sep	36	3900,67749	3660,249756
10	1	01-08-Oct	37	3823,713135	3587,823242
	2	9-16-Oct	38	3900,99292	3648,398926
	3	17-24-Oct	39	3758,182617	3505,411133
	4	25-31-Oct	40	3771,799805	3528,769287
11	1	01-08-Nov	41	4009,0979	3770,403076
	2	9-16-Nov	42	3802,370361	3575,647705
	3	17-24-Nov	43	3638,138184	3419,165283
	4	25-30-Nov	44	3651,788818	3427,445557
12	1	01-08-Dic	45	3723,427246	3472,560791
	2	9-16-Dic	46	3998,37085	3738,545654
	3	17-24-Dic	47	4017,299316	3762,306396

Tabla 8-2. Recta de ajuste única [kVA] del alimentador Piñas.

Xi	Yi	yi=ln(Yi)	X-Xm	Y-Ym	(X-Xm)^2	(X-Xm)*(Y-Ym)	(Y-Ym)^2
1	3739,1814	8,22662199	-23,5	-0,002331239	552,25	0,054784105	5,43467E-06
2	3708,89868	8,21849026	-22,5	-0,010462967	506,25	0,235416753	0,000109474
3	3614,93188	8,19282829	-21,5	-0,036124935	462,25	0,776686103	0,001305011
4	3581,17773	8,183447	-20,5	-0,045506226	420,25	0,932877626	0,002070817
5	3568,0686	8,17977972	-19,5	-0,049173506	380,25	0,958883368	0,002418034
6	3625,14893	8,19565065	-18,5	-0,033302578	342,25	0,616097686	0,001109062
7	3559,72656	8,17743901	-17,5	-0,051514214	306,25	0,901498752	0,002653714
8	3541,42651	8,17228489	-16,5	-0,056668332	272,25	0,93502748	0,00321113
9	3565,44971	8,17904547	-15,5	-0,049907757	240,25	0,773570235	0,002490784
10	3783,82886	8,2384917	-14,5	0,009538474	210,25	-0,138307875	9,09825E-05
11	3790,302	8,24020098	-13,5	0,011247752	182,25	-0,151844649	0,000126512
12	3504,14746	8,16170253	-12,5	-0,067250692	156,25	0,840633653	0,004522656
13	3662,87939	8,20600484	-11,5	-0,02294839	132,25	0,263906486	0,000526629
14	3548,04028	8,1741507	-10,5	-0,05480253	110,25	0,575426564	0,003003317
15	3564,30786	8,17872517	-9,5	-0,050228061	90,25	0,477166583	0,002522858
16	3755,48364	8,23097236	-8,5	0,002019128	72,25	-0,017162592	4,07688E-06
17	3775,6001	8,23631462	-7,5	0,007361388	56,25	-0,055210412	5,419E-05
18	3813,28906	8,24624737	-6,5	0,01729414	42,25	-0,112411908	0,000299087
19	3802,66064	8,24345627	-5,5	0,014503043	30,25	-0,079766738	0,000210338
20	3743,78931	8,22785356	-4,5	-0,001099666	20,25	0,004948497	1,20927E-06
21	3931,49097	8,27677401	-3,5	0,047820787	12,25	-0,167372754	0,002286828
22	3816,43506	8,24707204	-2,5	0,018118808	6,25	-0,04529702	0,000328291
23	3839,79224	8,25317354	-1,5	0,024220312	2,25	-0,036330468	0,000586624
24	3630,33301	8,19707966	-0,5	-0,031873566	0,25	0,015936783	0,001015924
25	3925,24487	8,27518402	0,5	0,046230789	0,25	0,023115395	0,002137286
26	3505,15283	8,1619894	1,5	-0,066963825	2,25	-0,100445737	0,004484154
27	3659,29053	8,20502456	2,5	-0,023928664	6,25	-0,059821661	0,000572581
28	3654,69556	8,20376807	3,5	-0,025185153	12,25	-0,088148037	0,000634292
29	3851,68384	8,25626569	4,5	0,027312465	20,25	0,122906093	0,000745971
30	3957,38477	8,28333867	5,5	0,054385446	30,25	0,299119955	0,002957777
31	3791,13696	8,24042124	6,5	0,011468016	42,25	0,074542106	0,000131515
32	3914,63647	8,27247775	7,5	0,043524523	56,25	0,326433919	0,001894384
33	3732,76831	8,22490541	8,5	-0,004047815	72,25	-0,03440643	1,63848E-05
34	3806,81079	8,24454705	9,5	0,015593828	90,25	0,148141364	0,000243167
35	3733,43091	8,2250829	10,5	-0,003870323	110,25	-0,040638388	1,49794E-05
36	3900,67749	8,26890553	11,5	0,039952305	132,25	0,459451513	0,001596187
37	3823,71313	8,24897725	12,5	0,020024027	156,25	0,250300341	0,000400962
38	3900,99292	8,26898639	13,5	0,040033168	182,25	0,540447762	0,001602655
39	3758,18262	8,23169077	14,5	0,002737546	210,25	0,039694417	7,49416E-06
40	3771,7998	8,23530757	15,5	0,006354341	240,25	0,09849229	4,03777E-05
41	4009,0979	8,29632153	16,5	0,067368305	272,25	1,11157704	0,004538489
42	3802,37036	8,24337993	17,5	0,014426704	306,25	0,252467311	0,00020813
43	3638,13818	8,19922734	18,5	-0,029725885	342,25	-0,549928878	0,000883628
44	3651,78882	8,20297241	19,5	-0,025980813	380,25	-0,506625861	0,000675003
45	3723,42725	8,22239983	20,5	-0,006553401	420,25	-0,134344724	4,29471E-05
46	3998,37085	8,29364227	21,5	0,064689043	462,25	1,390814414	0,004184672
47	4017,29932	8,29836514	22,5	0,069411917	506,25	1,561768132	0,004818014
48	4035,02393	8,30276751	23,5	0,073814283	552,25	1,734635656	0,005448548
24,5	3750,61476	8,22895323	0	-8,70415E-14	9212	14,47870425	0,069232749
Xm	Ym	Ym	A	B	C	D	E

Tabla 8-3. Proyección de la demanda [kVA] del alimentador Piñas.

Anual i	Mensual i	Semanal	Xij	Recta de Ajuste	Brecha Optimista	Brecha Pesimista
1	1	1	49	3969,204932	5280,727092	3038,76503
		2	50	3975,448325	5280,064216	3032,612507
		3	51	3981,701538	5227,693869	2996,696819
		4	52	3987,964587	5221,22721	2987,039854
	2	1	53	3994,237487	5335,021855	3045,940533
		2	54	4000,520255	5334,81002	3039,500377
		3	55	4006,812905	5282,305529	3003,213636
		4	56	4013,115453	5276,20954	2993,269772
	3	1	57	4019,427915	5391,73827	3052,077801
		2	58	4025,750306	5391,966403	3045,362643
		3	59	4032,082642	5339,292196	3008,727433
		4	60	4038,424938	5333,552903	2998,510491
	4	1	61	4044,777211	5450,857817	3057,217436
		2	62	4051,139475	5451,514432	3050,240343
		3	63	4057,511747	5398,634712	3013,279255
		4	64	4063,894042	5393,237847	3002,803347
	5	1	65	4070,286377	5512,360465	3061,401931
		2	66	4076,688766	5513,433851	3054,176225
		3	67	4083,101226	5460,312788	3016,911656
		4	68	4089,523772	5455,243962	3006,191015
	6	1	69	4095,956421	5576,225376	3064,674974
		2	70	4102,399188	5577,703765	3057,214067
		3	71	4108,85209	5524,305659	3019,668053
		4	72	4115,315141	5519,55052	3008,716876
	7	1	73	4121,788359	5642,431533	3067,080832
		2	74	4128,271758	5644,30324	3059,398078
		3	75	4134,765356	5590,592665	3021,592153
		4	76	4141,269168	5586,137022	3010,424471
	8	1	77	4147,78321	5710,958284	3068,663808
		2	78	4154,307499	5713,211832	3060,772385
		3	79	4160,84205	5659,153743	3022,727463
		4	80	4167,386879	5654,983681	3011,357029
	9	1	81	4173,942004	5781,785807	3069,467785
		2	82	4180,507439	5784,410028	3061,380591
		3	83	4187,083201	5729,969847	3023,116877
		4	84	4193,669307	5726,071813	3011,557082
	10	1	85	4200,265772	5854,895494	3069,535851
		2	86	4206,872614	5857,879608	3061,265427
		3	87	4213,489847	5803,023291	3022,802347
		4	88	4220,117489	5799,384163	3011,066149
	11	1	89	4226,755557	5930,27026	3068,909992
		2	90	4233,404065	5933,603941	3060,468455
		3	91	4240,063032	5878,298015	3021,824614
		4	92	4246,732473	5874,905155	3009,924486
	12	1	93	4253,412404	6007,894789	3067,630858
		2	94	4260,102843	6011,568209	3059,029862
		3	95	4266,803806	5955,7798	3020,22301
		4	96	4273,515308	5952,621088	3008,170903
2	1	1	97	4280,237368	6087,755713	3065,737589
		2	98	4286,970002	6091,759574	3056,988287
		3	99	4293,713225	6035,456416	3018,035308

		4	100	4300,467055	6032,520273	3005,842632
	2	1	101	4307,231509	6169,841744	3063,267693
		2	102	4314,006603	6174,167297	3054,38072
		3	103	4320,792354	6117,317728	3015,297631
		4	104	4327,588779	6114,593128	3002,975237
	3	1	105	4334,395894	6254,143758	3060,256963
		2	106	4341,213716	6258,782816	3051,242429
		3	107	4348,042263	6201,355762	3012,044387
		4	108	4354,88155	6198,832237	2999,602569
	4	1	109	4361,731596	6340,654847	3056,739441
		2	110	4368,592416	6345,599784	3047,606928
		3	111	4375,464028	6287,564739	3008,308249
		4	112	4382,346449	6285,232371	2995,756747
	5	1	113	4389,239695	6429,370335	3052,747407
		2	114	4396,143785	6434,614079	3043,505975
		3	115	4403,058734	6375,941077	3004,120158
		4	116	4409,98456	6373,790489	2991,468168
	6	1	117	4416,92128	6520,287772	3048,31139
		2	118	4423,868912	6525,823796	3038,969587
		3	119	4430,827471	6466,483376	2999,509342
		4	120	4437,796977	6464,505718	2986,765532
	7	1	121	4444,777445	6613,406909	3043,460202
		2	122	4451,768893	6619,22922	3034,026083
		3	123	4458,771338	6559,192389	2994,503361
		4	124	4465,784798	6557,379316	2981,675888
	8	1	125	4472,809289	6708,729661	3038,220988
		2	126	4479,84483	6714,832777	3028,702127
		3	127	4486,891437	6654,070972	2989,128158
		4	128	4493,949129	6652,414628	2976,224689
	9	1	129	4501,017922	6806,260056	3032,619281
		2	130	4508,097834	6812,638988	3023,022796
		3	131	4515,188882	6751,124035	2983,408119
		4	132	4522,291084	6749,617027	2970,435852
	10	1	133	4529,404458	6906,004176	3026,679068
		2	134	4536,52902	6912,65441	3017,011642
		3	135	4543,66479	6850,358482	2977,366142
		4	136	4550,811783	6848,993861	2964,331834
	11	1	137	4557,970019	7007,970096	3020,422865
		2	138	4565,139514	7014,88757	3010,690763
		3	139	4572,320286	6951,783149	2971,023711
		4	140	4579,512354	6950,55438	2957,933692
	12	1	141	4586,715734	7112,167821	3013,871784
		2	142	4593,930445	7119,348903	3004,080881
		3	143	4601,156504	7055,408735	2964,400964
		4	144	4608,393930	7054,309681	2951,261169

8.4.2 Proyección de la demanda Atahualpa.

Tabla 8-4. Histórico de consumo [kVA] por semana del alimentador Atahualpa.

Mensual	Semanal	Semanal	Muestra	Demanda [kVA]	Demanda [kW]
1	1	01-08-Ener	1	2538,301514	2314,155029
	2	09-16-Ener	2	2651,68335	2442,477539
	3	17-24-Ener	3	2863,637451	2653,27954
	4	25-31-Ener	4	2797,281982	2583,650635
2	1	01-07-Feb	5	2633,611328	2441,350586
	2	08-14-Feb	6	2812,269287	2603,144531
	3	15-22-Feb	7	2877,995117	2702,017822
	4	23-28-Feb	8	2539,479004	2371,446045
3	1	01-08-Mar	9	2764,98364	2602,31201
	2	9-16-Mar	10	2761,20557	2515,52563
	3	17-24-Mar	11	2798,00757	2553,3457
	4	25-31-Mar	12	2791,31152	2582,87866
4	1	01-08-Abr	13	2824,84644	2608,69165
	2	9-16-Abr	14	2716,40112	2460,57935
	3	17-24-Abr	15	2749,06128	2603,49463
	4	25-30-Abr	16	2781,11304	2627,3064
5	1	01-08-May	17	3160,25464	2882,23218
	2	9-16-May	18	2758,8269	2587,71558
	3	17-24-May	19	2879,20605	2677,69482
	4	25-31-May	20	2721,35278	2542,86255
6	1	01-08-Jun	21	2886,69922	2659,44897
	2	9-16-Jun	22	2787,6311	2595,15454
	3	17-24-Jun	23	2672,16431	2472,92456
	4	25-30-Jun	24	2840,40625	2585,7146
7	1	01-08-Jul	25	2778,30518	2556,86499
	2	9-16-Jul	26	2803,36938	2635,49219
	3	17-24-Jul	27	2887,32568	2676,15723
	4	25-31-Jul	28	2894,63574	2625,31738
8	1	01-08-Ago	29	3002,08716	2832,02808
	2	9-16-Ago	30	2784,30664	2489,01514
	3	17-24-Ago	31	2696,10791	2569,79492
	4	25-31-Ago	32	2653,61768	2462,68701
9	1	01-08-Sep	33	2876,64087	2701,25757
	2	9-16-Sep	34	3016,29712	2848,70923
	3	17-24-Sep	35	2927,71118	2765,98584
	4	25-30-Sep	36	2739,9519	2630,75122
10	1	01-08-Oct	37	2586,70459	2417,95361
	2	9-16-Oct	38	2675,57813	2549,36792
	3	17-24-Oct	39	2527,27173	2375,9436
	4	25-31-Oct	40	2470,69775	2374,4724
11	1	01-08-Nov	41	2489,23779	2317,55396
	2	9-16-Nov	42	2660,29443	2522,80591
	3	17-24-Nov	43	2639,72876	2452,323
	4	25-30-Nov	44	2691,88647	2484,30298
12	1	01-08-Dic	45	2624,82764	2522,9519
	2	9-16-Dic	46	2784,94434	2574,79907
	3	17-24-Dic	47	2831,82617	2696,2478
	4	25-31-Dic	48	2847,73828	2643,29785

Tabla 8-5. Recta de ajuste única [kVA] del alimentador Atahualpa.

Xi	Yi	yi=ln(Yi)	X-Xm	Y-Ym	(X-Xm)^2	(X-Xm)*(Y-Ym)	(Y-Ym)^2
1	2538,301514	7,839250441	-23,5	-0,082650443	552,25	1,942285412	0,0068311
2	2651,68335	7,882949944	-22,5	-0,03895094	506,25	0,876396159	0,00151718
3	2863,637451	7,959847932	-21,5	0,037947048	462,25	-0,815861528	0,00143998
4	2797,281982	7,936403504	-20,5	0,01450262	420,25	-0,297303713	0,00021033
5	2633,611328	7,876111312	-19,5	-0,045789572	380,25	0,892896656	0,00209668
6	2812,269287	7,941747012	-18,5	0,019846128	342,25	-0,367153366	0,00039387
7	2877,995117	7,964849191	-17,5	0,042948307	306,25	-0,75159537	0,00184456
8	2539,479004	7,839714222	-16,5	-0,082186662	272,25	1,356079916	0,00675465
9	2764,98364	7,924789997	-15,5	0,002889113	240,25	-0,044781254	8,347E-06
10	2761,20557	7,923422664	-14,5	0,00152178	210,25	-0,022065811	2,3158E-06
11	2798,00757	7,936662861	-13,5	0,014761977	182,25	-0,199286686	0,00021792
12	2791,31152	7,934266843	-12,5	0,012365959	156,25	-0,15457449	0,00015292
13	2824,84644	7,946209285	-11,5	0,024308401	132,25	-0,279546607	0,0005909
14	2716,40112	7,907063166	-10,5	-0,014837718	110,25	0,155796044	0,00022016
15	2749,06128	7,91901478	-9,5	-0,002886104	90,25	0,027417991	8,3296E-06
16	2781,11304	7,930606501	-8,5	0,008705617	72,25	-0,073997742	7,5788E-05
17	3160,25464	8,058407886	-7,5	0,136507002	56,25	-1,023802512	0,01863416
18	2758,8269	7,922560832	-6,5	0,000659948	42,25	-0,004289663	4,3553E-07
19	2879,20605	7,965269858	-5,5	0,043368974	30,25	-0,238529357	0,00188087
20	2721,35278	7,908884381	-4,5	-0,013016503	20,25	0,058574262	0,00016943
21	2886,69922	7,96786899	-3,5	0,045968106	12,25	-0,160888371	0,00211307
22	2787,6311	7,932947446	-2,5	0,011046562	6,25	-0,027616405	0,00012203
23	2672,16431	7,890644026	-1,5	-0,031256858	2,25	0,046885287	0,00097699
24	2840,40625	7,951702367	-0,5	0,029801483	0,25	-0,014900741	0,00088813
25	2778,30518	7,929596373	0,5	0,007695489	0,25	0,003847745	5,9221E-05
26	2803,36938	7,938577323	1,5	0,016676439	2,25	0,025014658	0,0002781
27	2887,32568	7,968085982	2,5	0,046185098	6,25	0,115462746	0,00213306
28	2894,63574	7,970614558	3,5	0,048713674	12,25	0,17049786	0,00237302
29	3002,08716	8,007063046	4,5	0,085162162	20,25	0,383229728	0,00725259
30	2784,30664	7,931754159	5,5	0,009853275	30,25	0,054193013	9,7087E-05
31	2696,10791	7,899564497	6,5	-0,022336387	42,25	-0,145186514	0,00049891
32	2653,61768	7,88367915	7,5	-0,038221734	56,25	-0,286663003	0,0014609
33	2876,64087	7,964378528	8,5	0,042477644	72,25	0,361059973	0,00180435
34	3016,29712	8,011785239	9,5	0,089884355	90,25	0,853901371	0,0080792
35	2927,71118	7,98197623	10,5	0,060075346	110,25	0,630791128	0,00360905
36	2739,9519	7,915695644	11,5	-0,006205239	132,25	-0,071360254	3,8505E-05
37	2586,70459	7,858139985	12,5	-0,063760898	156,25	-0,797011231	0,00406545
38	2675,57813	7,891920759	13,5	-0,029980125	182,25	-0,404731683	0,00089881
39	2527,27173	7,834895632	14,5	-0,087005252	210,25	-1,26157615	0,00756991
40	2470,69775	7,81225588	15,5	-0,109645004	240,25	-1,699497568	0,01202203
41	2489,23779	7,819731834	16,5	-0,10216905	272,25	-1,685789322	0,01043851
42	2660,29443	7,886192084	17,5	-0,0357088	306,25	-0,624904006	0,00127512
43	2639,72876	7,878431448	18,5	-0,043469436	342,25	-0,804184558	0,00188959
44	2691,88647	7,897997517	19,5	-0,023903367	380,25	-0,466115661	0,00057137
45	2624,82764	7,872770512	20,5	-0,049130372	420,25	-1,007172627	0,00241379
46	2784,94434	7,931983167	21,5	0,010082283	462,25	0,216769075	0,00010165
47	2831,82617	7,948677072	22,5	0,026776188	506,25	0,602464237	0,00071696
48	2847,73828	7,954280372	23,5	0,032379488	552,25	0,760917974	0,00104843
24,5	2760,392145	7,921900884	0	1,04805E-13	9212	-4,19590496	0,11784575
Xm	Ym	Ym	A	B	C	D	E

Tabla 8-6. Proyección de la demanda [kVA] del alimentador Atahualpa.

Anual i	Mensual i	Semanal	Xij	Recta de Ajuste	Brecha Optimista	Brecha Pesimista
1	1	1	49	2908,02419	5977,468701	1378,09544
		2	50	2910,76886	6115,989105	1405,63328
		3	51	2913,51612	6159,450429	1411,11388
		4	52	2916,26597	6066,359286	1385,27058
	2	1	53	2919,01842	6038,820151	1374,41143
		2	54	2921,77346	6179,627073	1401,70655
		3	55	2924,53111	6224,359551	1406,99274
		4	56	2927,29136	6131,023894	1381,03573
	3	1	57	2930,05421	6103,949788	1370,03023
		2	58	2932,81968	6247,127565	1397,0747
		3	59	2935,58775	6293,154275	1402,16993
		4	60	2938,35843	6199,509515	1376,11833
	4	1	61	2941,13173	6172,87781	1364,97806
		2	62	2943,90765	6318,511347	1391,76485
		3	63	2946,68619	6365,855545	1396,67303
		4	64	2949,46734	6271,836705	1370,5458
	5	1	65	2952,25113	6245,624688	1359,28247
		2	66	2955,03754	6393,799542	1385,80541
		3	67	2957,82658	6442,48475	1390,53084
		4	68	2960,61826	6348,026535	1364,34671
	6	1	69	2963,41257	6322,211477	1352,97206
		2	70	2966,20951	6473,013955	1379,22575
		3	71	2969,0091	6523,064036	1383,7731
		4	72	2971,81133	6428,100896	1357,55047
	7	1	73	2974,6162	6402,660125	1346,0762
		2	74	2977,42372	6556,177375	1372,056
		3	75	2980,23389	6607,616614	1376,43018
		4	76	2983,04671	6512,082797	1350,18706
	8	1	77	2985,86219	6486,993757	1338,62478
		2	78	2988,68033	6643,313862	1364,32675
		3	79	2991,50112	6696,167047	1368,5329
		4	80	2994,32458	6599,996639	1342,28682
	9	1	81	2997,1507	6575,236948	1330,64799
		2	82	2999,97949	6734,449027	1356,06882
		3	83	3002,81095	6788,741514	1360,11224
		4	84	3005,64508	6691,868477	1333,88021
	10	1	85	3008,48188	6667,415973	1322,17605
		2	86	3011,32137	6829,610276	1347,31303
		3	87	3014,16353	6885,368061	1351,19914
		4	88	3017,00838	6787,726251	1324,9976
	11	1	89	3019,85591	6763,559036	1313,23908
		2	90	3022,70613	6928,827042	1338,09006
		3	91	3025,55904	6986,076826	1341,82433
		4	92	3028,41464	6887,600013	1315,66911
	12	1	93	3031,27294	6863,696487	1303,8669
		2	94	3034,13393	7032,130997	1328,43022
		3	95	3036,99763	7090,900244	1332,01815
		4	96	3039,86402	6991,522112	1305,92443
2	1	1	97	3042,73313	6967,861004	1294,08887
		2	98	3045,60494	7139,556238	1318,36332
		3	99	3048,47946	7199,873231	1321,81041
		4	100	3051,35669	7099,527378	1295,7927

	2	1	101	3054,23664	7076,087766	1283,93375
		2	102	3057,11931	7251,139457	1307,91857
		3	103	3060,0047	7313,033349	1311,23026
		4	104	3062,89281	7211,653276	1285,30239
	3	1	105	3065,78365	7188,414603	1273,42965
		2	106	3068,67722	7366,920087	1297,12443
		3	107	3071,57352	7430,42095	1300,3061
		4	108	3074,47255	7327,940043	1274,4812
	4	1	109	3077,37432	7304,88213	1262,60385
		2	110	3080,27882	7486,940438	1286,00854
		3	111	3083,18607	7552,079305	1289,06547
		4	112	3086,09606	7448,43081	1263,35597
	5	1	113	3089,0088	7425,533862	1251,48281
		2	114	3091,92429	7611,245808	1274,59765
		3	115	3094,84253	7678,054714	1277,53501
		4	116	3097,76352	7573,171708	1251,95266
	6	1	117	3100,68727	7550,416316	1240,09204
		2	118	3103,61378	7739,884586	1262,91758
		3	119	3106,54305	7808,396606	1265,74042
		4	120	3109,47509	7702,211959	1240,29625
	7	1	121	3112,40989	7679,579097	1228,45612
		2	122	3115,34747	7872,908334	1250,99315
		3	123	3118,28781	7943,157619	1253,70637
		4	124	3121,23093	7835,603959	1228,41075
	8	1	125	3124,17683	7813,074978	1216,59862
		2	126	3127,12551	8010,37187	1238,84817
		3	127	3130,07698	8082,393678	1241,45651
		4	128	3133,03122	7973,403341	1216,31913
	9	1	129	3135,98826	7950,959965	1204,54213
		2	130	3138,94809	8152,333328	1226,5054
		3	131	3141,91071	8226,164054	1229,01348
		4	132	3144,87613	8115,669041	1204,04336
	10	1	133	3147,84434	8093,293351	1192,30819
		2	134	3150,81536	8298,854213	1213,9866
		3	135	3153,78918	8374,531422	1216,39883
		4	136	3156,76581	8262,463348	1191,60439
	11	1	137	3159,74525	8240,137771	1179,91734
		2	138	3162,7275	8449,999457	1201,31245
		3	139	3165,71256	8527,561907	1203,63312
		4	140	3168,70045	8413,851948	1179,02214
	12	1	141	3171,69115	8391,559242	1167,38911
		2	142	3174,68467	8605,837457	1188,50265
		3	143	3177,68102	8685,325128	1190,73585
		4	144	3180,6802	8569,903967	1166,31553

8.5 Anexo 5 - Unidades de propiedad de los Reguladores de Voltaje.

				José Tamayo E10-25 y Lizardo García Telf.: + (593 2) 3976000 www.energia.gob.ec	
Revisión	02	Homologación de las Unidades de Propiedad (UP) Sección 5: Código de las Unidades de Propiedad para los Sistemas			
Fecha	10/03/2016				
Hoja	2 de 2				
Grupo EC	Voltaje 13kV				
EQUIPOS DE COMPENSACION					
ITEM	CODIGO	VOLTAJE	ID. UP-UC	ID. UP-UCa	
13	ECT0013	ECT-1RM50	C1RM50T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 50 kVA ctrl manual	
14	ECT0014	ECT-1RM100	C1RM100T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 100 kVA ctrl manual	
15	ECT0015	ECT-1RM200	C1RM200T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 200 kVA ctrl manual	
16	ECT0016	ECT-1RM300	C1RM300T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 300 kVA ctrl manual	
17	ECT0017	ECT-1RE50	C1RE50T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 50 kVA ctrl electrónico	
18	ECT0018	ECT-1RE100	C1RE100T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 100 kVA ctrl electrónico	
19	ECT0019	ECT-1RE200	C1RE200T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 200 kVA ctrl electrónico	
20	ECT0020	ECT-1RE300	C1RE300T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 300 kVA ctrl electrónico	
21	ECT0021	ECT-3RM50	C3RM50T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 50 kVA ctrl manual	
22	ECT0022	ECT-3RM100	C3RM100T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 100 kVA ctrl manual	
23	ECT0023	ECT-3RM200	C3RM200T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 200 kVA ctrl manual	
24	ECT0024	ECT-3RM300	C3RM300T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 300 kVA ctrl manual	
25	ECT0025	ECT-3RE50	C3RE50T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 50 kVA ctrl electrónico	
26	ECT0026	ECT-3RE100	C3RE100T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 100 kVA ctrl electrónico	
27	ECT0027	ECT-3RE200	C3RE200T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 200 kVA ctrl electrónico	
28	ECT0028	ECT-3RE300	C3RE300T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 300 kVA ctrl electrónico	
29	ECT0029	ECT-1EM50	C1EM50T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 50 kVA ctrl manual	
30	ECT0030	ECT-1EM100	C1EM100T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 100 kVA ctrl manual	
31	ECT0031	ECT-1EM200	C1EM200T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 200 kVA ctrl manual	
32	ECT0032	ECT-1EM300	C1EM300T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 300 kVA ctrl manual	
33	ECT0033	ECT-1EE50	C1EE50T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 50 kVA ctrl electrónico	
34	ECT0034	ECT-1EE100	C1EE100T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 100 kVA ctrl electrónico	
35	ECT0035	ECT-1EE200	C1EE200T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 200 kVA ctrl electrónico	
36	ECT0036	ECT-1EE300	C1EE300T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 1F 300 kVA ctrl electrónico	
37	ECT0037	ECT-3EE50	C3EE50T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 3F 50 kVA ctrl electrónico	

38	ECT0038	ECT-3EE100	C3EE100T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 3F 100 kVA ctrl electrónico
39	ECT0039	ECT-3EE200	C3EE200T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 3F 200 kVA ctrl electrónico
40	ECT0040	ECT-3EE300	C3EE300T	Regulador de voltaje bobina múltiple 13kV 3F 300 kVA ctrl electrónico
46	ECT0046	ECT-1RE76.2	C1RE76.2T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 76.2 kVA ctrl electrónico
47	ECT0047	ECT-1RM127	C1RM127T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 127 kVA ctrl manual
48	ECT0048	ECT-1RM144	C1RM144T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 144 kVA ctrl manual
49	ECT0049	ECT-1RM167	C1RM167T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 167 kVA ctrl manual
50	ECT0050	ECT-1RM288	C1RM288T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 1F 288 kVA ctrl manual
51	ECT0051	ECT-3RM381	C3RM381T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 381 kVA ctrl manual
52	ECT0052	ECT-3RM432	C3RM432T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 432 kVA ctrl manual
53	ECT0053	ECT-3RM501	C3RM501T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 501 kVA ctrl manual
54	ECT0054	ECT-3RM864	C3RM864T	Regulador de voltaje bobina fija 13kV 3F 864 kVA ctrl manual

8.6 Anexo 6 - Cotización de equipos reguladores de voltaje.



COTIZACION CTZ-18060021

R.U.C. # 0991297480001

PARA: CNEL EP U.N. EL ORO

ATTE: ING. ANGEL PEREZ

REF: UBICACIÓN ÓPTIMA DE REGULADORES DE VOLTAJE PARA

FECHA 06/06/2018

ITEM	UNI	CANT	DESCRIPCION	P.UNIT	P.TOTAL
1	U	1	Regulador de Media Tensión 7.62 kV, 219 A, 167 kVA, 60 Hz, incluye control electrónico con puerto RJ-45 y F.O. LC o ST, protocolo de comunicación DNP3 o IEC 61850.	\$ 62.623,00	\$ 62.623,00
2	U	1	Regulador de Media Tensión 7.62 kV, 328 A, 250 kVA, 60 Hz, incluye control electrónico con puerto RJ-45 y F.O. LC o ST, protocolo de comunicación DNP3 o IEC 61850.	\$ 67.118,00	\$ 67.118,00
				SUBTOTAL	\$ 129.741,00
				IVA 12%	\$ 15.568,92
				TOTAL USD	\$ 145.309,92

CONDICIONES DE VENTA

FORMA DE PAGO: 50 ANTICIPO, 50% DEL SALDO CONTRA ENTREGA

TIEMPO DE ENTREGA: 180 DÍAS

VALIDEZ DE OFERTA: 60 DÍAS

GARANTIA TECNICA: 12 MESES

LUGAR DE ENTREGA: BODEGAS DEL CLIENTE O SITIO DE INSTALACIÓN

NOTA: NO SE INCLUYE HERRAJES, AISLADORES Y DEMAS PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN

Atentamente,

Ing. Germán Cuzco Carrión
ALEMINSA S.A.

gcuzco@aleminsa.com