



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**ESTUDIO DE REGULADORES PARA MANTENER EL NIVEL DE VOLTAJE EN  
UN RANGO DE OPERACIÓN QUE DEMANDA LA CARGA (13.2KV) COMO  
MÍNIMO Y MÁXIMO (13.8KV) A LA ALIMENTADORA (INTERAGUA-SAN JUAN)**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: NÉSTOR ORLANDO GARCÍA MEJILLONES

JOHNNY RICARDO BORBOR ANASTACIO

TUTOR: ING. OTTO WASHINGTON ASTUDILLO ASTUDILLO, MSC

Guayaquil-Ecuador

2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Néstor Orlando García Mejillones con documento de identificación N° 0958057036 y Johnny Ricardo Borbor Anastacio con documento de identificación N° 0955315429; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Néstor Orlando García Mejillones  
0958057036



---

Johnny Ricardo Borbor Anastacio  
0955315429

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Néstor Orlando García Mejillones con documento de identificación No. 0958057036 y Johnny Ricardo Borbor Anastacio con documento de identificación No. 0955315429, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Estudio De Reguladores Para Mantener El Nivel De Voltaje En Un Rango De Operación Que Demanda La Carga (13.2kV) Como Mínimo Y Máximo (13.8kV) A La Alimentadora (Interagua-San Juan)”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Néstor Orlando García Mejillones  
0958057036



---

Johnny Ricardo Borbor Anastacio  
0955315429

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Otto Washington Astudillo Astudillo, con documento de identificación N° 0102054871, docente de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE REGULADORES PARA MANTENER EL NIVEL DE VOLTAJE EN UN RANGO DE OPERACIÓN QUE DEMANDA LA CARGA (13.2KV) COMO MÍNIMO Y MÁXIMO (13.8KV) A LA ALIMENTADORA (INTERAGUA-SAN JUAN), realizado por Néstor Orlando García Mejillones con documento de identificación N° 0958057036 y por Johnny Ricardo Borbor Anastacio con documento de identificación N° 0955315429, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Otto WA', with a long horizontal stroke extending to the right.

---

Ing. Otto Washington Astudillo Astudillo, MSc  
0102054871

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, dedico mi tesis de grado a Dios por haberme dado esa fortaleza mental, madurez y responsabilidad durante mi vida estudiantil, a mis queridos padres Jessica Mejillones Sacoto y Walter García Yagual, a mis hermanos Jarny García Mejillones y Cielo García Mejillones; También a mis abuelos Maternos Teresa Sacoto y Víctor Mejillones, al resto de mis familiares que aportaron en mi un granito de conocimiento, consejos y herramientas que me sirvieron para formarme como profesional.

Finalmente, a mí mismo, por no rendirme en todos estos años, haber dedicado esfuerzo, constancia y siempre perseverar por alcanzar la meta que en este caso es el título de Ingeniero.

Néstor Orlando García Mejillones  
0958057036

Este logro está dedicado a Dios, mi guía y mi fuente de fortaleza a lo largo de mi carrera académica. Agradezco sinceramente su constante amor y apoyo, elementos que han sido fundamentales en mi camino hacia este logro. Dedico este logro con profunda gratitud y humildad, como testimonio del esfuerzo y la dedicación que he invertido en mí mismo, a mi querida madre, Katty Alexandra Borbor Anastacio, por su amor incondicional, su constante apoyo y su ejemplo de perseverancia. Su presencia ha sido una luz en mi camino y su influencia ha sido decisiva en mi éxito académico. Aunque mi abuela, Angélica Simona Borbor Cayetano, ya no esté básicamente conmigo, le rindo homenaje y le agradezco por su legado de bondad, fortaleza y valores, que siempre permanecerán vivos en mi corazón y en mi vida. Este logro es un tributo a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida. Que este trabajo sea un reflejo de mi gratitud eterna hacia ellos y hacia Dios.

Johnny Ricardo Borbor Anastacio  
0955315429

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado y cuidado en mi vida universitaria, por siempre haberme tenido presente, nunca me falló en todo lo que le pedí orando, que esas pruebas que me envió vinieron con cambios de mentalidad y desarrollo personal. A mis padres Jessica Mejillones Sacoto y Walter García Yagual por su incondicional amor, paciencia, consejos, apoyo económico y moral, ambos aportaron y sumaron cualidades en mi ser las cuales me hace diferente al resto.

A mi querida abuela materna que siempre cuidó de mis hermanos y de mí en nuestra niñez y nos enseñó a valorar el esfuerzo y sacrificio de nuestros padres, gracias a sus oraciones y bendiciones que siempre me daba antes de partir de casa.

También a Magdalena Ortega y a su mamá que me prestaron un cuartito donde pude acomodarme y sentir bien en esta etapa universitaria, donde compartí muchas veces alimento con ellas, me ayudó a conocer guayaquil, me hizo sentir bienvenido y uno más de la familia.

Finalmente, a Marileysys Reyes que fue mi compañera de aventura y me ayudaba a salir de la rutina, alguien con que pude compartir muchas cosas, esperando también el día en que este por terminar su etapa universitaria.

Néstor García Mejillones

0958057036

En primer lugar, quisiera expresar mi profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza durante todo este proceso de formación académica. Agradezco su invaluable don de salud, sabiduría, paciencia y responsabilidad, elementos fundamentales que han sido claves en mi desarrollo como estudiante y en la realización de este proyecto. De forma especial agradezco a dos personas que han sido pilares fundamentales en mi vida: mi querida madre, Katty Alexandra Borbor Anastacio, cuyo amor incondicional, apoyo constante y ejemplo de perseverancia han sido un faro en mi camino. También a mi querida abuela, Angélica Simona Borbor Cayetano, quien, si bien ya no está esencialmente conmigo, su legado de bondad, fortaleza y valores siempre perdurará en mi corazón y en mi vida.

Johnny Ricardo Borbor Anastacio

0955315429

## RESUMEN

La expansión de la población y las nuevas instalaciones de empresas ocasionan cargas adicionales aguas abajo en las líneas de distribución, generando un impacto significativo en varios aspectos del sistema eléctrico de potencia, y es esencial que los planificadores y operadores del sistema gestionen adecuadamente estas cargas para garantizar un suministro eléctrico seguro, confiable y eficiente.

El análisis involucra la necesidad urgente de abordar los problemas de sobrevoltaje en el alimentador Interagua, que tiene un recorrido de 9.12km y 0.3km con cables trifásico 4/0 AWG ACAR ( $\varnothing$  13.23mm) y un neutro 1/0 AWG ACAR ( $\varnothing$  9.36mm) ; Este alimentador está ubicado en la provincia del Guayas en la parroquia Juan Gómez Rendon también conocida como Progreso; La creciente demanda en la S/E San Lorenzo del Mate ha generado la necesidad de soluciones técnicas y operativas para gestionar eficientemente las cargas y garantizar la estabilidad del voltaje, evitando así interrupciones del servicio de esta u de otras empresas.

Mediante la recopilación de datos a través de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) se realiza el diagrama unifilar en ETAP desde el punto de conexión en la Subestación Posorja-Transelectric hasta la Subestación San Lorenzo del Mate, con el objetivo de realizar el flujo de potencia que me permita visualizar el comportamiento del voltaje en sus 4 alimentadoras con sus respectivas cargas máximas, una vez realizado el flujo de potencia y comprobar el problema de sobrevoltaje, se realiza el dimensionamiento del banco regulador. Dependiendo de la capacidad en KVA se selecciona el banco regulador consultando el catálogo correspondiente, asimismo se corre la simulación con el banco regulador en ETAP (Voltage Regulator) con el propósito de reducir los niveles de voltaje en el alimentador Interagua.

Los tres escenarios de simulación revelan la importancia crítica de mantener el voltaje dentro de los límites aceptables para garantizar su confiabilidad. El voltaje estándar de 69KV muestra problemas de baja tensión en algunos alimentadores, el aumento a 71.5KV genera preocupaciones adicionales, especialmente en el alimentador Interagua. Incluso con un voltaje mínimo de 67KV ciertos alimentadores demuestran una operación menos eficiente, destacando que sea necesario el uso del banco regulador de voltaje ayudando a mantener la estabilidad del sistema eléctrico.

## ABSTRACT

Population expansion and new business installations cause additional downstream loads on distribution lines, generating a significant impact on various aspects of the electric power system, and it is essential that system planners and operators adequately manage these loads to guarantee a safe, reliable and efficient electricity supply.

The analysis involves the urgent need to address overvoltage problems in the Interagua feeder, which has a route of 9.12km and 0.3km with three-phase 4/0 AWG ACAR cables ( $\varnothing$  13.23mm) and a 1/0 AWG ACAR neutral ( $\varnothing$  9.36mm); This feeder is located in the province of Guayas in the Juan Gómez Rendon parish also known as Progreso; The growing demand at S/E San Lorenzo del Mate has generated the need for technical and operational solutions to efficiently manage loads and guarantee voltage stability, thus avoiding interruptions of the service of this or other companies.

By collecting data through the National Electricity Corporation (CNEL), the single-line diagram is created in ETAP from the connection point at the Posorja-Transelectric Substation to the San Lorenzo del Mate Substation, with the aim of realizing the flow of power that allows me to visualize the behavior of the voltage in its 4 feeders with their respective maximum loads, once the power flow has been carried out and the overvoltage problem has been verified, the sizing of the regulator bank is carried out. Depending on the capacity in KVA, the regulator bank is selected by consulting the corresponding catalog. Likewise, the simulation is run with the regulator bank in ETAP (Voltage Regulator) with the purpose of reducing the voltage levels in the Interagua feeder.

The three simulation scenarios reveal the critical importance of maintaining the voltage within acceptable limits to ensure its reliability. The standard voltage of 69KV shows undervoltage problems on some feeders, increasing to 71.5KV raises additional concerns, especially on the feeder. Interagua. Even with a minimum voltage of 67KV, certain feeders demonstrate less efficient operation, highlighting the need to use the voltage regulator bank to help maintain the stability of the electrical system.



## INDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....</b>	<b>iii</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS:.....</b>	<b>3</b>
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
<b>2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Sistemas eléctricos de potencia .....</b>	<b>4</b>
Sistema de distribución primario (MT): .....	4
Sistema de distribución secundario (BT):.....	4
<b>2.2 En función a los niveles de voltaje: .....</b>	<b>5</b>
Subestaciones elevadoras:.....	5
Subestaciones reductoras: .....	5
<b>2.3 Topologías de sistemas de distribución.....</b>	<b>5</b>
2.3.1 Sistema Radial .....	6
2.3.2 Sistema Anillo.....	6
2.3.3 Sistema red o malla.....	7
<b>2.4 Calidad de energía en el sistema de distribución.....</b>	<b>8</b>
2.4.1 Variaciones de tensión .....	8
2.4.2 Interrupciones .....	8
2.4.3 Armónicos.....	8
2.4.4 Desbalances de fase .....	9
2.4.5 Variaciones de frecuencia .....	9
<b>2.5 Equipos de regulación de voltaje y compensación de reactivos. ....</b>	<b>9</b>
<b>2.6 Teoría Básica del Regulador de Voltaje .....</b>	<b>10</b>
2.6.1 Propósito principal.....	10

2.6.2	Beneficios secundarios.....	10
2.6.3	Métodos de Regulación.....	10
<b>2.7</b>	<b>Conexiones para reguladores de voltaje.....</b>	<b>11</b>
•	La conexión estrella (Y) .....	11
•	La conexión delta abierto (<).....	12
•	La conexión delta cerrado ( $\Delta$ ) .....	12
	Voltaje de ajuste:.....	13
	Ancho de banda: .....	13
	Tiempo de retardo: .....	13
<b>2.8</b>	<b>Tipos de Reguladores de voltaje [12] .....</b>	<b>13</b>
2.8.1	Reguladores multifásicos montados en base.....	13
2.8.2	Reguladores monofásicos de 32 pasos.....	14
2.8.3	Reguladores monofásicos en base .....	14
<b>2.9</b>	<b>Partes de un regulador de voltaje .....</b>	<b>14</b>
	Autotransformador:.....	14
	Cambiador de tomas de carga: .....	14
	Control del regulador de voltaje: .....	15
<b>2.10</b>	<b>Reguladores de voltaje: Tamaño y tipo .....</b>	<b>15</b>
2.10.1	Reguladores ANSI Tipo A: .....	15
2.10.2	Reguladores ANSI Tipo B: .....	16
<b>2.11</b>	<b>Software para la simulación ETAP 19.0.1 .....</b>	<b>17</b>
	Análisis de flujo de carga:.....	17
	Análisis de cortocircuito: .....	17
	Coordinación de protecciones:.....	17
	Estudios de estabilidad:.....	17
	Diseño y análisis de proyectos:.....	17
	Análisis de reguladores: .....	17
<b>3</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Datos obtenidos de CNEL EP.....</b>	<b>20</b>
3.1.1	Datos del transformador de potencia .....	21
3.1.2	Datos del alimentador Interagua .....	21
<b>3.2</b>	<b>Modelado e ingreso de datos en el software ETAP.....</b>	<b>22</b>
3.2.1	Cálculo de las variables .....	25
3.2.2	Cálculo de las variables del transformador .....	29
3.2.2.1	Transformador de Potencia (Prueba a vacío) .....	29
3.2.2.2	Resistencia (Impedancia Real) .....	30
3.2.2.3	Reactancia inductiva (Impedancia compleja).....	30
3.2.2.4	Relación Reactancia-Resistencia (X/R).....	31
3.2.2.5	Relación Resistencia-Reactancia (R/X).....	31
3.2.2.6	Porcentaje de Reactancia (% X) .....	31
3.2.2.7	Porcentaje de Resistencia (%R).....	31

3.2.3	Cálculo de las variables del transformador de Interagua .....	44
3.2.3.1	Resistencia (Impedancia Real) .....	44
3.2.3.2	Reactancia inductiva (Impedancia Compleja) .....	44
3.2.3.3	Relación Reactancia-Resistencia (X/R).....	45
3.2.3.4	Relación Resistencia-Reactancia (R/X).....	45
3.2.3.5	Porcentaje de Reactancia (%X) .....	45
3.2.3.6	Porcentaje de Resistencia (%R).....	45
3.2.4	Cálculo de cortocircuito del Bus 3 para Garantizar la Adecuación de Equipamiento al Banco Regulador.....	46
3.2.4.1	Impedancia base referida a 69KV .....	46
3.2.4.2	Corriente base referida a 69KV .....	46
3.2.4.3	Corriente base referida a 13.8KV .....	46
3.2.4.4	Impedancia de la fuente en por unidad .....	46
3.2.4.5	Impedancias del Transformador de 10 MVA .....	47
3.2.4.6	Impedancia de la línea de distribución de 9.12KM .....	47
3.2.4.7	Impedancia de la línea de distribución de 0.3 KM .....	47
3.2.4.8	Impedancias del Transformador de la empresa Interagua .....	48
3.2.4.9	Cálculo de cortocircuito.....	48
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Simulación, pruebas y resultados del sistema de distribución .....</b>	<b>49</b>
4.1.1	Simulación con Voltaje Estándar (69KV) .....	50
4.1.2	Resultados de la Prueba con Voltaje Estándar (69KV) .....	51
4.1.3	Simulación con Voltaje Máximo de Operación (71.5KV) .....	52
4.1.4	Resultados de la Prueba con Voltaje Máximo de Operación (71.5KV) .....	53
4.1.5	Simulación con Voltaje Mínimo de Operación (67KV) .....	54
4.1.6	Resultados de la Prueba con Voltaje Mínimo de Operación (67KV).....	55
<b>4.2</b>	<b>Dimensionamiento de Banco Regulador para Alimentadora de Interagua.....</b>	<b>56</b>
4.2.1	Banco regulador de voltaje con demanda de 1MVA .....	56
<b>4.3</b>	<b>Simulación con Banco Regulador .....</b>	<b>57</b>
4.3.1	Simulación Aplicando Banco Regulador con Voltaje Máximo (71.5KV) .....	58
4.3.2	Resultados Aplicando Banco Regulador con Voltaje Máximo (71.5KV) .....	60
4.3.3	Simulación Aplicando Banco Regulador con Voltaje Mínimo (67KV).....	61
4.3.4	Resultados Aplicando Banco Regulador con Voltaje Mínimo 67KV .....	62
4.3.5	Prueba de Cortocircuito en el Punto de Conexión del Banco Regulador .....	63
4.3.6	Corriente de cortocircuito del banco regulador .....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN .....	3
FIGURA 2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA .....	5
FIGURA 3. RED RADIAL .....	6
FIGURA 4. RED ANILLO .....	6
FIGURA 5. RED MALLA .....	7
FIGURA 6. ESQUEMA BÁSICO DE UN REGULADOR DE VOLTAJE .....	10
FIGURA 7. CONEXIÓN EN ESTRELLA .....	12
FIGURA 8. CONEXIÓN EN DELTA ABIERTO. ....	12
FIGURA 9. CONEXIÓN EN DELTA CERRADO .....	12
FIGURA 10. AJUSTES BÁSICOS DEL CONTROL .....	13
FIGURA 11. REGULADORES ANSI: TIPO A Y TIPO B .....	16
FIGURA 12. DIAGRAMA UNIFILAR DE S/E TRANSELECTRIC POSORJA .....	19
FIGURA 13. POWERS GRIDS PARA EL SISTEMA .....	22
FIGURA 14. VOLTAJE MÁXIMO DE OPERACIÓN .....	23
FIGURA 15. VOLTAJE MÍNIMO DE OPERACIÓN .....	23
FIGURA 16. DATOS DE CORTOCIRCUITO DEL SISTEMA .....	24
FIGURA 17. VOLTAJE DE FASE DE LA BARRA 69KV .....	26
FIGURA 18. TRANSFORMADOR REDUCTOR DE LA S/E SAN LORENZO DEL MATE .....	27
FIGURA 19. IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR DE LA S/E .....	28
FIGURA 20. CONFIGURACIÓN ESTRELLA-DELTA DEL TRANSFORMADOR ..	28
FIGURA 21. TRANSFORMADOR DE POTENCIA .....	29
FIGURA 22. TRIÁNGULO DE POTENCIA .....	30
FIGURA 23. BUS O BARRA 13.8KV .....	32
FIGURA 24. VOLTAJE DE FASE DE LA BARRA 13.8KV .....	32
FIGURA 25. BIBLIOTECAS DE LÍNEAS AÉREAS .....	33
FIGURA 26. ALIMENTADOR INTERAGUA .....	34
FIGURA 27. LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN ALIMENTADOR (INTERAGUA-SAN JUAN) .....	35
FIGURA 28. CONFIGURACIÓN DEL TIPO DE POSTE .....	36
FIGURA 29. IMPEDANCIA DE LA LÍNEA 9.12KM .....	37
FIGURA 30. BARRA DE INGRESO INTERAGUA .....	38
FIGURA 31. VOLTAJE DE FASE DE LA BARRA 13.2KV .....	38
FIGURA 32. LÍNEA DE LLEGADA A LA EMPRESA INTERAGUA .....	39
FIGURA 33. BUS O BARRA 13.2KV .....	40
FIGURA 34. VOLTAJE DE FASE DE LA BARRA 13.2KV .....	40
FIGURA 35. TRANSFORMADOR DE LA EMPRESA INTERAGUA .....	41
FIGURA 36. IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR DE INTERAGUA .....	42
FIGURA 37. CONFIGURACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE INTERAGUA .....	43
FIGURA 38. TRANSFORMADOR DE POTENCIA .....	44
FIGURA 39. TRIÁNGULO DE POTENCIA .....	45
FIGURA 40. SIMULACIÓN EN CONDICIONES NORMALES 69KV .....	50
FIGURA 41. RESULTADOS CON VOLTAJE ESTÁNDAR 69KV .....	51

<b>FIGURA 42. SIMULACIÓN CON VOLTAJE MÁXIMO 67KV .....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 43. RESULTADOS CON VOLTAJE MÁXIMO 69KV .....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 44. SIMULACIÓN CON VOLTAJE MÍNIMO 67KV .....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 45. RESULTADOS CON VOLTAJE MÍNIMO 67KV.....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 46.BANCO REGULADOR DE ETAP .....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 47. CATÁLOGO DE BANCO REGULADOR.....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 48. REGULADOR DE VOLTAJE.....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 49. BANCO REGULADOR CON VOLTAJE MÁXIMO 67KV .....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 50. RESULTADOS DE BANCO REGULADOR CON VOLTAJE 71.5KV ...</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 51. SIMULACIÓN CON VOLTAJE MÍNIMO 67KV .....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 52.RESULTADOS BANCO REGULADOR CON VOLTAJE MÍNIMO 67KV .....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 53. PRUEBA DE CORTOCIRCUITO EN LA BARRA 3.....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 54. SUBESTACIÓN SAN LORENZO DEL MATE .....</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 55. ANALIZADOR DE REDES ION7550/ION7650.....</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 56. RECONECTADOR DE LA EMPRESA INTERAGUA.....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 57. REGISTRO MENSUAL DE LA CARGA ACTIVA Y REACTIVA DE LA EMPRESA INTERAGUA .....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 58. RECORRIDO DEL ALIMENTADOR INTERAGUA 9.12KM.....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 59. ESTRUCTURA DEL POSTE .....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 60. CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR DE INTERAGUA.....</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 61. PROYECTO FINAL .....</b>	<b>72</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1. NIVELES DE TENSIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>TABLA 2. DATOS DE LA S/E SAN LORENZO DEL MATE .....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 3. DATOS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA .....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 4. DATOS DEL ALIMENTADOR INTERAGUA.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 5.CARGAS DE LOS ALIMENTADORES .....</b>	<b>49</b>

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de distribución en media tensión es una parte crucial de la infraestructura eléctrica que se encarga de llevar la electricidad de manera segura y eficiente desde las subestaciones de transformación hasta los usuarios finales: hogares, empresas e industrias; contribuyendo al suministro de energía eléctrica en áreas urbanas y rurales.

Una subestación transformadora es una instalación con máquinas capaces de variar los parámetros de la potencia eléctrica: voltaje, corriente y frecuencia; con el fin de determinar niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Los consumidores son cada vez más exigentes con los recursos y fiabilidad en el suministro de energía, de igual importancia las regulaciones son precisas y a la vez penalizan las interrupciones de servicio como lo podemos observar a través de la regulación 004/01 determinado por la entidad de regulación del sector eléctrico ecuatoriano (CONELEC)[1].

Por otro lado, las interrupciones en redes eléctricas de transmisión suelen derivarse por problemas de tensión, como sobrecargas, desbalances de cargas, fallas en equipos o falta de potencia reactiva. En el caso de la empresa Interagua, enfrentan problemas de sobrevoltaje debido a desconexiones de cargas de empresas cercanas; el sistema de regulación de Transelectric Posorja no corrige el voltaje debido a la interconexión de subestaciones, por lo que se recomienda la utilización de equipos de regulación de voltaje [2].

### **1.1 PROBLEMA**

El problema específico en este caso es el sobrevoltaje en la alimentadora Interagua, originado por el aumento de la demanda en la Subestación San Lorenzo del Mate. Este problema surge debido a la carga saliente excesiva generada por proyectos de alto consumo como: camaroneras, haciendas y empresas, conectados a los alimentadores San Juan, Progreso, Interagua y Sabana Grande. Cuando estas cargas salientes son significativamente elevadas, provocan una caída de carga excesiva en el sistema eléctrico de la empresa Interagua, lo que resulta en una elevación del voltaje desde el nivel nominal 13.8KV hasta niveles críticos de 14.5KV.

Esta elevación del voltaje activa las protecciones de la red, provocando el disparo del reconectador de la empresa dejándolo fuera de servicio. La solución temporal actual, implica el uso de un generador diésel, lo cual no garantiza eficiencia a largo plazo, emite contaminantes y sus costos de mantenimiento son elevados, además puede comprometer la integridad y vida útil de los equipos conectados al sistema.

Estudiar el problema de sobrevoltaje en la empresa Interagua, es de gran importancia por varias razones: el sobrevoltaje puede comprometer la integridad y la vida útil de los equipos eléctricos y electrónicos conectados al sistema. La desconexión recurrente de la empresa debido a las protecciones activadas por sobrevoltaje afecta la continuidad del servicio eléctrico. Abordar este problema es esencial para garantizar un suministro confiable de energía y evitar sanciones por parte de la entidad encargada de la regulación del sector eléctrico en el país ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad).

La generación diésel utilizada como solución temporal conlleva a costos operativos y de mantenimiento elevados, así como emisiones contaminantes. Resolver el problema de sobrevoltaje puede reducir la dependencia de soluciones costosas y menos eficientes.

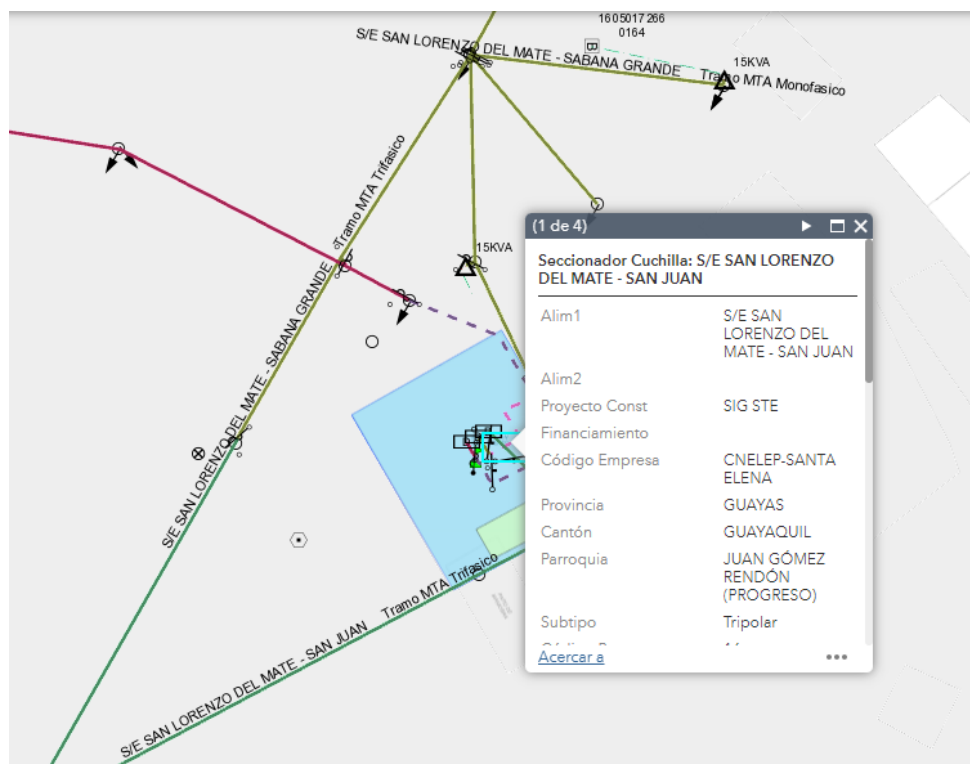
En el presente trabajo se busca contribuir a la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico con los principios de desarrollo sostenible, promoviendo la gestión responsable de los recursos y la reducción de impactos ambientales negativos.

El beneficiario principal sería CELEC-EP ya que obtiene una mejor coordinación de sus equipos evitando pérdidas importantes para la distribución de energía eléctrica, otro beneficiario principal podría ser CNEL-EP UNIDAD DE NEGOCIO SANTA ELENA ya que obtiene buena reputación por la calidad del servicio y venta de energía.

Los beneficiarios secundarios serían los usuarios que están conectados al sistema eléctrico (empresa Interagua presentaba un sobrevoltaje). Además, que disminuye el uso de su generador permitiendo que la vida útil de sus equipos se extienda.

La localización del alimentador de la empresa Interagua se encuentra en la Subestación San Lorenzo del Mate, específicamente en el cantón Guayaquil, provincia del Guayas, en la parroquia Juan Gómez Rendon conocida también como (Progreso). Sus coordenadas son X:579696; Y:9728009. La simulación para dimensionar el banco regulador de voltaje se realizará mediante el programa ETAP versión 19.0.1.





*Figura 1. Ubicación de la subestación*

*Fuente: Geoportal CNEL EP*

## 1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS:

### Objetivo General:

- Mantener el nivel de voltaje en un rango de operación normalizado, mediante reguladores de voltaje, que demanda la carga (13.2KV) mínimo y máximo (13.8KV).

### Objetivos Específicos:

- Adquirir levantamiento de información de la línea de distribución (13.8KV) a través de datos de CNEL-EP (UNIDAD DE NEGOCIO SANTA ELENA), utilizada para alimentar la carga (Interagua) para simulación de la red eléctrica.
- Realizar el estudio de cortocircuito en el sitio de instalación del banco regulador de voltaje, utilizando el software ETAP.
- Seleccionar el nuevo banco regulador de voltaje, mediante el dimensionamiento del equipo para la operación adecuada de la red.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Sistemas eléctricos de potencia

Un sistema eléctrico de potencia o “SEP” se compone de elementos como: transformadores, interruptores, conductores, torres de transmisión, aisladores y postes. Su función es transportar y distribuir energía eléctrica a grandes distancias desde las fuentes de generación hasta los puntos de consumo. Es necesario aumentar el voltaje en los conductores y reducir la intensidad de la corriente eléctrica, lo que disminuye las pérdidas por efecto joule en el sistema [3].

El sistema de distribución es la parte del SEP que permite llegar al cliente final (consumidor) a un nivel de voltaje acorde al servicio requerido (alta, media o baja tensión).

Niveles de tensión (voltaje)	
BT	Voltaje $\leq 0.6\text{KV}$
MT	$0.6\text{KV} \leq \text{Voltaje} \leq 40\text{KV}$
AT G#1	$40\text{KV} \leq \text{Voltaje} \leq 138\text{KV}$
AT G#2	Voltaje $\geq 138\text{KV}$

*Tabla 1. Niveles de tensión*

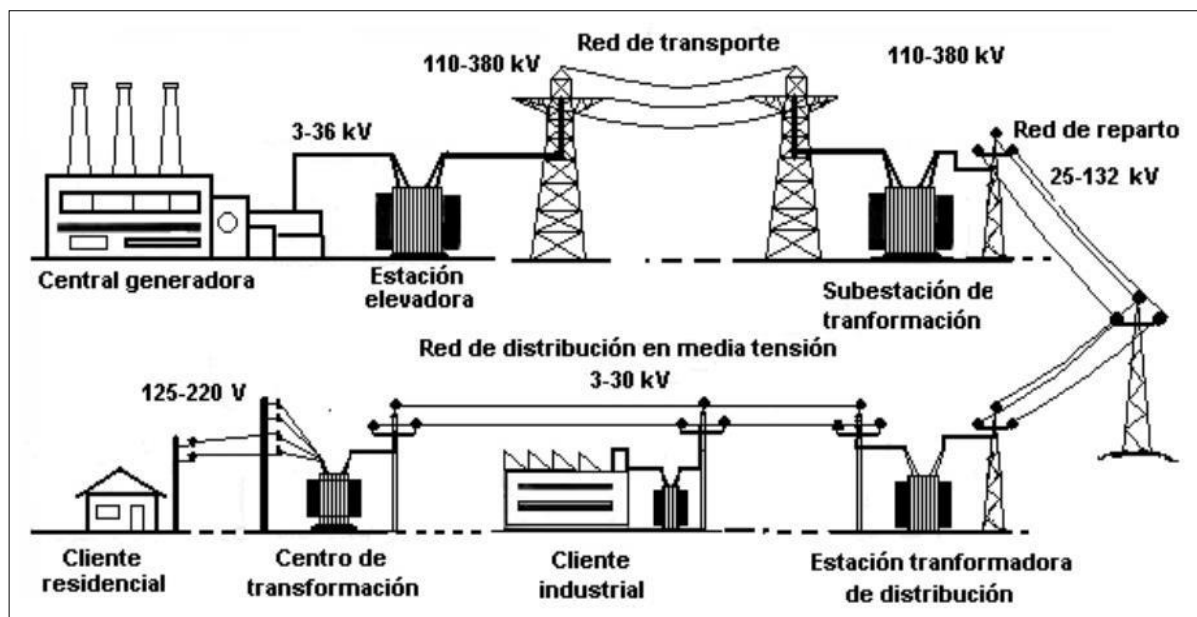
*Fuente: [4]*

**Sistema de distribución primario (MT):** Este sistema se encarga de llevar la electricidad desde las subestaciones hasta áreas más específicas como zonas urbanas o industriales.

**Sistema de distribución secundario (BT):** Este sistema opera a niveles más bajos en comparación con el sistema de distribución primario y tiene la responsabilidad de conectar directamente los consumidores a la red eléctrica.

Un sistema de distribución de energía eléctrica básicamente comprende:

- Las subestaciones de distribución.
- Líneas primarias y alimentadores.
- Transformadores de distribución.
- Redes secundarias, alumbrado público.
- Acometidas y medidores.



*Figura 2. Sistema de distribución eléctrica*

*Fuente:[5]*

## 2.2 En función a los niveles de voltaje:

**Subestaciones elevadoras:** Elevan el nivel de voltaje de energía eléctrica generada en una central eléctrica antes de ser transmitida a largas distancias. Etapa de generación a transmisión (13,8KV/138KV) y (138KV/230KV).

**Subestaciones reductoras:** Reducen el voltaje de la electricidad transmitida desde las líneas de transmisión de alta tensión a niveles más bajos para su distribución y consumo. Transmisión (230KV/69KV)-subtransmisión (230KV/138KV)-distribución (69KV/13.8KV).

## 2.3 Topologías de sistemas de distribución

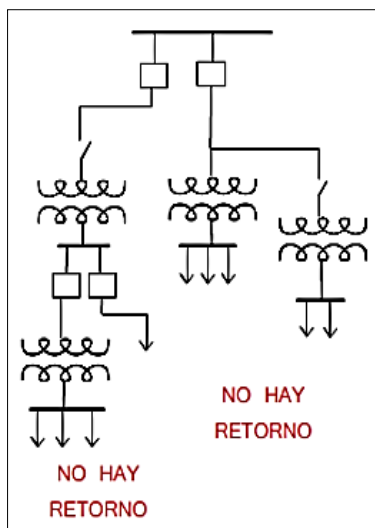
Se refiere a la estructura o disposición física de los componentes en un sistema de distribución eléctrica. Hay varias topologías de sistemas de distribución, y la selección de una en particular depende de diferentes factores, entre ellos, la densidad de carga, la geografía del área de servicio y los costos asociados.

Algunas de las topologías comunes son [6]:

### 2.3.1 Sistema Radial

En un sistema radial, la energía fluye en una dirección desde la subestación de distribución hacia los puntos de carga, lo que significa que no hay múltiples rutas para la corriente entre la fuente y los consumidores. Cada punto de carga se conecta a la red en un solo extremo, creando una estructura en forma de árbol o ramificaciones.

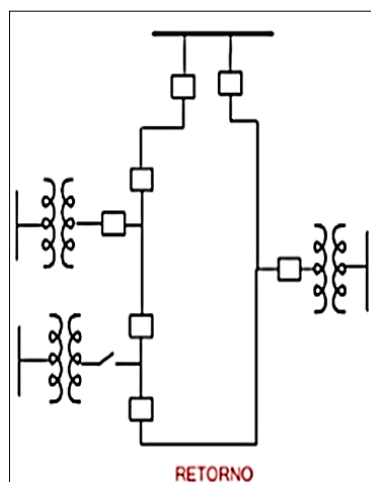
Es simple y fácil de diseñar e implementar, es adecuado para áreas con carga dispersa.



*Figura 3. Red radial*  
*Fuente:[7]*

### 2.3.2 Sistema Anillo

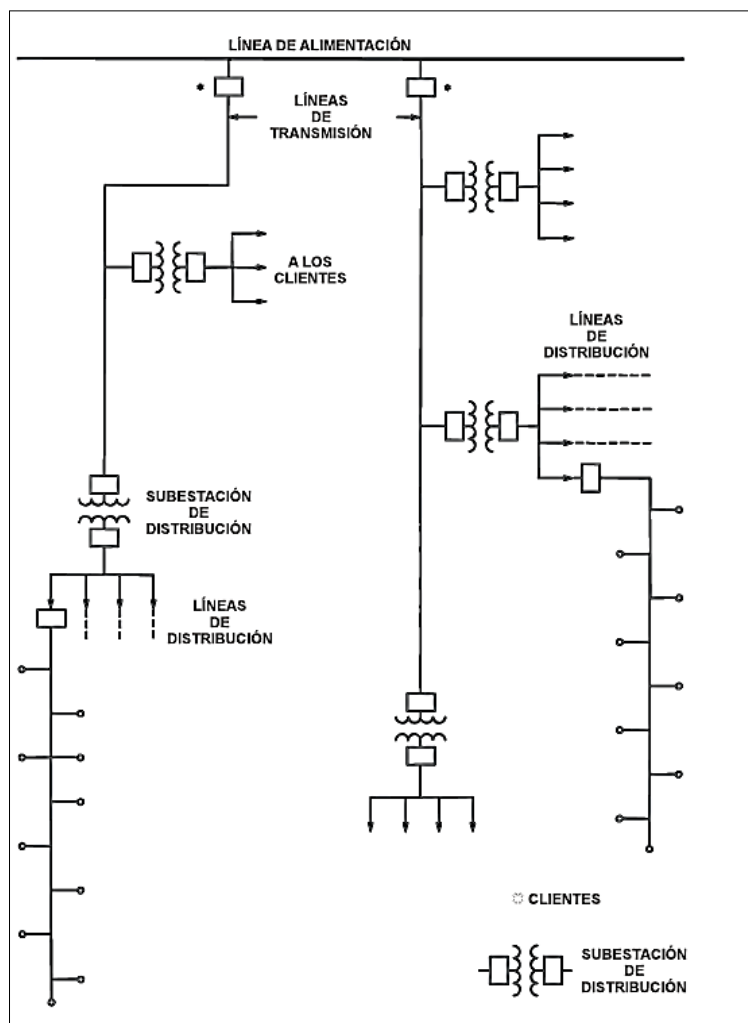
En un sistema anillo, implica un diseño de red donde las líneas forman un bucle cerrado, permitiendo que la electricidad pueda fluir en ambas direcciones alrededor del sistema. Esto proporciona mayor confiabilidad y redundancia, ya que, en caso de falla, la energía puede redirigirse.



*Figura 4.Red anillo*  
*Fuente:[7]*

### 2.3.3 Sistema red o malla

En un sistema red o malla, es un diseño de red interconectado donde cada punto está conectado a múltiples rutas, las líneas de distribución forman una estructura en forma de malla o red. A diferencia de los sistemas radiales, la estructura de malla permite redirigir la electricidad en caso de falla, evitando interrupciones. Esta configuración facilita la expansión y adaptación a cambios en la demanda.



*Figura 5.Red malla*

*Fuente:[7]*

## **2.4 Calidad de energía en el sistema de distribución**

Las empresas de energía se esfuerzan por mantener la calidad del suministro eléctrico debido al aumento en la utilización de dispositivos electrónicos que son susceptibles a las variaciones en la red. Esto se debe a que los dispositivos electrónicos modernos contienen microprocesadores y componentes sensibles. La calidad de la energía se refiere a la condición de la electricidad proporcionada a sistemas y dispositivos eléctricos, asegurando su funcionamiento sin interrupciones ni daños [8].

Es de suma importancia mantener una calidad de energía adecuada, ya que la infraestructura de distribución eléctrica de media tensión alimenta a transformadores y equipos que luego distribuyen la energía a usuarios finales a niveles más bajos de tensión, una electricidad de baja calidad puede tener consecuencias negativas en el rendimiento y la durabilidad de dichos dispositivos.

Algunos de los factores que pueden influir en la calidad de la energía en el sistema de distribución incluyen:

### **2.4.1 Variaciones de tensión**

Las fluctuaciones en la tensión eléctrica, como las sobretensiones y las caídas de tensión, pueden ser causadas por cambios en la carga eléctrica, condiciones climáticas adversas, o problemas en la infraestructura de distribución. Estas variaciones pueden afectar el funcionamiento de los equipos y dispositivos; pueden desviarse en más o menos del 10% con respecto al valor nominal ideal y están influenciadas por factores como el horario, la ubicación, el tipo de carga y las condiciones de la línea eléctrica.

### **2.4.2 Interrupciones**

Las interrupciones en el suministro eléctrico pueden ser causadas por una variedad de factores, como fallas en la red eléctrica, cortocircuitos, tormentas u otros eventos imprevistos. La duración y la frecuencia de las interrupciones pueden variar según la calidad y la fiabilidad del sistema de distribución. En sistemas de media tensión pueden causar apagones en áreas más grandes y afectar a numerosos usuarios. La prevención de interrupciones es esencial para garantizar la continuidad del servicio eléctrico.

### **2.4.3 Armónicos**

Los armónicos son corrientes o tensiones no sinusoidales que pueden generar dispositivos no lineales como convertidores electrónicos de potencia, motores con

variadores de frecuencia, entre otros. Estos armónicos pueden distorsionar la forma de onda de la tensión, afectar la calidad de la energía en el sistema de media tensión y la operación de equipos sensibles.

#### **2.4.4 Desbalances de fase**

Los desbalances de fase ocurren cuando las tensiones en las tres fases del sistema no son iguales, lo que puede afectar a la distribución equitativa de la carga y provocar problemas en la operación de equipos, afectando la eficiencia del sistema.

#### **2.4.5 Variaciones de frecuencia**

Las variaciones en la frecuencia eléctrica pueden ocurrir debido a cambios en la generación o la carga en la red eléctrica. Estas variaciones pueden afectar a los equipos que dependen de una frecuencia constante, como los relojes y algunos equipos industriales.

Para abordar estos problemas y garantizar una buena calidad de energía en el sistema de distribución, las empresas de servicios públicos y los operadores de la red eléctrica implementan medidas como la regulación de tensión, la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones, la monitorización en tiempo real de la red y la implementación de sistemas de respaldo para minimizar las interrupciones. Además, se establecen estándares y regulaciones para mantener la calidad de la energía en niveles aceptables para los consumidores.

### **2.5 Equipos de regulación de voltaje y compensación de reactivos.**

Se disponen de diversas opciones para controlar el voltaje en sistemas de distribución en media tensión. Estas alternativas incluyen la instalación de capacitores, ya sea en configuración serie o paralelo, la utilización de dispositivos de capacitores estáticos ajustables en voltios amperios reactivos (VAR), la implementación de transformadores con capacidad de conmutación en carga, y la utilización de reguladores de tensión que operan mediante pasos [8].

Emplear un regulador es muy común en el lugar de consumo, implica mantener constante la tensión proporcionada por las diversas fuentes de energía para el usuario final. El regulador de voltaje puede ser de tipo escalón y son: El tipo paso a paso, el tipo discreto, ya sea monofásico o trifásico y se utiliza en subestaciones para controlar la tensión en las barras y los alimentadores, garantizando un suministro estable de energía eléctrica a lo largo de la red.

## 2.6 Teoría Básica del Regulador de Voltaje

Un regulador de voltaje es un tipo de autotransformador con la capacidad de ajustar el voltaje de salida mediante taps en uno de sus devanados. Este dispositivo opera automáticamente incluso bajo carga. Por lo general, se utiliza en aplicaciones monofásicas, pero es posible conectarlos con otras unidades para crear un banco trifásico cuando se necesite [9].

### 2.6.1 Propósito principal

- Suministra regulación de voltaje para cumplir con las exigencias de calidad del servicio eléctrico (larga duración).

### 2.6.2 Beneficios secundarios

- Aumenta ingresos
- Disminuye Pérdidas
- Recorte de Picos
- Punto de Medición

### 2.6.3 Métodos de Regulación

- Regulación con transformadores LTC
- Regulación de barra
- Regulación del Alimentador

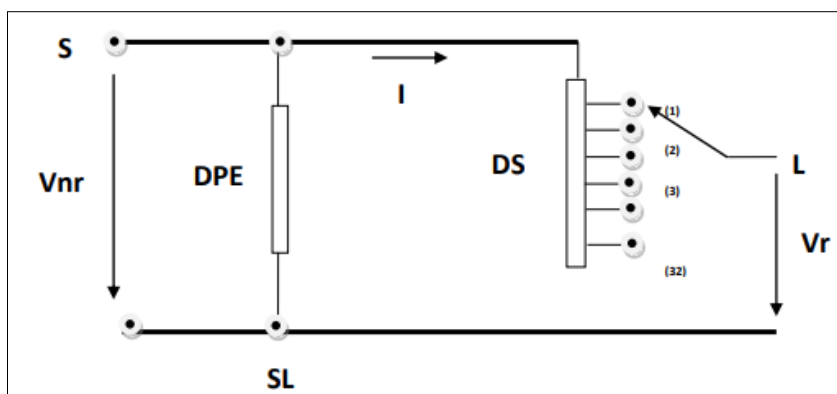


Figura 6. Esquema básico de un regulador de voltaje.

Fuente:[9]



**Donde:**

**V<sub>nr</sub> (Voltaje no regulado):** Es el voltaje en el sistema antes de aplicar cualquier regulación. Este voltaje puede variar según las condiciones de carga y otros factores.

**V<sub>r</sub> (Voltaje regulado):** Representa el voltaje después de aplicar algún tipo de regulación. La regulación se realiza para mantener el voltaje dentro de ciertos límites, independientemente de las variaciones en la carga o en otras condiciones del sistema.

**DS (Devanado Serie):** Es el devanado que se encuentra en serie con la carga. En este caso, se divide en 32 taps de 5/8% cada uno. Los “taps” son puntos de conexión en el devanado serie que permiten ajustar la relación de transformación y, por lo tanto, influir en el voltaje que se suministra a la carga.

**DPE (Devanado Paralelo de Excitación):** Este devanado paralelo está relacionado con la excitación del sistema. La excitación es la corriente necesaria para mantener el campo magnético en el generador o transformador. Ajustar la excitación puede influir en el voltaje de salida, el devanado paralelo de excitación probablemente controla esta variable.

**S (Fuente):** Es la fuente de energía que suministra corriente al sistema.

**L (Carga):** Se refiere a los dispositivos o equipos eléctricos conectados al sistema que consumen energía eléctrica.

**SL (Fuente-Carga):** Se refiere a la relación entre la fuente de energía (S) y la carga (L). La fuente suministra la corriente al sistema y la carga consume esta corriente.

**I (Corriente):** Representa la corriente que circula a través de todo el devanado serie (DS) debido a la carga conectada al sistema. En un sistema eléctrico, el devanado serie suele ser parte de un generador eléctrico o un transformador y la corriente a través de este devanado está influenciada por la carga conectada y es esencial para determinar la respuesta del regulador.

## 2.7 Conexiones para reguladores de voltaje

Existen tres tipos de conexiones en los reguladores de voltaje que se pueden utilizar [10]:

- **La conexión estrella (Y)** es un conjunto de 4 hilos, utilizada en circuitos monofásicos y bifásicos, consta de tres reguladores monofásicos conectados línea a neutro. Cada regulador controla independientemente el voltaje en cada fase, lo que ayuda a equilibrar el voltaje y mantenerlo estable. Se recomienda que, si se usa una conexión estrella en el banco regulador, la fuente también debe estar conectada en estrella para evitar desequilibrios de carga.

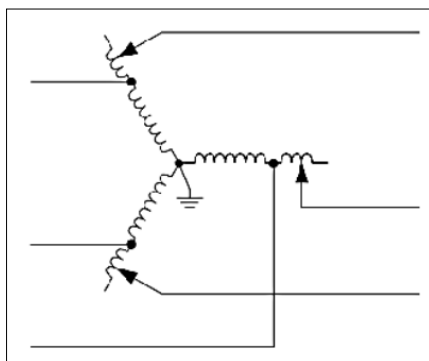


Figura 7. Conexión en estrella

Fuente:[9]

- **La conexión delta abierto (<)** está compuesto por un enlace que requiere la presencia de 2 reguladores monofásicos, cada uno de ellos conectado fase-fase.

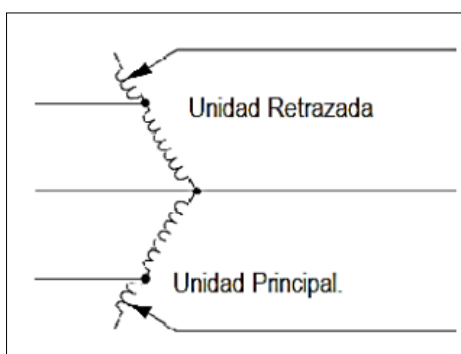


Figura 8. Conexión en delta abierto.

Fuente:[9]

- **La conexión delta cerrado ( $\Delta$ )** es necesario realizar la conexión de 3 reguladores en configuración fase-fase. Al emplear este tipo de conexión, se amplía el rango de regulación en un 50%, pasando de  $\pm 10\%$  a  $\pm 15\%$ .

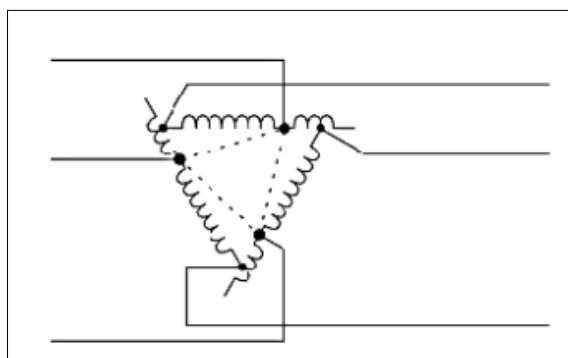


Figura 9. Conexión en delta cerrado

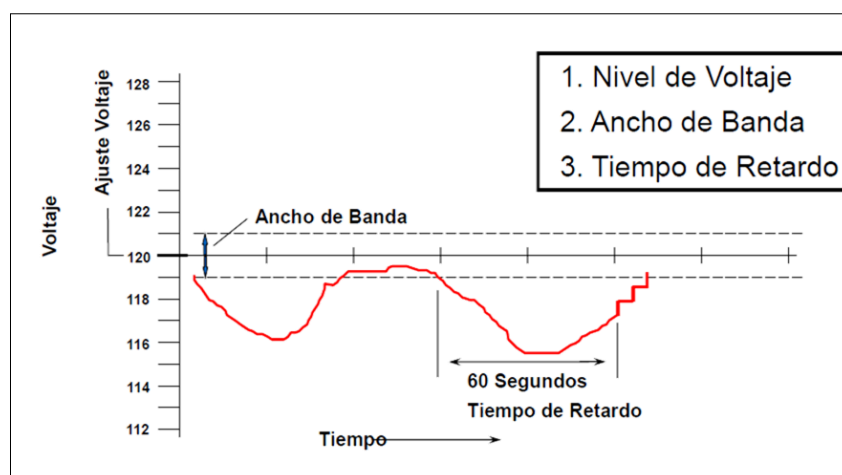
Fuente:[9]

Los reguladores de voltaje cuentan con un relé de regulación que ajusta las tomas de manera automática mediante un motor eléctrico. Tienen tres configuraciones claves:

**Voltaje de ajuste:** Hace referencia al voltaje anhelado en la salida del regulador.

**Ancho de banda:** La diferencia entre el voltaje medido y el voltaje de ajuste son supervisados por los controles del regulador. El cambio de toma se activa cuando la diferencia es mayor a la mitad del ancho de banda. Se recomienda que el ancho de banda sea al menos el doble del tamaño de paso, como 1.5V para lograr un control de  $\pm 10\%$  en reguladores de 32 pasos. Los ajustes de 2 y 2.5 son comunes para esta configuración.

**Tiempo de retardo:** Se refiere al periodo de espera desde que el voltaje se sale de banda hasta que el controlador inicia el cambio de toma. Normalmente, este tiempo de retardo oscila entre 30 a 60 segundos.



*Figura 10. Ajustes básicos del control*

*Fuente:[11]*

## 2.8 Tipos de Reguladores de voltaje [12]

### 2.8.1 Reguladores multifásicos montados en base

Son ideales para áreas públicas y comerciales con líneas de distribución subterráneas. Ofrecen configuraciones monofásicas: 2 en 1 y 3 en 1, adaptándose a sistemas en estrella o delta. Estos reguladores combinan la funcionalidad de diseños tradicionales y permiten un control de voltaje preciso. Su instalación requiere menos espacio y puede reducir los costos, manteniendo un aspecto estético. Están disponible en capacidades de voltaje de 2500 a 34500 voltios para sistemas de 50Hz y 60Hz.

### 2.8.2 Reguladores monofásicos de 32 pasos

Son autotransformadores que ajustan los voltajes de línea de distribución en pasos de  $\pm 10\%$ . Su control monitorea el voltaje del sistema y ajusta el voltaje dentro del rango permitido, este equipo proporciona 32 pasos: 16 pasos arriba, 16 pasos abajo y 1 que es el neutro; 5/8 de voltaje por taps. La regulación máxima  $\pm 10\%$  solo se da cuando el equipo es conectado en estrella, ya sea un regulador o banco regulador.

Los voltajes disponibles están desde 2400 voltios (60 KV BIL) hasta 34500 voltios (200 KV BIL) solo en sistemas de 50 Hz y 60 Hz.

### 2.8.3 Reguladores monofásicos en base

Combinan las funciones de reguladores de tanque redondo montados en poste y los de tipo subestación.

Son reguladores sumergidos en aceite para exteriores que ofrecen un ajuste preciso de  $\pm 10\%$  en 32 pasos, ya sea utilizados de forma individual o en bancos conectados en estrella. Están disponibles en capacidades de voltaje que van desde 2500V hasta 34500V para sistemas de 50Hz y 60 Hz.

## 2.9 Partes de un regulador de voltaje

Los reguladores de voltaje constan de tres componentes esenciales [13]:

**Autotransformador:** Es un componente esencial que se utiliza para controlar y ajustar el voltaje de salida, se diferencia de un transformador convencional en que comparte una porción del devanado entre el devanado primario y secundario. Permite variar el voltaje de salida de manera más eficiente, ya que utiliza menos cobre y hierro, esto lo logra al aprovechar la relación de vueltas entre los devanados.

La capacidad de ajustar el voltaje de salida de manera más versátil y adecuada para mantener un voltaje constante en un sistema eléctrico a pesar de las fluctuaciones en el voltaje de entrada se logra mediante la variación de la conexión en el autotransformador.

**Cambiador de tomas de carga:** Se adaptan a aplicaciones específicas de corriente y voltaje; es un conmutador diseñado para funcionar mientras la carga está activa, permitiendo así la modificación de la configuración de la bobina de un transformador. Esto conlleva a incrementar la versatilidad del regulador.

El cambiador de derivación Quick-Drive optimiza la calidad de la energía al cambiar de

posición en segundos, siendo mucho más rápido que los dispositivos tradicionales, lo que protege el equipo del cliente ante variaciones de voltaje.

En contraste con los dispositivos convencionales accionados por resorte, estos cambiadores de tomas presentan las siguientes distinciones: Contiene menos componentes, requieren menos tiempo de mantenimiento, poseen una mayor durabilidad y producen costos más bajos durante el periodo de vida del equipo.

**Control del regulador de voltaje:** Elaborados considerando las comunicaciones, pueden respaldar comunicaciones integradas, compatibilidad con diversos protocolos y medición digital para obtener precisión de clase 1; Se centra en elevar la calidad de la energía mediante la provisión de mediciones precisas, capacidad para limitar voltajes, reducir fluctuaciones de voltaje, operación de flujo de energía inversa y seguimiento de posición de toma. Detecta el sistema y gestiona el cambiador de tomas de manera automática.

Los controles de los reguladores de voltaje de reciente generación se pueden montar tanto en una caja en el tanque regulador como de forma remota, permite la regulación de voltaje multifásica, lo que significa que un solo control puede operar dos o tres reguladores. Esto simplifica las comunicaciones y reduce la cantidad de controles que se deben programar y mantener. Están diseñados para aplicaciones de corriente y son compatibles con la mayoría de los reguladores de voltaje actuales.

Estos nuevos controles están equipados con inteligencia y capacidades de comunicación integradas, lo que les permite mejorar la funcionalidad y la eficiencia en diversas estrategias operativas. A pesar de su tecnología avanzada, utilizan códigos de función e interfaces similares a los controles anteriores, lo que facilita la transición para técnicos familiarizados con modelos anteriores.

## **2.10 Reguladores de voltaje: Tamaño y tipo**

Los reguladores de voltaje ANSI Tipo A y Tipo B son componentes esenciales en sistemas eléctricos para controlar y estabilizar el voltaje suministrado a cargas sensibles o equipos. La principal diferencia entre estos dos tipos de reguladores radica en su construcción interna y su funcionamiento [12].

### **2.10.1 Reguladores ANSI Tipo A:**

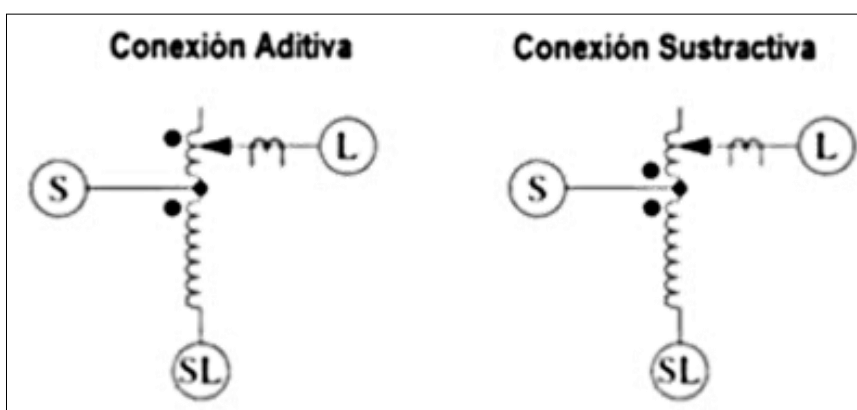
Los reguladores ANSI Tipo A son conocidos como “diseños rectos” con devanados en serie en el lado de carga del devanado de derivación. Utilizan transformadores de

energía (PT) de control separados para medir el voltaje entre los bujes L y SL, lo que permite la detección y suministro de alimentación para el control y el motor.

### 2.10.2 Reguladores ANSI Tipo B:

Los reguladores ANSI Tipo B son de diseño “invertido” con devanados en serie en el lado de la fuente de los devanados de derivación. A diferencia de los Tipo A, no cuentan con un transformador de energía (PT) separado; en su lugar, utilizan los devanados de control en la bobina principal para medir el voltaje entre los bujes L y SL, lo que les permite realizar la detección y proporcionar la alimentación para el control y el motor.

El regulador utiliza un controlador que mide la corriente mediante un transformador de corriente (TC) en el lado de carga y la tensión mediante un transformador de potencial (TP) entre los bujes L y SL. Además, cuenta con un interruptor de inversión que cambia la orientación del devanado en serie, permitiendo configuraciones tanto para conexiones aditivas como sustractivas.



*Figura 11. Reguladores ANSI: Tipo A y Tipo B*

Fuente:[12]

Los reguladores Tipo TX y Tipo AX para aplicaciones con capacidad nominal de 875Amp y superior, son versiones más grandes y robustas de los reguladores Tipo A y Tipo B, diseñados para aplicaciones de alta potencia, como subestaciones eléctricas e instalaciones industriales. Aunque las diferencias específicas en su construcción y funcionamiento pueden variar según el fabricante y las normativas, generalmente comparten similitudes con los reguladores Tipo A y Tipo B en términos de componentes y tecnología de regulación.

### 2.11 Software para la simulación ETAP 19.0.1

El software ETAP, que significa “Electrical Transient Analyzer Program” (Programa Analizador Transitorio Eléctrico, en español), es una de las herramientas más importantes en el campo de la ingeniería eléctrica, brindando a los ingenieros la capacidad de modelar, simular y analizar detalladamente los sistemas eléctricos de potencia, dentro de los estudios de mayor importancia para la planeación, operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos se encuentran los análisis de flujo de carga, cortocircuito y coordinación de protecciones [14].

Las características y capacidades clave del software ETAP son:

**Análisis de flujo de carga:** Permite evaluar la distribución de la carga eléctrica en un sistema en condiciones normales de operación.

**Análisis de cortocircuito:** Examina el comportamiento del sistema en situaciones de cortocircuito, proporcionando información vital para la coordinación de protecciones.

**Coordinación de protecciones:** Ayuda a diseñar y coordinar dispositivos de protección para garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico.

**Estudios de estabilidad:** Evalúa la estabilidad del sistema ante perturbaciones y eventos transitorios.

**Diseño y análisis de proyectos:** Facilita la planificación, diseño y análisis de sistemas eléctricos, desde la generación hasta la distribución.

**Análisis de reguladores:** Permite estudiar y analizar el rendimiento de los reguladores de voltaje.

### **3 MARCO METODOLÓGICO**

Para llevar a cabo la ejecución del proyecto técnico, se hace necesario realizar un exhaustivo levantamiento de información de la alimentadora correspondiente a Interagua. Con este propósito, solicitaremos a CNEL EP (UNIDAD DE NEGOCIO SANTA ELENA) el suministro de energía eléctrica, documentación técnica existente, incluyendo planos de la subestación, registro de voltaje y especificaciones de equipos.

Obtendremos datos precisos sobre la distancia en coordenadas geográficas entre la Subestación San Lorenzo y la alimentadora de la empresa Interagua. Esta información es esencial para el análisis y diseño del flujo de potencia.

Requeriremos datos sobre la potencia trifásica y monofásica en el punto de conexión, así como las corrientes de falla (LLL, LT) y la relación X/R.

Una vez que se obtenga esta información clave, procederemos con el diseño de la alimentadora en condiciones normales. Posteriormente, llevaremos a cabo simulaciones para verificar la presencia de sobrevoltaje. En caso de confirmarse, se realizará un cálculo detallado que permita dimensionar el banco de reguladores necesario para mitigar y controlar eficientemente el sobrevoltaje detectado.

Este enfoque sistemático nos permitirá diseñar una solución que garantice un suministro eléctrico estable y seguro para Interagua, considerando todas las variables críticas identificadas en la solicitud de información.



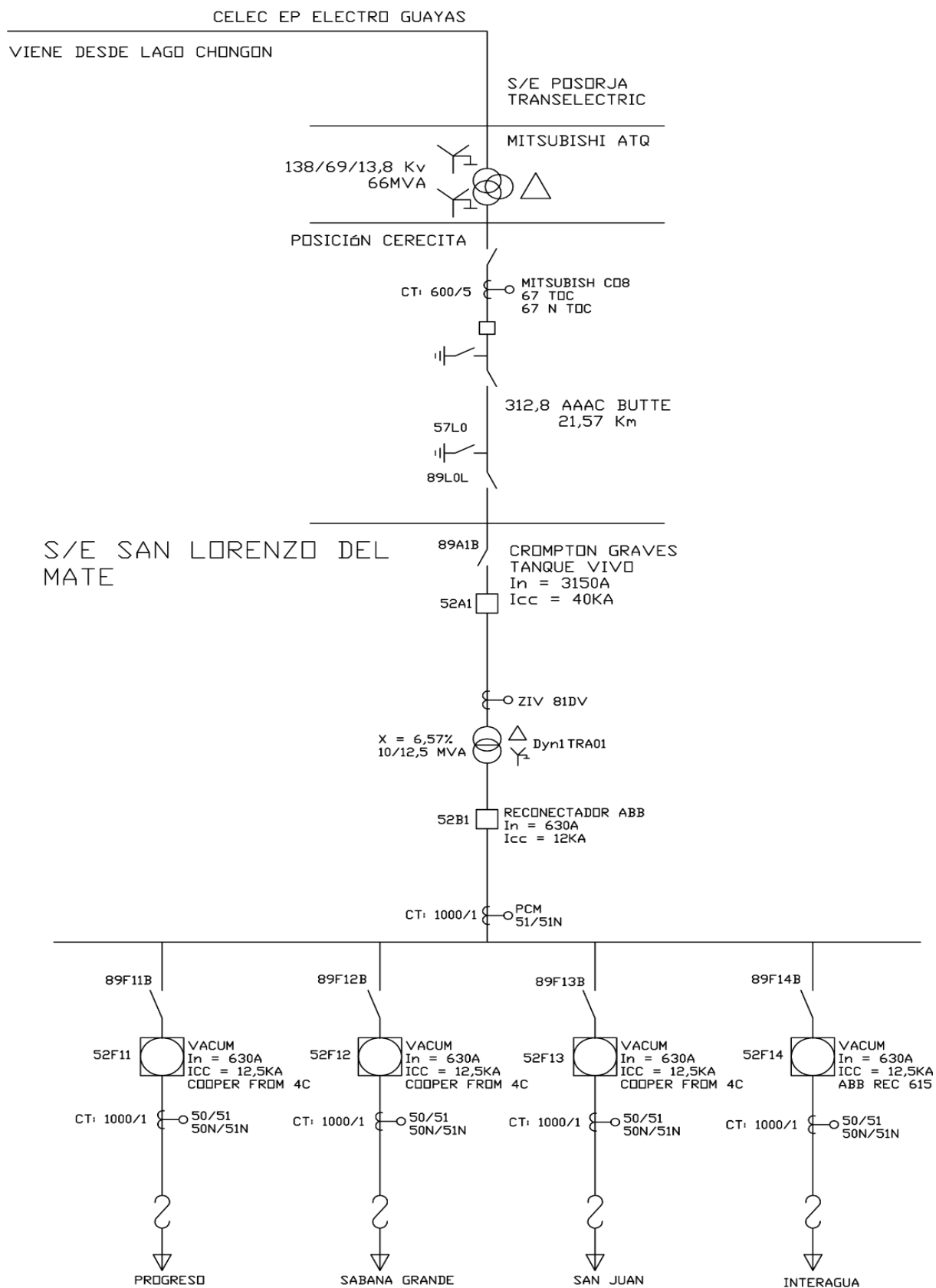


Figura 12. Diagrama Unifilar de S/E Transelectric Posorja  
Fuente: [Autores]

### 3.1 Datos obtenidos de CNEL EP

Para realizar este estudio se solicita información detallada del sistema eléctrico, comenzando desde el punto de conexión en la Subestación Posorja-Transelectric hasta la Subestación San Lorenzo del Mate. Este sistema opera con niveles de voltajes de 138/69/13.8KV. En la siguiente fase del proceso, se recopilarán los datos proporcionados por CNEL referentes a la capacidad de cortocircuito e impedancias bajo condiciones normales en la barra de 69KV.

<b>BARRA 69 KV SAN LORENZO DEL MATE</b>	
Scc3Ø (MVA)	141.954213
SccØ (MVA)	41.9198556
Ik LLL (KA)	1.187787
Ik LT (KA)	1.05228
R0 Thev (Ohmios)	8.8147
R1 Thev (Ohmios)	7.2762
R2 Thev (Ohmios)	7.2762
X0 Thev (Ohmios)	50.3901
X1 Thev (Ohmios)	36.1682
X2 Thev (Ohmios)	36.1682
X/R TRIFÁSICOS	4.9707534
X/R MONOFÁSICOS	5.25210659

*Tabla 2. Datos de la S/E San Lorenzo del Mate*

*Fuente: [CNEL EP]*

**Donde:**

**Scc3Ø (MVA):** Potencia inicial de cortocircuito trifásico.

**SccØ (MVA):** Potencia inicial de cortocircuito monofásico.

**IK LLL (KA):** Corriente de cortocircuito en las tres fases.

**IK LT (KA):** Corriente de cortocircuito fase-tierra.

**RO Thev:** Resistencia de secuencia cero, parte real ( $\Omega$ ).

**R1 Thev:** Resistencia de secuencia positiva, parte real ( $\Omega$ ).

**R2 Thev:** Resistencia de secuencia negativa, parte real ( $\Omega$ ).

**XO Thev:** Reactancia de secuencia cero, parte imaginaria ( $\Omega$ ).

**X1 Thev:** Reactancia de secuencia positiva, parte imaginaria ( $\Omega$ ).

**X2 Thev:** Reactancia de secuencia negativa, parte imaginaria ( $\Omega$ ).

**X/R Trifásico:** Relación de impedancias.

**X/R Monofásico:** Relación de impedancias.

### 3.1.1 Datos del transformador de potencia

En concordancia con la información proporcionada en la placa del transformador de potencia como: capacidad nominal, voltajes primarios y secundarios, impedancias y otras especificaciones técnicas; son cruciales para comprender las capacidades y limitaciones del transformador en el contexto del sistema de distribución. Además, estos datos son esenciales para modelar con precisión el comportamiento del transformador en el estudio del flujo de carga, determinar la coordinación adecuada de protecciones, y evaluar la eficiencia y rendimiento del transformador bajo diversas condiciones de carga.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA	
POTENCIA ONAN/ONAF	10 MVA
RELACION DE TRANSFORMACIÓN	69/13.8 KV
CONEXIÓN Y DESFASAMIENTO	Dyn1
FRECUENCIA	60 HZ
NORMA DE FABRICACIÓN	IEC
IMPEDANCIA	6.80%(10MVA)
CORRIENTE EN VACIO (100%)	0.18%
PERDIDA EN VACIO (100%)	13.231 KW

*Tabla 3. Datos del Transformador de Potencia*

*Fuente: [CNEL EP]*

### 3.1.2 Datos del alimentador Interagua

Estos datos son fundamentales para el análisis detallado del alimentador Interagua, permitiendo una comprensión completa de sus capacidades, demanda, configuración eléctrica y componentes físicos utilizados en su estructura.

ALIMENTADOR INTERAGUA		
TRANSFORMADOR DE POTENCIA	1.2	MVA
DEMANDA MAXIMA	487	KVA
BARRA PRIMARIA	13.2	KV
BARRA SECUNDARIA	0.22	KV
CONEXIÓN	DY	
DISTANCIA	9.12	KM
POSTE	120	
CONDUCTOR TRIFÁSICO	3#4/0	AWG ACAR (13.23 mm)
CONDUCTOR MONOFÁSICO	1#1/0	AWG ACAR (9.36 mm)

*Tabla 4. Datos del alimentador Interagua*

*Fuente: [CNEL EP]*

### 3.2 Modelado e ingreso de datos en el software ETAP

Primero, es necesario utilizar el Power Grid Editor (Figura 13), para modelar la red eléctrica, asegurándose de incluir todos los datos técnicos facilitados por CNEL EP presentados en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, también en los elementos relevantes como: transformadores, barras, líneas de distribución, banco regulador y cargas. Se debe definir la topología y configuración del sistema eléctrico para su correcta simulación.



*Figura 13. Powers Grids para el sistema*

*Fuente: [Autores]*

En la Figura 14 observamos que el nivel de voltaje máximo en los que opera la Subestación San Lorenzo del Mate es de 71.5KV y en la Figura 15 el nivel de voltaje mínimo en los que opera la Subestación San Lorenzo del Mate es de 67KV.

La Subestación opera a 69KV en condiciones normales, el voltaje se mantiene dependiendo de la carga instalada, en situaciones de baja carga el voltaje aumenta, mientras que en condiciones de carga máxima el voltaje tiende a disminuir.

Power Grid Editor - MAX San Lorenzo del Mate

Info Rating Short Circuit Time Domain Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

71,5 kV Swing

Rated kV 71,5 ☒ Balanced ☐ Unbalanced

	Gen. Cat.	%V	Vangle	MW	Mvar	%PF	Qmax	Qmin
1	Design	100	0					
2	Normal	100	0					
3	Shutdown	100	0					
4	Emergency	100	0					
5	Standby	100	0					
6	Startup	100	0					
7	Accident	100	0					
8	Summer Load	100	0					
9	Winter Load	100	0					
10	Gen Cat 10	100	0					

*Figura 14. Voltaje máximo de operación*

*Fuente: [Autores]*

Power Grid Editor - MIN San Lorenzo del Mate

Info Rating Short Circuit Time Domain Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

67 kV Swing

Rated kV 67 ☒ Balanced ☐ Unbalanced

	Gen. Cat.	%V	Vangle	MW	Mvar	%PF	Qmax	Qmin
1	Design	100	0					
2	Normal	100	0					
3	Shutdown	100	0					
4	Emergency	100	0					
5	Standby	100	0					
6	Startup	100	0					
7	Accident	100	0					
8	Summer Load	100	0					
9	Winter Load	100	0					
10	Gen Cat 10	100	0					

*Figura 15. Voltaje mínimo de operación*

*Fuente: [Autores]*

Se realiza un estudio de cortocircuito para evaluar la corriente de cortocircuito en diversos puntos del sistema. Esto incluye la determinación de corrientes de cortocircuito trifásicas y monofásicas en los buses de la red eléctrica.

En la Figura 16 se muestra una conexión estrella aterrizada, con su potencia trifásica, monofásica, la potencia en una sola línea, relación de impedancias y corriente de cortocircuitos. Algunos datos ya fueron proporcionados como el caso de las potencias trifásica, monofásica y otros se calcularon automáticamente gracias al software.

Según la relación de impedancias X/R del sistema eléctrico de la Subestación San Lorenzo del Mate, se refiere a la relación entre la reactancia (X) y la resistencia (R): La relación de impedancias trifásica es de 4.97 y la relación de impedancias monofásicas es de 5.25.

Power Grid Editor - MAX San Lorenzo del Mate

Info Rating Short Circuit Time Domain Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

71,5 kV Swing

Grounding

SC Rating

	MVAsc	MVAsc	X/R	kAsc
3-Phase	141,98		4,97	1,146
1-Phase	125,742	41,914	5,252	1,015
	$\sqrt{3} V_l I_f$	$V_l I_f$		

SC Impedance (100 MVAb)

	% R	% X
Pos.	13,8931	69,0488
Neg.	13,8931	69,0488
Zero	18,2783	95,9977

*Figura 16. Datos de cortocircuito del sistema*

*Fuente: [Autores]*

La expresión  $(\sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_f)$  corresponde a la fórmula de la potencia aparente (S) en un sistema trifásico, mientras que la expresión  $(V_l \cdot I_f)$  corresponde a la fórmula de la potencia aparente (S) en un sistema monofásico.

### 3.2.1 Cálculo de las variables

Esta fórmula permite calcular la potencia aparente total en un sistema trifásico equilibrado, considerando el voltaje de línea a línea (69KV) y la corriente de fase (1.187787KA).

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} * V_{ll} * I_f \quad (1)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} * (69 \text{ KV}) * (1.187787 \text{ KA}) = 141,95 \text{ (MVA)}$$

Para calcular la potencia aparente en una sola línea de un sistema trifásico, tenemos:

$$S_{1\phi} = \sqrt{3} * V_{ll} * I_f \quad (2)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$S_{1\phi} = \sqrt{3} * (69 \text{ KV}) * (1.05228 \text{ KA}) = 125.75 \text{ (MVA)}$$

En un sistema monofásico, no hay diferenciación entre el voltaje de línea y el voltaje de fase, por lo que el voltaje de línea-neutro ( $V_{ln}$ ) puede representar ambas.

$$V_f = \frac{V_{ll}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Entonces tenemos que el voltaje de línea-neutro es:

$$V_{l-n} = \frac{69 \text{ kv}}{\sqrt{3}} = 39.83 \text{ (KV)}$$

Y su potencia aparente monofásica expresada por la siguiente formula:

$$S_{\phi} = V_{ln} * I_f \quad (4)$$

Donde la potencia aparente monofásica es:

$$S_{\phi} = 39.8371 * 1.05228 = 41.91 \text{ (MVA)}$$

El Bus o barra de 69KV (Figura 17), generalmente se utiliza para representar un punto de conexión en el sistema eléctrico, es una barra de media tensión y su función es conectar y alimentar varios equipos y componentes del sistema.

En un sistema trifásico equilibrado exhibe un comportamiento uniforme en sus tres fases, con la única distinción de un desfase de 120 grados entre las tensiones y las corrientes. Este desfase, esencial para el funcionamiento eficiente de los sistemas trifásicos, facilita una distribución equitativa de la carga y asegura una generación constante de potencia.

Para determinar el voltaje de línea a neutro, se emplea la ecuación (3).

Bus Editor - Ingreso 69kV

Harmonic Reliability Remarks Comment

Info Phase V Load Motor/Gen Rating Arc Flash Protection

69 kV 0 Amps Asymmetrical 0 kA

Initial Voltage

	% V	kV	Angle		% V	kV	Angle
A	100	39.837	0	AB	100	69	30
B	100	39.837	-120	BC	100	69	-90
C	100	39.837	120	CA	100	69	150

Operating Voltage

	% V	kV	Angle		% V	kV	Angle
A				AB			
B				BC			
C				CA			

Voltage Unbalance % LVUR % PVUR % VUF2 % VUF0

*Figura 17. Voltaje de fase de la barra 69KV*

*Fuente: [Autores]*



El “Winding Transformer Editor” (Editor de transformador de devanados) es una herramienta que brinda la capacidad de definir y configurar transformadores con múltiples devanados, establecimientos de parámetros del transformador, configuración de conexiones, datos de pérdidas y eficiencia, análisis de carga y análisis de cortocircuito.

*Figura 18. Transofrmador reductor de la S/E San Lorenzo del Mate*

*Fuente: [Autores]*

En este caso la Figura 18 representa un transformador reductor con su devanado primario de 69KV y su devanado secundario de 13.8KV. También contamos con los datos de la impedancia en la Figura 19, asimismo los valores obtenidos por medio del cálculo de prueba en vacío del transformador y su configuración de conexión Delta-Estrella en la Figura 20.

2-Winding Transformer Editor - S/E San Lorenzo

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
10 MVA	ANSI	Liquid-Fill - C57.12	ONAN/ONAF	65 C	69	13,8 kV	

**Impedance**

	%Z	X/R	R/X	%X	%R
Positive	6,8	52,077	0,019	6,799	0,131
Zero	6,8	52,077	0,019	6,799	0,131

Typical Z & X/R    Typical X/R

**Z Base**

MVA

10

ONAN 65

**Z Variation**

@	% Tap	%Z	% Z Variation
-5		6,8	0
5		6,8	0

**Z Tolerance**

+ 0 %

**No Load Test Data (Used for Unbalanced Load Flow only)**

	% FLA	kW	% G	% B
Positive	0,5	12,5	0,125	0,484
Zero	0,5	12,5	0,125	0,484

☐ Buried Delta Winding    Zero Seq. Impedance    Typical Value

Figura 19. Impedancia del transformador de la S/E

Fuente: [Autores]

2-Winding Transformer Editor - S/E San Lorenzo

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
10 MVA	ANSI	Liquid-Fill - C57.12	ONAN/ONAF	65 C	69	13,8 kV	

**Phase Shift**

☒ Font    ☐ Vector Group    Connection: **DY**    Angle: **30**    HV leads LV

☐ Winding Connection    ☐ Symbols (Grounding Element)

**Primary**

**Secondary**

Grounding: **Solid**

Figura 20. Configuración estrella-delta del transformador

Fuente: [Autores]

### 3.2.2 Cálculo de las variables del transformador

La impedancia base ( $Z_{base}$ ) es un parámetro importante en el análisis de sistemas eléctricos y transformadores. Se calcula usando la fórmula:

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} \quad (5)$$

Donde:

$$Z_{base} = \frac{13.8KV^2}{10MVA} = 19.044\Omega$$

Su impedancia total esta expresada por la siguiente formula:

$$Z_t = \text{Porcentaje de impedancia} * Z_{base} \quad (6)$$

$$Z_t = 6.80\% * 19.044\Omega = 1.30\Omega$$

#### 3.2.2.1 Transformador de Potencia (Prueba a vacío)

La prueba de vacío es una de las pruebas realizadas en transformadores para evaluar su rendimiento y asegurar su calidad. Esta prueba se realiza con el transformador sin carga eléctrica y sin flujo de corriente, lo que significa que no se conecta a ninguna carga externa.

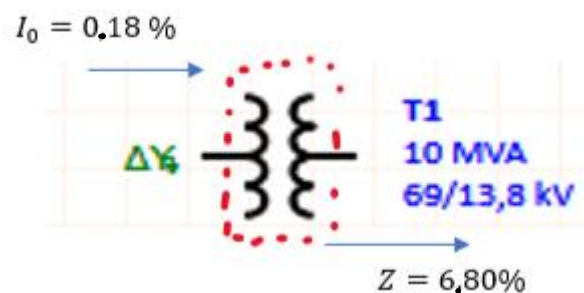


Figura 21. Transformador de potencia  
Fuente: [Autores]

La corriente base ( $I_{base}$ ) se puede calcular utilizando la fórmula:

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{V_{base}} \quad (7)$$

$$I_{base} = \frac{10MVA}{13.8KV} = 724.64A$$

Utilizando la información proporcionada de la corriente a vacío en porcentaje y la corriente base (Ibase), tenemos:

$$I_{vaciototal} = 0.18\% \cdot I_{base} \quad (8)$$

$$I_{vaciototal} = 0.18\% \cdot 724.64A = 1.304A$$

### 3.2.2.2 Resistencia (Impedancia Real)

La parte real de la impedancia es la resistencia, dado que la potencia en vacío o pérdida en vacío (P) y la corriente base (Ibase) ya han sido proporcionados:

$$R = \frac{P}{I_{base}^2} \quad (9)$$

$$R = \frac{13.231KW}{(724.64A)^2} = 0.025\Omega$$

### 3.2.2.3 Reactancia inductiva (Impedancia compleja)

La parte imaginaria es la reactancia inductiva. La fórmula para la impedancia en forma rectangular es:

$$Z = R + jX \quad (10)$$

Aplicando el triángulo de potencia, calculamos la reactancia inductiva (XL):

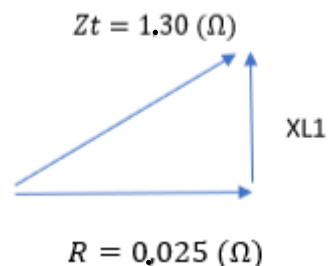


Figura 22. Triángulo de potencia  
Fuente: [Autores]

$$XL = \sqrt{1.30^2 - 0.025^2}$$

$$XL = \sqrt{1.69 - (6.25 \cdot 10^{-4})}$$

$$XL = \sqrt{1.689375} = 1.299\Omega$$

Donde la impedancia del transformador queda:  $0.025 + j1.299$

### 3.2.2.4 Relación Reactancia-Resistencia (X/R)

Esta relación compara la magnitud de la reactancia (XL) con la resistencia (R) del transformador:

$$\frac{X}{R} = \frac{XL}{R} = \frac{1.299}{0.025} = 51.96 \quad ( 11 )$$

### 3.2.2.5 Relación Resistencia-Reactancia (R/X)

Esta relación es el inverso de la anterior, comparando la resistencia con la reactancia del transformador:

$$\frac{R}{X} = \frac{R}{XL} = \frac{0.025}{1.299} = 0.019 \quad ( 12 )$$

### 3.2.2.6 Porcentaje de Reactancia (%X)

Este porcentaje representa la contribución de la reactancia en relación con la impedancia base del transformador:

$$\%X = \frac{XL}{Z_{base}} * 100 \quad ( 13 )$$

$$\%X = \frac{1.299}{19.044} * 100 = 6.82\%$$

### 3.2.2.7 Porcentaje de Resistencia (%R)

Este porcentaje indica la contribución de la resistencia en relación con la impedancia base del transformador:

$$\%R = \frac{R}{Z_{base}} * 100 \quad ( 14 )$$

$$\%R = \frac{0.025}{19.044} * 100 = 0.13\%$$

En el Bus o barra de 13.8KV (Figura 23) se muestra el cambio del nivel de tensión que se realizó gracias al transformador reductor y el voltaje de línea-neutro en la Figura 24, donde se procede a usar la ecuación (3) antes mencionada:

Hammonic		Reliability		Remarks		Comment	
Info	Phase V	Load	Motor/Gen	Rating	Arc Flash	Protection	
13,8 kV 0 Amps				Asymmetrical 0 kA			
ID: Salida 13,8kV Nominal kV: 13,8				Revision Data: Base Condition: Service In, State As-Built			
Bus Voltage Initial: % V 100, kV 13,8, Angle 0 Operating: % V 0, kV 0, Angle 0							

Figura 23. Bus o barra 13.8KV

Fuente: [Autores]

$$V_{ln} = \frac{13.8 \text{ KV}}{\sqrt{3}} = 7.96 \text{ KV}$$

Hammonic		Reliability		Remarks		Comment																																							
Info	Phase V	Load	Motor/Gen	Rating	Arc Flash	Protection																																							
13,8 kV 0 Amps				Asymmetrical 0 kA																																									
Initial Voltage: <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Line-to-Neutral</th> <th colspan="3">Line-to-Line</th> </tr> <tr> <th></th> <th>% V</th> <th>kV</th> <th>Angle</th> <th></th> <th>% V</th> <th>kV</th> <th>Angle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>100</td> <td>7,967</td> <td>0</td> <td>AB</td> <td>100</td> <td>13,8</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>100</td> <td>7,967</td> <td>-120</td> <td>BC</td> <td>100</td> <td>13,8</td> <td>-90</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>100</td> <td>7,967</td> <td>120</td> <td>CA</td> <td>100</td> <td>13,8</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>								Line-to-Neutral			Line-to-Line				% V	kV	Angle		% V	kV	Angle	A	100	7,967	0	AB	100	13,8	30	B	100	7,967	-120	BC	100	13,8	-90	C	100	7,967	120	CA	100	13,8	150
Line-to-Neutral			Line-to-Line																																										
	% V	kV	Angle		% V	kV	Angle																																						
A	100	7,967	0	AB	100	13,8	30																																						
B	100	7,967	-120	BC	100	13,8	-90																																						
C	100	7,967	120	CA	100	13,8	150																																						

Figura 24. Voltaje de fase de la barra 13.8KV

Fuente: [Autores]

La biblioteca de líneas aéreas (Figura 25) es una colección de modelos y datos predeterminados que representan las características típicas de las líneas de transmisión aéreas, ahorra tiempo y recursos. Esto simplifica y acelera el proceso de modelado, ya que los usuarios pueden seleccionar y personalizar modelos según las especificaciones del proyecto.

ETAP nos da la opción de buscar los tipos de conductor que requiere el sistema como cables trifásicos 4/0 AWG ACAR y un neutro 1/0 AWG ACAR, con una distancia de recorrido de 9.12km en este caso por medio de este catálogo nos facilita la impedancia para el diseño de flujo de carga.

Aerial Line Library

Source Name: EPRI/6201    Conductor Type: AAAC    Frequency: 60    Base T1: 25 °C    Ta: 25 °C    Impedance Unit: 1 mile    kcmil

Base T2: 75 °C    Tc: 75 °C

Avail	Code	Size	Steel Strands	Strand Dia., Steel	OD	GMR	Ra T1	Ra T2	Xa	Xa'	Rdc	Weight	Strer
<input type="checkbox"/>	Ames	77	0	0	0.316	0.0095	1.371	1.605	0.564	0.1283	1.371	0.073	21
<input checked="" type="checkbox"/>	1/0	106	0	0	0.368	0.0111	1.006	1.178	0.546	0.1237	1.006	0.099	31
<input type="checkbox"/>	Azusa	123	0	0	0.398	0.012	0.862	1.009	0.536	0.1214	0.8616	0.116	41
<input type="checkbox"/>	2/0	133	0	0	0.414	0.0125	0.7983	0.9343	0.532	0.1203	0.7979	0.125	41
<input type="checkbox"/>	Anaheim	155	0	0	0.447	0.0135	0.6834	0.8004	0.522	0.118	0.6834	0.146	51
<input type="checkbox"/>	3/0	168	0	0	0.464	0.014	0.6337	0.7416	0.518	0.1169	0.6332	0.158	51
<input type="checkbox"/>	Amherst	196	0	0	0.502	0.0152	0.5433	0.6358	0.508	0.1146	0.5427	0.184	61
<input checked="" type="checkbox"/>	4/0	212	0	0	0.522	0.0158	0.5023	0.5878	0.504	0.1134	0.5017	0.199	71
<input type="checkbox"/>	Alliance	247	0	0	0.563	0.017	0.4309	0.5042	0.494	0.1112	0.4302	0.232	81
<input type="checkbox"/>	250	250	0	0	0.573	0.0181	0.4256	0.498	0.487	0.1106	0.4249	0.235	81

Total conductor weight in lb/ft

Add    Delete    Help    OK    Cancel    Export

Figura 25. Bibliotecas de líneas aéreas

Fuente: [Autores]

El Transmission Line Editor (Figura 26) se utiliza para ingresar y configurar datos relacionados con las líneas de transmisión en un sistema de energía eléctrica, en este caso nos ayudamos con la biblioteca y solo ingresamos la distancia de la línea que es 9.12km.

Los datos generales proporcionan información básica sobre una línea de transmisión, incluyendo nombre, ubicación y longitud física.

Transmission Line Editor - Alimentador INTERAGUA

Sag & Tension	Ampacity	Compensation	Reliability	Remarks	Comment
ACAR		T1 25 °C	Code	212	kcmil
ACAR	60 Hz	T2 75 °C	4/0	7	Strands

Info

ID: Alimentador INTERAGUA

From: Salida 13,8kV 13,8 kV

To: Ingreso Interagua 13,2 kV

Equipment

Tag #:

Name:

Description:

WH/Lib Selection

☒ Library

☐ Warehouse:

Revision Data

Base:

Condition

Service: ☒ In ☐ Out

State: As-Built

Connection

☒ 3 Phase ☐ 1 Phase:

Length

Length: 9,12

Unit: km

Tolerance: 0 %

Alimentador INTERAGUA

OK Cancel

*Figura 26. Alimentador Interagua*

*Fuente: [Autores]*



La Figura 27 muestra las características eléctricas de la línea, los datos de frecuencia, los datos térmicos, la impedancia de secuencia, la resistencia en serie y en paralelo, la información de protección y coordinación, las cargas activa y reactiva, También los datos de transitorios y armónicos.

En la configuración de conductores detalla el tipo de conductor utilizado, el número de conductores por fase y la distancia entre ellos (Figura 28).

Transmission Line Editor - Alimen Interagua-sanjuan

Sag & Tension	Ampacity	Compensation	Reliability	Remarks	Comment	
Info	Parameter	Configuration	Grouping	Earth	Impedance	Protection

ACAR T1 25 °C Code 212 kcmil  
ACAR 60 Hz T2 75 °C 4/0 7 Strands

Phase Conductor

Conductor Type R-T1 (25 °C) R-T2 (75 °C) Xa  
AL 0.5023 0.5878 0.504 ohms per 1 mile

Outside Diameter GMR Xa'  
0.522 in 0.0158 ft 0.1134 megohms per 1 mile

ACAR T1 25 °C Code 106 kcmil  
ACAR 60 Hz T2 75 °C 1/0 10 Strands

Ground Wire

Conductor Type R-T1 (25 °C) R-T2 (75 °C) Xa  
AL 1.006 1.178 0.546 ohms per 1 mile

Outside Diameter GMR Xa'  
0.368 in 0.0111 ft 0.1237 megohms per 1 mile

Alimen Interagua-sanjuan OK Cancel

Figura 27. Línea de distribución alimentador (Interagua-San Juan)

Fuente: [Autores]

En la Figura 28 se presenta la configuración de torres y estructuras que soportan las líneas, en este caso tenemos: estructura tipo trifásica en volado con retención o terminal. Estas estructuras se caracterizan por tener una altura de 12m, una distancia entre fase 2ft y una distancia desde el conductor a tierra de 2ft.

The screenshot shows the 'Transmission Line Editor - Alimentador Interagua' window. The 'Configuration' tab is active, displaying the following settings:

- ACAR** (Ampacity): 60 Hz
- Compensation**: T1 25 °C, T2 75 °C
- Code**: 212 kmil
- Earth**: 4/0
- Remarks**: 7 Strands
- Configuration Type**: Horizontal
- GMD**: 2.52 ft
- Phase**:
  - Height: 12 ft
  - Spacing: AB 2 ft, BC 2 ft, CA 4 ft
- Ground Wires**:
  - Number of Ground Wires: 1
  - CG: 2 ft
- Layout**: A diagram showing the vertical arrangement of conductors. A green dot 'G' represents the ground wire at the top. Below it, three blue dots 'A', 'B', and 'C' represent the phase conductors. A vertical line labeled 'CG' indicates the distance from the ground wire to the conductors. The total height is labeled 'Height'.
- Conductors**:
  - ☐ Transposed
  - Separation: 0 inch
  - Conductors/phase: 1

*Figura 28. Configuración del Tipo de Poste*

*Fuente: [Autores]*

Con tan solo seleccionar las características de nuestro conductor, ETAP nos facilitará las impedancias de las líneas como se muestra en la siguiente Figura 29.

The screenshot shows the 'Transmission Line Editor - Alimentador INTERAGUA' window. It features several tabs: 'Sag & Tension', 'Ampacity', 'Compensation', 'Reliability', 'Remarks', and 'Comment'. The 'Impedance' tab is active, displaying a table with conductor data and impedance values.

Info	Parameter	Configuration	Grouping	Earth	Remarks	Comment
ACAR		T1	25 °C	Code	212	kcmil
ACAR	60 Hz	T2	75 °C	4/0	7	Strands

Below the table, the 'Impedance (per phase)' section shows calculated values for R, X, and Y matrices. The 'Project Frequency' is set to 60 Hz. The 'Unit' is set to Ohms per mile. The 'R, X, Y Matrices' section shows the 'Phase Domain' selected. The 'Library Temperatures' section shows 'Base T1' as 25 °C and 'Base T2' as 75 °C. The 'Operating Temperatures' section shows 'Minimum' as 75 °C and 'Maximum' as 75 °C.

At the bottom, there is a toolbar with icons for file operations, a dropdown menu showing 'Alimentador INTERAGUA', and buttons for 'OK' and 'Cancel'.

Figura 29. Impedancia de la línea 9.12km

Fuente: [Autores]

La empresa Interagua opera un nivel de tensión de 13.2KV, a pesar de que la barra principal es de 13.8KV, debido a diversas razones técnicas y operativas. Esta información se le asigna al Bus o barra Ingreso Interagua (Figura 30). Esta elección puede estar influenciada por estándares de la industria, requisitos del sistema de distribución, disponibilidad y viabilidad económica de equipos específicos, así como la necesidad de coordinación con otros servicios.

Bus Editor - Ingreso Interagua

Hammonic Reliability Remarks Comment

Info Phase V Load Motor/Gen Rating Arc Flash Protection

13,2 kV 0 Amps Asymmetrical 0 kA

Info

ID Ingreso Interagua

Nominal kV 13,2

Bus Voltage

	% V	kV	Angle
Initial	100	13,2	0
Operating	0	0	0

Condition

Service ☒ In ☐ Out

State As-Built

Figura 30. Barra de ingreso Interagua

Fuente: [Autores]

Para calcular su voltaje línea-neutro (Figura 31) se requiere la ecuación (3) ya mencionada:

$$V_{ln} = \frac{13.2 \text{ KV}}{\sqrt{3}} = 7.621 \text{ KV}$$

Bus Editor - Ingreso Interagua

Hammonic Reliability Remarks Comment

Info Phase V Load Motor/Gen Rating Arc Flash Protection

13,2 kV 0 Amps Asymmetrical 0 kA

Initial Voltage

Line-to-Neutral			Line-to-Line				
	% V	kV	Angle		% V	kV	Angle
A	100	7,621	0	AB	100	13,2	30
B	100	7,621	-120	BC	100	13,2	-90
C	100	7,621	120	CA	100	13,2	150

Figura 31. Voltaje de fase de la barra 13.2KV

Fuente: [Autores]

Se introducen las mismas características y configuraciones de la línea anterior (Figura 26), pero en este caso la distancia de la línea será 0.3km como se mira en la Figura 32.

Transmission Line Editor - Alimentador Interagua

Sag & Tension	Ampacity	Compensation	Reliability	Remarks	Comment	
Info	Parameter	Configuration	Grouping	Earth	Impedance	Protection

ACAR T1 25 °C Code 212 kcmil  
 ACAR 60 Hz T2 75 °C 4/0 7 Strands

Info

ID Alimentador Interagua

From BRV Interagua

To Barra 13.8kV 13.2 kV

Equipment

Tag #

Name

Description

WH/Lib Selection

☒ Library

☐ Warehouse

Revision Data

Base

Condition

Service ☒ In ☐ Out

State As-Built

Connection

☒ 3 Phase

☐ 1 Phase

Length

Length 0.3

Unit km

Tolerance 0 %

Alimentador Interagua

OK Cancel

Figura 32. Línea de llegada a la empresa Interagua

Fuente: [Autores]

Al bus o barra le llega un voltaje de 13.2KV tomando en cuenta la pérdida de voltaje a lo largo de la línea debido a la resistencia del conductor (Figura 33), tiene su punto de conexión con la barra Ingreso Interagua (Figura 30) para la distribución eléctrica.

Hamonic		Reliability		Remarks		Comment													
Info	Phase V	Load	Motor/Gen	Rating	Arc Flash	Protection													
13,2 kV 0 Amps				Asymmetrical 0 kA															
ID: Ingreso Interagua Nominal kV: 13,2				Revision Data: Base Condition: Service (In), State (As-Built)															
Bus Voltage: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>% V</th> <th>kV</th> <th>Angle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Initial</td> <td>100</td> <td>13,2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Operating</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					% V	kV	Angle	Initial	100	13,2	0	Operating	0	0	0				
	% V	kV	Angle																
Initial	100	13,2	0																
Operating	0	0	0																

*Figura 33. Bus o barra 13.2KV*  
Fuente: [Autores]

El voltaje de línea neutro (Figura34) aplicando la ecuación (3) es: 7.621KV

Line-to-Neutral				Line-to-Line			
	% V	kV	Angle		% V	kV	Angle
A	100	7,621	0	AB	100	13,2	30
B	100	7,621	-120	BC	100	13,2	-90
C	100	7,621	120	CA	100	13,2	150

*Figura 34. Voltaje de fase de la barra 13.2KV*  
Fuente: [Autores]

La empresa Interagua cuenta con un transformador de 1.25MVA, sabemos que es un transformador reductor con su devanado primario de 13.8KV y en su devanado secundario 0.22KV; También contamos con los datos de la impedancia, asimismo los valores obtenidos por medio del cálculo de prueba en vacío del transformador y su configuración de conexión Delta-Estrella (Figura 35, Figura 36, Figura37).

2-Winding Transformer Editor - INTERAGUA

Info	Reliability	Remarks	Comment
Rating	Impedance	Tap	Grounding
Sizing	Protection	Hamonic	
1,25 MVA	ANSI	Liquid-Fill	Other 65 C
13,2	0,22 kV		

Info

ID:

Prim.:  13,2 kV

Sec.:  0,22 kV

Standard

☒ ANSI

☐ IEC

Revision Data

Condition

Service: ☒ In ☐ Out

State:

*Figura 35. Transformador de la empresa Interagua*

*Fuente: [Autores]*

2-Winding Transformer Editor - INTERAGUA

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
1,25 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C						13,2	0,22 kV

Impedance

	%Z	X/R	R/X	%X	%R
Positive	2,312	1,916	0,522	2,05	1,07
Zero	2,312	1,916	0,522	2,05	1,07

Typical Z & X/R    Typical X/R

Z Base

MVA

1,25

Other 65

Z Variation

@	% Tap	%Z	% Z Variation
-5	% Tap	2,312	0
5	% Tap	2,312	0

Z Tolerance

+ 0 %

No Load Test Data (Used for Unbalanced Load Flow only)

	% FLA	kW	% G	% B
Positive	0,5	1,25	0,1	0,49
Zero	0,5	1,25	0,1	0,49

☐ Buried Delta Winding    Zero Seq. Impedance    Typical Value

Figura 36. Impedancia del Transformador de Interagua

Fuente: [Autores]



2-Winding Transformer Editor - INTERAGUA


Reliability		Remarks		Comment	
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing
1.2 MVA	ANSI	Liquid-Fill	Other	65 C	13.2 0.22 kV

Phase Shift

☒ Font ☐ Vector Group ☐ Winding Connection ☐ Symbols (Grounding Element)


Connection: DY Angle: 30 HV leads LV

Primary



Earthing Type: Not Applicable

Secondary

 Grounding: Solid

Earthing Type: NEC

INTERAGUA

OK Cancel

*Figura 37. Configuración del Transformador de Interagua*  
*Fuente: [Autores]*

### 3.2.3 Cálculo de las variables del transformador de Interagua

En esta situación, se emplearán las pérdidas de hierro, el cual tiene un valor de 2,09KW ya que no contamos con valores proporcionados sobre las pruebas a vacío del transformador

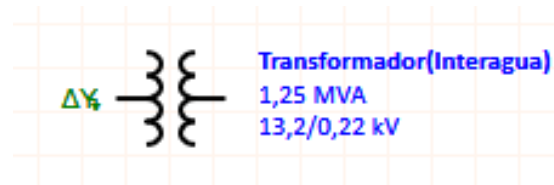


Figura 38. Transformador de Potencia  
Fuente: [Autores]

#### 3.2.3.1 Resistencia (Impedancia Real)

Para determinar la impedancia real, es fundamental calcular primero el valor de la corriente base ( $I_{base}$ ), como se indica en la ecuación (7) mencionada anteriormente.

$$I_{base} = \frac{1.25MVA}{11.4KV} = 109.64A$$

Como ya se conoce la potencia disipada  $P$  y la corriente base ( $I_{base}$ ), se procede a calcular la resistencia con la siguiente ecuación (9):

$$R = \frac{2.09KW}{(109.64A)^2} = 0.1738\Omega$$

#### 3.2.3.2 Reactancia inductiva (Impedancia Compleja)

Antes que todo debemos hallar la impedancia base ( $Z_{base}$ ) y así obtener nuestra impedancia total, con las siguientes ecuaciones (5) y (6).

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}}$$

$$Z_{base} = \frac{11.4^2KV}{1.25 MVA}$$

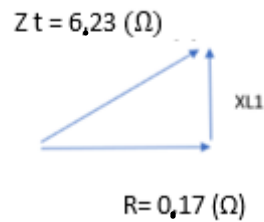
$$Z_{base} = 103.96\Omega$$

$$Z_t = 6\% * Z_{base}$$

$$Z_t = 6\% * 103.96\Omega$$

$$Z_t = 6.23\Omega$$

Aplicamos nuevamente el triángulo de potencia para hallar la reactancia inductiva ( $X_L$ ), despejándolo de la ecuación (10):  $Z = R + jX$



*Figura 39. Triángulo de Potencia*  
Fuente: [Autores]

$$X_L = \sqrt{6.23^2 - 0.17^2}$$

$$X_L = \sqrt{6.227} = 2.49\Omega$$

$$Z = 0.17 + j2.49$$

### 3.2.3.3 Relación Reactancia-Resistencia (X/R)

Esta relación se determina mediante la ecuación (11) ya antes mencionada:

$$\frac{X}{R} = \frac{X_L}{R} = \frac{2.49}{0.17} = 14.64$$

### 3.2.3.4 Relación Resistencia-Reactancia (R/X)

Esta relación se determina mediante la ecuación (12) ya antes mencionada:

$$\frac{R}{X} = \frac{R}{X_L} = \frac{0.17}{2.49} = 0.068$$

### 3.2.3.5 Porcentaje de Reactancia (%X)

Este desarrollo se determina mediante la ecuación (13) ya antes mencionada:

$$\%X = \frac{2.49}{103.96} * 100 = 2.39\%$$

### 3.2.3.6 Porcentaje de Resistencia (%R)

Este desarrollo se determina mediante la ecuación (14) ya antes mencionada:

$$\%R = \frac{0.17}{103.96} * 100 = 0.16\%$$

### 3.2.4 Cálculo de cortocircuito del Bus 3 para Garantizar la Adecuación de Equipamiento al Banco Regulador

Es fundamental llevar a cabo el cálculo de cortocircuito del Bus 3, llamado también Ingreso Interagua. Este paso garantiza que el equipo propuesto para la instalación esté en total concordancia con los parámetros establecidos por el banco regulador.

#### 3.2.4.1 Impedancia base referida a 69KV

Utilizando la ecuación (5):

$$Z_{base(69)} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}}$$

$$Z_{base(69)} = \frac{69000^2}{141.98} = 33.53 \Omega$$

#### 3.2.4.2 Corriente base referida a 69KV

Utilizando la ecuación (7), ya antes mencionada:

$$I_{base(69)} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} * V_{LL}}$$

$$I_{base(69)} = \frac{141.98}{\sqrt{3} * 69000} = 1.18 KA$$

#### 3.2.4.3 Corriente base referida a 13.8KV

Utilizando la ecuación (7), ya antes mencionada:

$$I_{base(13.8)} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} * V_{LL}}$$

$$I_{base(13.8)} = \frac{141.98}{\sqrt{3} * 13800} = 5.94 KA$$

#### 3.2.4.4 Impedancia de la fuente en por unidad

Para la impedancia en por unidad usamos la siguiente fórmula:

$$\text{Impedancia por unidad } jx = \frac{S_{base}}{scc} \quad ( 15 )$$

$$= \frac{141.98}{141.98} = j1. pu$$

### 3.2.4.5 Impedancias del Transformador de 10 MVA

Como se mira en la Figura 19, sus impedancias de secuencia positiva, negativa y cero son:

$$Z (+) = 0.131 + j 6,799$$

$$Z (-) = 0.131 + j 6,799$$

$$Z (0) = 0.131 + j 6,799$$

### 3.2.4.6 Impedancia de la línea de distribución de 9.12KM

Como se mira en la Figura 29, sus impedancias de secuencia positiva, negativa y cero son:

$$Z (+) = 0.61485 + j 7.19063$$

$$Z (-) = 0.61485 + j 7.19063$$

$$Z (0) = 2.09255 + j 3.72318$$

$$Z_{total} = \text{Recorrido km} * (Z_{linea}) \quad ( 16 )$$

$$Z1 = Z2 = 0.912 \text{ km} (0.61485 + j 7.19063) \Omega$$

$$Z1 = Z2 = (0.5607 + j 6.55) \Omega$$

$$Z0 = 0.912 \text{ Km} (2.09255 + j 3.72318) \Omega$$

$$Z0 = (1.908 + j 3.39) \Omega$$

### 3.2.4.7 Impedancia de la línea de distribución de 0.3 KM

Usaremos los datos de la Figura 29, debido a que los conductores cuentan con las mismas características, la diferencia radica en la distancia de recorrido, entonces decimos que sus impedancias de secuencia positiva, negativa y cero son:

$$Z (+) = 0,61485 + j 7,19063$$

$$Z (-) = 0,61485 + j 7,19063$$

$$Z (0) = 2,09255 + j 3,72318$$

$$Z1 = Z2 = 0,03 \text{ Km} (0,61485 + j 7,19063) \Omega$$

$$Z1 = Z2 = (0,0184 + j 0,215) \Omega$$

$$Z0 = 0,03 \text{ Km} (2,09255 + j 3,72318) \Omega$$

$$Z0 = (0,062776 + j 0,116) \Omega$$

### 3.2.4.8 Impedancias del Transformador de la empresa Interagua

Como se muestra en la parte de cálculo de las variables del Transformador Interagua sus impedancias de secuencia positiva, negativa y cero son:

$$Z(+)= 0.16 + j 2.39$$

$$Z(-)= 0.16 + j 2.39$$

$$Z(0)= 0.16 + j 2.39$$

### 3.2.4.9 Cálculo de cortocircuito

Sumatoria de todas las impedancias anteriores:

Impedancia del transformador de la S/E.

Impedancias de las líneas de distribución 9.12KM.

Impedancia de la línea de llegada a la empresa 0.3KM.

Impedancia del transformador de la empresa Interagua.

$$Z_{total}=Z_{trafo 1}+Z_{línea distribución}+Z_{línea llegada}+Z_{trafo 2}$$

La corriente de cortocircuito se puede calcular como:

$$I_{cortocircuito} = \frac{V}{Z_{total}}$$

Donde:

V: es el voltaje de la fuente (13.8 KV en este caso).

Z<sub>total</sub>: es la impedancia total desde la fuente hasta la barra 3.

Entonces, calculamos la impedancia total sumando las impedancias proporcionadas:

$$Z_{total}=Z_{trafo 1}+Z_{línea distribución}+Z_{línea llegada}+Z_{trafo 2}$$

$$Z_{total}=(0.131+j6.799) +(0.5607+j6.55) +(0.0184+j0.215) +(0.16+j2.39)$$

$$Z_{total}=0.131+0.5607+0.0184+0.16+j (6.799+6.55+0.215+2.39)$$

$$Z_{total}=0.8701+j15.954$$

$$I_{cc\emptyset 3} = \frac{13800}{0.8701 + j15.954} = 0.82 \text{ KA}$$

$$I_{cc\emptyset 3} = I_{base(13.8kv)} * I_{pu}$$

$$I_{cc\emptyset 3} = 0.82 * 1.18 \text{ KA}$$

$$I_{cc\emptyset 3} = 0.967 \text{ KA}$$

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Simulación, pruebas y resultados del sistema de distribución

Para una simulación efectiva, resulta vital introducir las cargas conectadas a la red, ya que este paso nos brinda una comprensión detallada del comportamiento dinámico y operativo del sistema de distribución.

A continuación, se muestra una tabla que contiene datos de carga para diferentes alimentadores de la subestación San Lorenzo del Mate, Pertenecientes a la unidad de negocio Santa Elena:

UNIDAD DE NEGOCIO	SUBESTACION	CODIGO DEL ALIMENTADOR	NOMBRE DEL ALIMENTADOR	DEMANDA MÍNIMA (MW)	DEMANDA MEDIA (MW)	DEMANDA MÁXIMA (MW)	FP
SANTA ELENA	SAN LORENZO DEL MATE	16SM160T13	SAN JUAN	0.261	1.495	2.565	0.95
		16SM160T11	PROGRESO	0.302	2.029	2.986	0.94
		SIN CODIGO	INTERAGUA	0.061	0.311	0.487	0.99
		16SM160T11	SABANA GRANDE	0.241	1.273	2.037	0.91

*Tabla 5. Cargas de los alimentadores*

*Fuente: [15]*

#### 4.1.1 Simulación con Voltaje Estándar (69KV)

Tras un detallado análisis del sistema en su estado operativo habitual, se observa que el funcionamiento general del mismo permanece en niveles aceptables al recibir el voltaje estándar de 69KV. Sin embargo, se identifica un problema crítico asociado con la baja tensión registrada en las barras de 13.8KV de los alimentadores San Juan, Progreso y Sabana grande.

Se espera que el sistema proporcione energía eléctrica de manera confiable a las cargas conectadas al sistema, lo que resalta la importancia de implementar un banco regulador para abordar este problema de baja tensión y mantener la confiabilidad del suministro eléctrico.

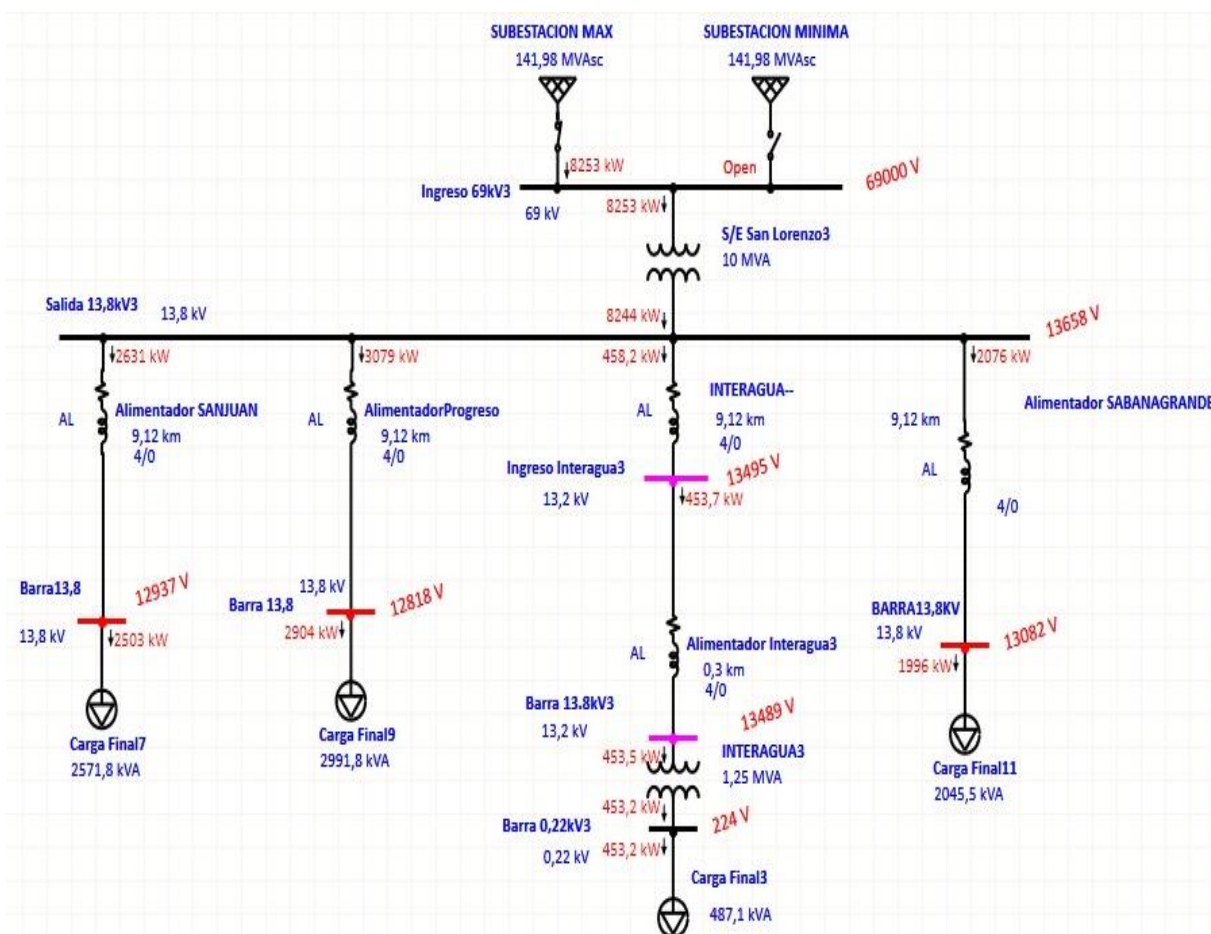


Figura 40. Simulación en Condiciones Normales 69KV

Fuente: [Autores]



#### 4.1.2 Resultados de la Prueba con Voltaje Estándar (69KV)

Observamos que el voltaje crítico en los alimentadores San Juan, Progreso y Sabana Grande persiste consistentemente por debajo del voltaje nominal de la barra de 13.8KV; lo cual señala una situación preocupante en términos de estabilidad y eficiencia del sistema. En contraste, la barra alimentada por el alimentador Interagua mantiene constantemente un voltaje superior al nominal de la barra, evidenciando un rendimiento superior en comparación con los otros alimentadores mencionados.

Estos hallazgos resaltan la urgente necesidad de implementar mejoras en el sistema eléctrico con el objetivo de garantizar un suministro confiable y seguro de energía para los clientes (usuarios finales).

	Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
► 1	Barra 0,22kV3	0,22	100,78	0,447	0
2	Barra 13,8 KV PROGRESO	13,8	92,89	2,904	0
3	Barra 13,8 KV SAN JUAN	13,8	93,75	2,503	0
4	Barra 13,8 SABANA GRANDE	13,8	94,8	1,996	0
5	Barra 13,8kV3	13,2	102,21	0,448	0
6	Ingreso Interagua3	13,2	102,25	0,448	0
7	Salida 13,8kV..	13,8	98,97	8,238	0

Bus Info

☒ Nominal kV

Load Flow Results

☒ Voltage

Alert

Critical

Marginal

*Figura 41. Resultados con Voltaje Estándar 69KV*

*Fuente: [Autores]*

### 4.1.3 Simulación con Voltaje Máximo de Operación (71.5KV)

Cuando el sistema funciona a un voltaje de 71.5KV se observa una tendencia hacia la ocurrencia de problemas relevantes, lo que destaca la importancia de mantener el voltaje dentro de los límites aceptables. Además, se evidencia que los alimentadores San Juan, Progreso y Sabana Grande operan de manera consistente bajo estas condiciones, lo que sugiere una mayor robustez en su diseño y funcionamiento. Sin embargo, surge una preocupación significativa en relación con el alimentador Interagua, el cual presenta problemas graves con una alta probabilidad de quedar fuera de servicio.

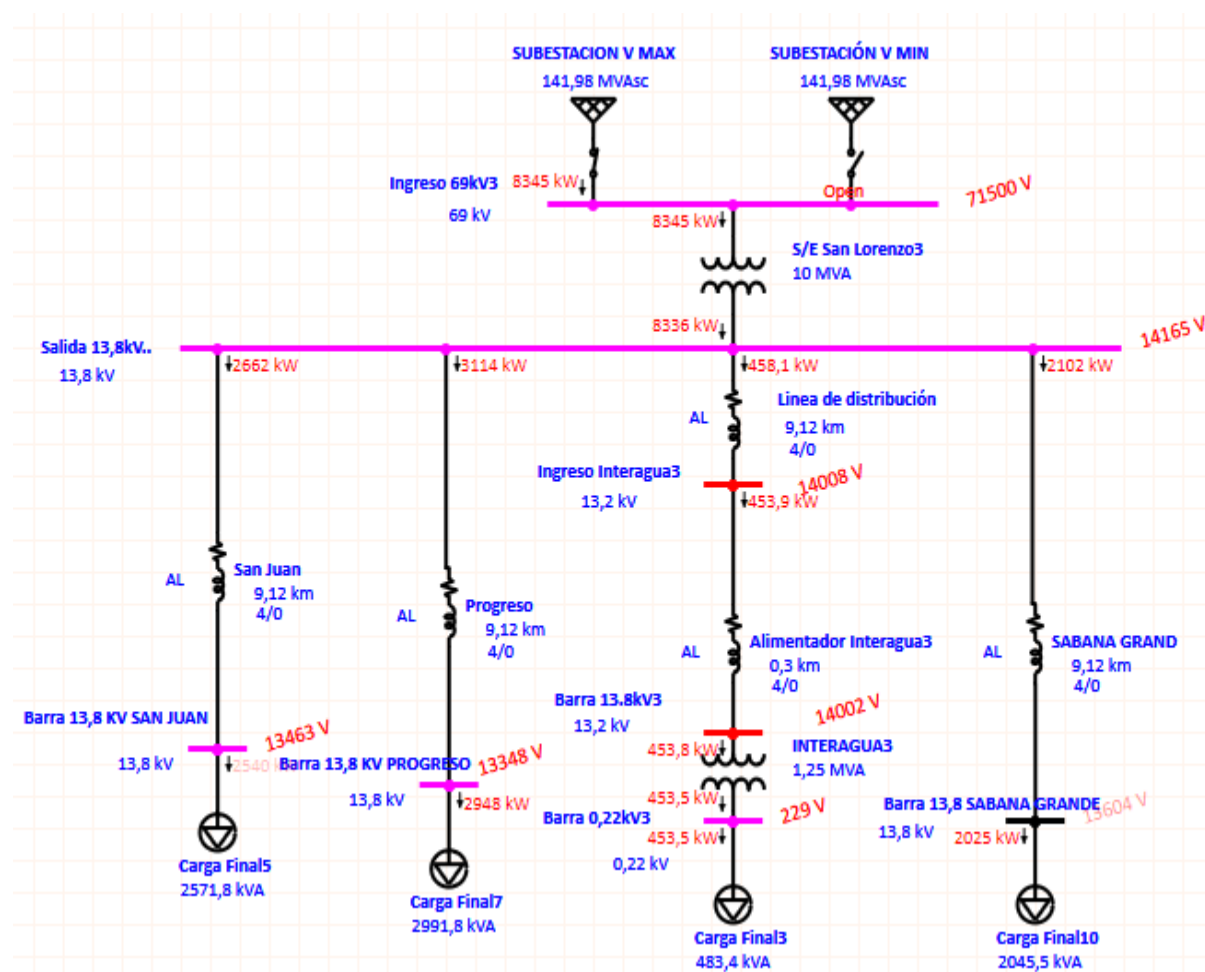


Figura 42. Simulación con Voltaje Máximo 67KV

Fuente: [Autores]

#### 4.1.4 Resultados de la Prueba con Voltaje Máximo de Operación (71.5KV)

En primer lugar, al analizar los alimentadores San Juan, Progreso y Sabana Grande, se observa que estos presentan un voltaje marginal, operando de manera consistente por debajo del voltaje nominal de la barra de 13.8 KV. A pesar de esta situación, estos alimentadores continúan operando de manera regular, lo que sugiere una cierta tolerancia en el sistema eléctrico para compensar este déficit. Por otro lado, es importante destacar que la barra de salida de 13.8 KV de estos alimentadores opera por encima del voltaje nominal de la barra, aunque dentro de los límites aceptables, lo que indica un equilibrio en el funcionamiento del sistema en esta área específica.

Sin embargo, el panorama cambia drásticamente al analizar el alimentador Interagua, donde se observa un sobrevoltaje significativo por encima del voltaje nominal de la barra. Este exceso de voltaje representa un riesgo potencialmente grave para la integridad del sistema, ya que aumenta la probabilidad de daños en los equipos eléctricos y la posibilidad de que el alimentador quede fuera de servicio.

	Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
► 1	Barra 0,22kV3	0,22	104,1	0,453	0
2	Barra 13,8 KV PROGRESO	13,8	96,72	2,948	0
3	Barra 13,8 KV SAN JUAN	13,8	97,56	2,54	0
4	Barra 13,8 SABANA GRANDE	13,8	98,58	2,025	0
5	Barra 13,8kV3	13,2	106,08	0,454	0
6	Ingreso Interagua3	13,2	106,12	0,454	0
7	Salida 13,8kV..	13,8	102,65	8,336	0

Bus Info
☒ Nominal kV

Load Flow Results
☒ Voltage

Alert

Critical

Marginal

*Figura 43. Resultados con Voltaje Máximo 69KV  
Fuente: [Autores]*



#### 4.1.6 Resultados de la Prueba con Voltaje Mínimo de Operación (67KV)

Al analizar el voltaje crítico en los alimentadores San Juan, Progreso y Sabana Grande, se observa que estos están operando de forma consistente por debajo del voltaje nominal de la barra de 13.8 KV. Esta discrepancia entre el voltaje actual y el nominal sugiere una situación preocupante en términos de estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. La persistencia de este bajo voltaje podría conducir a problemas de rendimiento y fiabilidad en el suministro de energía, lo que resalta la necesidad urgente de abordar y corregir esta discrepancia para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema en su conjunto.

Por otro lado, es importante destacar que la barra alimentada por el alimentador Interagua muestra un funcionamiento regular dentro del sistema. Aunque este aspecto es alentador, es esencial realizar un seguimiento continuo para asegurar que se mantenga la estabilidad operativa a largo plazo.

Dando así los objetivos del proyecto se centran en resolver este problema mediante una metodología que incluye análisis detallado, implementación de soluciones y evaluación de viabilidad. Se propone realizar modificaciones y actualizaciones en el sistema eléctrico para mejorar el funcionamiento del alimentador Interagua, con la expectativa de generar beneficios en términos de eficiencia, confiabilidad y seguridad.

	Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
► 1	Barra 0,22kV3	0,22	97,22	0,441	0
2	Barra 13,8 KV P...	13,8	89,8	2,87	0
3	Barra 13,8 KV SA...	13,8	90,68	2,474	0
4	Barra 13,8 SABA...	13,8	91,77	1,973	0
5	Barra 13,8kV3	13,2	99,11	0,441	0
6	Ingreso Interagua3	13,2	99,15	0,442	0
7	Salida 13,8kV..	13,8	96,03	8,163	0

Bus Info

Load Flow Results

Alert

☒ Nominal kV
 ☒ Voltage

Critical

Marginal

Figura 45. Resultados con Voltaje Mínimo 67KV

Fuente: [Autores]

## 4.2 Dimensionamiento de Banco Regulador para Alimentadora de Interagua

En esta sección se muestran los cálculos respectivos para el dimensionamiento del banco de reguladores de voltaje, este estudio de flujo de potencia tiene el valor de la demanda eléctrica máxima de 487kVA, sin embargo, el transformador de potencia de Interagua es de 1.2MVA con un consumo máximo del 80% de su capacidad dando un aproximado a 1MVA, valor para calcular el banco de reguladores de voltaje.



Figura 46. Banco regulador de ETAP

Fuente: [Autores]

### 4.2.1 Banco regulador de voltaje con demanda de 1MVA

La simulación y flujo de potencia con demanda eléctrica de 1MVA, da un valor de corriente de línea (Il): 42A que circulan por la línea de arranque cuya distancia es de 1000 metros hasta el transformador de Interagua 1.2 MVA.

$$KVA = I_l * \% \text{ de Regulación} * V_{ln} \quad (17)$$

$$KVA = 42A * 0.1 * \frac{13.2kV}{\sqrt{3}} = 32.04 KVA$$

Se escoge el regulador con una capacidad de 38.1 KVA tomando en consideración que el banco deberá estar cargado como máximo al 80% de su capacidad. El regulador deberá tener una capacidad de 38.1 KVA (50A) para una carga máxima de 1.14 MVA. El banco quedaría cargado al 42% tomando en consideración los 487 KVA máximo que consume Interagua y dejando un margen de hasta 914.4 KVA para aumentar su carga máxima en caso de futuras expansiones. La capacidad del banco de reguladores de voltaje para una demanda de 487 KVA es de:

- Potencia aparente nominal 38.1 KVA
- Máxima potencia aparente 1143 KVA

Se busca el valor obtenido y de allí se escoge el valor inmediato superior, tal como se muestra en la siguiente figura marcado con rectángulo de color rojo.

<b>Table 3. ADD-AMP Capabilities of 60 Hz Ratings</b>						
<b>Rated Volts</b>	<b>Rated kVA</b>	<b>Load Current Ratings (Amperes)<sup>1</sup></b>				
		<b>Regulation Range</b>				
		<b>±10%</b>	<b>±8 3/4%</b>	<b>±7 1/2%</b>	<b>±6 1/4%</b>	<b>±5%</b>
2500	25	100	110	120	135	160
	50	200	220	240	270	320
	75	300	330	360	405	480
	100	400	440	480	540	640
	125	500	550	600	668	668
	167	668	668	668	668	668
	250	1000	1000	1000	1000	1000
	333	1332	1332	1332	1332	1332
5000	416.3	1665	1665	1665	1665	1665
	25	50	55	60	68	80
	50	100	110	120	135	160
	100	200	220	240	270	320
	125	250	275	300	336	400
	167	334	367	401	451	534
	250	500	550	600	668	668
	333	668	668	668	668	668
7620	416.3	833	833	833	833	833
	38.1	50	55	60	68	80
	57.2	75	83	90	101	120
	76.2	100	110	120	135	160
	114.3	150	165	180	203	240
	167 <sup>2</sup>	219/232	241/255	263/278	296/313	350/370
	250 <sup>2</sup>	328/347	361/382	394/417	443/469	525/556
	333 <sup>2</sup>	438/464	482/510	526/557	591/625	668
	416.3 <sup>2</sup>	548/580	603/638	658/668	668	668
	500 <sup>2</sup>	656/668	668	668	668	668
	667 <sup>2</sup>	875	875	875	875	875
	833 <sup>2</sup>	1093/1157	1093/1157	1093/1157	1093/1157	1093/1157

*Figura 47. Catálogo de Banco Regulador*

Fuente: [13]

### 4.3 Simulación con Banco Regulador

En esta sección se ofrece una descripción detallada de las normas y los devanados utilizados en el proceso de dimensionamiento del banco de reguladores de voltaje. Se proporciona información sobre el tipo de normativa aplicada, lo que puede incluir estándares nacionales o internacionales relevantes para el diseño y la operación de sistemas eléctricos.

Además, se especifica el tipo de devanado empleado en los reguladores de voltaje, lo que puede influir en su rendimiento y eficiencia en la regulación de la tensión eléctrica.

*Figura 48. Regulador de Voltaje*

*Fuente: [Autores]*

#### **4.3.1 Simulación Aplicando Banco Regulador con Voltaje Máximo (71.5KV)**

En el presente sistema eléctrico, se especifica el valor del voltaje máximo operativo, que es de 71.5 KV. Este voltaje se distribuye inicialmente a través de una barra de 69 KV, la cual alimenta un transformador reductor con una relación de 69/13.8 KV. Este transformador reduce el voltaje para suministrar energía a cuatro alimentadores. Para el propósito de esta sección, se enfoca únicamente en el análisis del alimentador afectado por inestabilidad en el voltaje. Este alimentador recorre una trayectoria de 9.12 km de longitud hasta llegar a la barra de Interagua, que opera a 13.2 KV.

Se implementa un banco regulador en esta etapa para controlar el comportamiento del sistema cuando opera con el voltaje máximo asignado, asegurando así una regulación óptima de la tensión eléctrica.

La alimentación eléctrica llega a la empresa Interagua, la cual cuenta con una potencia de 1.25 MVA. Para su operación, tiene un transformador reductor con una relación de 13.2/0.22 KV. Este transformador reduce el voltaje para adaptarse a las necesidades de la instalación, facilitando así la distribución de energía de manera eficiente y segura. La carga final de la empresa Interagua se estima en 487 KW, lo que representa la demanda de energía eléctrica necesaria para sus operaciones cotidianas.



El análisis de la prueba realizada demuestra que el regulador de voltaje respondió eficazmente ante una situación de sobrevoltaje, proporcionando una regulación del 4.375% por taps para mejorar y mantener estable el voltaje del servicio a 13.2 KV. Estos resultados indican la capacidad del regulador para mantener el voltaje dentro de los límites aceptables, lo que es crucial para garantizar la estabilidad del sistema eléctrico.

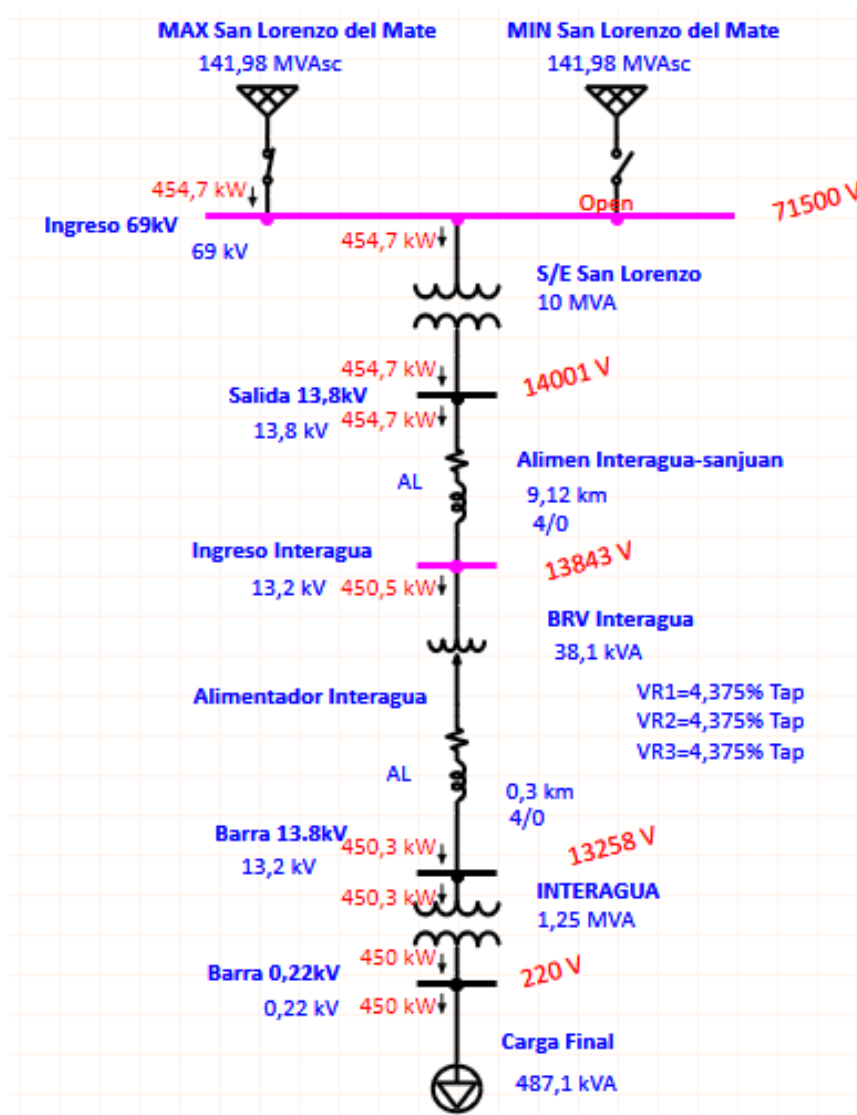


Figura 49. Banco Regulador con Voltaje Máximo 67KV

Fuente: [Autores]

#### 4.3.2 Resultados Aplicando Banco Regulador con Voltaje Máximo (71.5KV)

Tras el análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación del banco regulador, se observa una mejora significativa en el funcionamiento del sistema eléctrico. Aunque se detecta un voltaje crítico al llegar a la barra de Interagua, este se mantiene dentro de límites aceptables, ya que las barras están diseñadas para operar hasta una capacidad de 13.8 KV.

Sin embargo, se reconoce que cualquier sobrepaso de este límite podría acarrear pequeños inconvenientes en el futuro. A pesar de ello, el sistema logra mantener estable el voltaje de ingreso a la empresa Interagua, lo que permite que esta pueda llevar a cabo sus operaciones de manera eficiente y sin interrupciones significativas. Este resultado confirma la efectividad del banco regulador en la estabilización y control del voltaje, contribuyendo así a la fiabilidad y rendimiento óptimo del sistema eléctrico en su conjunto.

En ese caso, si el voltaje marginal en la salida de 13.8 KV no presenta inconvenientes inmediatos y desde allí se derivan los 4 alimentadores, es posible que el problema se derive de la capacidad de los componentes específicos dentro de los alimentadores.

	Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
► 1	Barra 0,22kV	0,22	98,15	0,447	0
2	Barra 13.8kV	13,2	99,37	0,448	0
3	Ingreso Interagua	13,2	106,97	0,449	0
4	Salida 13,8kV	13,8	103,45	0,453	0

Bus Info

☒ Nominal kV

Load Flow Results

☒ Voltage

Alert

Critical

Marginal

Figura 50. Resultados de banco regulador con voltaje 71.5KV

Fuente: [Autores]

### 4.3.3 Simulación Aplicando Banco Regulador con Voltaje Mínimo (67KV)

Para esta prueba se especifica el valor del voltaje mínimo operativo, que es de 67 KV. Este voltaje se distribuye inicialmente a través de una barra de 69 KV, la cual alimenta un transformador reductor con una relación de 69/13.8 KV. Este transformador reduce el voltaje para suministrar energía a cuatro alimentadores. El alimentador Interagua recorre una trayectoria de 9.12 km de longitud hasta llegar a la barra de Interagua, que opera a 13.2 KV. El análisis de la prueba realizada demuestra que el regulador de voltaje respondió eficazmente ante una situación de bajo voltaje, proporcionando una regulación del 2.5% por taps para mejorar y mantener estable el voltaje del servicio a 13.2 KV. Estos resultados indican la capacidad del regulador para mantener el voltaje dentro de los límites aceptables, lo que es crucial para garantizar la estabilidad del sistema eléctrico.

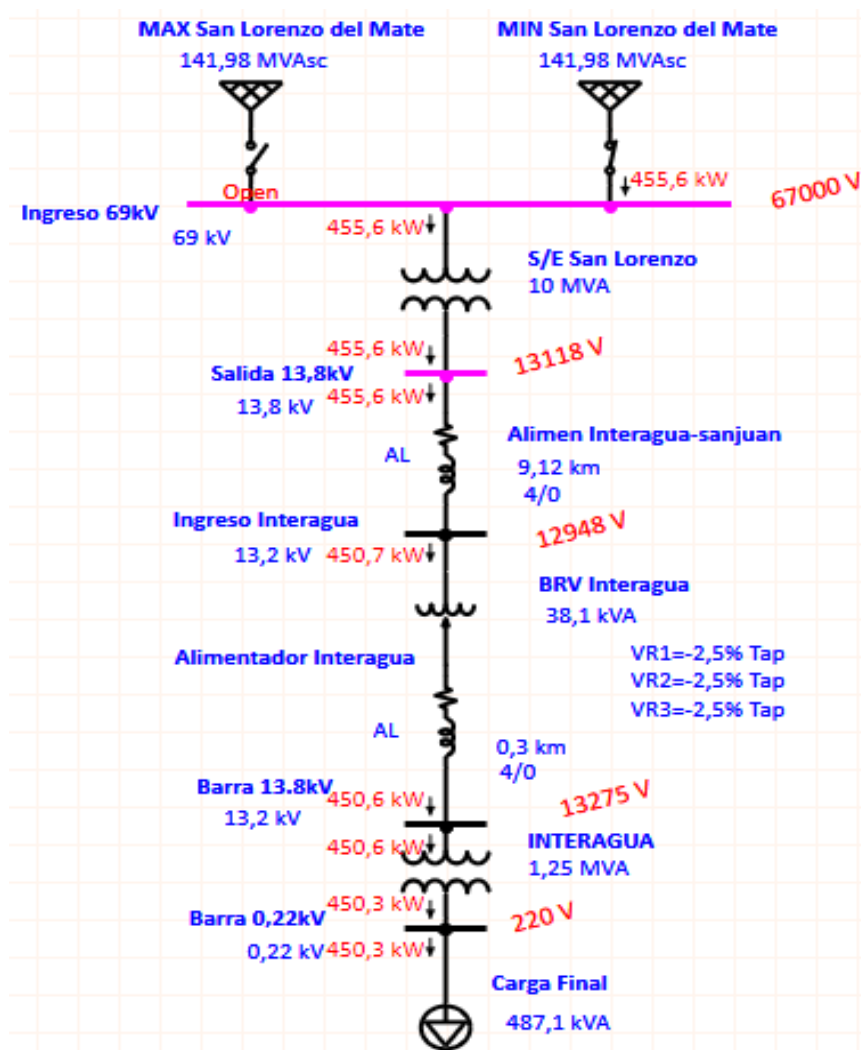


Figura 51. Simulación con Voltaje mínimo 67KV

Fuente: [Autores]

#### 4.3.4 Resultados Aplicando Banco Regulador con Voltaje Mínimo 67KV

El análisis exhaustivo de los resultados revela que, incluso bajo condiciones de bajo voltaje, el sistema eléctrico es capaz de operar de manera consistente y estable. Este hallazgo subraya la robustez del sistema ante fluctuaciones en las condiciones de suministro eléctrico. Además, se observa que el banco regulador de voltaje demuestra una respuesta eficiente al ajustar su regulación, lo que contribuye significativamente a mantener el voltaje dentro de los parámetros operativos establecidos.

	Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
► 1	Barra 0,22kV	0,22	100,15	0,45	0
2	Barra 13.8kV	13,2	100,57	0,451	0
3	Ingreso Interagua	13,2	98,09	0,451	0
4	Salida 13,8kV	13,8	95,06	0,456	0

Bus Info

☒ Nominal kV

Load Flow Results

☒ Voltage

Alert

Critical

Marginal

*Figura 52. Resultados banco regulador con voltaje mínimo 67KV*

*Fuente: [Autores]*

#### 4.3.5 Prueba de Cortocircuito en el Punto de Conexión del Banco Regulador

Este proceso incluyó la realización de un estudio detallado del punto de cortocircuito en el sistema, con el objetivo de identificar las áreas críticas y determinar el lugar más adecuado para la instalación del equipo. Además, se llevó a cabo una exhaustiva evaluación para asegurar que la capacidad y especificaciones técnicas del banco regulador estuvieran alineadas con los resultados obtenidos del análisis de cortocircuito, garantizando así su integración eficiente y segura en el sistema eléctrico. Este enfoque integral y meticuloso en la selección y evaluación del punto de instalación del banco regulador refleja el compromiso con la optimización del rendimiento del sistema y la mejora de la calidad del suministro eléctrico para los clientes.

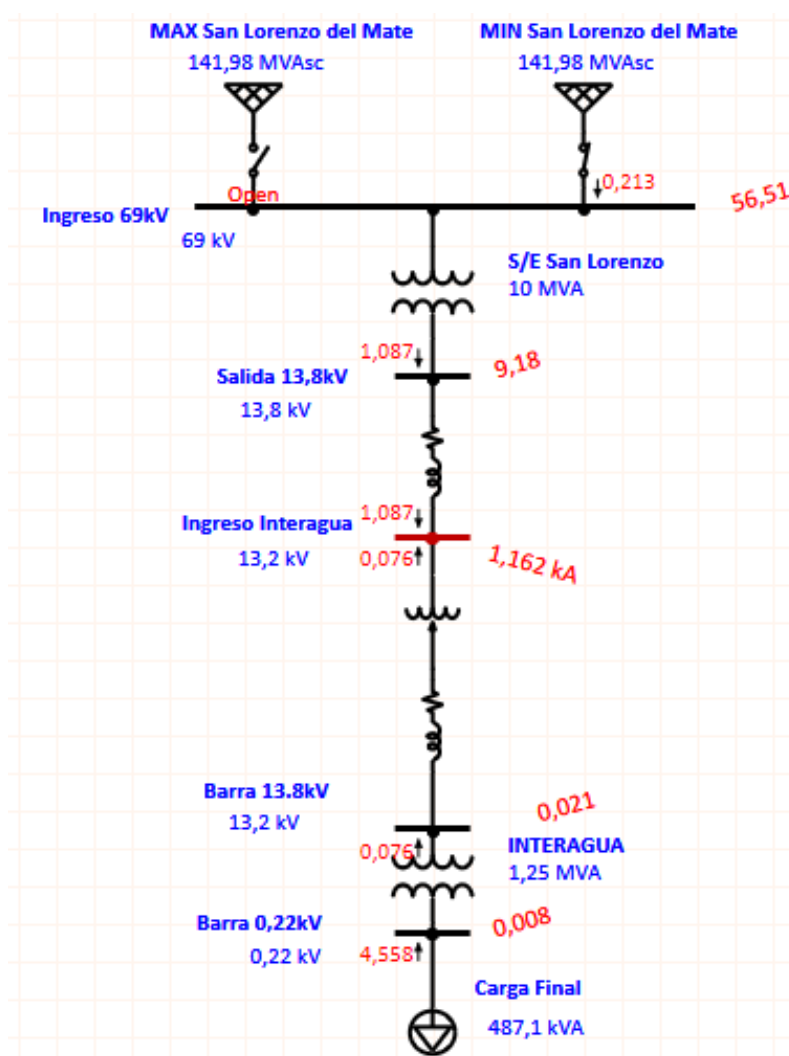


Figura 53. Prueba de cortocircuito en la barra 3

Fuente: [Autores]

#### 4.3.6 Corriente de cortocircuito del banco regulador

Se presenta el análisis matemático de la corriente de cortocircuito, con respecto a la Figura 51, en la barra 3 (Ingreso Interagua) se registra una corriente de cortocircuito de 1,162 KA. Este valor ayuda a evaluar la capacidad y el correcto funcionamiento del banco regulador.

El valor de la corriente de cortocircuito del banco regulador debe de estar por encima de la corriente de cortocircuito obtenida de la barra 3.

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}}$$

$$Z_{base} = \frac{13.200KV^2}{38.1 KVA} = 4.57 \Omega$$

$$I_{cc\emptyset 3} = \frac{V}{Z_{base}}$$

$$I_{cc\emptyset 3} = \frac{13.200 KV}{4.57 \Omega}$$

$$I_{cc\emptyset 3} = 2.88 KA$$

## 5 CONCLUSIONES

- En esta investigación, se ha realizado un exhaustivo análisis del sistema eléctrico utilizando datos proporcionados por parte de CNEL y modelando el sistema a través del software ETAP. Durante este proceso, se ha identificado un desafío crítico relacionado con la implementación del estudio basado en el banco regulador para la alimentadora Interagua. Estos resultados subrayan la necesidad de una evaluación continua y precisa del sistema para abordar los obstáculos que puedan surgir.
- El análisis detallado del sistema eléctrico con los cuatro alimentadores ha permitido identificar los principales desafíos y oportunidades para mejorar la estabilidad y eficiencia operativa. A través de la implementación de medidas correctivas, como la aplicación de un banco regulador de voltaje, se ha logrado mantener el sistema dentro de parámetros aceptables, a pesar de la presencia de un voltaje crítico en la llegada a la barra de Interagua. Estos resultados resaltan la importancia de la planificación cuidadosa y la selección adecuada de dispositivos de control para garantizar un suministro eléctrico confiable en entornos industriales y comerciales.
- La implementación de un banco de reguladores de voltaje es esencial para mantener el voltaje a lo largo de la línea dentro de los límites permitidos y garantizar que los perfiles de tensión en las barras principales del sistema cumplan con los estándares establecidos por la norma ANSI C 84.1. Esto asegura un suministro eléctrico confiable y estable, contribuyendo a la eficiencia y seguridad del sistema eléctrico en su conjunto.
- En respuesta a sobrevoltajes dentro del rango de operación, el banco de reguladores ajusta la regulación con un valor específico por taps, en este caso, 4.375%. Esta capacidad de regulación permite mitigar los efectos adversos de los sobrevoltajes, asegurando que el voltaje a lo largo de la línea se mantenga dentro de los límites permitidos por la normativa ANSI C 84.1. Por otro lado, cuando se presentan condiciones de bajo voltaje, el banco regulador responde con una regulación de 2.5% por taps para corregir la situación y restablecer el voltaje a niveles óptimos de operación.

- Además, se ha evidenciado la necesidad de realizar un monitoreo continuo y evaluaciones adicionales para asegurar el funcionamiento óptimo a largo plazo del sistema. Esto implica una vigilancia proactiva de posibles problemas y la implementación de medidas preventivas para evitar interrupciones en el suministro eléctrico. Este enfoque proactivo y preventivo es esencial para garantizar la continuidad de las operaciones en la empresa y para mantener la satisfacción de los usuarios finales.
- Este estudio proporciona una valiosa contribución al campo de la ingeniería eléctrica, ofreciendo una visión clara sobre cómo abordar los desafíos asociados con la operación de sistemas eléctricos complejos.



## 6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el voltaje a lo largo de la línea se mantenga dentro de un rango óptimo, con un mínimo de 12.54 KV y un máximo de 13.86 KV (sin banco de reguladores). Esto se fundamenta en la RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL 053/18, que establece que el voltaje en media tensión no debe ser menor al 6%. Sin embargo, actualmente, se registra un voltaje máximo de 14.0 KV a lo largo de la línea.
- Con la carga actual para Interagua de 487 KVA el banco de reguladores de voltaje de 38.1 KVA- 50A estará cargado al 42%. Si se pretende beneficiar a Interagua y a cargas externas que exceden los 914 KVA, se recomienda realizar un nuevo estudio para dimensionar adecuadamente el banco de reguladores.
- Es importante tener en cuenta que, aunque se han establecido cargas máximas definidas para cada banco de reguladores de voltaje, se debe evitar sobrecargarlos, procurando que la cargabilidad no supere el 80% de su capacidad, con el fin de prevenir problemas de sobrecarga en los bancos.
- La repotenciación de la subestación también sería una solución viable y el instalar un banco regulador centralizado en donde se origina la distribución de energía hacia los alimentadores simplificando su control y monitoreo de voltaje, reduciendo costos de instalación y mantenimiento.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] ARCONEL, «Regulación No. CONELEC 004/01 1», pp. 1-7, 2012.
- [2] M. Campaña, P. Masache, E. Inga, y D. Carrión, «Voltage Stability and Electronic Compensation in Electrical Power Systems Using Simulation Models», *Ingenius*, vol. 2023, n.º 29, pp. 9-23, ene. 2023, doi: 10.17163/ings.n29.2023.01.
- [3] J. Peralta-Velsaco, *Universidad Técnica de Cotopaxi UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI*. 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- [4] ARCONEL, «Resolución Nro. ARCONEL-006/2020», *Arconel*, pp. 1-58, 2020.
- [5] I. G. Paredes Ayala, «“ Pedro Ruiz Gallo ” Universidad Nacional», *Estrategia didáctica lluvia de ideas para mejorar la producción de textos narrativos en el área de comunicación de los estudiantes del tercer grado de educación secundaria de la IE N° 80316 “Divino Maestro” del distrito de Ayangay, provincia de Julcan, de*, 2019, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3558/BC-TES-TMP-2372.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] C. Taday, «Análisis de confiabilidad de un alimentador de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.», 2022, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9804>
- [7] R. Espinosa y Lara, «Armónicos en los Sistemas Eléctricos de Potencia», pp. 13-20, 553-636, 1990.
- [8] P. D. E. Titulación, *Simulación y automatización del control de regulación de voltaje en sistemas de distribución*. 2019.
- [9] «UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Facultad de Ciencias Básicas».
- [10] M. Chimbo Campusano y H. Molina Vélez, «Ubicación óptima de reguladores de voltaje en el sistema de medio voltaje correspondiente a la subestación Portoviejo», p. 232, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16238/1/UPS-CT007887.pdf>
- [11] J. Jimenez, «Reguladores», 2012.
- [12] L. S. Yépez Escudero y L. J. Caicedo Parrales, *Regulación Óptima de Voltaje en Línea de Media Tensión en Zona Rural Mediante DigSilent*. 2023.
- [13] C. Power, «Voltage regulators Voltage regulators catalog contents».
- [14] U. de LASALLE, «Ciencia Unisalle ETAP», p. 28, 2015.
- [15] Ley 25.632, «~~濟無~~No Title No Title No Title», 2002.

## 8 ANEXOS



*Figura 54. Subestación San Lorenzo del Mate*

Fuente: [Autores]

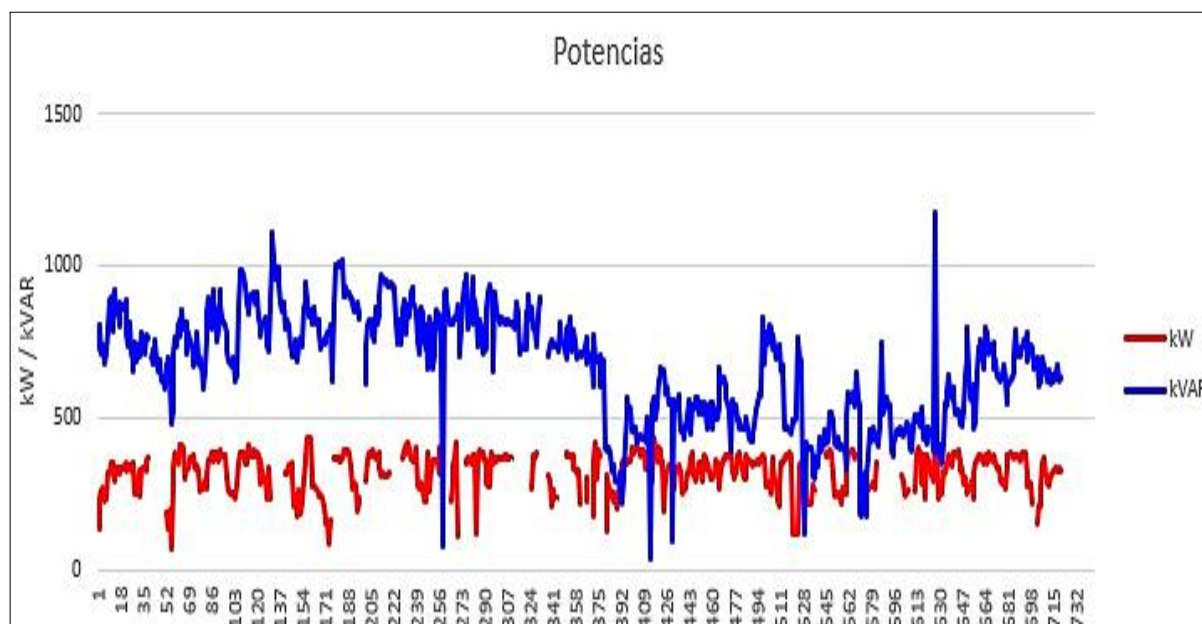


*Figura 55. Analizador de Redes ION7550/ION7650*

Fuente: [Autores]



*Figura 56. Reconector de la empresa Interagua*  
*Fuente: [Autores]*



*Figura 57. Registro Mensual de la Carga Activa y Reactiva de la Empresa Interagua*  
*Fuente: [CNEL EP]*

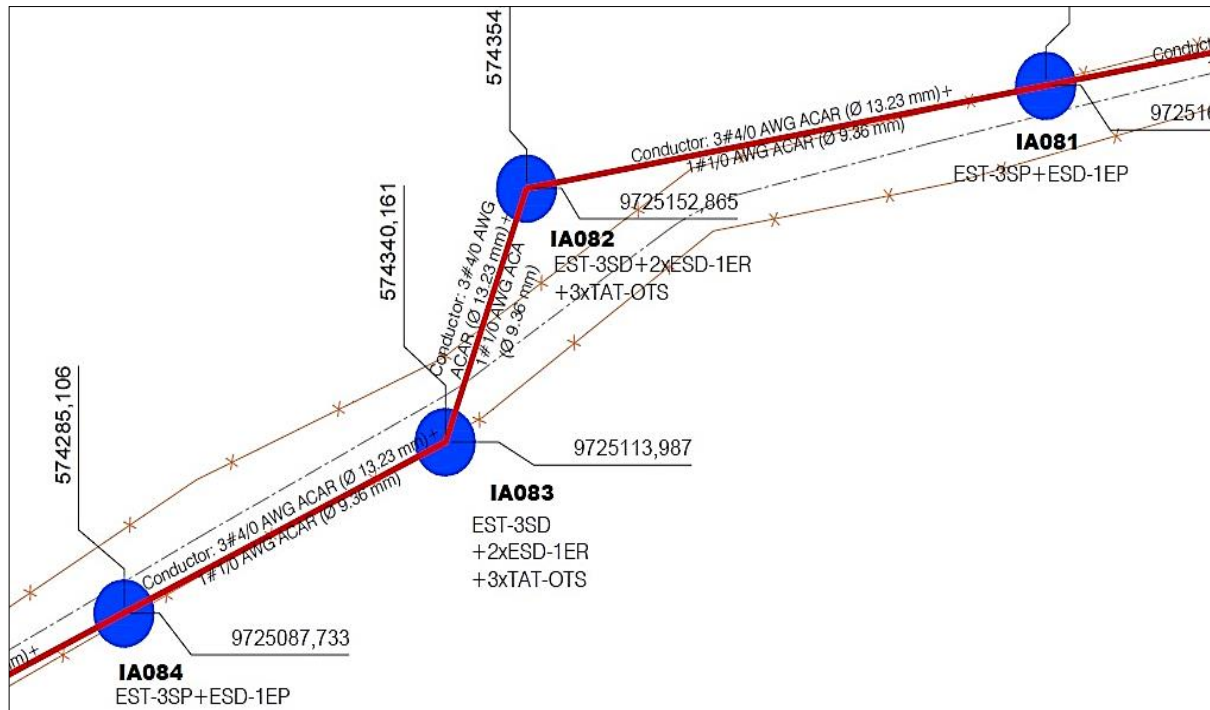


Figura 58. Recorrido del alimentador Interagua 9.12KM

Fuente: [CNEL EP]

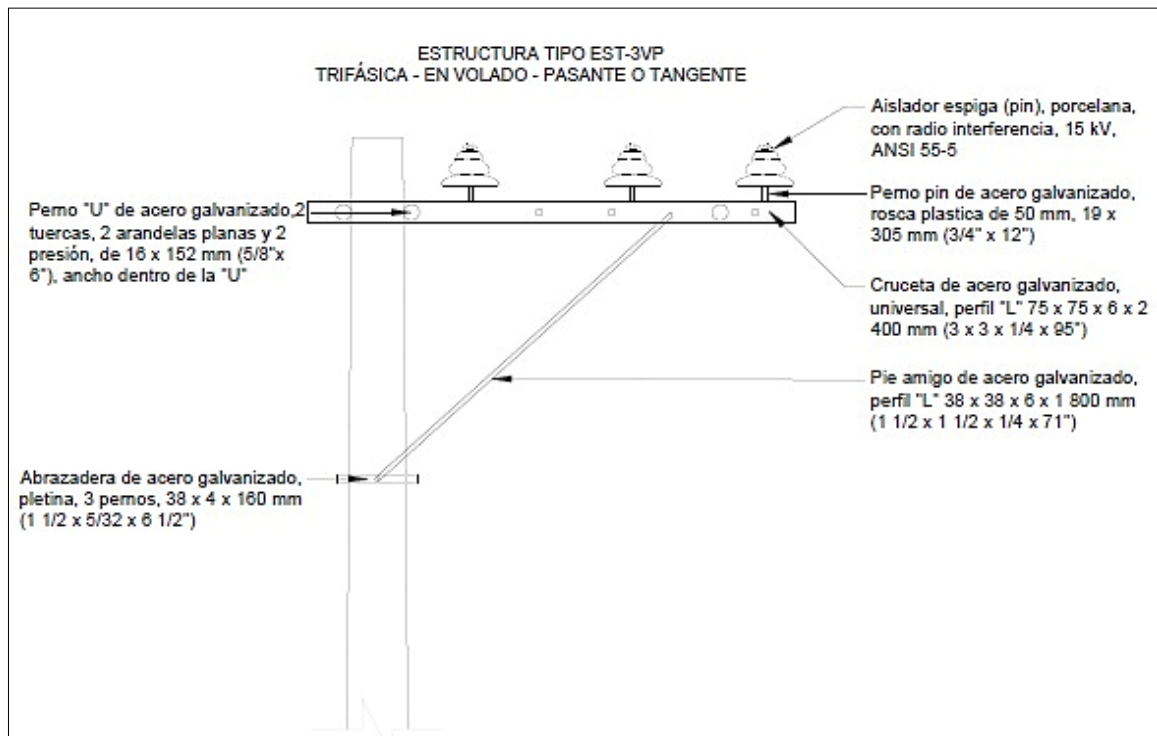


Figura 59. Estructura del poste

Fuente: [CNEL EP]



Puesto TransfDistribucion: 55661	
Alim1	S/E SAN LORENZO DEL MATE - SAN JUAN
Alim2	
Proyecto Const	Rotulacion 2015
Financiamiento	
Código Empresa	CNELEP-SANTA ELENA
Provincia	GUAYAS
Cantón	GUAYAQUIL
Parroquia	MORRO
No.Transf.	55661
Subtipo	Transformador Trifásico en Poste
Código Puesto	55661
Fase Conexión	ABC
Voltaje	13.8 kV
Resistencia Tierra	0,00
Proteccion AT	Si
Potencia (kva)	1.200,00
Configuración BT	Estrella
Propiedad	PARTICULAR
MEDIDO	Si
Código Estructura	3C1200T
MIOID	5901
Voltaje Secundario	220 V
Conf. Lado Media	Delta

*Figura 60. Características del Transformador de Interagua  
Fuente: [Geoportal CNELEP]*



*Figura 61. Proyecto final  
Fuente: [Autores]*