

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Mejoramiento de la calidad del voltaje eléctrico  
para disminuir compensaciones por variaciones de  
voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho**

Luis Fernando Manhualaya Onsihuay

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser el autor de mi vida y por darme una familia maravillosa quienes han creído en mí dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio. Agradezco a la Universidad Continental por acogerme para poder desarrollarme como profesional. A los ingenieros de la facultad de Ingeniería por las lecciones que me brindaron en mi vida de estudiante.

## **DEDICATORIA**

A mi mamá y a mi abuelita quienes me enseñaron a desafiar los retos y alcanzar mis metas, siempre motivándome en cada paso que doy. A mi esposa Marilia por brindarme todo su apoyo y amor incondicional en cada momento de mi vida. A mis dos hijos Yerick y Adrián quienes son el motor y motivo de seguir adelante y ser parte de su orgullo. A todas las personas especiales que me acompañaron en la etapa universitaria, grandes maestro y amigos.

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo mejorar la calidad de tensión, para reducir las compensaciones por variaciones de tensión en la unidad Ayacucho - Electrocentro S. A.

El tipo de investigación es aplicada porque se modeló en un sistema eléctrico real y el nivel es aplicativo y para ello se utilizó el método cuantitativo, porque en nuestra investigación exponemos una nueva solución ante el problema de las subtensiones y sobretensión.

Para el modelamiento y simulación del regulador de tensión de 2MW se proyectó la demanda para un buen dimensionamiento, debido a que el alimentador se encuentra alimentando en la actualidad una carga de 4.3 MW.

En el presente estudio se logró realizar la simulación de implementación del autotransformador al finalizar la línea 4000359 ubicada en el alimentador A4001 para mejorar el perfil de tensión del alimentador, siendo esta opción la más eficiente.

Como se muestra en el capítulo 4, en la verificación de resultados, la caída de tensión está dentro de los límites permitidos por la norma técnica de calidad.

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to improve the quality of voltage, to reduce compensation for voltage variations in the Ayacucho - Electrocentro S. A. unit.

The type of research is applied because it is modeled on a real electrical system and the level is applicative and for this the quantitative method was used, because in our research it exposes a new solution to the problem of undervoltage and overvoltage.

For the modeling and simulation of the 2MW voltage regulator, the demand for a good dimensioning is projected, since the feeder is currently supplying a 4.3 MW load.

In the present study, it was possible to carry out the simulation of the implementation of the autotransformer at the end of line 4000359 located in the A4001 feeder to improve the feeder's voltage profile, this option being the most efficient.

As shown in chapter 4, the verification of results shows that the voltage drop is within the limits allowed by the technical quality standard.

# ÍNDICE

Agradecimiento .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Resumen .....	iv
Abstract .....	v
Índice.....	vi
Índice de figura.....	ix
Índice de tablas .....	xi
Introducción.....	xii
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1 Problema general .....	14
1.1.2 Problemas específicos .....	14
1.2 Objetivos .....	14
1.2.1 Objetivo general .....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificación e importancia .....	15
1.3.1 Justificación .....	15
1.3.1.1 Justificación práctica.....	15
1.3.1.2 Justificación metodológica .....	15
1.3.1.3 Justificación social .....	15
1.3.2 Importancia.....	15
1.4 Hipótesis .....	15
1.4.1 Hipótesis general.....	15
1.4.2 Hipótesis específicas .....	15
1.5 Variables .....	16
1.6 Operacionalización de variables .....	16
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 Antecedentes del problema .....	17
2.1.1 Antecedente internacional .....	17
2.1.2 Antecedente nacional .....	18
2.1.3 Antecedente regional.....	19
2.2 Bases teóricas .....	20

2.2.1 Transformadores con cambios de tomas .....	20
2.2.2 Instalación óptima de reguladores.....	21
2.2.3 Modelo matemático de enfriamiento simulado .....	21
2.2.4 Metodología de optimización .....	23
2.2.5 Modelamiento del regulador de tensión.....	25
2.2.6 Flujo de carga.....	26
2.2.7 Sistemas de distribución.....	26
2.2.8 Tipos de sistemas de distribución.....	27
2.2.9 Partes de los sistemas eléctricos de distribución .....	27
2.2.9.1 Subestaciones en sistemas de distribución .....	27
2.2.9.2 Sistemas de distribución primaria .....	27
2.2.9.3 Sistemas de distribución secundaria.....	28
2.2.10 Calidad en el sector eléctrico .....	28
2.2.11 Metodología de medición y compensaciones .....	29
2.2.11.1 Calidad técnica en el Perú .....	29
2.2.11.2 Compensaciones por mala calidad de tensión .....	30
2.3 Definición de términos básicos .....	32
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>34</b>
3.1 Nivel de la investigación.....	34
3.2 Diseño de la investigación .....	34
3.3 Tipo de investigación .....	34
3.4 Población .....	35
3.5 Muestra .....	35
3.6 Técnicas de recolección de datos.....	35
3.7 Instrumentos de recolección de datos .....	35
3.8 Procedimiento de recopilación de datos .....	35
3.9 Procedimientos de análisis de resultados .....	35
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
4.1 Descripción del sistema eléctrico de distribución de Ayacucho .....	37
4.2 Presentación de datos .....	38
4.2.1 Transformadores .....	38
4.2.2 Generadores.....	39
4.2.3 Cargas totales de los alimentadores .....	39
4.3 Pagos por compensación en el año 2018.....	40

4.4	Proyección de demanda .....	43
4.4.1	Proyección de ventas de los usuarios regulados.....	44
4.4.2	Proyección 2017-2021 modelos econométricos .....	44
4.4.3	Proyección 2019-2044 modelos de tendencia.....	45
4.4.4	Proyección de ventas reguladas.....	45
4.4.5	Tasa de crecimiento .....	46
4.5	Resultados de la proyección de demanda en el Alimentador A4001. ....	49
4.6	Resultados del flujo de carga en el año 2018 .....	53
4.6.1	Resultados de flujo de potencia subestación Ayacucho .....	54
4.6.2	Resultados del perfil de tensión en los alimentadores de la subestación Ayacucho año 2018.....	59
4.7	Resultados flujo de carga para el año 2023.....	63
4.7.1	Resultado de perfil de tensión en el alimentador A4001 de la subestación Ayacucho año 2023.....	63
4.7.2	Resultados de flujo de potencia en el año 2023 .....	64
4.8	Instalación del regulador .....	64
4.8.1	Verificación de flujo de potencia en la subestación Ayacucho con RV en 2018	64
4.8.2	Verificación de flujo de potencia en la subestación Ayacucho con RV en 2023	65
4.8.3	Verificación del perfil de tensión en los alimentadores de la subestación Ayacucho con RV en el año 2018 .....	65
4.8.4	Verificación del perfil de tensión en el alimentador A4001 de la subestación Ayacucho con RV en el año 2023 .....	70
4.9	Prueba de hipótesis .....	70
4.10	Discusión de los resultados .....	71
	Conclusiones.....	72
	Recomendaciones.....	73
	Lista de referencias.....	74

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Control automático del autotransformador .....	20
Figura 2. Regulación de tensión en distribución.....	21
Figura 3. Discretización por niveles de carga.....	22
Figura 4. Diagrama de bloques del algoritmo.....	25
Figura 5. Esquema del regulador monofásico .....	25
Figura 6. Modelo $\pi$ del autotransformador .....	26
Figura 7. Diagrama unifilar subestación Ayacucho .....	37
Figura 8. Proyección de ventas del área de demanda 5 .....	45
Figura 9. Flujo de potencia en el alimentador A4001 .....	54
Figura 10. Flujo de potencia en el alimentador A4002 .....	54
Figura 11. Flujo de potencia en el alimentador A4003 .....	55
Figura 12. Flujo de potencia en el alimentador A4004 .....	55
Figura 13. Flujo de potencia en el alimentador A4005 .....	56
Figura 14. Flujo de potencia en el alimentador A4006 .....	56
Figura 15. Flujo de potencia en el alimentador A4007 .....	57
Figura 16. Flujo de potencia en el alimentador A4008 .....	57
Figura 17. Flujo de potencia en la subestación Ayacucho .....	58
Figura 18. Perfil de tensión del alimentador A4001 .....	59
Figura 19. Perfil de tensión del alimentador A4002.....	59
Figura 20. Perfil de tensión del alimentador A4003.....	60
Figura 21. Perfil de tensión del alimentador A4004.....	60
Figura 22. Perfil de tensión del alimentador A4005.....	61
Figura 23. Perfil de tensión del alimentador A4006.....	61
Figura 24. Perfil de tensión del alimentador A4007.....	62
Figura 25. Perfil de tensión del alimentador A4008.....	62
Figura 26. Perfil de tensión del alimentador A4001 año 2023.....	63
Figura 27. Localización del autotransformador en el alimentador A4001 .....	64
Figura 28. Flujo de potencia implementado RV en el año 2018.....	65
Figura 29. Flujo de potencia con RV en el año 2023.....	65
Figura 30. Perfil de tensión del alimentador A4001 con RV .....	66
Figura 31. Perfil de tensión del alimentador A4002 con RV .....	66
Figura 32. Perfil de tensión del alimentador A4003 con RV .....	67

Figura 33. Perfil de tensión del alimentador A4004 con RV .....	67
Figura 34. Perfil de tensión del alimentador A4005 con RV .....	68
Figura 35. Perfil de tensión del alimentador A4006 con RV .....	68
Figura 36. Perfil de tensión del alimentador A4007 con RV .....	69
Figura 37. Perfil de tensión del alimentador A4008 con RV .....	69
Figura 38. Perfil de tensión del alimentador A4001 con RV en el año 2023 ....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2. Clasificación para variación de tensión IEEE 1159 .....	29
Tabla 3. Factor de proporcionalidad en función de $\Delta V_p$ (%) .....	31
Tabla 4. Parámetros de los transformadores de 3 devanados .....	38
Tabla 5. Parámetros de los transformadores de 2 devanados .....	38
Tabla 6. Parámetros de los autotransformadores de 2 devanados .....	38
Tabla 7. Generadores de las subestaciones Ayacucho y San Francisco .....	39
Tabla 8. Cargas totales en los alimentadores de la subestación Ayacucho.....	39
Tabla 9. Cargas totales en los alimentadores de la subestación Ayacucho.....	40
Tabla 10. Compensación en abril del 2018 .....	40
Tabla 11. Compensación total en abril en la región de unidad de Ayacucho ...	43
Tabla 12. Área de demanda 5 de Osinergmin.....	43
Tabla 13. Proyección de ventas reguladas del área 5.....	45
Tabla 14. Tasa de crecimiento por unidades de negocio .....	47
Tabla 15. Proyección de demanda en el alimentador A4001 .....	49
Tabla 16. Antes y después del pago por compensación .....	71

# INTRODUCCIÓN

El estudio de los sistemas eléctricos de distribución, son de naturaleza particular debido a que los modelos usados en media y baja tensión no incorporan las simplificaciones de los modelos de alta tensión. Esto ha llevado a un estudio más detallado en el control de sistemas de distribución para cumplir con las normas técnicas vigentes, que vienen siendo supervisados por el ente regulador Osinergmin.

La presente investigación titulada “**Mejoramiento de la calidad del voltaje eléctrico para disminuir compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho**”. Tiene importancia por la razón de que en el Perú existe una gran cantidad de sistemas de distribución con el mismo problema, como parte de la solución a este problema se realizó el estudio para la implementación de reguladores de tensión en el sistema de estudio, con el modelo matemático de enfriamiento simulado.

La presente tesis se encuentra dividida en los siguientes análisis: en el capítulo 1, se planteó la formulación del problema de la tesis; en el capítulo 2 se presentan las bases teóricas para llevar a cabo la investigación; en el capítulo 3 se plantea la metodología de investigación; en el capítulo 4 se presentan los resultados de carga medidos en una muestra inicial (antes) y una muestra final (después). En la implementación del regulador de tensión.

Por último, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias y los anexos de la investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

Las empresas dedicadas a la distribución y comercialización del sector eléctrico son exigidas en brindar un servicio eléctrico de calidad. En el Perú la entidad en supervisar la calidad de servicios eléctricos es el ente regulador (Osinergmin), esta supervisión la ejecuta dentro del marco regulatorio que establece la Norma Técnica de Calidad de Servicios, en donde se especifica cuatro aspectos, los cuales son: calidad de suministro, calidad de producto, calidad comercial y calidad de alumbrado público.

Bajo esta norma, los usuarios tienen el derecho de exigir una tensión eléctrica que esté dentro de los parámetros exigidos en la NTCSE. Por lo tanto, la presencia de sobretensiones y subtensiones en las redes eléctricas son supervisadas por el ente regulador, el cual establece el pago de compensaciones a los usuarios afectados por mala calidad de tensión eléctrica, con el fin de exigir a las empresas concesionarias una tensión eléctrica adecuada.

En este escenario la empresa concesionaria Electrocentro S. A. reportó que solo para el mes de abril 2018 se generó una compensación por mala calidad de tensión el monto de S/. 18089.86 soles en todas sus unidades operativas, siendo la más crítica en la unidad operativa Ayacucho con S/. 8 393,921 soles.

Estos montos de compensación son por la mala calidad de tensión que brinda a los usuarios finales.

Entonces, en la presente tesis se orientó a mejorar la calidad de tensión y así lograr reducir las compensaciones por variaciones de tensión en la unidad Ayacucho - Electrocentro S. A.

### **1.1.1 Problema general**

¿Cómo se pueden reducir las compensaciones por variaciones de tensión en la unidad Ayacucho - Electrocentro S. A.?

### **1.1.2 Problemas específicos**

¿Cómo influye la regulación de los niveles de voltaje eléctrico en la disminución de las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho?

¿Cómo estabilizar los niveles de voltaje eléctrico en la disminución de las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Reducir las compensaciones por variaciones de tensión en la unidad Ayacucho - Electrocentro S. A.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Regular los niveles de voltaje eléctrico para disminuir compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho.

Estabilizar los niveles de voltaje eléctrico para disminuir compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho.

### **1.3 Justificación e importancia**

#### **1.3.1 Justificación**

##### **1.3.1.1 Justificación práctica**

La presente tesis tiene justificación práctica porque se plantea una solución práctica al problema de las compensaciones por el tema de calidad de tensión eléctrica.

##### **1.3.1.2 Justificación metodológica**

También se justifica metodológicamente porque se propone una estrategia nueva para disminuir la compensación por variación de voltaje.

##### **1.3.1.3 Justificación social**

Además, se tiene justificación social porque ofrece una solución de mejoramiento de la calidad de tensión eléctrica que beneficia a la población.

#### **1.3.2 Importancia**

La importancia de la tesis es porque en el Perú existe una gran cantidad de sistemas de distribución, repartidos por todo el territorio, y como no se tiene una solución concreta al problema en estudio, esta propuesta de implementación de reguladores de tensión utiliza el modelo matemático de enfriamiento simulado. En donde al regular la variación de tensión, se logra reducir los costos de compensación en el alimentador A4001 de la S. E. Ayacucho.

### **1.4 Hipótesis**

#### **1.4.1 Hipótesis general**

La mejora de la calidad del voltaje eléctrico logra disminuir las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho.

#### **1.4.2 Hipótesis específicas**

La regulación de los niveles de voltaje eléctrico disminuye las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho.

La estabilización de los niveles de voltaje eléctrico disminuye las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho.

### 1.5 Variables

Las variables identificadas en el presente estudio de investigación son las siguientes:

#### **Independiente:**

Variable X : calidad de tensión

#### **Dependiente:**

Variable Y : compensaciones por variaciones de tensión

### 1.6 Operacionalización de variables

Las variables son representadas por X y Y. Donde Y está en función de X, en las siguientes tablas se muestra la operación de variables.

**Tabla 1**  
**Operacionalización de variables**

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: X: calidad del voltaje	Mejorar los márgenes o niveles de la variable de voltaje	Los niveles de voltaje Fluctuaciones de los voltajes	Tensión:(+/- 5%Vn.)
Variable dependiente: Y: compensaciones por variación de voltaje .	Las compensaciones son pagos de las sanciones por faltas emitidas por suministrar niveles de voltajes no permitidos en los sistemas eléctricos de distribución.	Pago	Soles

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

##### **2.1.1 Antecedente internacional**

En la tesis titulada “*Análisis de la calidad de la energía del sistema eléctrico de la zona cultural universitaria de la UNAM*” (1) se presenta el objetivo de analizar la calidad de la energía eléctrica en sistemas de distribución subterránea y así como cuantificar los parámetros referentes a la calidad de las ondas de tensión y corriente. En cuanto a la metodología, se realiza un análisis de la calidad de energía en función a la norma técnica de calidad de servicio de México. De acuerdo a sus resultados, en referencia a las variaciones de tensión, se encuentra dentro de los parámetros establecidos (1).

En la tesis “*Análisis de la calidad de energía y rediseño del sistema eléctrico en la planta industrial Corporación de Proyectos Múltiples Multiproyectos S. A.*” (2) en su resumen presenta que el trabajo de titulación detalla el análisis de la calidad de energía del sistema eléctrico en la industria pesquera Multiproyectos S. A., cuya principal función es la producción de harina de pescado. Para el cumplimiento de los objetivos se llevaron a cabo visitas que permitieron recolectar información de la situación en su momento y se detalla la realidad que existe en las instalaciones eléctricas existentes con la finalidad de poder implementar diversas estrategias de solución. Los datos utilizados son

reales, ya que se obtuvieron con la instalación de un analizador de redes, con los datos adquiridos del equipo se tuvo una mejor proyección en cuanto a los componentes que afectan al sistema eléctrico en la planta y con esto se realizó un análisis exhaustivo de acuerdo a la normatividad. También se realizaron simulación el software ETAP con el fin de visualizar y comparar los parámetros referentes al factor de potencia y al mejoramiento de banco de condensadores (2).

En la tesis *“Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana”* (3) presenta el resumen: el objetivo es analizar la calidad de energía eléctrica que es un medio para que, en la parte técnica, el abandono espere obtener el proveedor un suministro con niveles de tensión equilibradas, formas de ondas sinodales y amplitudes y frecuencias constantes. El incremento en la productividad con logros en la industria debido a la optimización tiene un gran desarrollo tecnológico en especial de la electrónica de potencia que ha producido generación de equipo de gran capacidad, alto rendimiento y bajo costo sin las cargas no lineales, las más sensibles, las variaciones de la energía eléctrica conllevan a exigir a las empresas concesionarias una calidad en la energía (3).

### **2.1.2 Antecedente nacional**

En la tesis *“Estudio para mejorar el nivel de tensión aplicando reguladores de tensión monofásico automático para la línea 10 kV alimentador 5006 del sistema eléctrico de la ciudad de Juliaca 2016”* (4) concluyendo que, según los análisis realizados de la situación actual de la línea en la línea 10 kV alimentador 5006 del sistema eléctrico de la ciudad de Juliaca, referente al nivel de tensión se menciona que el nivel de tensión transgrede las normas establecidas por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. Fuera de los rangos  $\pm 5\%$ , en la cola del alimentador se encuentra una caída de tensión de 10.4% en horas punta y 5% en horas fuera de punta (4).

Se aplicó un programa RedCad para determinar la situación actual del nivel de tensión de la línea 10 kV alimentador 5006, dando como resultado que a partir del nodo del Jr. Nicolás Jarufe hacia aguas abajo, la caída de tensión

supera el 5% transgrediendo las tolerancias establecidas por la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico (NTCSE), por tal razón se puede afirmar que el 55% del alimentador se encuentra con mala calidad de producto (tensión). La caída de tensión máxima se registra en el punto más alejado del alimentador, ubicado a 9.4 km de la subestación eléctrica de transformación (SET) Taparachi, registrando 8770 voltios y una caída de 12.3%. Se concluye que la alternativa de solución más accesible a los costos y tiempo de instalación es el regulador de tensión monofásico automático (4).

En la tesis “*Evaluación y análisis de la calidad de producto bajo los efectos de las tensiones y corrientes armónicas en un punto de acoplamiento común (PAC)*” (5) se presenta el resumen siguiente: se hace un análisis de investigación y evaluación de calidad de producto, en especial los armónicos existentes en las redes eléctricas, y los efectos ocasionados en los equipos eléctricos por los armónicos de tensiones y corrientes en los sistemas eléctricos. En consecuencia, a tales efectos, es necesario plantear métodos de solución y desplegar estudios de ingeniería eléctrica que permita evaluar, analizar y controlar el comportamiento de cargas no lineales que son generados por la utilización de dispositivos electrónicos, para poder asegurar que los niveles de distorsiones armónicas se encuentren dentro de las tolerancias establecidas en la NTCSE. De este modo, el estudio del comportamiento armónico de sistemas eléctricos se ha hecho cada vez más importante, al punto de convertirse en una necesidad de planificación, diagnóstico y operación. Haciendo un mayor énfasis en el análisis de las mediciones de armónicos realizadas en el hospital Regional de Cusco, se procede a plantear métodos de solución para mitigar uno armónico de quinto orden, concluyendo que una de las alternativas más eficaces para tal problema de armónico es el diseño de un filtro armónico del tipo pasivo.

### **2.1.3 Antecedente regional**

En la tesis “*Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro*” (6), se presenta el siguiente resumen: la evaluación del efecto de calidad del producto eléctrico teniendo como referencia los diferentes niveles de protección de reajustes de 0 a 2 del sistema de protección

del sistema eléctrico de distribución del alimentador A4502, el método aplicado para el desarrollo de la tesis es el analítico teniendo como diseño no experimental transversal explicativo porque se recolectó la información del sistema de protección del sistema en estudio y la calidad del producto eléctrico. Teniendo como conclusión principal en función a los resultados que la protección del sistema eléctrico de distribución mediante relevadores mecánicos afecta positivamente en la calidad del producto eléctrico.

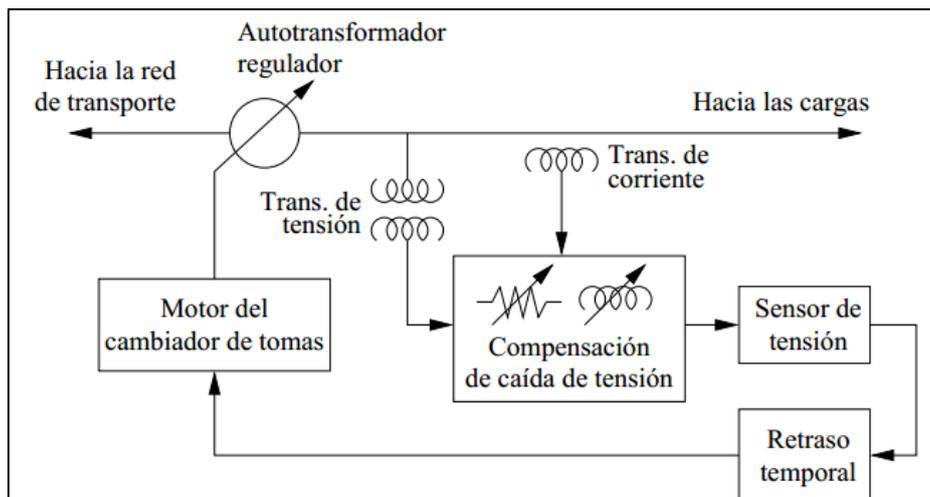
## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Transformadores con cambios de tomas

Los transformadores con cambios de tomas o autotransformadores contienen un devanado, donde se realizan las conexiones a distintos puntos, permitiendo una variación de relación de transformación dentro de un margen estrecho, el uso de estos transformadores es tanto en redes de transmisión y distribución.

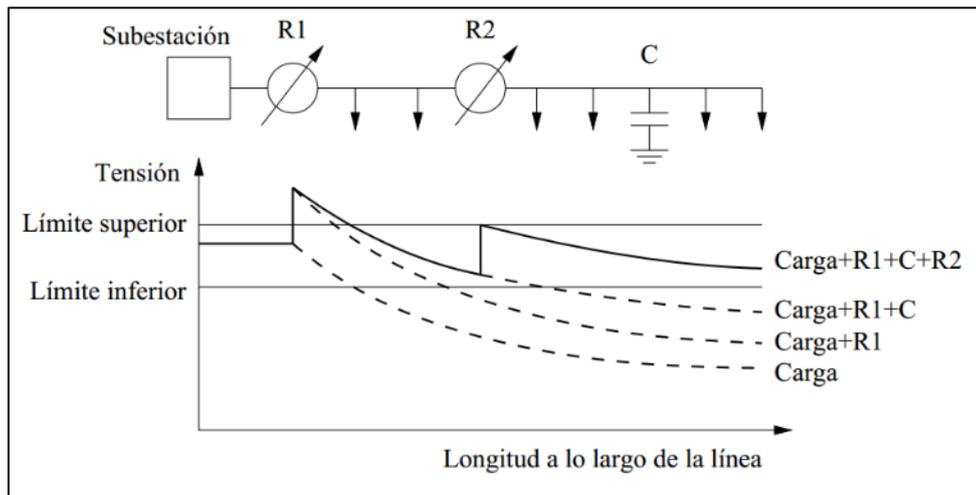
Generalmente estos transformadores no cambian la tensión nominal entre sus terminales, es por lo que su única función es regular la tensión mediante cambiador de tomas.

Es conocido en inglés por *boosters* o *step voltage regulators* (SVR).



**Figura 1. Control automático del autotransformador**

En la siguiente figura se muestra una comparación de los niveles de tensión sin reguladores y con reguladores de tensión en sistema de distribución.



**Figura 2. Regulación de tensión en distribución**

### 2.2.2 Instalación óptima de reguladores

El principal objetivo de la instalación de reguladores es mantener las tensiones a niveles óptimos y minimizar pérdidas en el sistema eléctrico, por lo que es necesaria la determinación, la ubicación y cantidad de los autotransformadores (regulador de tensión “RT”) que se deben instalar en el alimentador de distribución, además de la determinación de la posición del TAP en el autotransformador.

Comúnmente se regula para mantener un nivel de tensión entre los  $\pm 10\%$  en 16 pasos hacia arriba y 16 hacia abajo, por lo que cada paso representa un  $10/16\%$ . Cada regulador de voltaje está equipado para cambiar el TAP bajo carga y de forma automática.

### 2.2.3 Modelo matemático de enfriamiento simulado

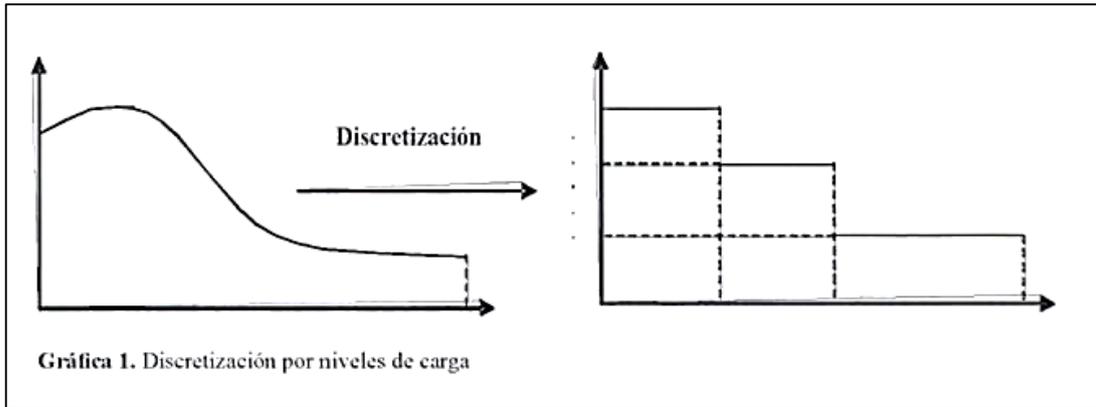
El algoritmo de optimización considera la inversión del regulador de tensión y el costo de las pérdidas de energía, por lo que la solución se acepta si tiene una relación adecuada de costo-beneficio.

El modelo debe entregar una solución que permita mantener los voltajes del sistema dentro de un rango específico.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} ; i = 1,2,3, \dots, \#nodos.$$

Y considerar el costo de inversión para recuperarlo con la disminución de pérdidas y evitando las compensaciones por mala calidad de energía. El modelo matemático está conformado por una función objetivo que representa los costos totales.

Para el cálculo de las pérdidas de energía del sistema se consideran las variaciones de carga en el periodo de T= 8760 horas. Las variaciones de carga se representan por un esquema de discretización de carga.



**Figura 3. Discretización por niveles de carga**

Además, el modelo matemático considera las siguientes restricciones:

- Restricciones de balance de potencia
- Restricciones de magnitud de voltaje
- Restricción de cantidad de reguladores de tensión por ubicar
- Restricción de la capacidad del regulador

$$\min C_E \sum_{t=1}^{N_t} T_t \sum_{i=1}^{N-1} R_i \left( \frac{(P_{it}^2 + Q_{it}^2)}{V_{it}^2} \right) + C_L * P_L + \alpha * \sum_{k=1}^N \delta_k * \Delta V_k + \sum_{k=1}^N C_{RTPk} * RT_k$$

$$V_{min} \leq V_k \leq V_{max} ; k = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$P_{D(kt)} = f_P(V_{kt}, \theta_{kt}, \beta)$$

$$Q_{D(kt)} = f_Q(V_{kt}, \theta_{kt}, \beta)$$

$$\sum_{k=1}^N RT_k \leq RT_{disp}$$

$$CAP RT_k \leq CAP_{max disp}$$

- $C_E$ : costo de la energía (\$/kWh)
- $C_L$ : coeficiente de dimensionalidad (\$/kW)
- $C_{RTPk}$ : costo de instalación del regulador con capacidad P instalado en la barra k
- N: número de nodos del sistema eléctrico
- N-1: número de segmentos del sistema
- $N_t$ : número de niveles de la curva discretizada de carga t
- $T_t$ : horas de duración del nivel de carga t
- $P_{it}$ : flujo de potencia activa por la línea i en el nivel de carga t (kW)
- $Q_{it}$ : flujo de potencia reactiva por la línea i en el nivel de carga t (kVAR)
- $P_L$ : pérdidas de potencia en el nivel de carga pico (kW)
- $\Delta V_k$ : variación de tensión medida en la barra k
- $\beta$ : otros parámetros del sistema
- $\alpha$ : constante de adaptación en \$/V, para contabilizar en la función objetivo el perfil de tensión en el sistema
- $RT_{disp}$ : reguladores de tensión disponibles

La expresión:  $C_E \sum_{t=1}^{N_t} T_t \sum_{i=1}^{N-1} R_i \left( \frac{(P_{it}^2 + Q_{it}^2)}{V_{it}^2} \right)$ , representa el costo de pérdidas de energía de acuerdo al periodo de la curva de carga.

La expresión:  $C_L * P_L$ , representa los costos de pérdidas de potencia.

La expresión:  $\alpha * \sum_{k=1}^N \delta_k * \Delta V_k$  representa el impacto de perfil de tensión.

La expresión:  $\sum_{k=1}^N C_{RTPk} * RT_k$  representa el costo de instalación de reguladores.

## 2.2.4 Metodología de optimización

La técnica de enfriamiento simulado simula el comportamiento natural de proceso físico del calentamiento de un sólido, seguido por su enfriamiento, logrando un estado con mejor calidad.

Esta metodología busca reducir al mínimo la función de costo  $f(x)$ , como un equivalente del estado de energía de un sistema físico. Alcanzar el equilibrio es equivalente a alcanzar o rechazar varias ocasiones de cambios de estado de energía  $i$  a  $j$ , expresado como la probabilidad de aceptar cambio de  $i$  a  $j$  ( $P$ ).

$$P = \begin{cases} \exp\left(\frac{f(i) - f(j)}{T}\right), & \text{si } f(j) > f(i) \\ 1, & \text{si } f \leq f(i) \end{cases}$$

El algoritmo depende de la temperatura ( $T$ ) y el número de cambios de estado ( $N_{kmax}$ ), para cada nivel de temperatura. La temperatura  $T$  se reduce como resultado del proceso de enfriamiento hasta alcanzar la convergencia apropiada:

Cuando la función objetivo alcance un valor predeterminado.

Cuando las pérdidas de energía sean pequeñas.

Cuando la temperatura sea suficientemente baja. En la práctica los valores  $T$  y  $N_{kmax}$  son determinados mediante un proceso de prueba y error.

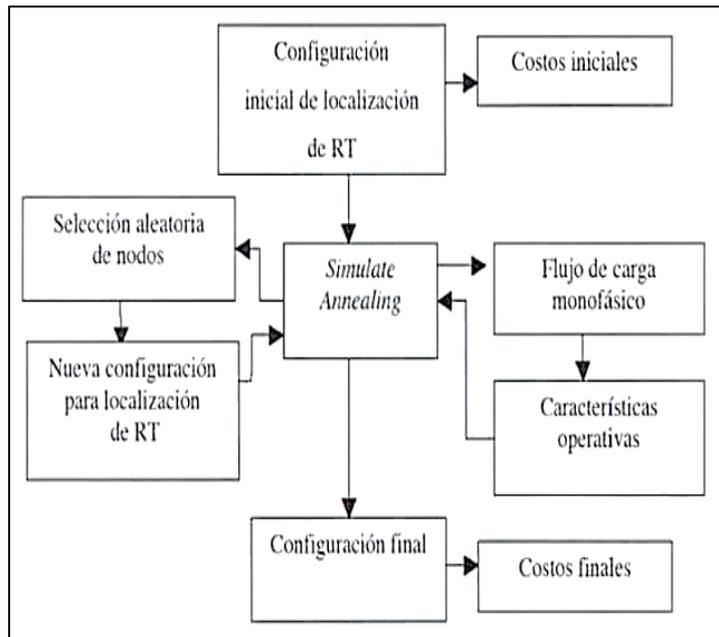
Los parámetros para el análisis por esta metodología son tomados mediante el flujo de carga del sistema eléctrico.

### Codificación del algoritmo combinatorio

condición de ubicación en la línea 1					condición de ubicación en la línea 2						...	
1	500	+16	... tap i...	-16	-1	0	0	0	0	0	0	...

Preselección de barras de acuerdo a los siguientes criterios:

- Barras que estén fuera del límite de niveles de tensión.
- Barras más cercanas a la fuente tienen mayor prioridad.



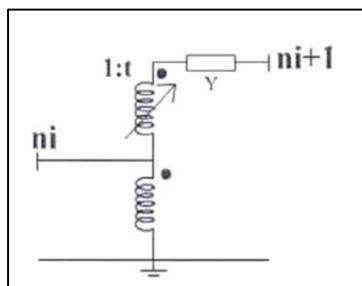
**Figura 4. Diagrama de bloques del algoritmo**

### 2.2.5 Modelamiento del regulador de tensión

La figura 3 muestra el esquema del regulador de tensión monofásica, para sistemas balanceados también se realiza esta representación.

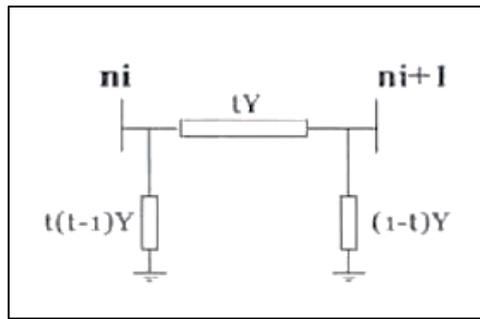
**Donde:**

- $t$ : representa el TAP del regulador, para una regulación del 10%  $0.9 \leq t \leq 1.1$
- $Y$ : la admitancia de cortocircuito del regulador
- $n_i$ : la barra de conexión  $i$
- $n_{i+1}$ : la barra de conexión  $i+1$



**Figura 5. Esquema del regulador monofásico**

La representación del regulador es el modelo  $\pi$  del autotransformador.



**Figura 6. Modelo  $\pi$  del autotransformador**

### 2.2.6 Flujo de carga

El cálculo de flujo de carga de los sistemas eléctricos de potencia es realizado para obtener las informaciones de los valores de tensión en las barras, los flujos de potencia activa y reactiva de las distintas líneas que se encuentran en el sistema, así como corrientes, factor de potencia, etc.

La solución del flujo de carga se obtiene por los métodos:

- Método de Newton-Raphson
- Método de Gauss- Seidel
- Entre otros

### 2.2.7 Sistemas de distribución

Los sistemas de distribución incluyen todos los elementos que comprenden desde las subestaciones primarias hasta la bajada de servicio a los distintos tipos de usuarios.

Las redes de distribución presentan características muy particulares que las diferencian de las de transmisión:

- Topología radial
- Alta relación R/X
- Múltiples conexiones
- Estructura lateral compleja
- Cargas de diversa naturaleza y asimetría
- Líneas sin transposiciones
- Cargas distribuidas, etc.

### **2.2.8 Tipos de sistemas de distribución**

Los sistemas de distribución clasificados de acuerdo a la carga eléctrica a la cual está suministrando energía.

- Sistemas de distribución urbana
- Sistemas de distribución rural
- Sistemas de distribución industrial
- Sistemas de distribución comercial

### **2.2.9 Partes de los sistemas eléctricos de distribución**

Los sistemas de distribución están compuestos por:

- Las subestaciones de distribución
- Los sistemas de distribución primaria
- Sistemas de distribución secundaria

#### **2.2.9.1 Subestaciones en sistemas de distribución**

Las subestaciones de distribución o también conocidos como subestaciones de potencia reductoras, debido a que su función es reducir la tensión de media para su transporte por las líneas de subtransmisión, para luego ser distribuida con las redes primarias a los centros de carga.

#### **2.2.9.2 Sistemas de distribución primaria**

Los sistemas de distribución primaria tienen la función de distribuir la energía eléctrica desde las subestaciones de potencia hasta los transformadores de distribución.

Los elementos que los conforman son:

- Las redes eléctricas primarias, compuestos por los postes de media tensión, los conductores y la ferretería en general.
- Los elementos de protección, compuestos por los seccionadores, interruptores, recloser, etc.

### **2.2.9.3 Sistemas de distribución secundaria**

Los sistemas de distribución secundaria son los encargados de distribuir la energía desde los transformadores de distribución hasta las acometidas y medidores de energía de los usuarios.

Los elementos que los conforman son:

- Las redes eléctricas secundarias, compuestas por los postes de baja tensión, los conductores y la ferretería en general.

### **2.2.10 Calidad en el sector eléctrico**

Se puede definir calidad como el conjunto de propiedades y atributos de un bien o servicio que le confiere la aptitud para satisfacer necesidades expresas o implícitas. En este sentido, la calidad del servicio eléctrico puede definirse como el conjunto de características que se debe cumplir en la interacción entre los suministradores del servicio eléctrico, los usuarios y la población en general.

#### **Calidad técnica**

Como se ha señalado, la supervisión de la calidad técnica está compuesta por dos componentes, la calidad del producto y la calidad del suministro. En lo referente a la calidad del producto, los aspectos que son centrales en los procesos de supervisión y fiscalización son la tensión, frecuencia y perturbaciones. La tensión o voltaje es la presión eléctrica que se ejerce sobre la corriente, aspecto que varía entre sistemas eléctricos. En el sistema peruano, por ejemplo, el nivel de voltaje a nivel residencial es de 220 voltios, mientras que en los Estados Unidos el voltaje a nivel residencial es de 120 voltios. Debe indicarse que el tratamiento de la tensión como una cantidad se refiere al valor eficaz de la onda de tensión. En esta perspectiva se define una variación de tensión cuando hay una alteración en la amplitud y, por lo tanto, en el valor eficaz de la onda de tensión.

Existen algunas definiciones que se han desarrollado por la IEEE 1159 para clasificar las variaciones de tensión. Estas pueden dividirse en dos categorías básicas:

- **Disturbios:** son variaciones de tensión de corta duración e incluyen los fenómenos conocidos como *Sag's*, *Swell's* y transitorios.
- **Variaciones en estado estable:** son variaciones de tensión de larga duración: sobretensión, subtensión y la distorsión de la forma de onda senoidal causada por armónicas.

De acuerdo a la IEEE 1159, en la siguiente tabla se muestra en resumen la clasificación de las variaciones de tensión de acuerdo a la magnitud y duración del evento.

**Tabla 2**  
**Clasificación para variación de tensión IEEE 1159**

Categoría	Duración típica	Magnitud típica
<b>Variaciones de corta duración</b>		
<b>Instantáneas</b>		
Interrupción	0.5 - 30 ciclos	<0.1 pu
Sag	0.5 - 30 ciclos	0.1-0.9 pu
<i>Swell</i>	0.5 - 30 ciclos	1.1-1.8 pu
<b>Momentáneas</b>		
Interrupción	30 ciclos - 3 segundos	<0.1 pu
Sag	30 ciclos - 3 segundos	0.1-0.9 pu
<i>Swell</i>	30 ciclos - 3 segundos	1.1-1.8 pu
<b>Temporal</b>		
Interrupción	3 segundos - 1 minuto	<0.1 pu
Sag	3 segundos - 1 minuto	0.1-0.9 pu
<i>Swell</i>	3 segundos - 1 minuto	1.1-1.8 pu
<b>Variaciones de larga duración</b>		
Interrupción	> 1 minuto	<0.1 pu
Sobretensión	> 1 minuto	0.1-0.9 pu
Baja tensión	> 1 minuto	1.1-1.8 pu

**Tomada de COES**

## 2.2.11 Metodología de medición y compensaciones

### 2.2.11.1 Calidad técnica en el Perú

De acuerdo a lo establecido en la NTCSE la calidad de la tensión se supervisa y fiscaliza mediante la construcción de indicadores y la definición de tolerancias para dichos indicadores. En el caso de la tensión, el indicador utilizado se construye como la diferencia entre la media de los valores eficaces instantáneos medidos en el punto de entrega ( $V_k$ ) y el valor de la tensión nominal ( $V_N$ ) de 220 voltios, en un intervalo de medición ( $k$ ) de 15 minutos:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_N}{V_N} 100\%$$

La NTCSE menciona, además, que las empresas son las que deben incurrir en los costos de medición y registro de la calidad según los indicadores descritos, así como del cálculo de las compensaciones. En particular, las propias empresas son las encargadas de realizar las inversiones y cubrir los costos que resulten de la adquisición e instalación de equipos, mediciones y registros. Asimismo, las empresas son responsables de los costos derivados del cálculo de indicadores de calidad, el cálculo de compensaciones y mecanismos de transferencia de información a la autoridad (D. S. N.º 040-2001-EM, del 17 de julio de 2001 que modifica al Artículo 3.1 de la NTCSE).

**Tolerancias:** las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos. Tratándose de redes secundarias en servicios calificados como urbano-rurales o rurales, dichas tolerancias son de hasta el  $\pm 7.5\%$ .

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas en este literal, por un tiempo superior al 5% del período de medición.

#### **2.2.11.2 Compensaciones por mala calidad de tensión**

Los suministradores deben compensar a sus clientes por aquellos suministros en los que se haya comprobado que la calidad del producto no satisface los estándares fijados en la Norma.

Las compensaciones se calculan para el período de medición, en función a la energía entregada en condiciones de mala calidad en ese período, a través de las fórmulas que aparecen a continuación:

$$\text{Compensaciones por variaciones de tensión} = p \cdot a \cdot A_p \cdot E(p)$$

**Donde:**

p: es un intervalo de medición en el que se violan las tolerancias en los niveles de tensión.

a: es la compensación unitaria por violación de tensiones.

$a = 0.05 \text{ US } \$ / \text{ kWh}$ .

$A_p$ : es un factor de proporcionalidad que está definido en función de la magnitud del indicador  $\Delta V_p$  (%), medido en el intervalo p, de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 3**  
**Factor de proporcionalidad en función de  $\Delta V_p$  (%)**

Indicador	Todo servicio	Red sec. rural (baja tensión)
$\Delta V_p$ (%)	$A_p$	$A_p$
$5 <  \Delta V_p  \leq 7.5$	1	NA
$7.5 <  \Delta V_p $	$2 + ( \Delta V_p  - 7.5)$	NA
$7.5 <  \Delta V_p  \leq 10$	NA	1
$10 <  \Delta V_p $	NA	$2 + ( \Delta V_p  - 10)$

**Tomada de COES**

- $A_p$ : se calcula con dos (2) decimales de aproximación.
- NA: no aplicable
- $E(p)$ : es la energía en kWh suministrada durante el intervalo de medición p.

**Control:** el control se realiza a través de mediciones y registros monofásicos o trifásicos, según corresponda al tipo de cliente, llevados a cabo con equipos debidamente certificados y cuyas especificaciones técnicas hayan sido previamente aprobadas por la autoridad. La muestra mensual debe garantizar por lo menos el siguiente número de lecturas válidas:

- Una (1) por cada doce (12) de los puntos de entrega a clientes con suministros en muy alta, alta y media tensión.
- Una (1) por cada tres mil (3000) de los puntos de entrega a clientes en baja tensión atendidos por la empresa distribuidora, con un mínimo de doce (12).

La autoridad puede requerir hasta un diez por ciento (10%) de mediciones adicionales con lecturas válidas sobre esta cantidad. En la selección de puntos

se considera la proporción de mediciones monofásicas y trifásicas equivalente a la proporción de tales suministros en baja tensión que atiende el suministrador.

La energía entregada a los clientes en condiciones de mala calidad se evalúa o mide en los puntos de entrega respectivos, integrándola por intervalos de quince (15) minutos.

Las fases de todos los sistemas trifásicos deben estar balanceadas y equilibradas; por lo que, ubicada una deficiencia de voltaje en un punto de medición en baja tensión, sea este un suministro monofásico o trifásico, son objeto de compensación todos aquellos clientes con suministros monofásicos o trifásicos que se encuentran en las partes del ramal "aguas-arriba" o "aguas-abajo", según sea el caso, incluido el cliente en cuyo punto de entrega se realizó la medición.

### 2.3 Definición de términos básicos

- a) **Voltaje o tensión eléctrica:** la tensión nominal del sistema en baja tensión:  
 $VN = 220$  Voltios.
- b) **Sobretensión:** incremento en el valor eficaz de la tensión alterna.
- c) **Subtensión:** decremento en el valor eficaz de la tensión alterna.
- d) **Métodos:** el método es la manera de alcanzar los objetivos.
- e) **Técnicas:** conjunto de reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos que auxilia al individuo en la aplicación de los métodos.
- f) **Estrategias:** son acciones propias del investigador para obtener lo que necesita para su investigación.
- g) **Usuario final de electricidad:** para fines de la presente investigación, el usuario final es todo cliente que entra dentro de la categoría de regulado.
- h) **Calidad de tensión:** condición bajo la cual el valor de la tensión eléctrica es suministrado bajo ciertas condiciones, preestablecidas o normadas; en el caso peruano la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos establece las condiciones para que una medición de tensión sea considerada como de calidad aceptable o mala.
- i) **Medición:** la medición es un proceso básico de la ciencia que consiste en comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud

física se desea medir para ver cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud.

- j) **Metodología de medición:** se refiere al conjunto de procedimientos empleados para llevar a cabo una medición, en el caso en investigación, este procedimiento de medición está establecido en la NTCSE.
- k) **Compensación:** es el derecho que le asiste a un usuario del servicio público en caso haya recibido mala calidad de tensión.
- l) **Método:** forma o manera de hacer algo.
- m) **Metodología de compensación:** se refiere al conjunto de procedimientos empleados para calcular el monto de compensación; establecido en la NTCSE.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Nivel de la investigación**

La investigación es de un nivel aplicativo por que se evalúa el comportamiento del sistema eléctrico antes y después de la instalación del regulador de tensión. Lo que indica que la investigación reúne las características necesarias de una investigación de nivel aplicativo.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

El método de investigación es preexperimental, porque en la investigación se expone una nueva solución ante el caso de la subtensión y sobretensión, esta investigación se enmarca en el modelamiento, simulación y cálculo eléctrico del sistema de distribución de Ayacucho, para realizar la implementación del regulador de tensión y mejorar la calidad de tensión y reducir los pagos por compensación (7).

#### **3.3 Tipo de investigación**

La presente tesis es del tipo de investigación aplicada, porque se trabajó con datos reales y con ello se simuló el sistema eléctrico de distribución de Ayacucho implementado un regulador de tensión para mejorar la calidad de tensión eléctrica.

### **3.4 Población**

Los ocho alimentadores de la subestación Ayacucho - Electrocentro S. A.

### **3.5 Muestra**

El circuito alimentador en media tensión A4001.

### **3.6 Técnicas de recolección de datos**

La técnica utilizada es la observación directa recolectadas, en fichas de observación y lista de cotejo para su análisis en Microsoft Excel.

### **3.7 Instrumentos de recolección de datos**

El instrumento se caracteriza por las solicitudes de requerimientos de datos que son los reportes proporcionados por la empresa concesionaria, estos reportes son formatos en Excel o en formato texto, que almacenan los equipos instalados en el sistema eléctrico en estudio.

### **3.8 Procedimiento de recopilación de datos**

La recopilación de los datos se realizó mediante el siguiente procedimiento en cual se presentaron las solicitudes para:

- El diagrama unifilar del sistema eléctrico.
- Los datos técnicos de los elementos del sistema.
- Los reportes técnicos de la caída de tensión en el sistema eléctrico en estudio.
- Los reportes de las compensaciones por sobretensiones y subtensiones.

### **3.9 Procedimientos de análisis de resultados**

El procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera:

- Los datos proporcionados del diagrama unifilar se elaboraron en el AutoCAD.
- Los datos técnicos proporcionados se procesaron en un archivo en Excel.
- Los datos de la sobretensiones y subtensiones proporcionados se procesaron en un archivo en Excel.
- Los reportes de las compensaciones se procesaron en un archivo en Excel.
- Las proyecciones de la demanda para dimensionar el regulador fueron procesadas en una hoja en Excel.

El modelamiento y simulaciones se realizaron en el software DigSilent, para la verificación correspondiente de los objetivos propuestos.

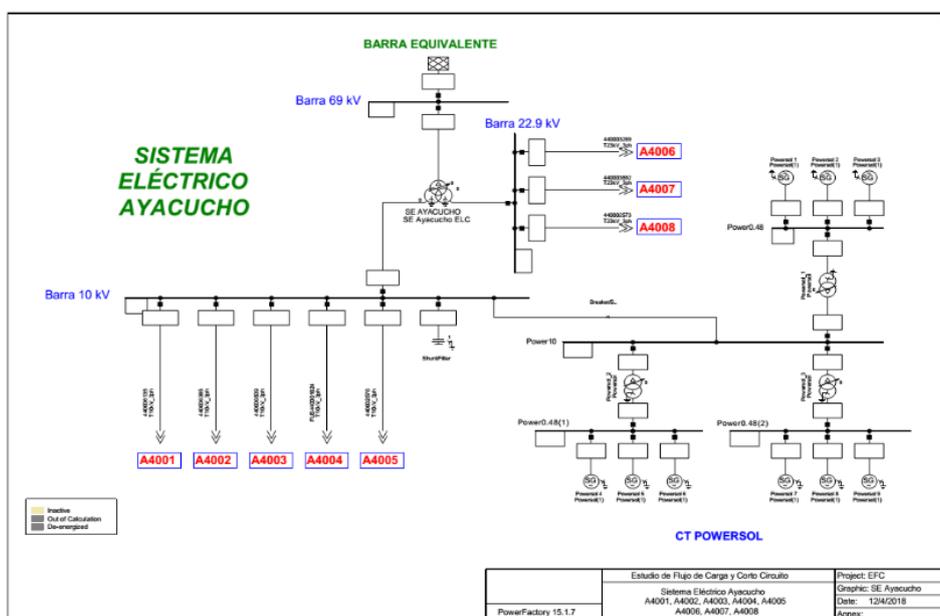
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Descripción del sistema eléctrico de distribución de Ayacucho

El diagrama unifilar a nivel de transmisión se encuentra en el anexo A.

En la figura 7 se muestra el diagrama unifilar en transmisión del sistema eléctrico Ayacucho, en el cual se pueden apreciar los alimentadores A4001, A4002, A4003, A4004, A4005, A4006, A4007 y A4008 que son abastecidos por esta subestación.



**Figura 7. Diagrama unifilar subestación Ayacucho**

## 4.2 Presentación de datos

Parámetros de los elementos de la subestación Ayacucho y subestación San Francisco.

### 4.2.1 Transformadores

Transformadores de 3 devanados, trifásicos:

**Tabla 4**  
**Parámetros de los transformadores de 3 devanados**

Subestación	Tensión nominal (kV)			Potencia nominal (mVA)			Grupo de conexión	Reactancia de cortocircuito (Vcc1 = Vcc0) - Sbase MVA		
	P	S	T	P	S	T		P-S (%)	P-T (%)	S-T (%)
	Ayacucho	66 ±17x2.5%	22.9	10	31.25	6.25		27.5	Dyn1yn5	1.35 - 6.25

Transformadores de 2 devanados, trifásicos:

**Tabla 5**  
**Parámetros de los transformadores de 2 devanados**

Transformador	Reactancia de cortocircuito			Grupo de conexión	Tensiones Nom. Trafo [kV]		Unidades
	X1 (Sbase)	X0 (Sbase)	S base		Primario	Secund.	
	Vcc%	Vcc%	MVA				
Subestación Powersol	5	4.25	3.27	Dyn11	10 ± 2x2.5%	0.48	3
Subestación Quicapata	7	5.95	0.65	Dyn11	10 ± 2x2.5%	2.4	2
Subestación San Francisco	6	6	1	YNd11	22.9 ± 2x2.5%	0.44	1

Autotransformadores de 2 devanados existentes, trifásicos:

**Tabla 6**  
**Parámetros de los autotransformadores de 2 devanados**

Autotransf.	Reactancia de cortocircuito			Grupo de conexión	Tensiones Nom. Trafo [kV]	
	X1 (Sbase)	X0 (Sbase)	S base		Primario	Secund.
	Vcc%	Vcc%	MVA			
Regulador 1	4	1	1	YNyn0	22.9 ± 10x1%	22.9
Regulador 2	4	1	1	YNyn0	22.9 ± 10x1%	22.9

#### 4.2.2 Generadores

La central hidroeléctrica Powersol cuenta con 9 unidades generadoras, divididos en tres grupos, de los cuales dos generadores de cada grupo se encuentran operando.

La central hidroeléctrica Quicapata cuenta con dos unidades generadoras, divididos en dos grupos, y se encuentra ubicado en el alimentador A4001 entregando energía en la subestación 4AP32321 de la red. De igual forma la central hidroeléctrica Llusita se encuentra ubicada en el alimentador A40028.

**Tabla 7**  
**Generadores de las subestaciones Ayacucho y San Francisco**

Generador	Conexión	kV	MVA nom.	f.p.	unid.
Central hidroeléctrica Powersol	YN	0.48	1.25	0.8	9
Central hidroeléctrica Quicapata	YN	2.4	0.655	0.8	2
Central hidroeléctrica Llusita	YN	0.44	1.1	0.8	2

#### 4.2.3 Cargas totales de los alimentadores

La siguiente tabla muestra la carga total de los alimentadores que se encuentran conectados en la subestación Ayacucho; el factor de escala definido en el software DigSilent, está configurado con:

$$\text{Factor escala} = \text{factor de simultaneidad} * \text{factor de carga}$$

Los datos de factor de escala fueron obtenidos de la simulación de diagrama unifilar en DigSilent que maneja Electrocentro S. A.

**Tabla 8**  
**Cargas totales en los alimentadores de la subestación Ayacucho**

Alimentador	P(MW)	Factor de escala (fs)	P*FS(MW)	F.P ind.
A4001	10.369135	0.41892	4.34383803	0.96
A4002	3.5476	0.9005	3.1946138	0.94
A4003	7.288995	0.458	3.33835971	0.98
A4004	4.80837	0.439	2.11087443	0.98
A4005	6.9825	0.3866	2.6994345	0.96
A4006	7.08148	0.1516	1.07355237	0.79
A4007	4.77505	0.1743	0.83229122	0.72
A4008	4.67852	0.228	1.06670256	0.53

Del mismo modo que la tabla anterior, en la siguiente tabla se muestran las cargas totales de los alimentadores conectados en la subestación San Francisco.

**Tabla 9**  
**Cargas totales en los alimentadores de la subestación Ayacucho**

Alimentador	P(MW)	Factor de escala (fs)	P*FS(MW)	F.P ind.
A4027	0.0245	0.276019	0.00676247	0.98
A4028	0.1568	0.253	0.0396704	0.98
A4029	0.0049	0.325997	0.00159739	0.98
A4030	0.0049	0.619883	0.00303743	0.98

### 4.3 Pagos por compensación en el año 2018

**Tabla 10**  
**Compensación en abril del 2018**

Alimentador	Descripción	Compensación (S/)
A4001	A4001	1351.7289
	A4001 A4001 P413	639.6972
	A4001 SED E400826	0.6682
	A4001 SED E400886	1.7892
	A4001 SED E401245	1.6786
	A4001 SED E400001	12.1501
	A4001 SED E400003	26.8186
	A4001 SED E400006	89.8095
	A4001 SED E400017	7.4776
	A4001 SED E400034	1.8817
	A4001 SED E400043	1.7887
	A4001 SED E400130	0.0744
	A4001 SED E400135	56.6388
	A4001 SED E400138	22.9909
	A4001 SED E400837	0.7554
	A4001 SED E400858	0.8071
	A4001 SED E400880	1.9078
	A4001 SED E400887	2.036
	A4001 SED E401171	2.2268
	A4001 SED E401244	3.2019
	A4001 SED E401246	0.107
	A4001 SED E401247	0.8789
	A4001 SED E401251	0.3909
	A4001 SED E401254	0.0461
	A4001- A4001 P413	146.4358
	...	83.2966
Subtotal	2457.2827	
A4002	A4002	964.3421
	A4002 A4002 P413	453.953

	A4002 SED E400045	2.1481
	A4002 SED E400056	12.5166
	A4002 SED E400057	1.3119
	A4002 SED E400517	1.0462
	A4002 SED E400903	4.4105
	A4002- A4002 P413	23.9781
	SUB TOTAL	1463.7065
A4003	A4003	578.7377
	A4003 A4003 P413	304.5444
	A4003 E400930	0.0217
	A4003 E400977	0.1818
	A4003 E400991	16.1916
	A4003 E401320	2.1609
	A4003 SED E400061	97.5506
	A4003 SED E400063	4.5188
	A4003 SED E400070	0.5738
	A4003 SED E400080	0.1594
	A4003 SED E400090	0.5539
	A4003 SED E400091	0
	A4003 SED E400097	5.3202
	A4003 SED E400100	3.2623
	A4003 SED E400102	11.5497
	A4003 SED E400929	6.2076
	A4003 SED E400948	22.3544
	A4003 SED E400952	0.0262
	A4003 SED E400960	0.1256
	A4003 SED E401156	5.1073
	A4003 SED E401162	1.4902
	A4003 SED E401330	4.1969
	A4003 SED E401335	3.4328
	A4003- A4003 P413	47.1131
Subtotal	1115.3809	
A4004	A4004	583.9868
	A4004 A4004 P413	229.4186
	A4004 E401001	0.1038
	A4004 E401013	2.4217
	A4004 SED E400108	14.6402
	A4004 SED E400109	18.1689
	A4004 SED E400110	2.5535
	A4004 SED E400113	20.0933
	A4004 SED E400118	18.5592
	A4004 SED E400127	9.7692
	A4004 SED E400129	22.162
	A4004 SED E400411	5.6551
	A4004 SED E400437	0.2976
	A4004 SED E401002	0.5812
	A4004 SED E401082	4.4764
	A4004 SED E401243	0.549

	A4004 SED E401324	0.025
	A4004 SED E401326	3.2831
	A4004- A4004 P413	134.634
	Subtotal	1071.3786
A4005	A4005	377.5082
	A4005 A4005 P413	78.8191
	A4005 SED E400142	29.7752
	A4005 SED E400153	31.0612
	A4005 SED E401166	2.4003
	A4005 SED E401187	3.0149
	A4005 SED E401714	4.5145
	A4005- A4005 P413	73.7838
	Subtotal	600.8772
A4006	A4006 A4006 P413	11.399
	Subtotal	11.399
A4007	A4007	1.9244
	A4007 A4007 P413	12.8834
	A4007 SED E401173	0.4528
	Subtotal	15.2606
A4008	A4008	106.4512
	A4008 A4008 P413	10.6031
	A4008 E401024	1.5203
	A4008 SED E400159	4.7179
	A4008 SED E400509	3.0082
	A4008 SED E401182	2.3327
	A4008 SED E401333	1.09
	A4008 SED E401713	25.0617
	Subtotal	154.7851
A4009	A4009	349.6424
	A4009 A4009 P412	221.1461
	A4009 HU12	5.6622
	A4009 HU15	29.514
	A4009 HU20	6.4313
	A4009 HU23	10.9057
	A4009 HUANTA	0.3728
	A4009 SED E400511	8.2665
	A4009 SED E401113	0.3594
	A4009 SED E401265	0.5716
	A4009 SED E434148	4.2122
	A4009 SED E434365	13.3039
	Subtotal	650.3881

**Tomada del reporte de Electrocentro S. A.**

Compensación total en la unidad de Ayacucho.

**Tabla 11****Compensación total en abril en la región de unidad de Ayacucho**

Subestación transm.	Alimentador	Compensación (S/)
Ayacucho	A4001	2457.2827
	A4002	1463.7065
	A4003	1115.3809
	A4004	1071.3786
	A4005	600.8772
	A4006	11.399
	A4007	15.2606
	A4008	154.7851
	Subtotal	6890.0706
Cangallo y Huanta	A4009	650.3881
	A4010	263.4285
	A4012	76.4008
	A4014	3.2349
	Subtotal	993.4523
San Francisco	A4028	264.9874
	A4030	245.4107
	Subtotal	510.3981
Compensación total		8393.921

**4.4 Proyección de demanda**

El objetivo de determinar la proyección de demanda:

- Obtener la potencia en el 2023 para poder dimensionar los nuevos elementos que se instalarán en el sistema.
- Determinar la tasa de crecimiento de las ventas de energía del mercado regulado.

Datos históricos del área de demanda 5:

**Tabla 12****Área de demanda 5 de Osinergmin**

Año	AT	MT	BT	Subtotal
1996	0	60702	190179	250881
1997	0	53895	209704	263599
1998	0	55614	224152	279767
1999	0	48842	240229	289071
2000	0	54140	245223	299363
2001	0	48971	242740	291711
2002	0	50119	261162	311281
2003	0	47140	273100	320240
2004	0	55479	296755	352234
2005	851	74529	321340	396721
2006	18041	81393	346052	445786
2007	25069	94244	378240	497552
2008	14838	89585	409150	513573
2009	1310	101861	430576	533748

2010	4584	105289	462451	572323
2011	7133	104487	496940	608561
2012	7598	116030	523660	647288
2013	7310	131449	565203	703962
2014	3166	136168	588499	727833

**Tomada del Electrocentro S. A.**

El área de demanda 5 está conformada por:

- Unidad de negocio Ayacucho
- Unidad de negocio Huancavelica
- Unidad de negocio Huánuco
- Unidad de negocio Junín
- Unidad de negocio Pasco

#### **4.4.1 Proyección de ventas de los usuarios regulados**

Para la proyección de ventas de energía del área se consideran modelos econométricos que relacionan ventas de energía con:

- El PBI
- Los clientes
- Precio medio
- Variables explicativas para el periodo 2015-2018 y modelos de tendencia para el periodo 2019-2044.

#### **4.4.2 Proyección 2017-2021 modelos econométricos**

De acuerdo al estudio de plan de inversiones en transmisión 2017-2021 – Electrocentro S. A., donde se detallan los cálculos para escoger el siguiente modelo econométrico con los estadísticos:

$$R^2 = 0.994, F = 1318,1, t(\text{PBI}) = 12,76 \text{ y } t(\text{POB}) = 3,62.$$

El modelo fue calculado con la siguiente ecuación:

$$\text{Ventas} = 159.92 * \text{PBI} + 0.73 * \text{POB} - 789\,039.78$$

Se obtiene una tasa para los años 2015, 2016, 2017 y 2018, tasas de 4,88%, 5,82%, 5.73% y 5.65% respectivamente, y un promedio anual de los próximos 30 años de 5.18%.

#### 4.4.3 Proyección 2019-2044 modelos de tendencia

En el estudio de Electrocentro S. A., la proyección de demanda para el área de demanda 5, mediante el modelo de tendencia está dada por la siguiente ecuación:

$$Y = 1\,270 X^2 - 5\,066\,876 X + 5\,052\,907\,102, \text{ donde } Y = \text{ventas y } X = \text{Año}$$

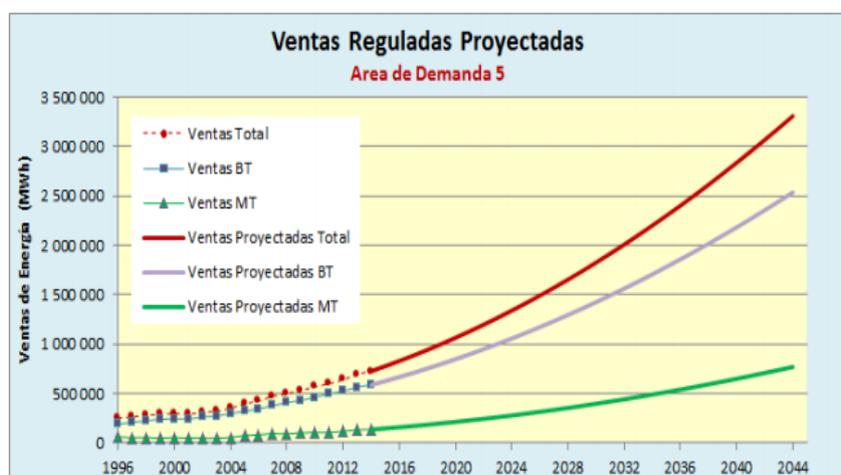


Figura 8. Proyección de ventas del área de demanda 5

#### 4.4.4 Proyección de ventas reguladas

La tasa de crecimiento del área de demanda 5, de acuerdo al estudio de Electrocentro S. A. se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13  
Proyección de ventas reguladas del área 5

Año	AT	MT	BT	Subtotal
1996	0	60702	190179	250881
1997	0	53895	209704	263599
1998	0	55614	224152	279767
1999	0	48842	240229	289071
2000	0	54140	245223	299363
2001	0	48971	242740	291711
2002	0	50119	261162	311281
2003	0	47140	273100	320240
2004	0	55479	296755	352234

2005	851	74529	321340	396721
2006	18041	81393	346052	445786
2007	25069	94244	378240	497552
2008	14838	89585	409150	513573
2009	1310	101861	430576	533748
2010	4584	105289	462451	572323
2011	7133	104487	496940	608561
2012	7598	116030	523660	647288
2013	7310	131449	565203	703962
2014	3166	136168	588499	727833

*Tomada del Electrocentro S. A.*

#### **4.4.5 Tasa de crecimiento**

La tasa de crecimiento de ventas de energía por departamentos que conforman el área de demanda 5 de Electrocentro S. A. se muestran en la siguiente tabla, de la cual se hizo uso la tasa de crecimiento de la región Ayacucho con un valor de 5.18% para realizar la proyección de demanda del alimentador A4001.

**Tabla 14****Tasa de crecimiento por unidades de negocio**

Año	Ayacucho	Huancavelica	Huancayo, valle del Mantaro	Huánuco	Pampa, Tablachaca	Pasco	Tarma Chanchamayo	Tingo María, Aucayacu	Huaytará-Chocorvos	Pangos	Tocache	Total proyección área 5
2014	115704	25790	231909	97831	8928	133541	48592	36032	2400	2466	21476	724669
2015	121856	26503	240683	104082	9212	142005	49845	38000	2568	2641	22617	760012
2016	129380	27453	252213	111639	9575	152279	51650	40422	2772	2849	23978	804210
2017	137168	28395	264275	119563	9934	163080	53542	42952	2988	3068	25353	850318
2018	145226	29330	276876	127855	10289	174411	55530	45591	3217	3296	26748	898369
2019	153560	30262	290025	136521	10642	186277	57620	48341	3458	3535	28156	948397
2020	162600	31272	304522	145944	11020	199199	59972	51336	3721	3793	29665	1003044
2021	172086	32307	319864	155897	11406	212872	62490	54496	4001	4066	31224	1060709
2022	182049	33370	336098	166412	11801	227336	65188	57830	4298	4353	32837	1121572
2023	192503	34463	353244	177506	12205	242613	68073	61344	4612	4656	34508	1185727
2024	203462	35586	371320	189194	12618	258727	71152	65041	4945	4976	36239	1253260
2025	214936	36738	390341	201490	13041	275697	74435	68926	5297	5311	38031	1324243
2026	227004	37931	410444	214472	13477	293629	77952	73025	5669	5665	39896	1399164
2027	239603	39152	431512	228087	13922	312451	81688	77319	6061	6037	41824	1477656
2028	252799	40408	453658	242400	14379	332256	85671	81828	6474	3427	43825	1557125
2029	266530	41690	476768	257356	14843	352961	89886	86534	6908	6834	45887	1646197

2030	280846	43001	500932	273008	15317	374647	94638	91456	7362	7261	48019	1736487
2031	295686	44331	526034	289299	15797	397233	99075	96566	7837	7704	50209	1829771
2032	311084	45685	552140	306267	16284	420771	104058	101885	8333	8166	52462	1927135
2033	326977	47051	579134	323850	16774	445180	109296	107390	8848	8645	54767	2027912
2034	343385	48431	607052	342073	17269	470789	114805	113087	9383	9141	57128	2132543
2035	360242	49815	635778	360868	17764	496610	120574	118954	9936	9653	59532	2239726
2036	377551	51204	665317	380242	18259	523550	126617	124994	10508	10181	61980	2350403
2037	395243	52588	695548	400124	18751	551211	132923	131184	11097	10722	64460	2463851
2038	413302	53965	726446	420499	19240	579574	139498	137517	11702	11277	66970	2579990
2039	431656	55326	757881	441290	19722	608532	146331	143970	12320	11843	69499	2698370
2040	450268	56667	789796	462460	20196	638036	153424	150531	12952	12420	74583	2821333
2041	469061	57980	822051	483927	20658	667968	160762	157172	13594	13005	72040	2938218
2042	487978	59259	854551	50629	21107	698244	168340	163876	14245	13596	77118	2613943
2043	506933	60496	887145	527472	24540	728736	176141	170611	14902	14192	79632	3190800
2044	525848	61683	919699	549371	21955	759323	184149	177352	15562	14789	82115	3311846
Tasa promedio	5.18%	2.95%	4.70%	5.92%	3.04%	5.96%	4.54%	5.46%	6.43%	6.15%	4.57%	5.20%

#### 4.5 Resultados de la proyección de demanda en el Alimentador A4001.

La siguiente tabla muestra la proyección de demanda para el alimentador A4001 para 5 años posteriores, debido a que en la actualidad el alimentador está distribuyendo una potencia de 3.444MW + 0.9 MW de la central hidroeléctrica Quicapata, lo normal para su adecuado funcionamiento es un aproximado de 4 MW, que se logra en un tiempo aproximado de 3 años, para futuros incrementos de carga en la zona será necesario la división del alimentador o tomar otras medidas para poder suplementar las futuras cargas.

**Tabla 15**  
**Proyección de demanda en el alimentador A4001**

Subest.	Alimentador	P	Pow.Fact. IND.	Scaling Factor(Fs)	P*Fs	P. año 3 (MW)
		MW			MW	
E400003	A4001	0.392	0.96	0.4189	0.164	0.442
E400004	A4001	0.123	0.96	0.4189	0.051	0.138
E400005	A4001	0.123	0.96	0.4189	0.051	0.138
E400006	A4001	0.353	0.96	0.4189	0.148	0.398
E400007	A4001	0.353	0.96	0.4189	0.148	0.398
E400008	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400009	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400010	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400011	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E400012	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400013	A4001	0.368	0.96	0.4189	0.154	0.415
E400014	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400015	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E400016	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E400017	A4001	0.044	0.96	0.4189	0.018	0.050
E400018	A4001	0.088	0.96	0.4189	0.037	0.099
E400019	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400020	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E400021	A4001	0.044	0.96	0.4189	0.018	0.050
E400022	A4001	0.074	0.96	0.4189	0.031	0.083
E400023	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400024	A4001	0.043	0.96	0.4189	0.018	0.048
E400025	A4001	0.078	0.96	0.4189	0.033	0.088
E400026	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E400027	A4001	0.074	0.96	0.4189	0.031	0.083
E400028	A4001	0.015	0.96	0.4189	0.006	0.017
E400029	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E400030	A4001	0.025	0.96	0.4189	0.010	0.028
E400032	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111

E400033	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E400034	A4001	0.025	0.96	0.4189	0.010	0.028
E400036	A4001	0.015	0.96	0.4189	0.006	0.017
E400037	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400039	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400041	A4001	0.078	0.96	0.4189	0.033	0.088
E400042	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E400043	A4001	0.064	0.96	0.4189	0.027	0.072
E400092	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E400108	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E400113	A4001	0.078	0.96	0.4189	0.033	0.088
E400130	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E400131	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E400132	A4001	0.078	0.96	0.4189	0.033	0.088
E400133	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400134	A4001	0.110	0.96	0.4189	0.046	0.124
E400135	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400136	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E400137	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E400138	A4001	0.078	0.96	0.4189	0.033	0.088
E400432	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E400823	A4001	0.064	0.96	0.4189	0.027	0.072
E400825	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400826	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400827	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400828	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400829	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400830	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400831	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400832	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400833	A4001	0.044	0.96	0.4189	0.018	0.050
E400834	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400835	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400836	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400837	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400838	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400839	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400840	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400841	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400842	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400843	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400844	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400845	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400846	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400847	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011

E400848	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400849	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400850	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400851	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400852	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400853	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400854	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400855	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400856	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400857	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400858	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400859	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400860	A4001	0.029	0.96	0.4189	0.012	0.033
E400861	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400862	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400863	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400864	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400865	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400866	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400867	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400868	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400869	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400870	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400871	A4001	0.015	0.96	0.4189	0.006	0.017
E400872	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400873	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400874	A4001	0.015	0.96	0.4189	0.006	0.017
E400875	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400876	A4001	0.015	0.96	0.4189	0.006	0.017
E400877	A4001	0.015	0.96	0.4189	0.006	0.017
E400878	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400879	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400880	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400881	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400882	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400883	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400884	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400885	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400886	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400887	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400888	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E400889	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E400890	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E400891	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401070	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011

E401071	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401072	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401073	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401074	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401075	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401076	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401077	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401084	A4001	0.005	0.96	0.4189	0.002	0.006
E401163	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401167	A4001	0.015	0.96	0.4189	0.006	0.017
E401168	A4001	0.025	0.96	0.4189	0.010	0.028
E401169	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401170	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E401171	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401172	A4001	0.025	0.96	0.4189	0.010	0.028
E401244	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E401245	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E401246	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401247	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401248	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401251	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401252	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E401253	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401254	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E401328	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401608	A4001	0.392	0.96	0.4189	0.164	0.442
E401706	A4001	0.074	0.96	0.4189	0.031	0.083
E401707	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E401708	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E401709	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E401710	A4001	0.074	0.96	0.4189	0.031	0.083
E401711	A4001	0.074	0.96	0.4189	0.031	0.083
E401715	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E401934	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E401966	A4001	0.245	0.96	0.4189	0.103	0.276
E401967	A4001	0.245	0.96	0.4189	0.103	0.276
E401970	A4001	0.245	0.96	0.4189	0.103	0.276
E401973	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E401982	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E434022	A4001	0.010	0.96	0.4189	0.004	0.011
E434065	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E434125	A4001	0.245	0.96	0.4189	0.103	0.276
E434273	A4001	0.074	0.96	0.4189	0.031	0.083
E434275	A4001	0.025	0.96	0.4189	0.010	0.028
E434343	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055

E434344	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E434345	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E434346	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E434347	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E434348	A4001	0.037	0.96	0.4189	0.015	0.041
E434349	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E434350	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E434351	A4001	0.098	0.96	0.4189	0.041	0.111
E434352	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E434358	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E435577	A4001	0.049	0.96	0.4189	0.021	0.055
E435578	A4001	0.157	0.96	0.4189	0.066	0.177
E435579	A4001	0.074	0.96	0.4189	0.031	0.083
E435592	A4001	0.025	0.96	0.4189	0.010	0.028
Potencia total A4001		10.369	0.96	0.4189	4.344	11.697

#### 4.6 Resultados del flujo de carga en el año 2018

Los resultados que se mostraron a continuación fueron obtenidos al correr flujo de carga en la subestación Ayacucho en el software DigSilent, teniendo las siguientes consideraciones:

La caída de tensión de los alimentadores A4002, A4003, A4004, A4005, A4006, A4007 y A4008 son corregidos al incrementar la tensión de la barra de 10 kV y 22.9 kV a 1.03 pu y 1.028 pu respectivamente, logrados al ubicar el TAP del transformador de la subestación Ayacucho en 1x1.5% en el lado de 69 kV.

## 4.6.1 Resultados de flujo de potencia subestación Ayacucho

Resultados de flujo de potencia alimentador A4001:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 12/8/2018	
Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		Nodes	
Consider Reactive Power Limits		Model Equations		1.00 kVA 0.10 %	
Grid: A4001	System Stage: A4001	Study Case: Año 2018		Annex: / 1	
Grid: A4001 Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	3	No. of Terminals	815
No. of 2-w Trfs.	2	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	2
No. of Loads	178	No. of Shunts	0	No. of SVS	0
Generation	918.37 kW	186.48 kvar	937.11 kVA		
External Infeed	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Inter Grid Flow	-3620.50 kW	-1281.55 kvar			
Load P(U)	4343.84 kW	1266.95 kvar	4524.83 kVA		
Load P(Un)	4343.84 kW	1266.95 kvar	4524.83 kVA		
Load P(Un-U)	0.00 kW	0.00 kvar			
Motor Load	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Grid Losses	195.02 kW	201.08 kvar			
Line Charging		-9.02 kvar			
Compensation ind.		0.00 kvar			
Compensation cap.		0.00 kvar			
Installed Capacity	1048.00 kW				
Spinning Reserve	129.63 kW				
Total Power Factor:					
Generation	0.98 [-]				
Load/Motor	0.96 / 0.00 [-]				
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO	-3620.50 kW	-1281.55 kvar			
Total	-3620.50 kW	-1281.55 kvar			

Figura 9. Flujo de potencia en el alimentador A4001

Resultados de flujo de potencia alimentador A4002:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 12/8/2018	
Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		Nodes	
Consider Reactive Power Limits		Model Equations		1.00 kVA 0.10 %	
Grid: A4002	System Stage: A4002	Study Case: Año 2018		Annex: / 2	
Grid: A4002 Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	0	No. of Terminals	193
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	21	No. of Shunts	0	No. of SVS	0
Generation	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
External Infeed	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Inter Grid Flow	-3232.84 kW	-1206.26 kvar			
Load P(U)	3194.61 kW	1159.49 kvar	3398.53 kVA		
Load P(Un)	3194.61 kW	1159.49 kvar	3398.53 kVA		
Load P(Un-U)	0.00 kW	0.00 kvar			
Motor Load	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Grid Losses	38.23 kW	46.77 kvar			
Line Charging		-2.89 kvar			
Compensation ind.		0.00 kvar			
Compensation cap.		0.00 kvar			
Installed Capacity	0.00 kW				
Spinning Reserve	0.00 kW				
Total Power Factor:					
Generation	0.00 [-]				
Load/Motor	0.94 / 0.00 [-]				
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO	-3232.84 kW	-1206.26 kvar			
Total	-3232.84 kW	-1206.26 kvar			

Figura 10. Flujo de potencia en el alimentador A4002

## Resultados de flujo de potencia alimentador A4003:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 12/8/2018	
Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		Nodes	
Consider Reactive Power Limits		Model Equations		1.00 kVA 0.10 %	
Grid: A4003		System Stage: A4003		Study Case: Año 2018	
				Annex: / 3	
Grid: A4003 Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	0	No. of Terminals	620
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	156	No. of Shunts	0	No. of SVS	0
Generation	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
External Infeed	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Inter Grid Flow	= -3471.14 kW	-789.18 kvar			
Load P(U)	= 3338.36 kW	677.88 kvar	3406.49 kVA		
Load P(Un)	= 3338.36 kW	677.88 kvar	3406.49 kVA		
Load P(Un-U)	= 0.00 kW	0.00 kvar			
Motor Load	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Grid Losses	= 132.78 kW	111.30 kvar			
Line Charging	=	-9.93 kvar			
Compensation ind.	=	0.00 kvar			
Compensation cap.	=	0.00 kvar			
Installed Capacity	= 0.00 kW				
Spinning Reserve	= 0.00 kW				
Total Power Factor:					
Generation	= 0.00 [-]				
Load/Motor	= 0.98 / 0.00 [-]				
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO					
Total	= -3471.14 kW	-789.18 kvar			

**Figura 11. Flujo de potencia en el alimentador A4003**

## Resultados de flujo de potencia alimentador A4004:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 12/8/2018	
Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		Nodes	
Consider Reactive Power Limits		Model Equations		1.00 kVA 0.10 %	
Grid: A4004		System Stage: A4004		Study Case: Año 2018	
				Annex: / 4	
Grid: A4004 Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	0	No. of Terminals	303
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	77	No. of Shunts	0	No. of SVS	0
Generation	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
External Infeed	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Inter Grid Flow	= -2145.66 kW	-447.85 kvar			
Load P(U)	= 2110.87 kW	428.63 kvar	2153.95 kVA		
Load P(Un)	= 2110.87 kW	428.63 kvar	2153.95 kVA		
Load P(Un-U)	= 0.00 kW	0.00 kvar			
Motor Load	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Grid Losses	= 34.78 kW	19.22 kvar			
Line Charging	=	-6.08 kvar			
Compensation ind.	=	0.00 kvar			
Compensation cap.	=	0.00 kvar			
Installed Capacity	= 0.00 kW				
Spinning Reserve	= 0.00 kW				
Total Power Factor:					
Generation	= 0.00 [-]				
Load/Motor	= 0.98 / 0.00 [-]				
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO					
Total	= -2145.66 kW	-447.85 kvar			

**Figura 12. Flujo de potencia en el alimentador A4004**

## Resultados de flujo de potencia alimentador A4005:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7	Project: Date: 12/8/2018
Load Flow Calculation			Grid Summary
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)	No	Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes	Max. Acceptable Load Flow Error for Nodes	1.00 kVA
Consider Reactive Power Limits	Yes	Model Equations	0.10 %
Grid: A4005	System Stage: A4005	Study Case: Año 2018	Annex: / 5
Grid: A4005 Summary			
No. of Substations	0	No. of Busbars	0
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	0
No. of Loads	82	No. of Shunts	0
No. of Terminals	353	No. of syn. Machines	0
No. of Lines	352	No. of asyn.Machines	0
Generation	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA
External Infeed	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA
Inter Grid Flow	-2809.85 kW	-859.07 kvar	
Load P (U)	2699.43 kW	787.34 kvar	2811.91 kVA
Load P (Un)	2699.43 kW	787.34 kvar	2811.91 kVA
Load P (Un-U)	0.00 kW	0.00 kvar	
Motor Load	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA
Grid Losses	110.41 kW	71.73 kvar	
Line Charging		-6.37 kvar	
Compensation ind.		0.00 kvar	
Compensation cap.		0.00 kvar	
Installed Capacity	0.00 kW		
Spinning Reserve	0.00 kW		
Total Power Factor:			
Generation	0.00 [-]		
Load/Motor	0.96 / 0.00 [-]		
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO	-2809.85 kW	-859.07 kvar	
Total	-2809.85 kW	-859.07 kvar	

Figura 13. Flujo de potencia en el alimentador A4005

## Resultados de flujo de potencia alimentador A4006:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7	Project: Date: 12/8/2018
Load Flow Calculation			Grid Summary
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)	No	Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes	Max. Acceptable Load Flow Error for Nodes	1.00 kVA
Consider Reactive Power Limits	Yes	Model Equations	0.10 %
Grid: A4006	System Stage: A4006	Study Case: Año 2018	Annex: / 6
Grid: A4006 Summary			
No. of Substations	0	No. of Busbars	0
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	0
No. of Loads	289	No. of Shunts	0
No. of Terminals	2678	No. of syn. Machines	0
No. of Lines	2677	No. of asyn.Machines	0
Generation	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA
External Infeed	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA
Inter Grid Flow	-1110.93 kW	-383.21 kvar	
Load P (U)	1073.55 kW	833.17 kvar	1358.93 kVA
Load P (Un)	1073.55 kW	833.17 kvar	1358.93 kVA
Load P (Un-U)	0.00 kW	0.00 kvar	
Motor Load	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA
Grid Losses	37.36 kW	-449.96 kvar	
Line Charging		-470.06 kvar	
Compensation ind.		0.00 kvar	
Compensation cap.		0.00 kvar	
Installed Capacity	0.00 kW		
Spinning Reserve	0.00 kW		
Total Power Factor:			
Generation	0.00 [-]		
Load/Motor	0.79 / 0.00 [-]		
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO	-1110.93 kW	-383.21 kvar	
Total	-1110.93 kW	-383.21 kvar	

Figura 14. Flujo de potencia en el alimentador A4006

## Resultados de flujo de potencia alimentador A4007:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 12/8/2018	
Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		1.00 kVA	
Consider Reactive Power Limits		Nodes		0.10 %	
		Model Equations			
Grid: A4007		System Stage: A4007		Study Case: Año 2018	
				Annex: / 7	
Grid: A4007 Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	0	No. of Terminals	2620
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	290	No. of Shunts	0	No. of SVS	0
No. of Lines	2619				
No. of asyn.Machines	0				
Generation	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
External Infeed	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Inter Grid Flow	= -839.42 kW	-384.28 kvar			
Load P (U)	= 832.29 kW	802.21 kvar	1155.96 kVA		
Load P (Un)	= 832.29 kW	802.21 kvar	1155.96 kVA		
Load P (Un-U)	= 0.00 kW	0.00 kvar			
Motor Load	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Grid Losses	= 7.11 kW	-417.93 kvar			
Line Charging	=	-424.65 kvar			
Compensation ind.	=	0.00 kvar			
Compensation cap.	=	0.00 kvar			
Installed Capacity	= 0.00 kW				
Spinning Reserve	= 0.00 kW				
Total Power Factor:					
Generation	= 0.00 [-]				
Load/Motor	= 0.72 / 0.00 [-]				
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO					
Total	= -839.42 kW	-384.28 kvar			

Figura 15. Flujo de potencia en el alimentador A4007

## Resultados de flujo de potencia alimentador A4008:

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 12/8/2018	
Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		1.00 kVA	
Consider Reactive Power Limits		Nodes		0.10 %	
		Model Equations			
Grid: A4008		System Stage: A4008		Study Case: Año 2018	
				Annex: / 8	
Grid: A4008 Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	0	No. of Terminals	1687
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	174	No. of Shunts	0	No. of SVS	0
No. of Lines	1686				
No. of asyn.Machines	0				
Generation	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
External Infeed	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Inter Grid Flow	= -1124.42 kW	-1512.01 kvar			
Load P (U)	= 1066.70 kW	1706.72 kvar	2012.65 kVA		
Load P (Un)	= 1066.70 kW	1706.72 kvar	2012.65 kVA		
Load P (Un-U)	= 0.00 kW	0.00 kvar			
Motor Load	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Grid Losses	= 57.71 kW	-194.71 kvar			
Line Charging	=	-227.51 kvar			
Compensation ind.	=	0.00 kvar			
Compensation cap.	=	0.00 kvar			
Installed Capacity	= 0.00 kW				
Spinning Reserve	= 0.00 kW				
Total Power Factor:					
Generation	= 0.00 [-]				
Load/Motor	= 0.53 / 0.00 [-]				
Inter Grid Flow to SE AYACUCHO					
Total	= -1124.42 kW	-1512.01 kvar			

Figura 16. Flujo de potencia en el alimentador A4008

## Resultados del flujo de potencia en la subestación Ayacucho:

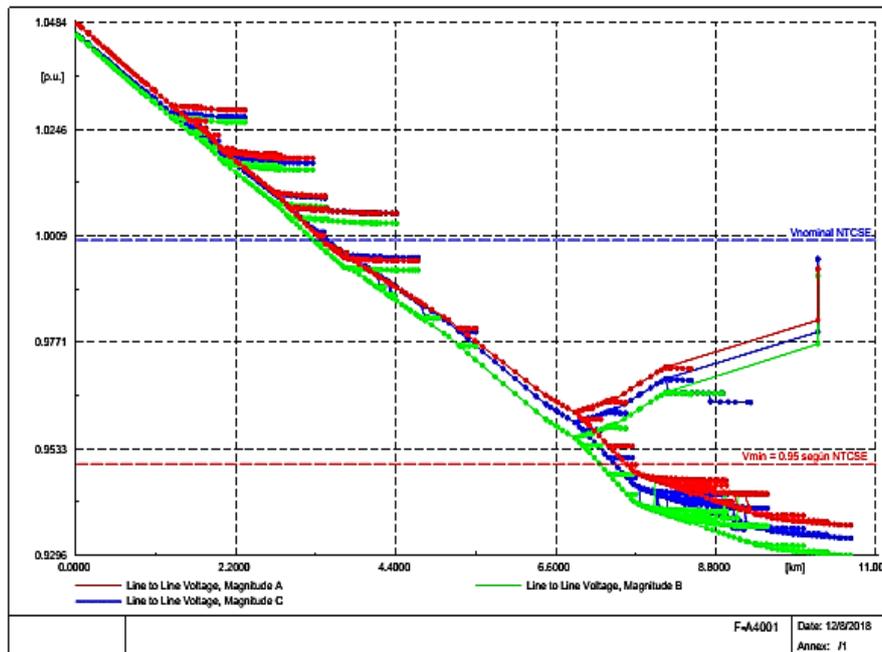
		DIGSILENT PowerFactory 15.1.7	Project: Date: 12/8/2018		
Load Flow Calculation			Grid Summary		
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC) Automatic Tap Adjust of Transformers Consider Reactive Power Limits		No Yes	Automatic Model Adaptation for Convergence Max. Acceptable Load Flow Error for Nodes Model Equations		
			No 1.00 kVA 0.10 %		
Grid: SE AYACUCHO	System Stage: SE AYACUCHO	Study Case: Año 2018	Annex: / 9		
Grid: SE AYACUCHO Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	7	No. of Terminals	0
No. of 2-w Trfs.	3	No. of 3-w Trfs.	1	No. of syn. Machines	9
No. of Loads	0	No. of Shunts	1	No. of SVS	0
Generation	= 4332.00 kW	1572.31 kvar	4608.51 kVA		
External Infeed	= 14078.43 kW	732.17 kvar	14097.46 kVA		
Inter Grid Flow	= 18354.76 kW	6863.41 kvar			
Load P (U)	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Load P (Un)	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Motor Load	= 0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA		
Grid Losses	= 55.67 kW	750.53 kvar			
Line Charging	=	80.99 kvar			
Compensation ind.	=	0.00 kvar			
Compensation cap.	=	-5309.46 kvar			
Installed Capacity	= 9000.00 kW				
Spinning Reserve	= 3258.00 kW				
Total Power Factor:					
Generation	= 0.94 [-]				
Load/Motor	= 0.00 / 0.00 [-]				
Inter Grid Flow to					
A4001	= 3620.50 kW	1281.55 kvar			
A4002	= 3232.84 kW	1206.26 kvar			
A4003	= 3471.14 kW	789.18 kvar			
A4004	= 2145.66 kW	447.85 kvar			
A4005	= 2809.85 kW	859.07 kvar			
A4006	= 1110.93 kW	383.21 kvar			
A4007	= 839.42 kW	384.28 kvar			
A4008	= 1124.42 kW	1512.01 kvar			
Total	= 18354.76 kW	6863.41 kvar			

**Figura 17. Flujo de potencia en la subestación Ayacucho**

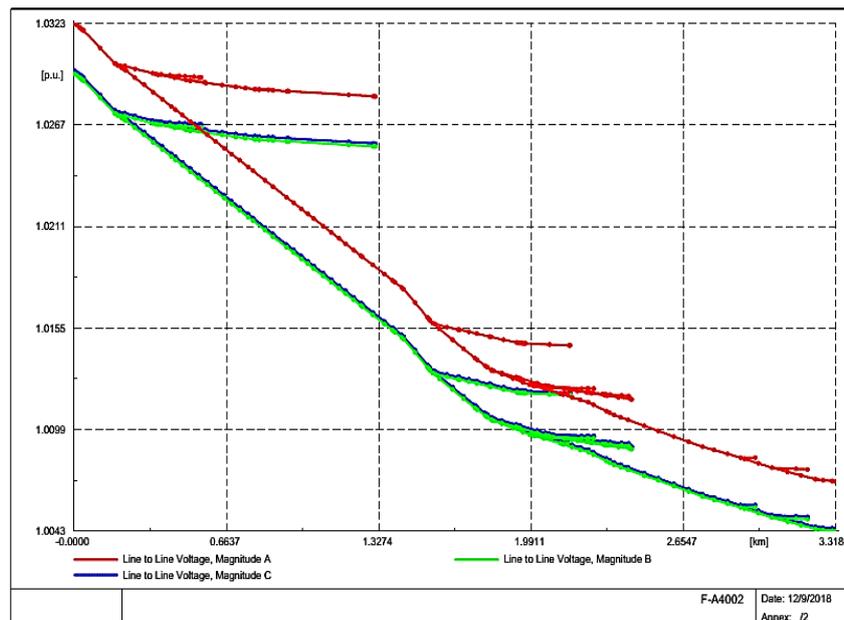
## 4.6.2 Resultados del perfil de tensión en los alimentadores de la subestación Ayacucho año 2018

### Perfil de tensión del alimentador A4001

Como se puede observar en la figura el perfil de tensión en el alimentador esta fuera de los rangos permitidos por NTCSE.



### Perfil de tensión del alimentador A4002



### Perfil de tensión del alimentador A4003

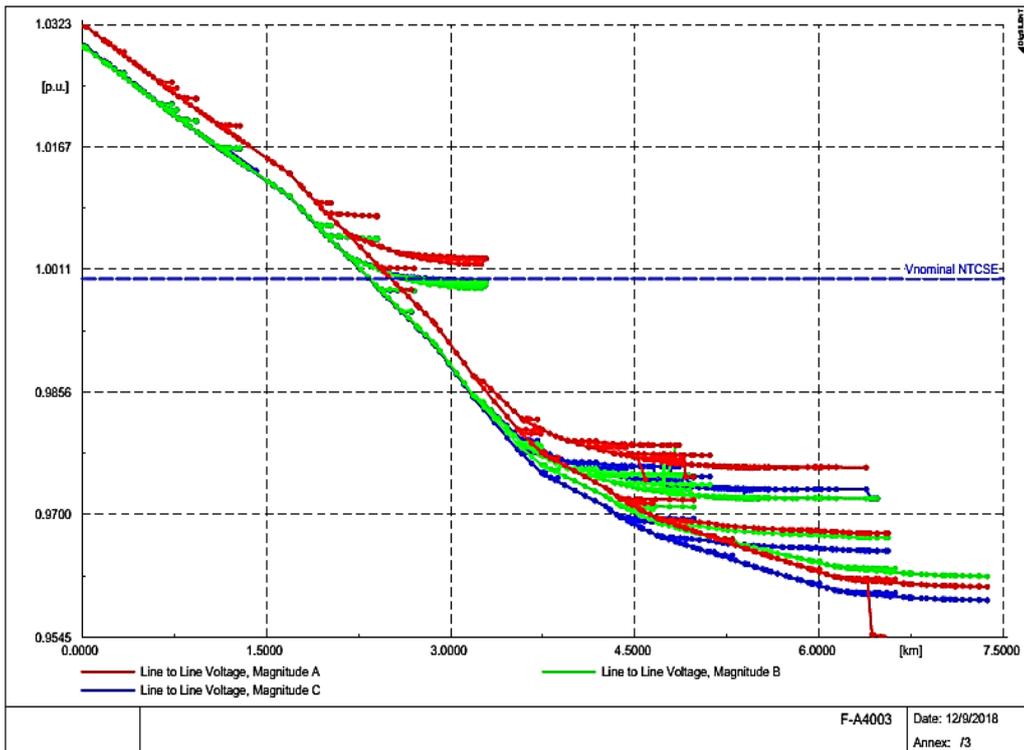


Figura 20. Perfil de tensión del alimentador A4003

### Perfil de tensión del alimentador A4004

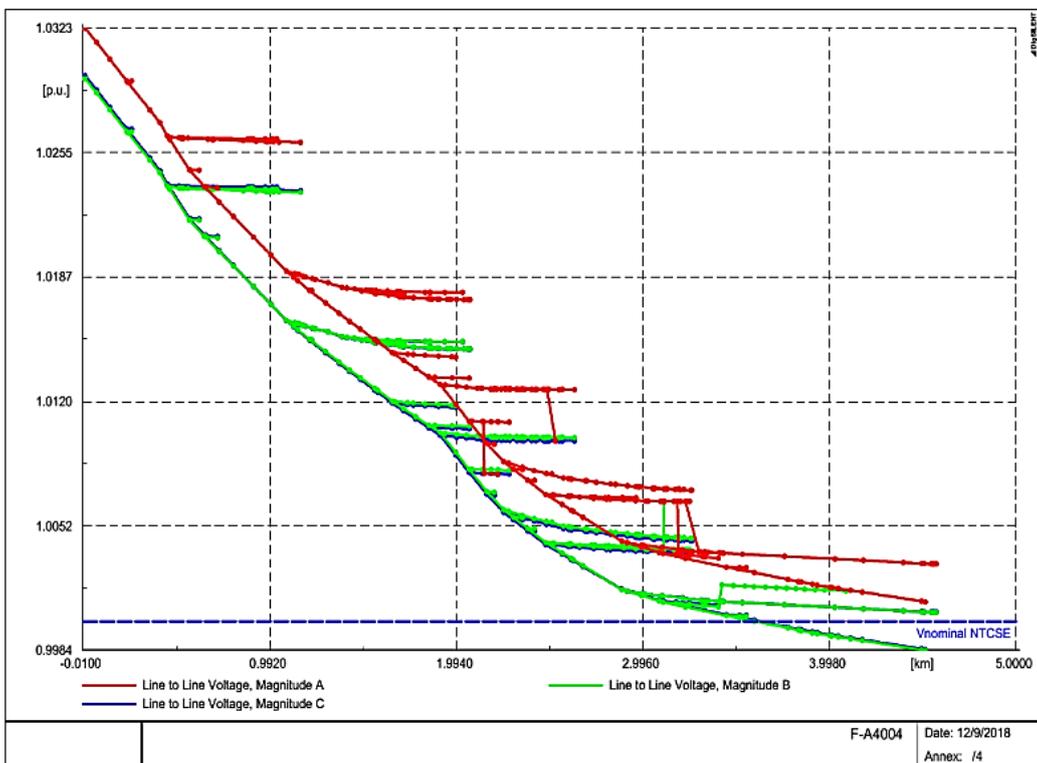


Figura 21. Perfil de tensión del alimentador A4004

### Perfil de tensión del alimentador A4005

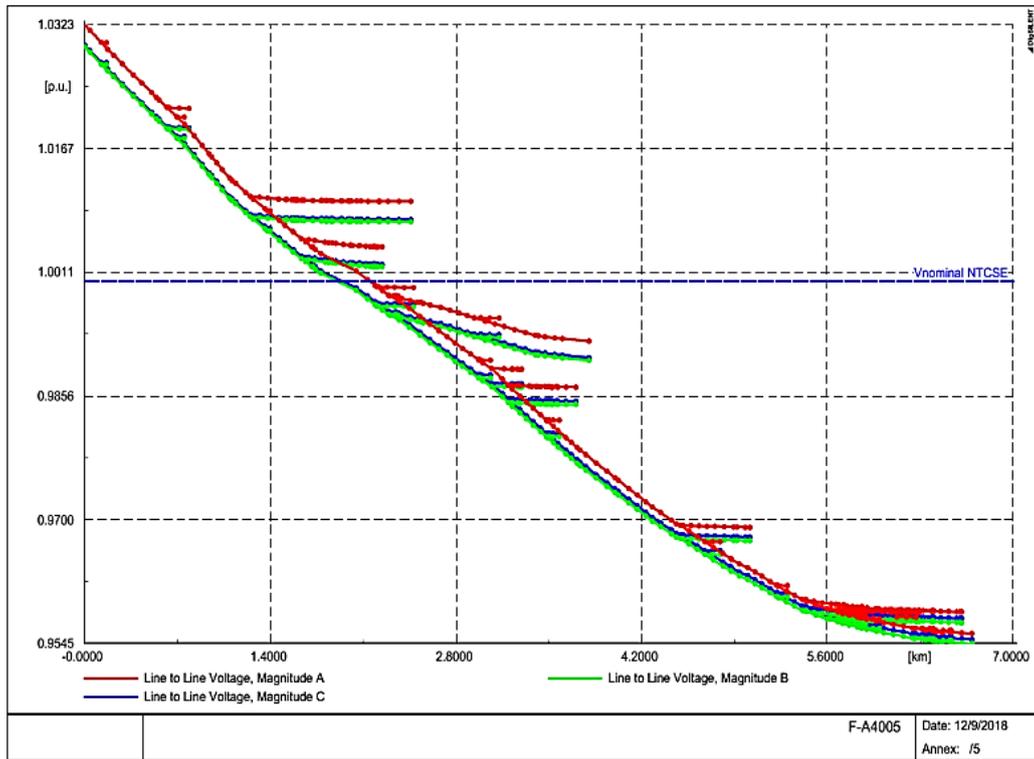


Figura 22. Perfil de tensión del alimentador A4005

### Perfil de tensión en las estaciones del alimentador A4006

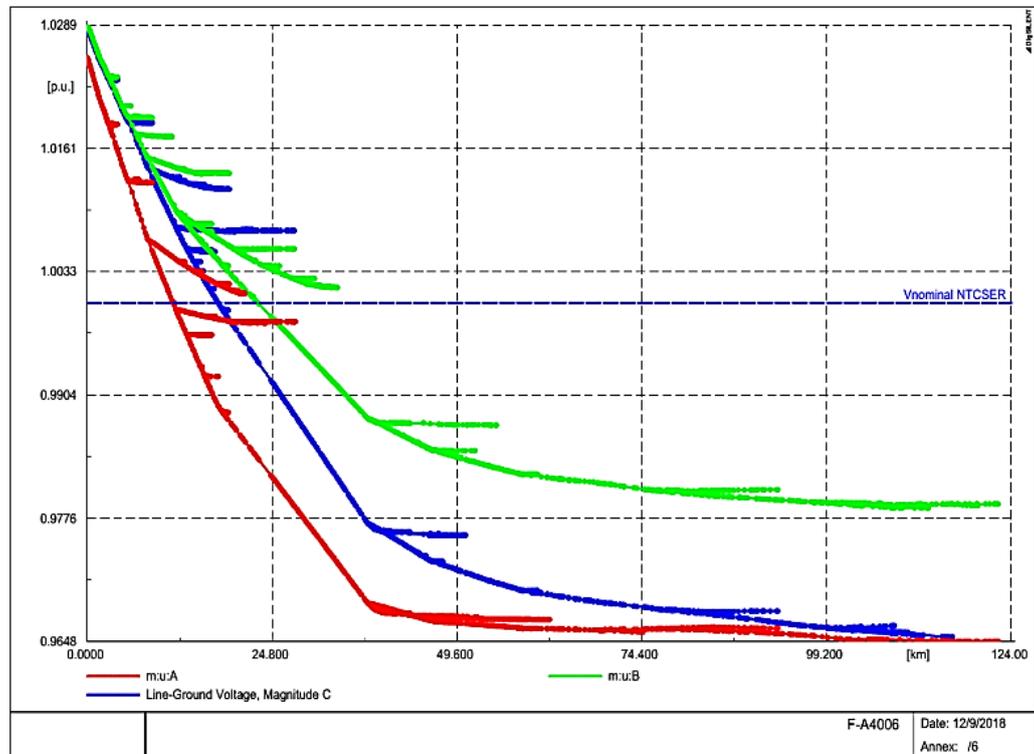


Figura 23. Perfil de tensión del alimentador A4006

### Perfil de tensión del alimentador A4007

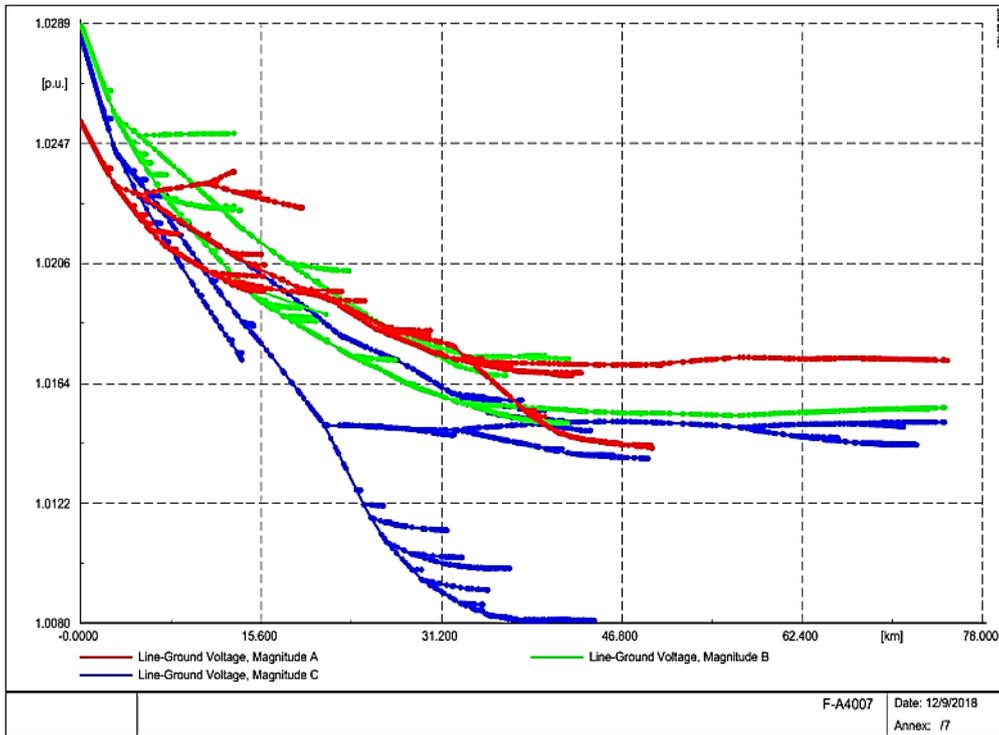


Figura 24. Perfil de tensión del alimentador A4007

### Perfil de tensión del alimentador A4008

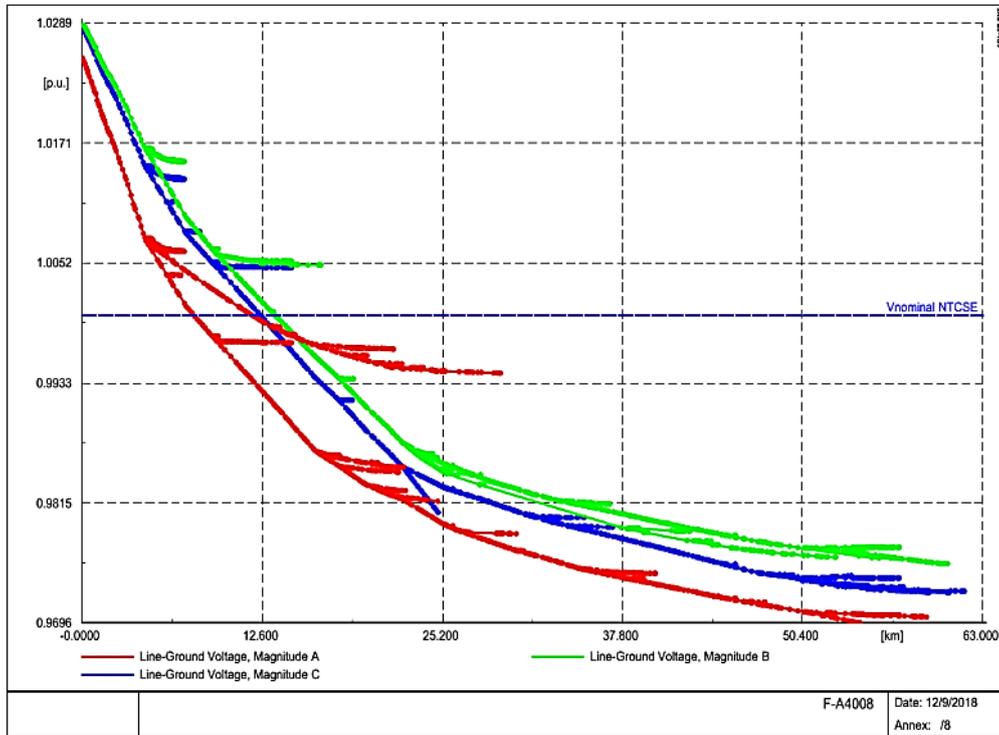


Figura 25. Perfil de tensión del alimentador A4008

#### 4.7 Resultados flujo de carga para el año 2023

Para la solución de los niveles de tensión fuera de rango del alimentador A4001, que no fue solucionado al reducir el TAP del transformador de la subestación Ayacucho de 3 a 1, pero se solucionó la caída de tensión en otros alimentadores que también se encuentran conectados al transformador de la subestación, para este problema fue necesario implementar un regulador de tensión.

Para poder dimensionar y lograr una ubicación óptima se modeló el diagrama unifilar con la proyección de demanda al año 2023.

##### 4.7.1 Resultado de perfil de tensión en el alimentador A4001 de la subestación Ayacucho año 2023

La siguiente figura muestra el perfil de tensión del alimentador A4001 para el año 2021 con el TAP 1 de la subestación Ayacucho, donde se localizó el regulador de tensión.

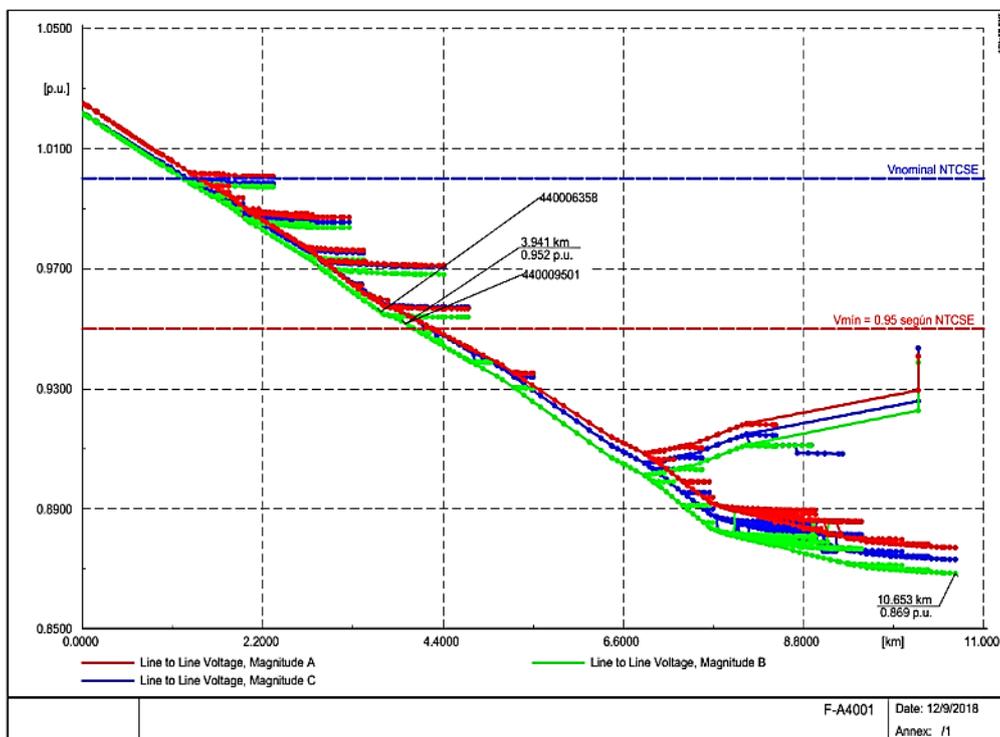


Figura 26. Perfil de tensión del alimentador A4001 año 2023

#### 4.7.2 Resultados de flujo de potencia en el año 2023

Como se puede apreciar en la figura 36, el resultado de flujo de potencia en la línea 44006359 y subestación 4AP55406 del alimentador A4001 es de 1514.4 kW a una tensión de 0.957 pu.

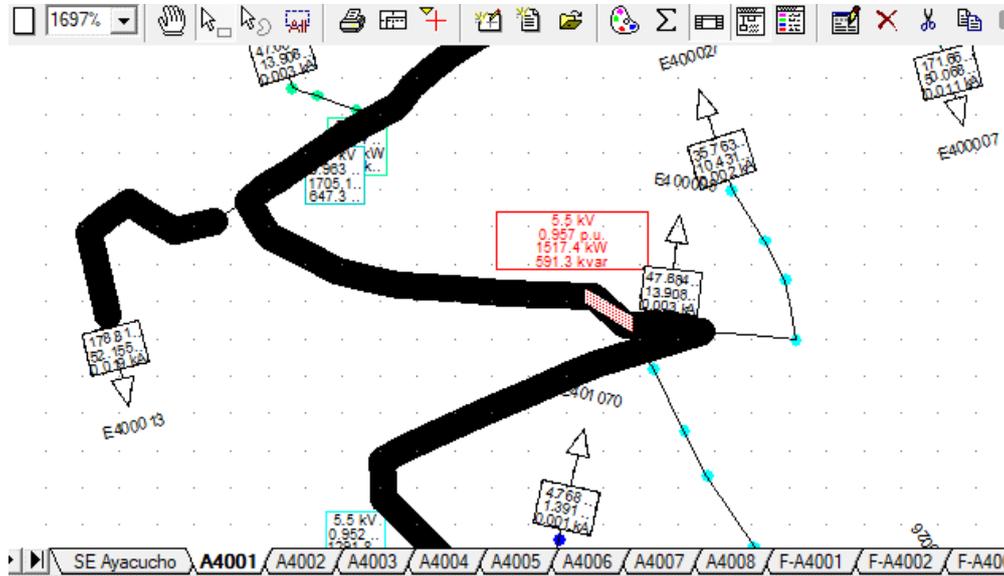


Figura 27. Localización del autotransformador en el alimentador A4001

#### 4.8 Instalación del regulador

De los resultados obtenidos en el inciso 4.7 del capítulo 4 se obtiene la potencia y ubicación del regulador de tensión (autotransformador):

Datos del autotransformador:

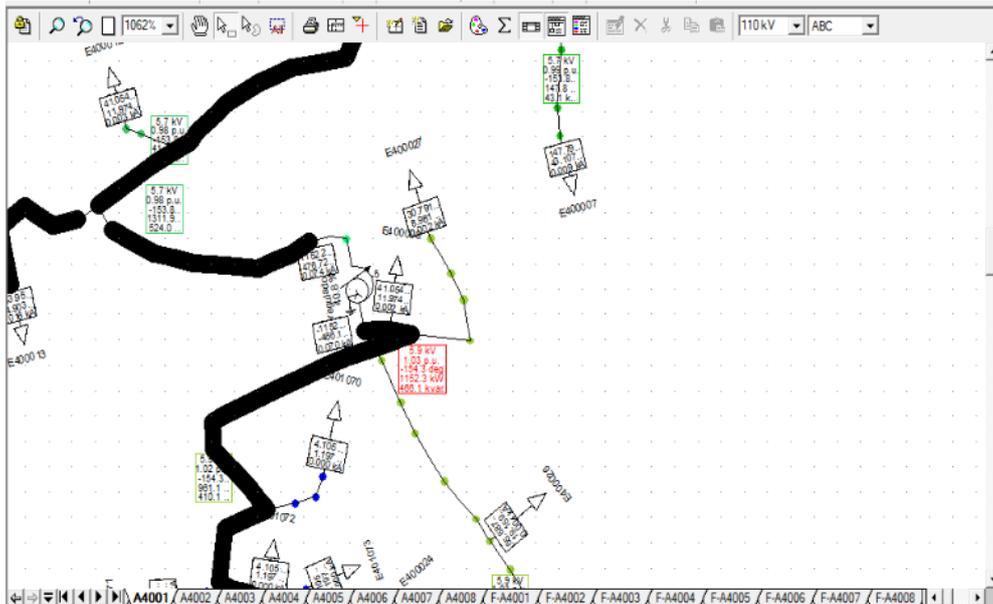
- Potencia: 2 MW
- Tensión de línea: 10 kV
- Tensión de cortocircuito: 4%

Ubicación del autotransformador:

- Subestación: 4AP55406

#### 4.8.1 Verificación de flujo de potencia en la subestación Ayacucho con RV en 2018

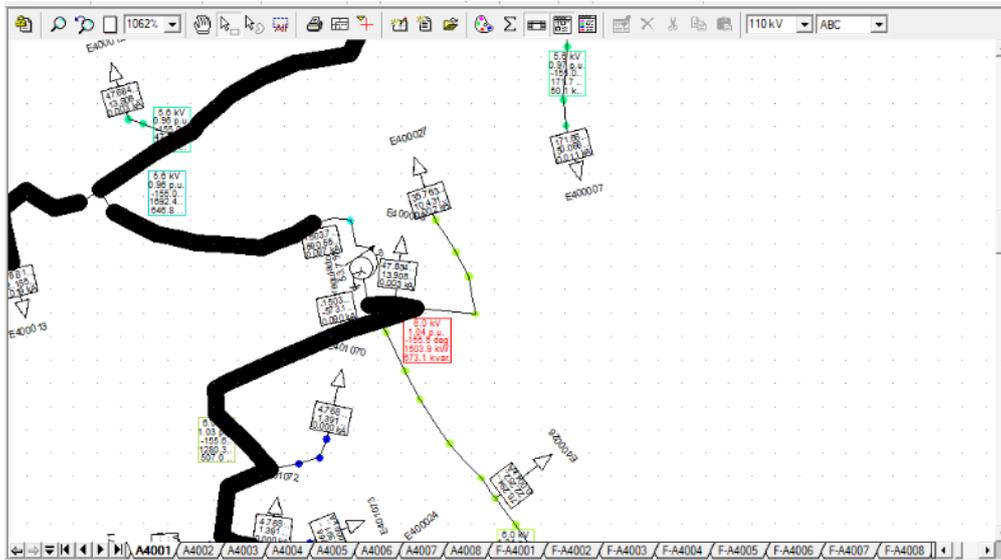
Resultados de flujo de potencia alimentador A4001:



**Figura 28. Flujo de potencia implementado RV en el año 2018**

#### 4.8.2 Verificación de flujo de potencia en la subestación Ayacucho con RV en 2023

Resultados de flujo de potencia alimentador A4001:



**Figura 29. Flujo de potencia con RV en el año 2023**

#### 4.8.3 Verificación del perfil de tensión en los alimentadores de la subestación Ayacucho con RV en el año 2018

##### Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4001

El perfil de tensión que se muestra en la figura 39 se obtuvo al correr flujo con el TAP ubicado en 1x2.5% de la subestación Ayacucho y en el TAP -5x1% del autotransformador.

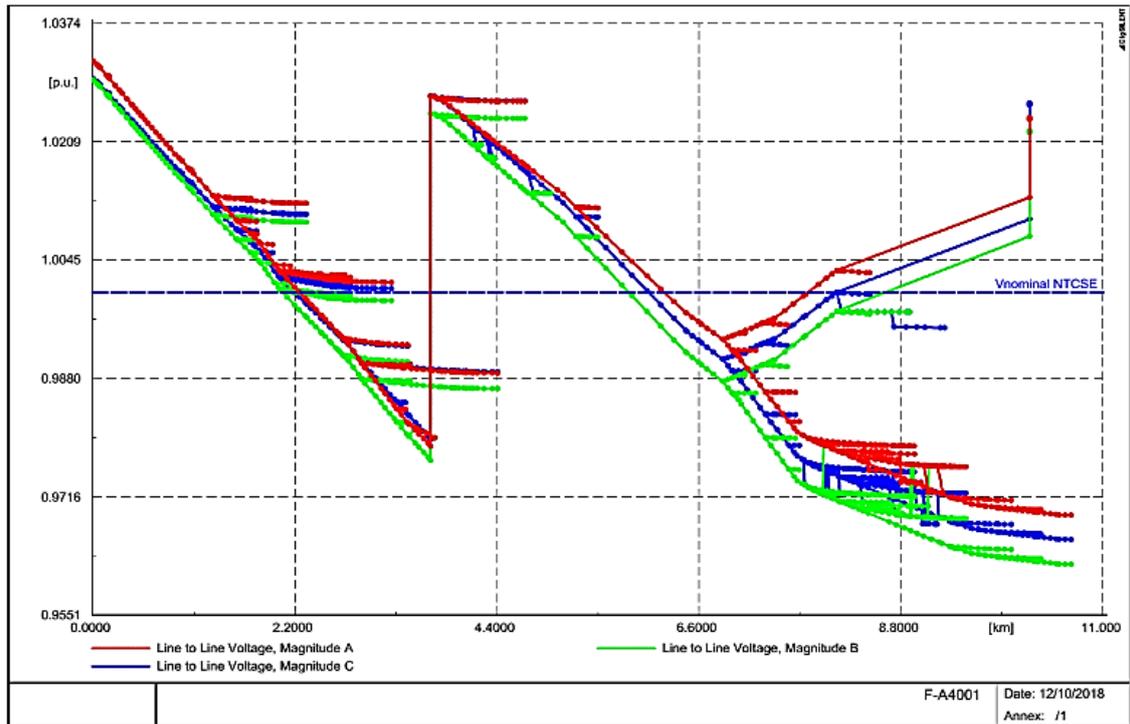


Figura 30. Perfil de tensión del alimentador A4001 con RV

Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4002

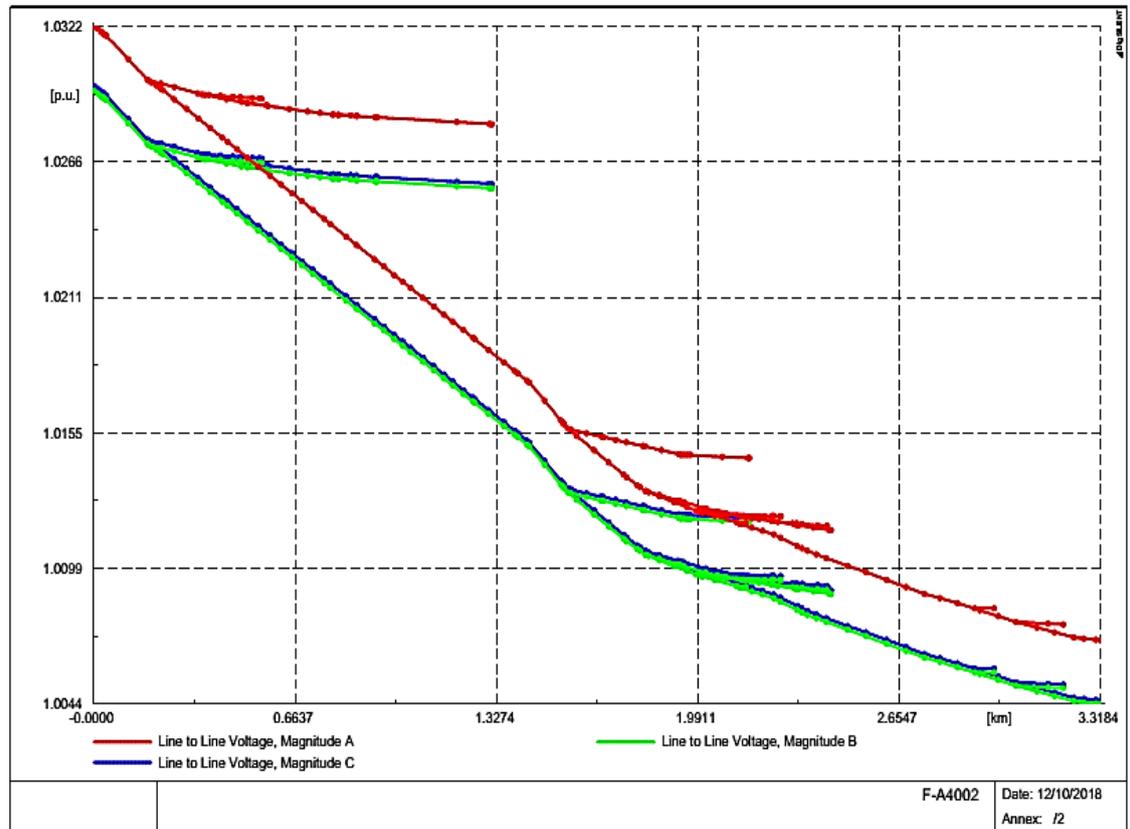


Figura 31. Perfil de tensión del alimentador A4002 con RV

### Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4003

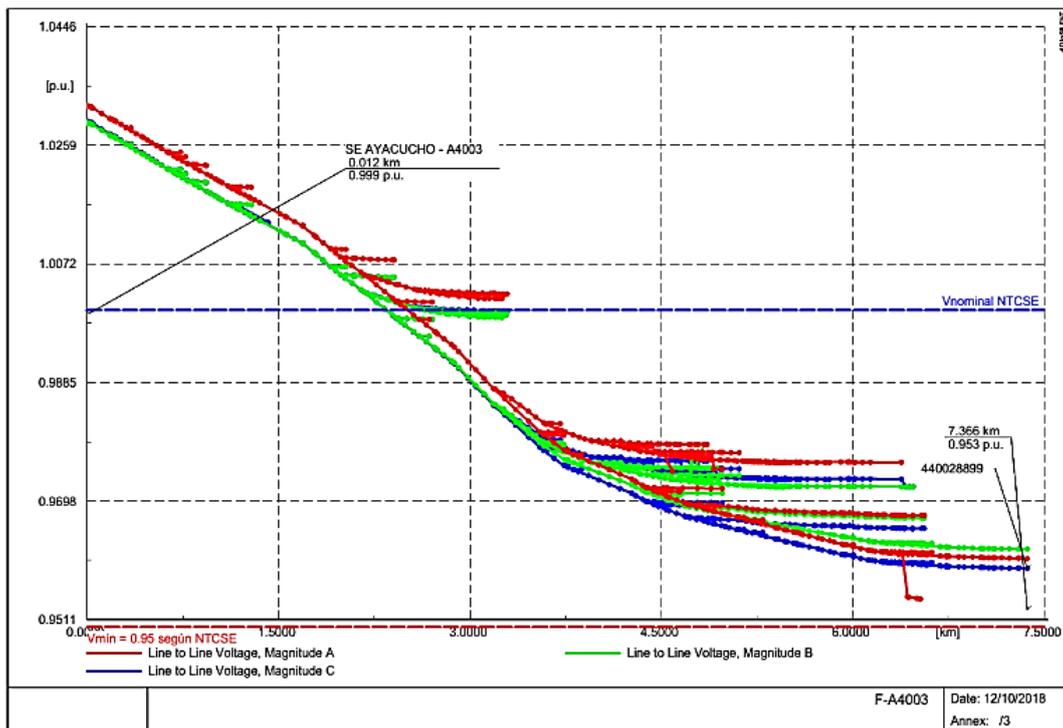


Figura 32. Perfil de tensión del alimentador A4003 con RV

### Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4004

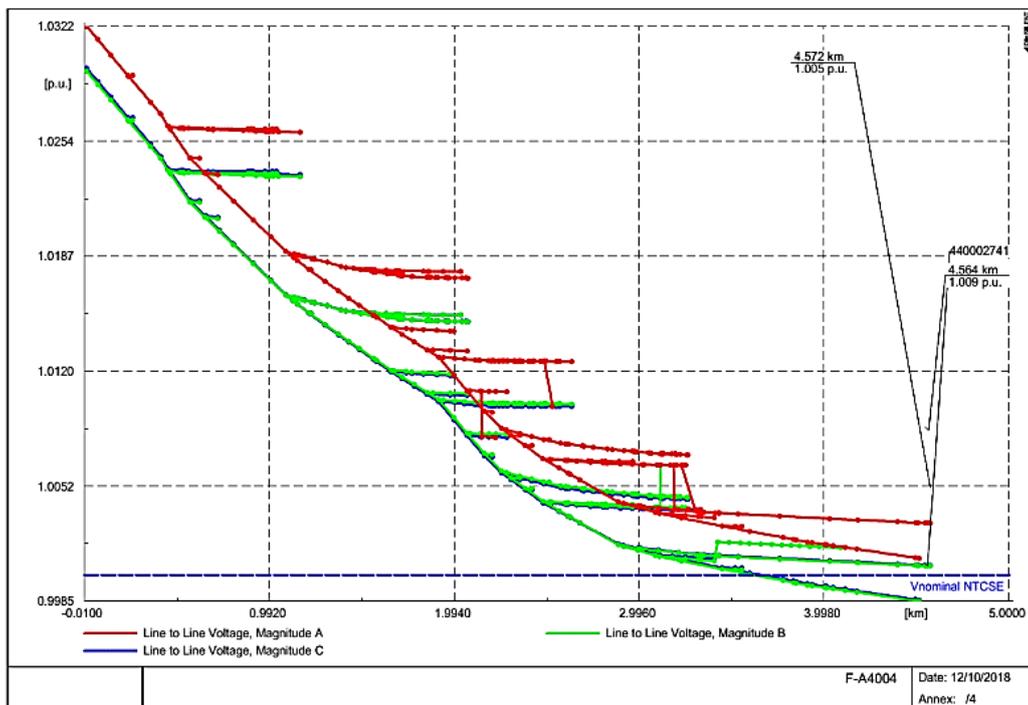


Figura 33. Perfil de tensión del alimentador A4004 con RV

### Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4005

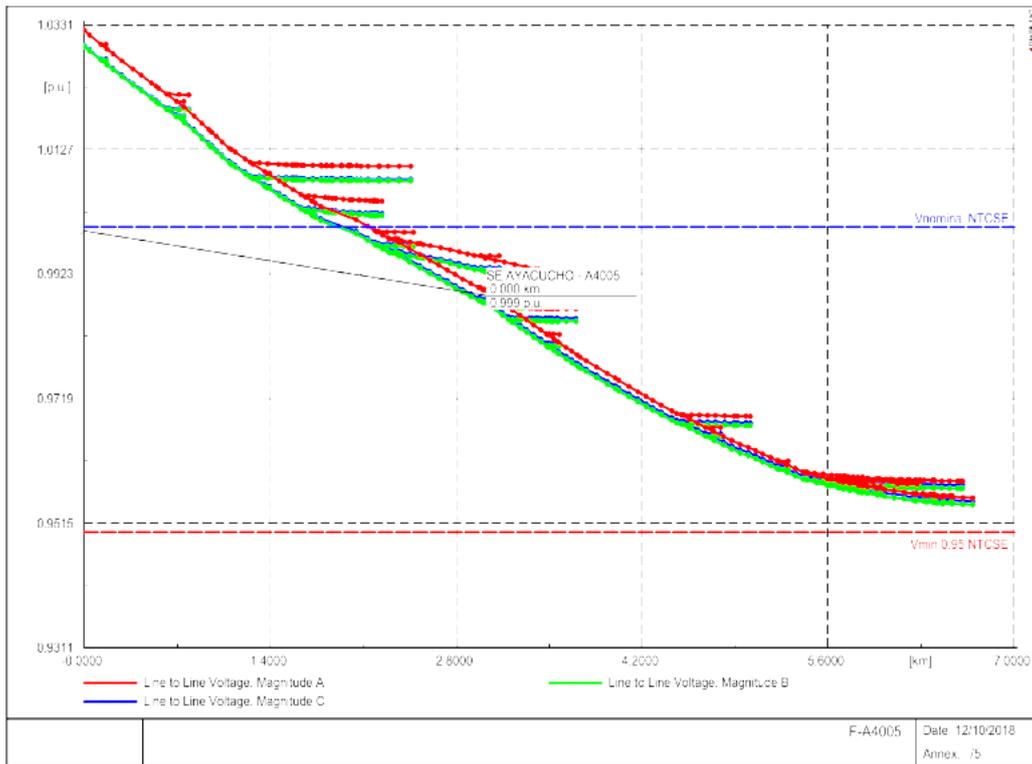


Figura 34. Perfil de tensión del alimentador A4005 con RV

### Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4006

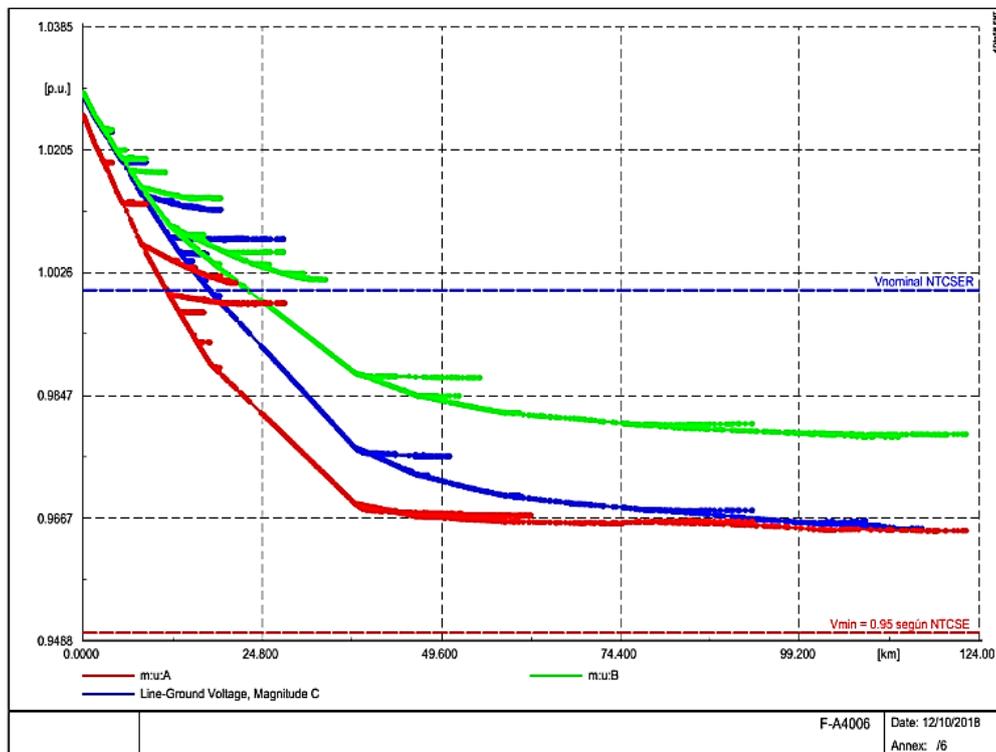


Figura 35. Perfil de tensión del alimentador A4006 con RV

### Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4007

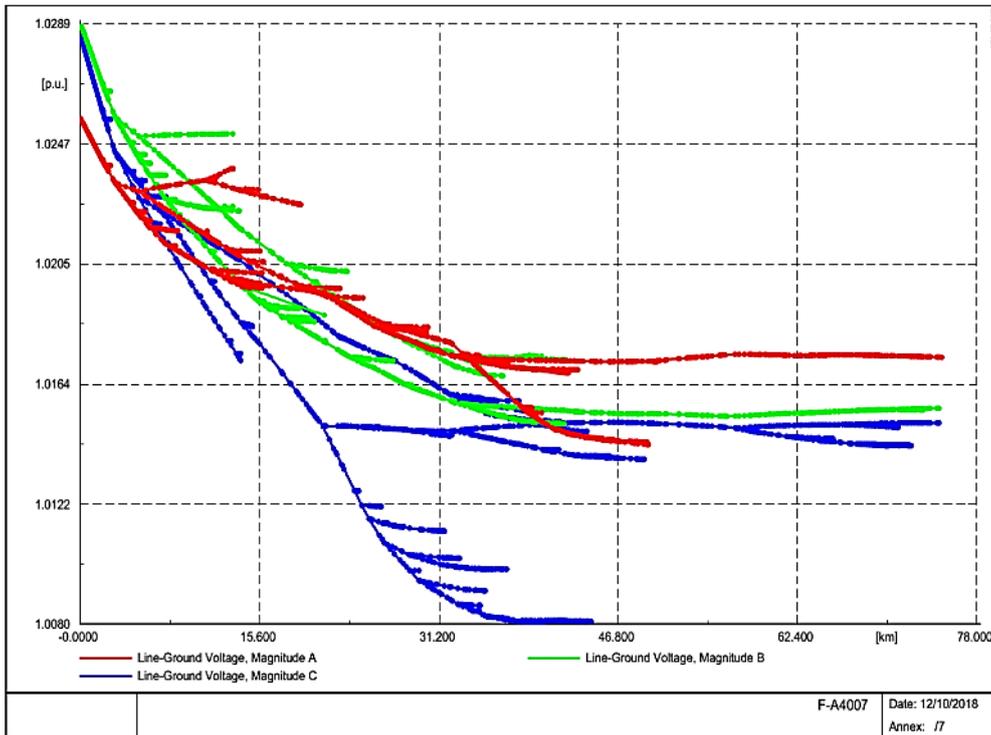


Figura 36. Perfil de tensión del alimentador A4007 con RV

### Perfil de tensión en las subestaciones del alimentador A4008

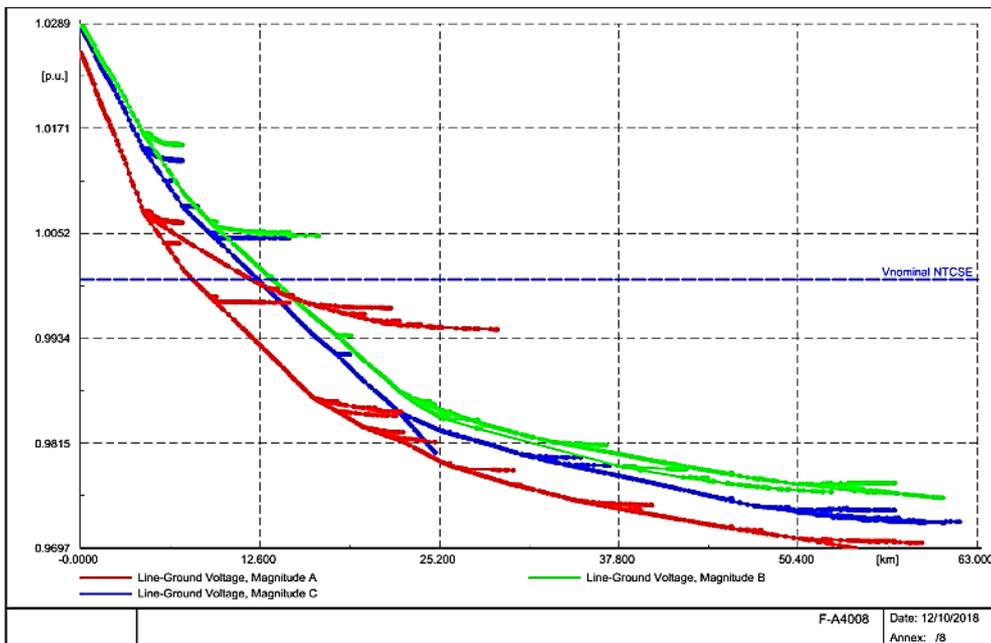


Figura 37. Perfil de tensión del alimentador A4008 con RV

#### 4.8.4 Verificación del perfil de tensión en el alimentador A4001 de la subestación Ayacucho con RV en el año 2023

El perfil de tensión en el año 2023 fue realizado cuando el autotransformador opera en el TAP -8x1%, debido al incremento de demanda.

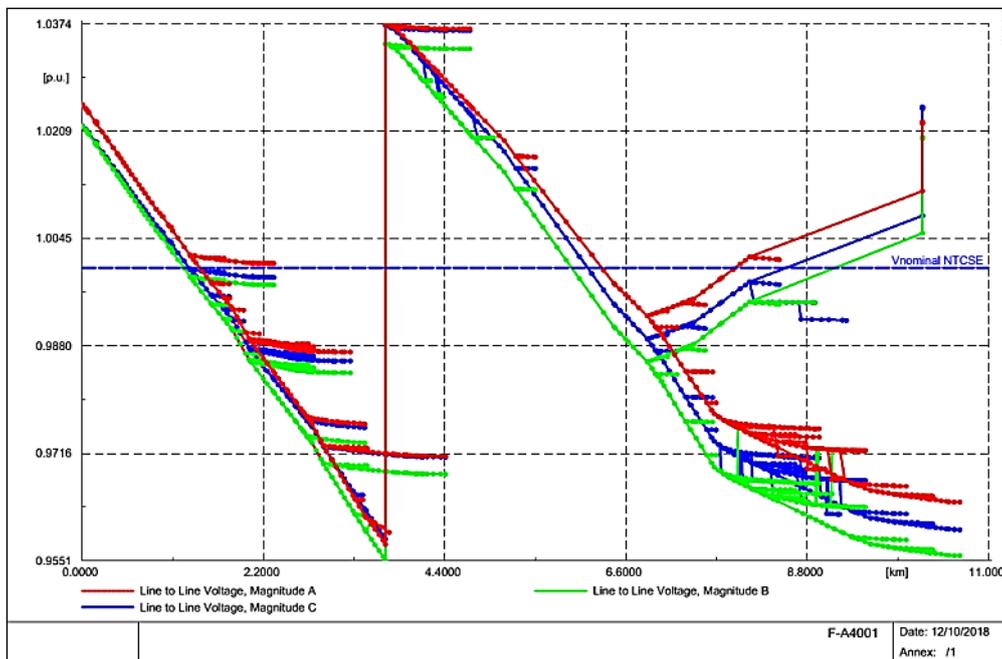


Figura 38. Perfil de tensión del alimentador A4001 con RV en el año 2023

#### 4.9 Prueba de hipótesis

Para la presente investigación se tomará la hipótesis sobre proposiciones, para lo que tenemos las siguientes hipótesis:

##### Hipótesis de investigación

H1:  $\mu$  = la mejora de la calidad del voltaje eléctrico logra disminuir las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho.

##### Hipótesis nula

H0:  $\mu$  = la mejora de la calidad del voltaje eléctrico **no** logra disminuir las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho.

**Tabla 16*****Antes y después del pago por compensación***

Alimentador	En el año 2018 (antes)	En el año 2023 (después)
A4001	2457.2827	0
A4002	1463.7065	0
A4003	1115.3809	0
A4004	1071.3786	0
A4005	600.8772	0
A4006	11.399	0
A4007	15.2606	0
A4008	154.7851	0
Subtotal (S/)	6890.0706	

Según los resultados de la investigación de la tesis, se acepta la hipótesis de la investigación H1 y se rechaza la hipótesis nula.

#### **4.10 Discusión de los resultados**

De los resultados de la tesis se confirma que la mejora de la calidad del voltaje eléctrico logra disminuir las compensaciones por variaciones de voltaje en los usuarios regulados de Ayacucho tal como se muestra en la tabla 16. Esto instalando un regulador en media tensión.

Ahora, de acuerdo a los resultados de la tesis *“Estudio para mejorar el nivel de tensión aplicando reguladores de tensión monofásico automático para la línea 10 kV alimentador 5006 del sistema eléctrico de la ciudad de Juliaca 2016”* (4), concluye que la alternativa de solución más accesible a los costos y tiempo de instalación es el regulador de tensión monofásico contar con niveles de tensión dentro de lo que establece la NTCSE.

Por lo tanto, se afirma que el estudio de Escarcena y la presente investigación tienen resultados similares.

## CONCLUSIONES

1. La presente tesis tiene como conclusión principal la disminución de pago por compensación para los años 2019 al 2023.
2. En el presente estudio se logró realizar simulación de implementación de un autotransformador al finalizar la línea 4000359 ubicada en el alimentador A4001 para mejorar el perfil de tensión del alimentador.
3. Para dimensionar el regulador de tensión (autotransformador) se tuvo que considerar la proyección de demanda de energía en la región de Ayacucho, cuyos datos fueron obtenidos del Osinergmin y de la empresa concesionaria Electrocentro S. A.
4. En la verificación de perfil de tensión del capítulo 4 se puede apreciar que los perfiles de tensión de los alimentadores ubicados en la subestación Ayacucho cumplen con las NTCSE.
5. En el alimentador A4001 se encuentra la central hidroeléctrica Quicapata, que incrementa la potencia de la zona a suministrar energía en 0.9 MW es por lo que dicho alimentador opera con una carga mayor de 4 MW que es lo más recomendable en un alimentador para su operación eficiente.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el regulador de tensión tenga una variedad de TAP para poder variar la tensión en función al incremento de carga o variaciones por mantenimiento u otro motivo.
2. Se recomienda no incrementar la carga en los alimentadores superiores a 4 MW a nivel de tensión de 10 kV debido a que el dimensionamiento de los elementos que conforman el sistema eléctrico se sobrecargaría y al dimensionarlo a valores de corriente superiores sería más costoso que crear nuevos alimentadores.
3. El regulador de tensión a instalarse debe ser de una potencia superior a 1.503.9 kW, debido a que el flujo de potencia en el año 2023 hasta el punto a conectar el RV es de esa potencia.

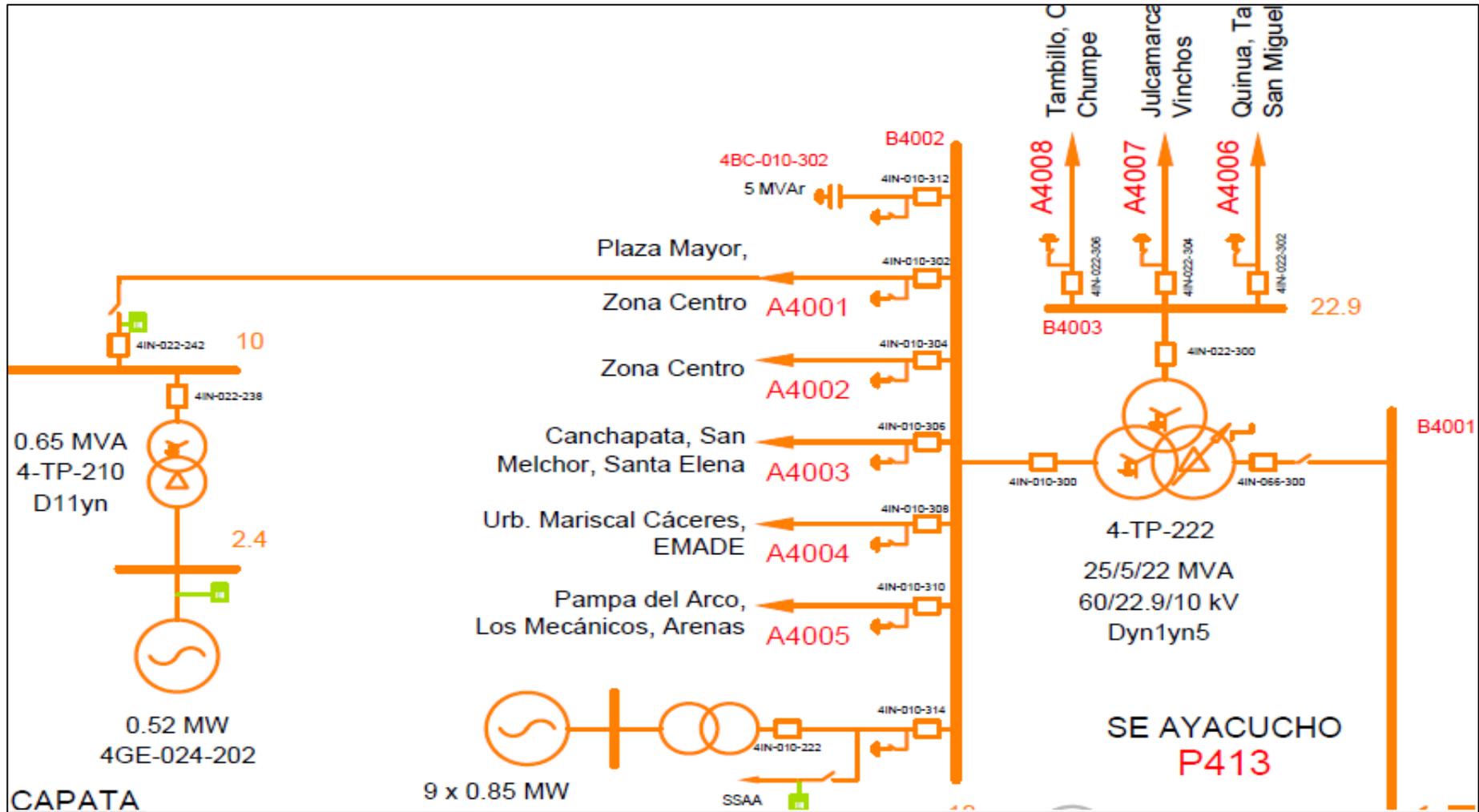
## LISTA DE REFERENCIAS

1. **VIZCAÍNO TORRES, Raúl.** *Análisis de la calidad de la energía del sistema eléctrico de la zona cultural universitaria de la UNAM.* 2017. Tesis de grado.
2. **ERAZO PLASENCIO, Ronald Omar y QUEVEDO MOREIRA, Paul Dirceu.** *Análisis de la calidad de energía y rediseño del sistema eléctrico en la planta industrial Corporación de Proyectos Múltiples Multiproyectos S. A. Guayaquil :* s.n., 2018. Tesis de grado.
3. **HOLGUÍN, Marcos y GOMEZCOELLO, David.** *Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana.* Guayaquil : s.n., 2010. Tesis de grado.
4. **ESCARCENA MENDOZA, Iván Mohamed.** *Estudio para mejorar el nivel de tensión aplicando reguladores de tensión monofásico automático para la línea 10 kV alimentador 5006 del sistema eléctrico de la ciudad de Juliaca 2016.* Puno : s.n., 2017. Tesis de grado.
5. **GONZÁLES RETAMOZO, Cirilo.** *Evaluación y análisis de la calidad de producto bajo los efectos de las tensiones y corrientes armónicas en un punto de acoplamiento común (PAC).* Lima : s.n., 2019.
6. **MAYTA ROQUE, Carlos Alberto.** *Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro.* 2019. Tesis de grado.
7. **BORJA, Manuel.** *Metodología de la investigación científica para ingenieros.* Peru : s.n., 2016. pág. 38.
8. **BART, Franken; VIRENDRA, Ajodhia; KONSTANTIN, Petrov.** *Regulation of Voltage Quality.*
9. **A EUROPEAN BENCHMARKING** *Of Voltage Quality Regulation (CIRED 22 nd) International Conference on Electricity Distribution).*

## **ANEXOS**

## Anexo A

### Diagrama unifilar del sistema de la unidad Ayacucho



## Anexo B

### Cargas proyectadas de los alimentadores

#### Proyección de carga alimentador A4001

Name	Alimentador	P	Pow.Fact. ind.	Scaling Factor(Fs)	P*Fs	Potencia año 3 (MW)
		MW			MW	
E400003	A4001	0,392	0,96	0,4189	0,164	0,442
E400004	A4001	0,123	0,96	0,4189	0,051	0,138
E400005	A4001	0,123	0,96	0,4189	0,051	0,138
E400006	A4001	0,353	0,96	0,4189	0,148	0,398
E400007	A4001	0,353	0,96	0,4189	0,148	0,398
E400008	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400009	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400010	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400011	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E400012	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400013	A4001	0,368	0,96	0,4189	0,154	0,415
E400014	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400015	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E400016	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E400017	A4001	0,044	0,96	0,4189	0,018	0,050
E400018	A4001	0,088	0,96	0,4189	0,037	0,099
E400019	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400020	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E400021	A4001	0,044	0,96	0,4189	0,018	0,050
E400022	A4001	0,074	0,96	0,4189	0,031	0,083
E400023	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400024	A4001	0,043	0,96	0,4189	0,018	0,048
E400025	A4001	0,078	0,96	0,4189	0,033	0,088
E400026	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E400027	A4001	0,074	0,96	0,4189	0,031	0,083
E400028	A4001	0,015	0,96	0,4189	0,006	0,017
E400029	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E400030	A4001	0,025	0,96	0,4189	0,010	0,028
E400032	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400033	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E400034	A4001	0,025	0,96	0,4189	0,010	0,028
E400036	A4001	0,015	0,96	0,4189	0,006	0,017
E400037	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400039	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400041	A4001	0,078	0,96	0,4189	0,033	0,088
E400042	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E400043	A4001	0,064	0,96	0,4189	0,027	0,072
E400092	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E400108	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E400113	A4001	0,078	0,96	0,4189	0,033	0,088

E400130	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E400131	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E400132	A4001	0,078	0,96	0,4189	0,033	0,088
E400133	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400134	A4001	0,110	0,96	0,4189	0,046	0,124
E400135	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400136	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E400137	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E400138	A4001	0,078	0,96	0,4189	0,033	0,088
E400432	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E400823	A4001	0,064	0,96	0,4189	0,027	0,072
E400825	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400826	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400827	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400828	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400829	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400830	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400831	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400832	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400833	A4001	0,044	0,96	0,4189	0,018	0,050
E400834	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400835	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400836	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400837	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400838	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400839	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400840	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400841	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400842	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400843	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400844	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400845	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400846	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400847	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400848	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400849	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400850	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400851	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400852	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400853	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400854	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400855	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400856	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400857	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400858	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400859	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400860	A4001	0,029	0,96	0,4189	0,012	0,033

E400861	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400862	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400863	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400864	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400865	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400866	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400867	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400868	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400869	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400870	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400871	A4001	0,015	0,96	0,4189	0,006	0,017
E400872	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400873	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400874	A4001	0,015	0,96	0,4189	0,006	0,017
E400875	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400876	A4001	0,015	0,96	0,4189	0,006	0,017
E400877	A4001	0,015	0,96	0,4189	0,006	0,017
E400878	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400879	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400880	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400881	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400882	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400883	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400884	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400885	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400886	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400887	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400888	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E400889	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E400890	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E400891	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401070	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401071	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401072	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401073	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401074	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401075	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401076	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401077	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401084	A4001	0,005	0,96	0,4189	0,002	0,006
E401163	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401167	A4001	0,015	0,96	0,4189	0,006	0,017
E401168	A4001	0,025	0,96	0,4189	0,010	0,028
E401169	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401170	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E401171	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401172	A4001	0,025	0,96	0,4189	0,010	0,028

E401244	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E401245	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E401246	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401247	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401248	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401251	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401252	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E401253	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401254	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E401328	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401608	A4001	0,392	0,96	0,4189	0,164	0,442
E401706	A4001	0,074	0,96	0,4189	0,031	0,083
E401707	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E401708	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E401709	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E401710	A4001	0,074	0,96	0,4189	0,031	0,083
E401711	A4001	0,074	0,96	0,4189	0,031	0,083
E401715	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E401934	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E401966	A4001	0,245	0,96	0,4189	0,103	0,276
E401967	A4001	0,245	0,96	0,4189	0,103	0,276
E401970	A4001	0,245	0,96	0,4189	0,103	0,276
E401973	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E401982	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E434022	A4001	0,010	0,96	0,4189	0,004	0,011
E434065	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E434125	A4001	0,245	0,96	0,4189	0,103	0,276
E434273	A4001	0,074	0,96	0,4189	0,031	0,083
E434275	A4001	0,025	0,96	0,4189	0,010	0,028
E434343	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E434344	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E434345	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E434346	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E434347	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E434348	A4001	0,037	0,96	0,4189	0,015	0,041
E434349	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E434350	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E434351	A4001	0,098	0,96	0,4189	0,041	0,111
E434352	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E434358	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E435577	A4001	0,049	0,96	0,4189	0,021	0,055
E435578	A4001	0,157	0,96	0,4189	0,066	0,177
E435579	A4001	0,074	0,96	0,4189	0,031	0,083
E435592	A4001	0,025	0,96	0,4189	0,010	0,028
Potencia total A4001		10,369	0,96	0,4189	4,344	11,697

## Anexo C

### Pagos por compensación

#### ANEXO C

<u>Etiquetas de fila</u>	<u>Suma de Monto Compensación</u>	<u>UUNN</u>	<u>Comp US \$</u>
Ayacucho	8393,921	Ayacucho	8393,921
Huancayo	2445,5748	Huancayo	2445,5748
Huánuco	3080,8196	Huánuco	3080,8196
Pasco	82,9646	Pasco	82,9646
Selva Central	2531,7697	Selva Central	2531,7697
Tarma	538,5543	Tarma	538,5543
Tingo María	1016,2576	Tingo María	1016,2576
<b>Total general</b>	<b>18089,8616</b>	<b>ELC</b>	<b>18089,8616</b>