



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Caracterización y Modelado Eléctrico para el Transporte Público en la
Ciudad de Cuenca**

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

**AUTORES: WILLIAM FERNANDO LUCERO LAZO
JACOB ANDRÉS CUESTA VÁZQUEZ**

DIRECTOR: ING. JAVIER BERNARDO CABRERA MEJÍA MSc.

MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, William Fernando Lucero Lazo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

William Fernando Lucero Lazo

DECLARACIÓN

Yo, Jacob Andrés Cuesta Vázquez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Jacob Andrés Cuesta Vázquez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jacob Andrés Cuesta Vázquez y William Fernando Lucero Lazo, bajo mi supervisión.

Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Magdalena y Luis, Quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, les agradezco infinitamente por el sacrificio que muchas veces realizaron y por haber confiado en mí brindándome su cariño, afecto y apoyo incondicional sin esperar nada a cambio, gracias queridos Padres porque a pesar de mis errores siempre confiaron en mí y supieron guiarme con sus sabios consejos.

A mí querida esposa María Elena, gracias por haber decidido compartir tu camino junto al mío, ser mi compañera de viaje en este camino largo de la vida, gracias por tu cariño, apoyo y paciencia para que pueda cumplir esta meta, gracias por enseñarme que cuando estamos juntos las cosas difíciles se vuelvan más simples, llenando cada día de amor y alegría, disfrutando juntos de nuestros triunfos y fracasos.

Al regalo Más hermoso que Dios me dio, mi hija María José, Tú eres lo que me motiva a seguirme superando cada día, Cuando miro tu carita de alegría el sacrificio se convierte en felicidad, eres mi mayor felicidad y por ti cumplí este sueño para poder darte un futuro mejor.

A mis Hermanas Marlene, Jessy y Camila, gracias por ser las mejores hermanas del mundo, siempre con sus alegrías y ocurrencias gracias por ser la mejor compañía.

William

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer instante a Dios por darme la vida, mi familia, y la sabiduría para culminar esta meta.

Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de realizar este sueño, estando agradeció infinitamente con ustedes por su sacrificio y cariño que me supieron dar.

Un agradecimiento muy especial por el apoyo brindado por los profesores de la Universidad Católica de Cuenca de la facultad de Ingeniería Eléctrica en especial a nuestro Tutor el Ingeniero Javier Cabrera, gracias por el apoyo, su tiempo y dedicación brindada para concluir con este trayecto de la carrera universitaria.

Un agradecimiento de todo corazón a todos mis familiares y amigos que siempre me estuvieron apoyando y fueron parte fundamental para cumplir esta meta.

William

DEDICATORIA

Dedico a mi hija Karidad todo el esfuerzo realizado para alcanzar esta meta que me ha puesto en una nueva etapa de la vida, la cual voy a disfrutar mucho junto a mi querida hija. Todo el tiempo invertido y sacrificios realizados a lo largo de mi carrera universitaria fueron en pos de un mejor futuro para ti Karidad, para que te sientas orgullosa de tener un padre que dedicó día y noche a darte una nueva visión del mundo que te rodea y así predicar con el ejemplo que tienes que ser una mejor persona todos los días de tu vida. No te olvides que tu padre te quiere desde aquí hasta la estrella más lejana que tiene nuestro universo visible.

Jacob

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por haber guiado mi camino hacia buen puerto, por haber dedicado su tiempo, paciencia y sabiduría en post de ubicar a su hijo en el siguiente peldaño de la vida, agradezco también los buenos consejos que en el momento preciso los supieron dar. Lo mejor que pudo haberme pasado es haberles tenido a ustedes como padres, gracias Carlos y Patricia por haberme enseñado que la vida tiene mucho más horizonte del que se observa, porque hubo un día el cual me dijeron que solo un buen general gana la guerra.

Gracias a mi padre que tuvo el anhelo de ver a sus hijos realizados y por mantenerse fiel a sus convicciones para así enseñarnos que los buenos actos son la mejor forma de dar un buen consejo, que el ejemplo es el que habla por sí solo y no las palabras, que los buenos actos traen consigo buenas recompensas y que la vida se llena de esos buenos momentos donde la conciencia y el espíritu son uno mismo para así poder entregar cariño incondicional. Gracias papá por creer en tu hijo.

Gracias a mi madre por tener el corazón tan grande y poder brindarme todo el amor del mundo en cada día de mi tropezante andar, le agradezco por haber dado todo de sí y no dejar que cualquier cosa la derrumbe. Gracias mamá por haber criado un hijo lleno de ese cariño y a la vez creado un corazón palpitante por ver tu hermosa cara todos los días de su vida.

Agradezco a toda mi familia por haberme dado aliento y apoyo en los momentos cruciales de mí existir, gracias a todos, de corazón, mil gracias.

Jacob

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	III
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS	VI
DEDICATORIA.....	VII
TABLA DE CONTENIDO	IX
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABLAS	XV
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO 1.	1
1) FUNDAMENTACION TEÓRICA	1
1.1 BUSES ELÉCTRICOS	1
1.1.1 Componentes de los buses eléctricos.....	2
1.2 BATERÍAS	5
1.2.1 Convertidores DC/DC	6
1.2.2 Inversor DC/AC	9
1.3 INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA- ELECTROLINERAS	11
1.3.1 Visión general.....	13
1.4 CARGADORES.....	13
1.4.1 SAE J1772-2009	14
1.4.2 IEC 60309.....	14
1.4.3 IEC 62196.....	15
1.5 TIPOS DE RECARGA.....	16
1.5.1 Sitios de recarga.....	16
1.5.2 Puntos de recarga en vía pública.....	16
1.5.3 Estación de carga lenta	17
1.5.4 Estación de carga rápida.....	18
CAPÍTULO 2.	20
METODOLOGÍA	20
2. Introducción.....	20
2.1 Viabilidad en la implementación de buses eléctricos.	20
2.2 Generación eléctrica en el ecuador	20
2.3 Movilidad en la ciudad de Cuenca	23
2.4 Sistema de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur para el caso de estudio.....	25

2.4.1 Demanda energética en la ciudad de Cuenca	25
2.4.2 Subestación 03 “MONAY”	27
2.4.3 Alimentador 0323	27
2.4.4 Subestación 05 “EL ARENAL”	27
2.4.5 Alimentador 0525	27
2.4.6 Curva de demanda mensual en los alimentadores 0323-0525	28
2.5 Buses eléctricos en el Ecuador.....	28
2.6 Consumo energético de los buses eléctricos en la ciudad de Cuenca	30
2.6.1 Cálculo de la capacidad de la batería de los buses eléctricos según su recorrido	31
2.6.2 Recarga de los buses eléctricos	32
2.7 Modelado eléctrico	33
CAPITULO 3.	34
CARACTERISTICAS DE LOS ALIMENTADORES	34
3. INTRODUCCIÓN	34
3.1 Estado actual de los alimentadores 0323 y 0525 sin electrolineras en operación.	34
3.1.1 Generador slack para el caso de estudio.....	34
3.1.2 Perfil de Carga en bornes de generación.	35
3.1.3 Redes de subtransmision electrica desde la subestacion Cuenca hacia la subestacion 03.	36
3.1.4 Transformadores subestacion 03 Monay.....	37
3.1.5 Alimentador 0323	38
3.1.6 Cargabilidad del alimentador 0323.....	38
3.1.7 Redes de subtransmisión desde la subestación 03 hacia la subestación 05.	42
3.1.8 Transformadores de la subestacion 05 Arenal	42
3.1.9 Alimentador 0525	43
3.1.11 Cuadro de resultados generales sin electrolineras.	46
3.2 Características del sistema electrico al introducir las electrolineras.....	47
3.2.1 Transformadores de la subestación 03 MONAY.....	47
3.2.2 Alimentador 0323 con electrolineras en operación.	48
3.2.3 Transformadores subestación 05 El Arenal	51
3.2.4 Alimentador 0525 con electrolineras en operación.	52
3.2.5 Cargabilidad del alimentador 0525 con electrolineras en operación.	54
3.3 Transformadores para electrolineras	54
3.4 Cuadro de resultados generales con electrolineras en operación.	55
CAPITULO 4.	57
ANALISIS DE RESULTADOS.....	57
4. INTRODUCCIÓN	57
4.1 Características eléctricas de las líneas de subtransmisión desde la subestación Cuenca hacia la	

subestación 03 Monay.....	57
4.2 Evaluación de datos subestación 03 Monay hacia subestación 08 Turi.....	66
4.3 Evaluación de datos desde la subestación 08 Turi hacia la subestación 05 El Arenal	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
Conclusiones.....	75
Recomendaciones	76
ANEXOS.	79

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Buses eléctricos según su fuente de energía.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. Componentes de un bus eléctrico</i>	<i>3</i>
<i>Figura 3. Motor delantero central y tracción posterior</i>	<i>3</i>
<i>Figura 4. Motor delantero transversal y tracción delantera</i>	<i>4</i>
<i>Figura 5. Motor posterior y tracción posterior</i>	<i>4</i>
<i>Figura 6. Diagrama de bloques del prototipo experimental del sistema compensador-generador</i>	<i>7</i>
<i>Figura 7. Esquema de un convertidos Buck</i>	<i>8</i>
<i>Figura 8. Esquema de un convertidor Boost.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 9. Esquema del convertidor Cuk</i>	<i>9</i>
<i>Figura 10. Esquema del convertidor SEPIC.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 11. Diagrama de bloques del rectificador AC/DC</i>	<i>10</i>
<i>Figura 12. Electrolinera V-Power.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 13: Beneficios del uso de buses eléctricos.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 14. Conector SAE J1772-2009</i>	<i>14</i>
<i>Figura 15. Conector IEC 60309</i>	<i>15</i>
<i>Figura 16. Conector IEC 62196.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 17. Punto de recarga en la vía pública</i>	<i>17</i>
<i>Figura 18: Estación de carga Lenta.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 19. Estación de carga rápida.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 20. Producción de energía en el Ecuador 2017.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 21. Producción de energía en el Ecuador.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 22. Distribución de líneas de buses en la Ciudad de Cuenca.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 23. Kilómetros recorridos por cada línea de la empresa CONTRANUTOME</i>	<i>24</i>
<i>Figura 24. Recorrido de los buses en la línea N-22 (Salesianos-Uda,Gapal).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 25. Ubicación de las electrolineras</i>	<i>25</i>
<i>Figura 26: Subestaciones pertenecientes a la Empresa eléctrica regional CENTROSUR</i>	<i>26</i>
<i>Figura 27. Curva de consumo energético en la ciudad de Cuenca.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 28. Factor de carga en los alimentadores 0323-0525</i>	<i>28</i>
<i>Figura 29. Bus eléctrico BYD modelo k9</i>	<i>30</i>
<i>Figura 30. Electrolinera implementada en la ciudad de Loja.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 31. Ventana de barras y herramientas para modelar las redes de la Centrosur en Digsilent Power Factory.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 32. Características del generador slack (Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente)</i>	<i>34</i>
<i>Figura 33. Perfil de carga combinado entre alimentadores 0323 y 0525 en bornes de Subestación Cuenca para el caso de estudio.</i>	<i>35</i>

<i>Figura 34. Línea 1 de Subtransmisión Subestación Cuenca – Subestación 03 Monay.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 35. Línea 2 de Subtransmisión subestación Cuenca – subestación 03 Monay</i>	<i>36</i>
<i>Figura 36. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion 03 Monay en bornes de Alta Tensión.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 37. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion 03 Monay en bornes de Media Tensión.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 38. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Inicio del alimentador 0323</i>	<i>38</i>
<i>Figura 39. Cargabilidad del alimentador 0323</i>	<i>39</i>
<i>Figura 40. Curva de cargabilidad a lo largo del día en el alimentador 0323 sin electrolineras operando. 39</i>	
<i>Figura 41. Corrientes de la carga eléctrica soportada por el alimentador 0323</i>	<i>41</i>
<i>Figura 42. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Fin del Alimentador 0323.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 43. Línea de subtransmisión desde la subestación 03 Monay hacia la subestación 05 Arenal.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 44. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion El Arenal en bornes de alta tension.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 45. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion El Arenal en bornes de media tension.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 46. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Inicio del alimentador 0323</i>	<i>43</i>
<i>Figura 47. Cargabilidad del alimentador 0525.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 48. Curva de cargabilidad a lo largo del día en el alimentador 0525 sin electrolineras operando. ..</i>	<i>45</i>
<i>Figura 49. Corrientes de la carga que esta soportando el alimentador 0525</i>	<i>45</i>
<i>Figura 50. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el fin de alimentador 0323</i>	<i>46</i>
<i>Figura 51. Datos de los flujos en el sistema eléctrico sin introducir electrolineras a los alimentadores.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 52: Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador en la subestacion Monay en los bornes de alta tension con electrolineras en operación.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 53. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion Monay en lado de media tension con electrolineras en operación.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 54. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al Inicio del alimentador 0323 con electrolineras en operación.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 55. Cargabilidad del alimentador 0323 con electrolineras en operación.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 56. . Cargabilidad del alimentador 0323 mientras electrolinera está operando en hora pico de la demanda máxima de potencia.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 57. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al final del alimentador 0323 con electrolineras en operación.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 58. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado al alimentador 0323.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 59. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado a electrolineras UDA.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 60. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador en la subestacion 05 El Arenal, en bornes de alta tension con electrolineras en operación.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 61. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion 05 El Arenal en bornes de media tension con electrolineras en operación.....</i>	<i>51</i>

<i>Figura 62. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al Inicio del alimentador 0525 con electrolineras en operación.</i>	52
<i>Figura 63. Cargabilidad del alimentador 0525 con electrolineras en operación.</i>	53
<i>Figura 64. Cargabilidad d alimentador 0525 mientras electrolinera esta operando en horas pico de la demanda mamxima de potenci.</i>	53
<i>Figura 65. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al final del alimentador 0525 con electrolineras en operación.</i>	54
<i>Figura 66. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado al alimentador 0525</i>	54
<i>Figura 67. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado a las electrolineras sector Camino Viejo a Baños.</i>	55
<i>Figura 68. Cuadro de resultados con electrolineras en operación.</i>	56
<i>Figura 69. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en línea 1 de Sub Transmisión desde la subestación Cuenca hacia la subestación 03 Monay</i>	58
<i>Figura 70. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente de la línea 2 de Sub Transmisión desde la subestación Cuenca hacia la subestación 3 Monay</i>	60
<i>Figura 71. Características eléctricas de los transformadores de la subestación 03 Monay</i>	62
<i>Figura 72. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Alimentador 0323.</i>	64
<i>Figura 73: Potencia y Corriente electrolineras sector Universidad Del Azuay</i>	65
<i>Figura 74. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del transformador de las electrolineras en el sector de la Universidad del Azuay.</i>	66
<i>Figura 75. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente Línea de Sub Transmisión que va desde la subestación 03 Monay hacia la subestación 08 Turi</i>	69
<i>Figura 76. Línea de Sub Transmisión que va desde la subestación 08 Turi hacia la subestación 05 El Arenal</i>	69
<i>Figura 77. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestación 05 El Arenal</i>	70
<i>Figura 78. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Alimentador 0525</i>	72
<i>Figura 79. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente electrolineras Camino viejo a Baños</i>	73
<i>Figura 80. Potencia activa, Potencia reactiva del Transformador de Electrolineras en Camino Viejo a Baños</i>	74

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Características de las baterías de los buses eléctricos</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 2: Características de las baterías de los buses eléctricos</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3: Línea 1 de Subtransmisión que va desde la subestación Cuenca hacia la subestación 03 Monay</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 4: Línea 2 de Subtransmisión que va desde Sub Estación Cuenca hacia Sub Estación 3</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 5: Transformador de Potencia Sub Estación 3</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6: Características eléctricas del Alimentador 0323.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 7: Datos técnicos de las electrolineras sector Universidad Del Azuay</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 8: Transformador de Electrolineras sector Universidad Del Azuay</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 9: Línea de Sub Transmisión que va desde Sub Estación 3 hacia Sub Estación 8</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 10: Línea de Sub Transmisión que va desde la subestación 08 Turi hacia la subestación 05 El Arenal</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 11: características eléctricas del Transformador de Sub Estación 05</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 12: Características alimentador 0525.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 13: características eléctricas electrolineras Camino Viejo a Baños</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 14: características eléctricas Transformador de Electrolineras en Camino Viejo a Baños</i>	<i>73</i>

Tabla de Anexos

Anexo 1. MODELO ELÉCTRICO PARA EL CASO DE ESTUDIO DE LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR Y SUS ALIMENTADORES.....	79
Anexo 2. CUADRO GENERAL DE RESULTADOS ELÉCTRICOS EN EL SOFTWARE DIGSILENT POWER FACTORY.....	81
Anexo 3. MODELO ELÉCTRICO DE LAS SUBESTACIONES PERTENECIENTES A LA CENTROSUR.....	83

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación “Caracterización y modelado Eléctrico para el Transporte público en la Ciudad de Cuenca”, se describe el análisis de los alimentadores y redes de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, el mismo que sirve para la propuesta de insertar puntos de recarga en lugares estratégicos de la Ciudad, con el fin de alimentar y asegurar la movilidad de los buses de transporte público que operaran con energía eléctrica dentro de una ruta establecida.

El contenido teórico realiza un análisis a nivel general de la situación actual y las características más importantes que conlleva operar los buses eléctricos y las electrolinerías de recarga; Posteriormente se realiza un modelado de las redes de distribución eléctrica en el programa Digsilent Power Factory, para analizar el estado en que se encuentran las Subestaciones y los Alimentadores que forman parte de la propuesta de insertar buses eléctricos y puntos de abastecimiento energético dentro la ruta destinada para la circulación de dichos buses

Los buses eléctricos y las electrolinerías que se utilizan para realizar este análisis son propiedad de la empresa Build Your Dreams (BYD), que actualmente están en etapa de pruebas en las ciudades de Loja y Guayaquil.

Palabras clave: MODELADO ELÉCTRICO, BUSES ELÉCTRICOS, ELECTROLINERAS, DIGSILENT POWER

ABSTRACT

In the current research work “Electrical description and modeling for public transportation in the city of Cuenca”, describing the analysis of the feeders and networks of the Regional Southern Central Electric Company, which is used for the proposal to include charging points in strategic locations in the City, in order to feed and ensure the mobility of public bus transportation that operate with electric power within an established route.

The theoretical content achieves a general analysis of the current situation and the most important features of operating electric buses and recharging stations; Subsequently, a modeling of the electrical distribution networks is carried out in the Digsilent Power Factory software, to analyze the state in which Substations and Feeders are and that form part of the propose of inserting electrical buses and energy supply points within the established route.

The electric buses and the electric stations that are used to carry out this analysis are property of the company Build Your Dreams (BYD), which are currently in testing stage in the cities of Loja and Guayaquil.

Keywords: ELECTRICAL MODELING, ELECTRICAL BUSES, RECHARGING STATIONS, DIGSILENT POWER FACTORY

CAPÍTULO 1.

1) FUNDAMENTACION TEÓRICA.

1.1 BUSES ELÉCTRICOS

Los gases de efecto invernadero como el CO_2 son conocidos por ser una de las principales causas del cambio climático. El CO_2 , como todos sabemos, es un producto del proceso de combustión de un motor siempre y cuando el motor utilice combustibles basados en HC¹. Un ejemplo de la iniciativa de reducción de gases de CO_2 lo llevó a cabo Corea en donde se ha planteado numerosas investigaciones para solucionar la contaminación, poco a poco se ha ido incluyendo vehículos eléctricos híbridos, vehículos de celda de combustible, y híbrido plug-in eléctrico.

Uno de los primeros buses eléctricos de fabricación europea, el **i2e** es un autobús estándar, de 12 metros de longitud, fabricado por la empresa Irizar en el País Vasco y con capacidad para 73 pasajeros. Se trata de uno de los primeros autobuses 100% eléctricos de fabricación europea. Está propulsado por un motor de 180 kW alimentado por baterías de sodio-níquel que, junto con los ultracondensadores, le dan una autonomía de entre 200 y 250 kilómetros, según las condiciones de operación. Las baterías se cargan durante la noche en la cochera y además pueden almacenar la energía recuperada de las frenadas durante la circulación. (Verdaguer, 2014)

En el año 2013 fue inaugurado el primer bus eléctrico en Chile, el mismo funcionó como laboratorio para ver qué innovaciones son aplicables a una mayor escala y qué políticas públicas son necesarias para apoyar este tipo de desarrollos sustentables, explica el gerente de innovación de Chilectra, Jean Paul Zalaquett. Sus ventajas fueron: eliminación de 4 toneladas de CO_2 . (Pizarro, 2013)

Un autobús eléctrico es un vehículo que funciona con electricidad. Hay dos categorías principales de autobuses eléctricos: autónomo, donde la energía se almacena en el autobús; y no autónomo, donde la energía eléctrica se suministra continuamente desde fuera del vehículo. Los buses eléctricos autónomos comprenden

¹ Hidrocarburos inquemados

principalmente los buses eléctricos de baterías, aunque existen ejemplos de otros modos de almacenamiento, tales como los *giro-bros* que utilizaban volantes. En los autobuses no autónomos, la electricidad puede suministrarse por contacto con cables aéreos, como en el trolebús, o más recientemente con conductores sin contacto en el terreno, como con el vehículo eléctrico en línea.

A continuación, se presenta un gráfico en donde se aprecia el tipo de buses eléctricos según su fuente de energía:

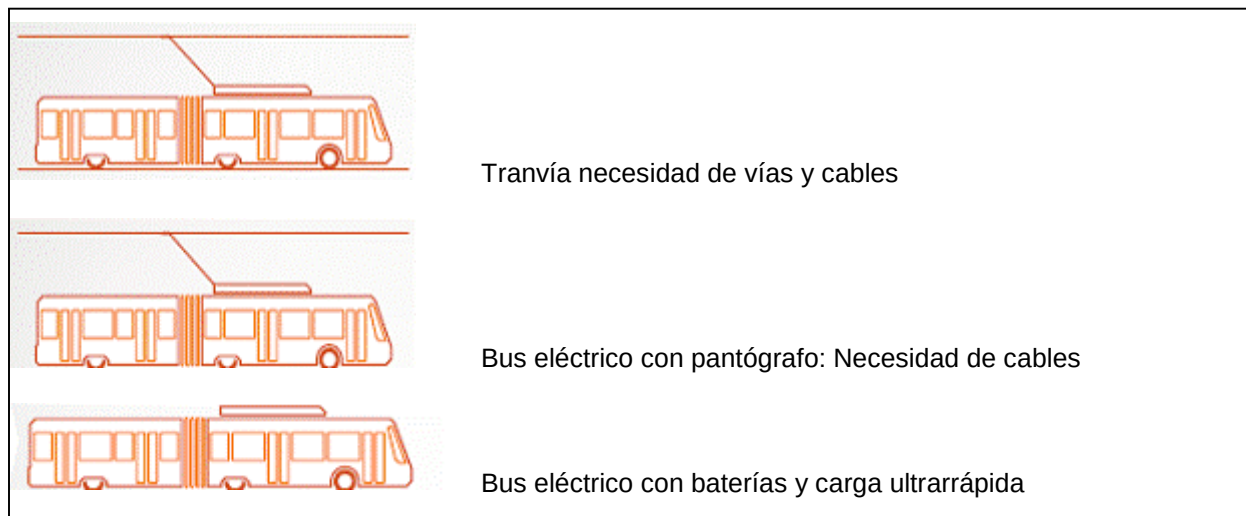


Figura 1. Buses eléctricos según su fuente de energía
Fuente: (Lebrón & Palacios, 2013)

1.1.1 Componentes de los buses eléctricos

El bus eléctrico fue diseñado para cumplir con los requisitos de la solución general para el sistema de transporte propuesto actualmente. Autonomie, una herramienta de diseño de uso común para el equilibrio energético y la gestión de vehículos, originalmente desarrollado por el Argonne National Lab (ANL) en los EE.UU., se utilizó para estimar los tamaños de los componentes del tren motriz, el dispositivo de almacenamiento de energía y otros sistemas, accesorios como, un calentador y acondicionador de aire, así como un motor auxiliar para conducir componentes heredados que requieren vacío y aire comprimido.

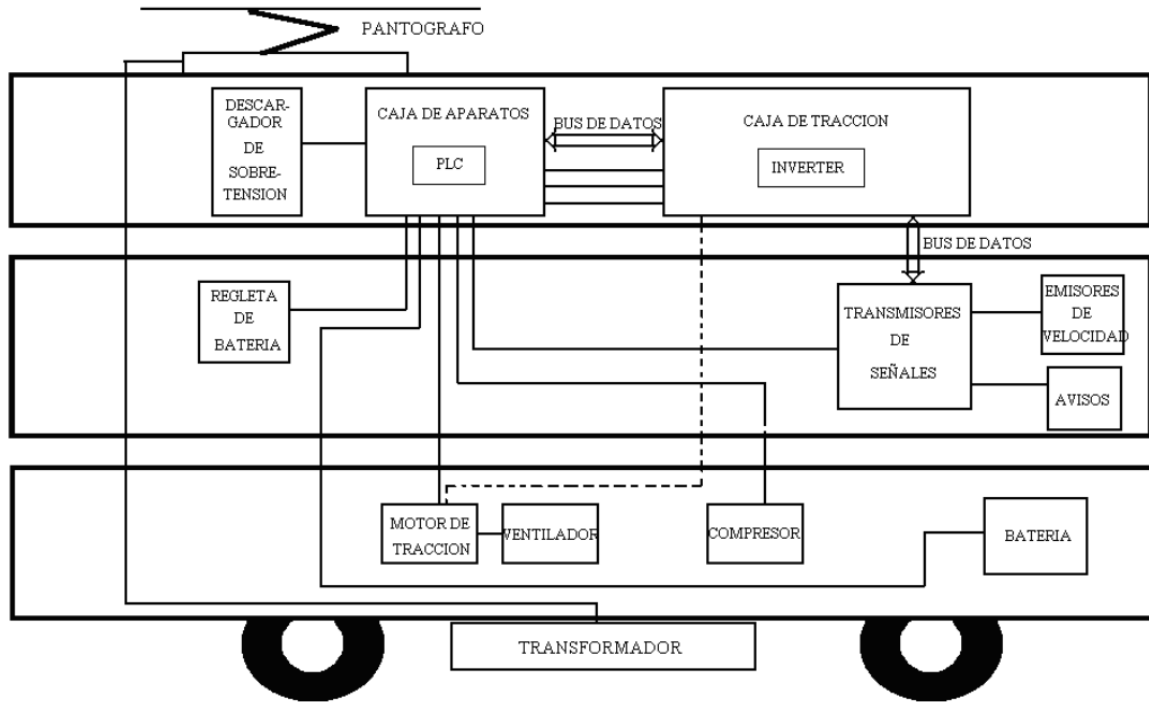


Figura 2. Componentes de un bus eléctrico
Fuente: (Solorzano, Soltysik Molina, & Bermudez Flores, 2005)

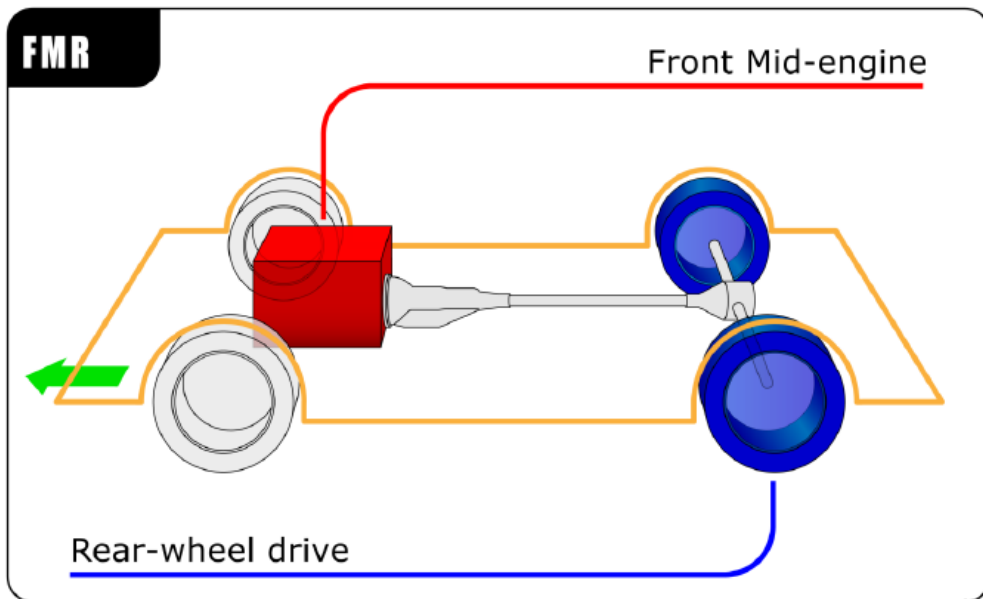


Figura 3. Motor delantero central y tracción posterior
Fuente: (Repositorio Universidad San Francisco de Quito, 2016)

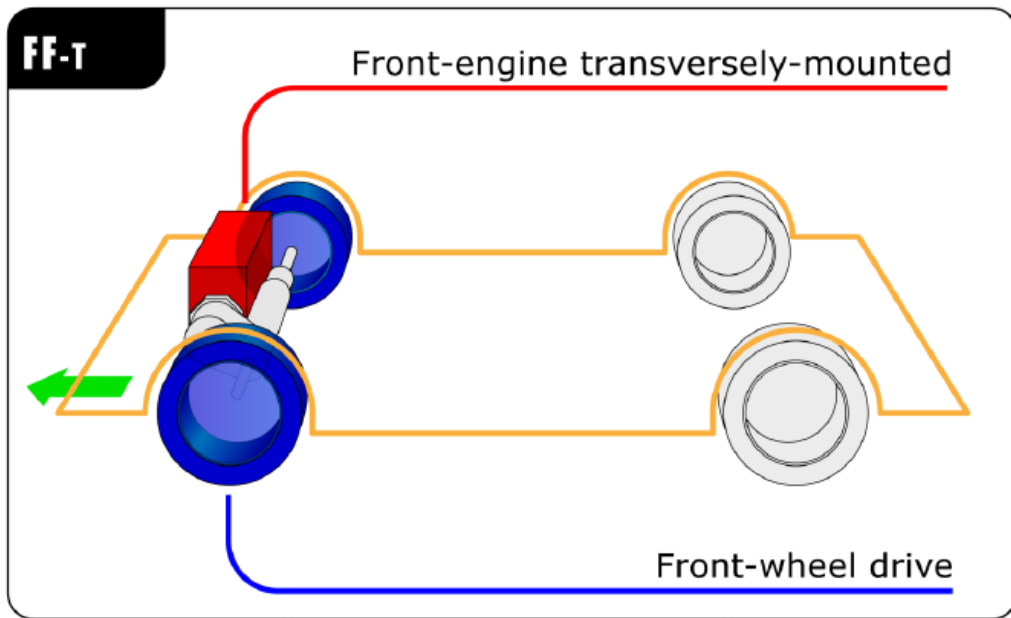


Figura 4. Motor delantero transversal y tracción delantera
Fuente: (Repositorio Universidad San Francisco de Quito, 2016)

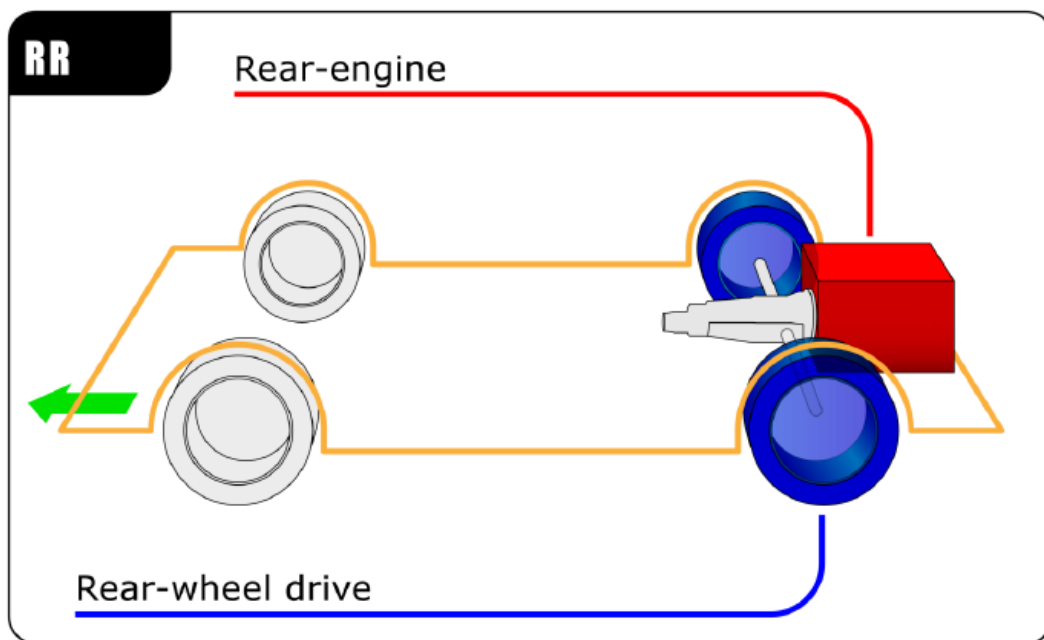


Figura 5. Motor posterior y tracción posterior
Fuente: (Repositorio Universidad San Francisco de Quito, 2016)

1.2 BATERÍAS

Se denomina batería eléctrica o acumulador eléctrico al dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que, posteriormente, la devuelve con ciertas pérdidas; este ciclo puede repetirse un determinado número de veces, la batería proporciona energía para la propulsión a través de una tracción eléctrica. Así como la alimentación de todos los sistemas y accesorios de vehículos. (Mapa Técnico Movilidad Eléctrica , 2012)

Las principales características de las baterías son las siguientes: (Mapa Técnico Movilidad Eléctrica , 2012)

- Fuerza electromotriz (f.e.m) o voltaje.
- Capacidad total
- Energía total
- Ciclos de vida

Clasificación de las baterías según su aplicación.

- **Baterías primarias.** Son aquellas baterías que una vez descargadas imposibilitan su recarga. Usualmente se utilizan para aplicaciones de baja potencia, puesto que una vez han sido descargadas deben ser sustituidas por otra que las remplace.
- **Baterías secundarias.** Son aquellas baterías que permiten ser recargadas una vez que han sido descargadas.
- **Baterías de funcionamiento en régimen estacionario.** Este tipo de baterías solo se descargan de forma ocasional; se utilizan en caso de fallar la alimentación de energía primaria (normalmente red eléctrica) o para ciertas aplicaciones puntuales, como por ejemplo en el arranque de un motor de combustión interna o en sistemas auxiliares. La batería permanece cargada durante tiempos bastante largos para lo que se le aplica un periodo continuo de carga, conocido como carga de mantenimiento.

- **Baterías de funcionamiento en regímenes cíclicos.** Son utilizadas como alimentación y posteriormente recargadas a través de una fuente primaria de energía (Mancebo, 2015)

Esta clasificación nos permite conocer que la principal diferencia de las baterías tiene que ver con los métodos de carga, por ejemplo, en un modelo estacionario la carga es continua, por otro lado, en el modelo cíclico las baterías deberán ser recargadas tanto como sea necesario, de esto depende su tiempo de vida útil.

1.2.1 Convertidores DC/DC

Los convertidores DC-DC de modo conmutado convierten un nivel de voltaje DC en otro, que puede ser mayor o menor, almacenando temporalmente la energía de entrada y liberando esa energía a la salida con un voltaje diferente. Este método de conversión puede aumentar o disminuir el voltaje. Conversión de conmutación es más eficiente de energía (a menudo de 75% a 98%) que la regulación de voltaje lineal, que disipa la energía no deseada como calor. (Mancebo, 2015)

Según (Moya & Gil , 2015) *“El convertidor DC-DC que conecta las baterías con el bus de continua tiene la capacidad de trabajar de forma bidireccional, permitiendo tanto la carga de las baterías como la extracción de energía desde dichas baterías hacia el bus de continua del filtro activo. Para el diseño del control del convertidor DC-DC resulta necesario tener en cuenta que la configuración del convertidor de dos etapas conectadas en cascada provoca que la respuesta del convertidor no se ajuste a la que ofrecen los modelos lineales”.*

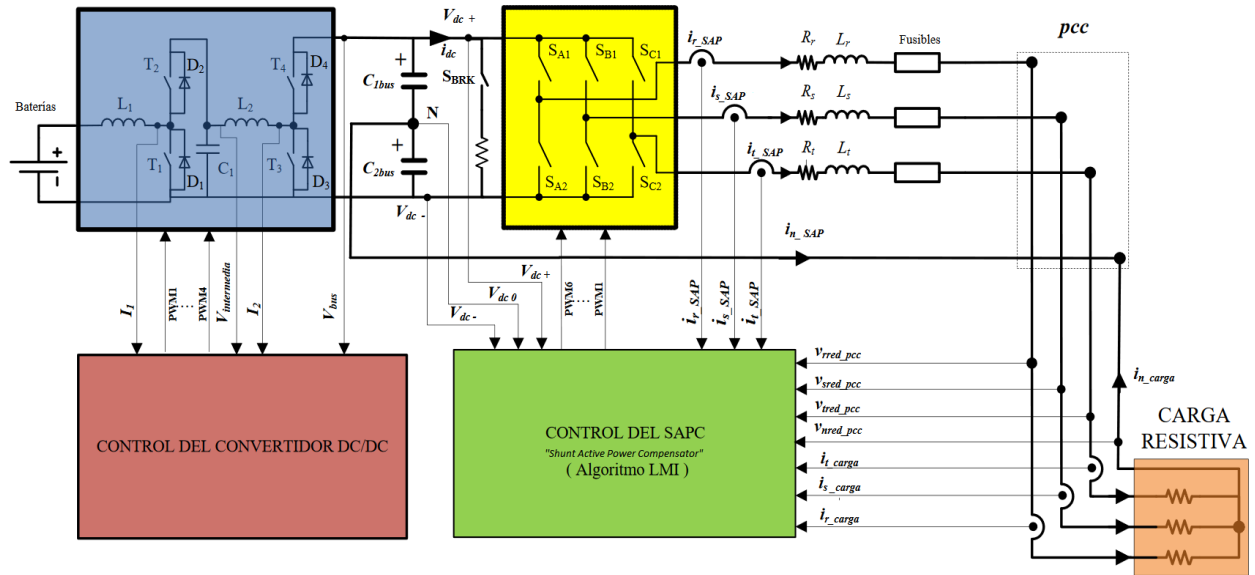


Figura 6. Diagrama de bloques del prototipo experimental del sistema compensador-generador

Fuente: (Moya & Gil , 2015)

Para un buen control de la máquina mediante el uso de baterías, se debe adecuar de forma correcta la tensión del bus de continua que alimenta el inversor (PWM – Pulse Width Modulation). Por ello, será necesario refinar lo máximo posible los parámetros de control, manejando las sobreoscilaciones, como el rizado y los tiempos de establecimiento en lazo cerrado, dentro de unos márgenes permitidos por la dinámica del sistema. Para poder realizar esta transmisión de energía bidireccional, esta topología de convertidor debe permitir el cambio de dirección de la corriente del sistema. (Mancebo, 2015)

Mientras que el sitio web (ETSEIB, 2009) nos presenta las siguientes tipologías de convertidores DC/DC:

Buck: El convertidor de DC-DC tipo Buck tiene una única entrada y salida. Permite obtener una tensión de salida igual o menor que la tensión de entrada y sin invertir la polaridad de la tensión de salida respecto la de la entrada.

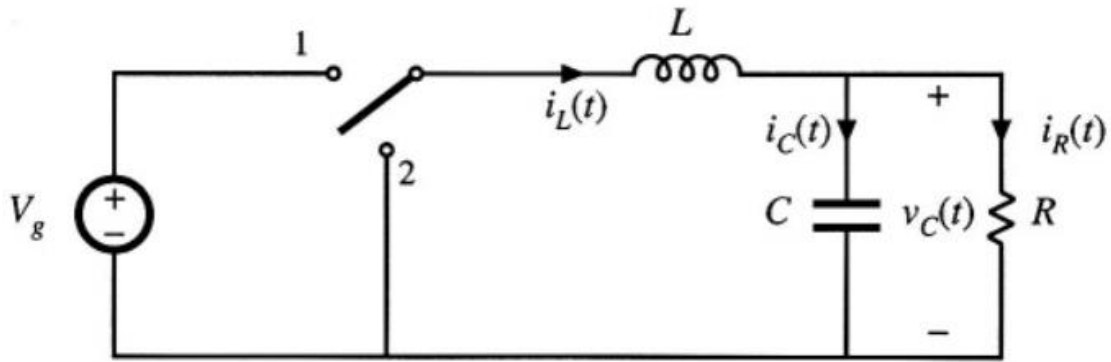


Figura 7. Esquema de un convertidos Buck
Fuente: (ETSEIB, 2009)

Boost: Al igual que el tipo Buck, el tipo Boost también es un sistema de segundo orden, al estar compuesto de una bobina, un condensador y un interruptor entre estos. La posición del interruptor respecto a los componentes de los convertidores Buck y Boost es lo que los difiere y les da el carácter reductor o elevador de tensión respectivamente.

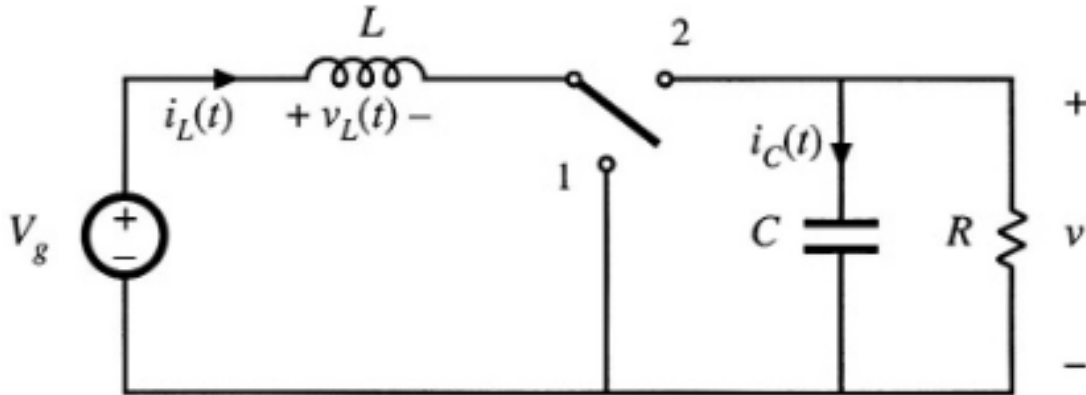


Figura 8. Esquema de un convertidor Boost
Fuente: (ETSEIB, 2009)

Cuk: El convertidor tipo Cuk, se deriva de la unión en cascada de un convertidor tipo Boost seguido de un tipo Buck. Debido a la disposición de los componentes internos, al realizar la unión en cascada, dicho componentes no se pueden simplificar, por lo que el convertidor tipo Cuk tiene 2 bobinas y dos condensadores.

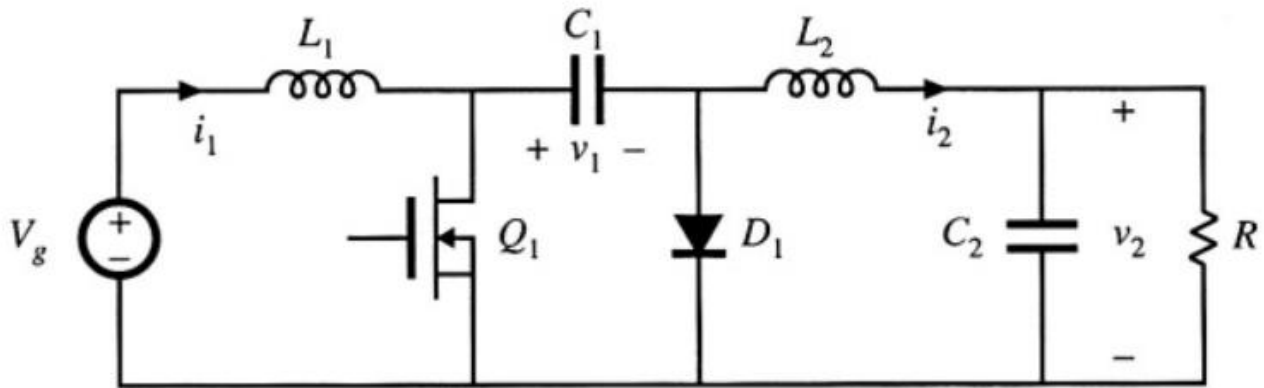


Figura 9. Esquema del convertidor Cuk
Fuente: (ETSEIB, 2009)

SEPIC: Las siglas SEPIC significan Single Ended Primary Inductance Converter, y a diferencia de los convertidores Buck-Boost y Cuk, este no se deriva de ningún otro convertidor más simple. Consta de 2 bobinas y otros 2 condensadores, resultando un convertidor de cuarto orden. La inductancia en serie en la entrada le da parte del nombre al convertidor, además de ayudar a filtrar la corriente de entrada de armónicos no deseados.

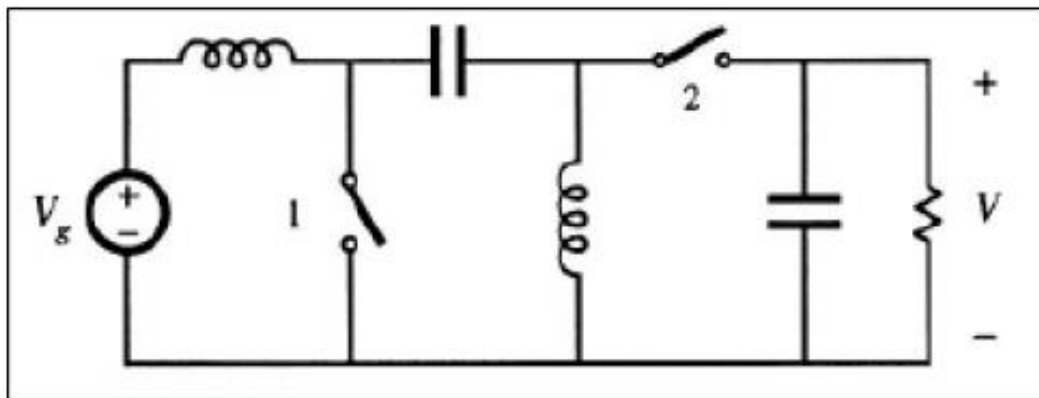


Figura 10. Esquema del convertidor SEPIC
Fuente: (ETSEIB, 2009)

1.2.2 Inversor DC/AC

Para Vidal (2012) este tipo de inversor corresponde a una red de eléctrica comercial, la cual suministra corriente alterna (CA), en cualquier parte cualquier cosa que se "conecta" a la energía de la red, puede funcionar. Corriente Alterna es una

corriente que cambia su dirección muchas veces por segundo (60 hz). Y se utiliza para el servicio de la red de energía comercial, porque es más práctico para la transmisión de larga distancia. Por su parte la corriente directa (DC) es una electricidad fluye en una sola dirección, las baterías proporcionan electricidad de corriente continua (en una sola dirección). En pocas palabras, el inversor AC/DC es un adaptador de corriente que basado en un sistema de baterías, permitiendo operar a los aparatos convencionales de Corriente Alterna directamente o por medio de cableado de la vivienda convencional.

Su arquitectura está orientada a pequeños sistemas de generación o micro generadores, de allí se deriva el nombre de micro-inversor, conectado a un panel fotovoltaico. El hecho de manejar pequeños voltajes en el bus de DC de un micro-inversor sugiere la necesidad de usar dos etapas de conversión para lograr voltajes prácticos, lo cual compromete la eficiencia de cada módulo. Para contrarrestar las pérdidas individuales de cada módulo, se recurre a la conexión en cascada, con lo cual se logra un voltaje en el bus de DC que puede llegar a compensar las pérdidas asociadas al nivel de voltaje del bus de DC. Una primera propuesta, que puede denominarse “arquitectura DC – serie” consiste en la conexión en serie de las etapas de conversión DC-DC y posteriormente realizar la conversión DC-AC con una única etapa centralizada. Otra opción, es la “arquitectura AC-serie” que consiste en conectar en cascada las salidas de las etapas de conversión DC-AC de cada micro-inversor. (Alvarez, 2015)

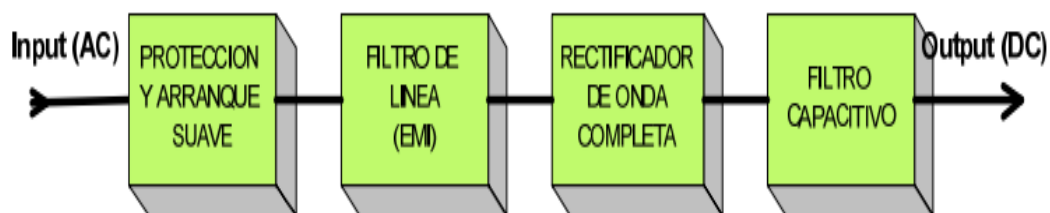


Figura 11. Diagrama de bloques del rectificador AC/DC
Fuente: (Estrella, 2009)

1.3 INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA- ELECTROLINERAS

En la investigación denominada “Evaluación de la sostenibilidad de la movilidad eléctrica urbana a través de un Modelo MIVES” su autora (Arango, 2012) nos cuenta que gran parte de la infraestructura requerida por los vehículos eléctricos existe hace tiempo, la misma está presente en carreteras, estacionamientos. Sin embargo, aún no cuenta con el componente esencial, la estación de recarga óptima para abastecer energía a vehículos eléctricos dentro y fuera de la ciudad. La posibilidad de ofrecer un abastecimiento rápido de energía a los vehículos es interesante, pues la autonomía de éstos ya no sería un limitante tan fuerte. Para ello, se plantean diferentes alternativas que van desde la opción de puntos de recarga rápida o semi-rápida hasta el intercambio de batería.

Es por ello que para (Arango, 2012) es necesario innovar y desarrollar las electrolineras. Estas, se pueden ubicar dentro de estaciones de servicio convencionales o se pueden construir espacios sólo para este tipo de recarga, las mismas se caracterizan por ser de carga rápida; pueden ser tanto suministradores de electricidad de corriente directa al vehículo o infraestructuras de intercambio de batería. Este tipo de tecnología se caracteriza por tener costos muy elevados y en ocasiones la inseguridad para la manipulación de sus usuarios.



Figura 12. Electrolinera V-Power.
Fuente: (Solís, 2017)

Según (ENEL , 2015) *“En Chile las comunas Santiago, Vitacura, Las Condes y Huechuraba, se encuentran a menos de 10 km de distancia entre uno y otro, generando la primera red de electrolíneas del país, con ella se completó la instalación de 10 electrolíneas. Lo que permite proveer a Santiago de una infraestructura de electrolíneas que asegura la normal circulación de los vehículos eléctricos, considerando que sus autonomías fluctúan entre 100km. y 300 km, dependiendo del modelo. La mayoría de los puntos de carga que existen son los llamados “rápidos” (sobre 50 kW), los que en tan solo 15 minutos pueden cargar el 50% del vehículo. Los de carga lenta (7kW), alcanzan el mismo objetivo en 1,5 horas”.*

Una infraestructura que favorezca el incremento del uso del vehículo eléctrico debe cumplir con lo siguiente:

- Las infraestructuras deben servir para diferentes modelos de vehículos eléctricos, o deben existir suficientes estaciones que suplan la demanda, que la incentiven y que tengan la capacidad de suplir la que incentivaron.
- Se debe contemplar, el costo, el tiempo de carga, la seguridad y la practicidad de la infraestructura.
- Debido a que se realizarán recargas en horas Pico y No Pico, se debe tener un control de la energía proporcionada, para esto, es necesario la instalación de contadores inteligentes y realizar una diferenciación de tarifas de consumo nocturna y diurna.
- Se debe evitar la pérdida de espacio público por la ubicación de las estaciones.
- No se debe generar desorden en las vías debido a las estaciones de recarga. o Las estaciones de recarga deben tener una ubicación estratégica (Arango, 2012, p.30).

1.3.1 Visión general

Los buses de transporte público, al consumir energías limpias, apoyan al medio ambiente y contribuyen a reducir la contaminación sonora en las calles; mientras operen en buenas condiciones no generarán un coste externo, por lo tanto el coste ambiental será igual a cero. (Delzo, 2014)

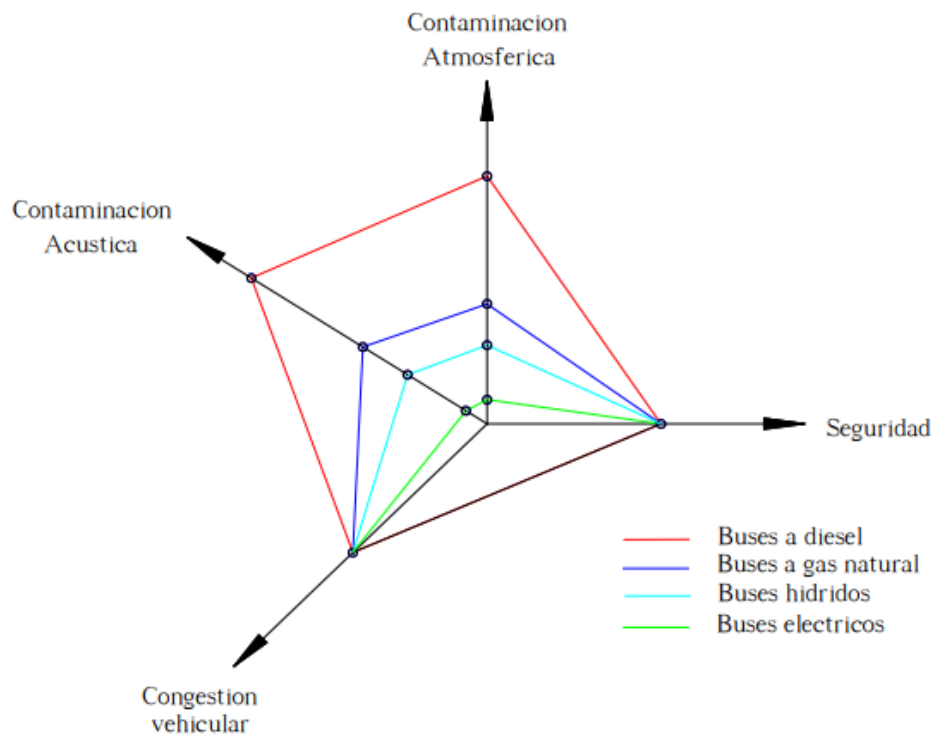


Figura 13: Beneficios del uso de buses eléctricos
Fuente: (Delzo, 2014)

1.4 CARGADORES

Es el sistema que permite recargar la energía en el banco de baterías, se debe realizar en base a criterios técnicos de mantenimiento, proporcionando la energía necesaria para provocar la reacción electroquímica inversa en la batería, sin comprometer los materiales que la constituyen, que logra su recarga. Estos sistemas pueden ser alimentados mediante la red pública (220V@60Hz) o algún otro sistema que genere energía eléctrica. (Martinez, 2013)

1.4.1 SAE J1772-2009

Es un estándar norteamericano específico para vehículos eléctricos. Está compuesto de cinco bornes, los dos de corriente, el de tierra, y dos complementarios, de detección de proximidad y de control. Este enchufe tiene la capacidad de suministrar 16,8 Kw (240V, 70A) permite recargar de forma alterna y continua, por esta razón puede reducir el tiempo de carga de 8 horas a 20 minutos, con una potencia de 100kW, permite satisfacer las necesidades de cada vehículo. (Córdova, 2015)



Figura 14. Conector SAE J1772-2009
Fuente: (Córdova, 2015)

1.4.2 IEC 60309

Este tipo de conector, es de tipo industrial, el mayor voltaje permitido por la norma es de 690 VCC; la corriente más alta, 250A; y la mayor frecuencia es 500 Hz, este enchufe se identifica por colores, para frecuencias mayores se usan conectores de color verde. (Córdova, 2015)



Figura 15. Conector IEC 60309
Fuente: (Córdova, 2015)

1.4.3 IEC 62196

Este conector carga vehículos eléctricos hasta 250 A en corriente alterna y 400 A. en corriente continua, el mecanismo de este sistema es que no conecta la electricidad, a menos que esté conectado a un vehículo que permanezca inmovilizado. Su carga máxima es 3.7 kW y soporta una temperatura ambiental de -30° C hasta 50°C a más de un sensor térmico integrado. (Córdova, 2015)



Figura 16. Conector IEC 62196
Fuente: (Córdova, 2015)

1.5 TIPOS DE RECARGA

Con respecto a los tipos de recarga Delzo (2014) nos presenta la siguiente tipología:

- **Recarga diurna:** Para el caso de recarga diurna, la empresa abastecedora informa desde su página Web que el tiempo de recarga de batería es de 3 horas, la misma se realiza en el inicio y fin de recorrido, además se añade un tiempo aproximado de 8 segundos en el proceso de conexión del enchufe a la fuente de alimentación.
- **Recarga nocturna:** Para estimar el tiempo total de recarga nocturna primero se tiene que considerar que aproximadamente el recorrido entre dos cabeceras de una línea es aproximadamente 10 Km. y que el tiempo de servicio diario (P) es de 17 horas/ día.

1.5.1 Sitios de recarga

El vehículo eléctrico requiere de una fuente de suministro. La potencia requerida para cada punto de recarga deberá ser variable dependiendo en sí de varios parámetros como son: potencia de la acometida, franja horaria de recarga, incidencias en la red, perfiles de recarga del usuario, etc. Dada las características de los diferentes perfiles de los usuarios se podrían clasificar los puntos de recarga en los siguientes:

- *Vías públicas*
- *Parqueaderos eléctricos*
- *Resistencias Individuales o colectivas*
- *Estaciones de servicio eléctricas* (Torres, 2015)

1.5.2 Puntos de recarga en vía pública

Los puntos de recarga en la vía pública dan la posibilidad y facilidad a los

propietarios del vehículo a acceder a la recarga de su vehículo en el transcurso de su jornada de trabajo, de esta manera se lograría una mayor autonomía, este tipo de recarga representa un complemento al punto de recarga completa, es decir, en caso de necesidad. Teniendo en cuenta que un vehículo tarda en cargarse 8 horas aproximadamente y más de esto existirá más de un usuario que requiera cargar su batería. (Torres, 2015)



Figura 17. Punto de recarga en la vía pública
Fuente: (ENDESA, 2016)

1.5.3 Estación de carga lenta

Se trata simplemente de conectar el coche a cualquier enchufe “domestico” (tipo Schuko), donde se producirá una carga con corriente alterna Bifasica a 230V, 16A y con 3,6 kW de potencia máxima. El tiempo de carga varía mucho dependiendo de la capacidad de la batería que incorpore el VE, estando cargado completamente entre 5-8 horas. Existe también otro tipo de recarga que utiliza corriente alterna trifásica a 400V y 16A, pudiendo llegar a los 11 kW de potencia, que deja cargas completas en 2-3 horas, dicha solución es menos utilizada que la bifásica, ya que la bifásica se encuentra disponible en cualquier vivienda o garaje privado. (Electromovilidad, 2017)



Figura 18: Estación de carga Lenta
Fuente: (ENDESA, 2016)

1.5.4 Estación de carga rápida

La carga rápida requiere mayor potencia que la carga lenta y media, por lo tanto, se puede llegar a requerir una ampliación de la red eléctrica existente. Así mismo, al tener una mayor potencia e intensidad requiere de más control y medidas de protección, lo cual incide en un aumento de los costos de las infraestructuras de suministro. Este tipo de carga está en desarrollo, sin embargo, países como Japón y Dinamarca tienen una amplia red de recarga rápida, esto debido a la urbanización de las ciudades de éste país, donde la gente habita en edificios multifamiliares que no ofrecen garajes o espacios de recarga nocturna para los dueños de vehículos eléctricos. La carga Rápida se caracteriza por realizarse con corriente continua, para esto, los vehículos tienen los inversores incluidos. El objetivo es poder recargar el 100 % de la batería del vehículo en menos de 5 minutos, para de esta manera poder llegar a competir con el tiempo que puede demorarse un vehículo de combustión interna en una estación de servicio. (Arango, 2012)



Figura 19. Estación de carga rápida
Fuente: (TESLA, 2016)

CAPÍTULO 2.

METODOLOGÍA

2. Introducción

En esta sección se planifica, modela y estructura la información recopilada para realizar el análisis del consumo eléctrico, y determinar la viabilidad al implementar las electrolinerías en las redes de la Centrosur y el cambio de buses convencionales de combustión por buses eléctricos, en una línea de transporte público en la ciudad de Cuenca.

2.1 Viabilidad en la implementación de buses eléctricos.

En el sector eléctrico ecuatoriano existen diversos recursos energéticos renovables con un gran parque generador que aprovechan los recursos hídricos para realizar mega infraestructuras de generación hidroeléctricas y otras, con tecnologías alternativas de gran importancia que permitirán aportar con esta propuesta de implementar Buses eléctricos y estaciones de recarga en la Ciudad de Cuenca.

2.2 Generación eléctrica en el Ecuador

El Ecuador tiene una gran riqueza Hídrica, es por ello que existe mega proyectos para la generación de energía, que permite asegurar el abastecimiento adecuado de energía, así como también la mejora en los sistemas de transmisión adaptándose a la oferta y demanda de electricidad, ya sean actuales y futuras, propuestas por el plan maestro de electrificación en el Ecuador.

Producción Total de Energía e Importaciones 2017		GWh	%
Energía Renovable	Hidráulica	18.721,37	66,89%
	Eólica	72,93	0,26%
	Fotovoltaica	38,79	0,14%
	Biomasa	431,75	1,54%
	Biogas	18,99	0,07%
Total Energía Renovable		19.283,84	68,90%
No Renovable	Térmica MCI	5.408,05	19,32%
	Térmica Turbogás	1.991,07	7,11%
	Térmica Turbovapor	1.287,25	4,60%
Total Energía No Renovable		8.686,38	31,04%
Total Producción Nacional		27.970,22	99,94%
Interconexión	Colombia	18,15	0,06%
	Perú	0,00	0,00%
	Importación	18,15	0,06%
Total Producción Nacional + Importación		27.988,38	100,00%

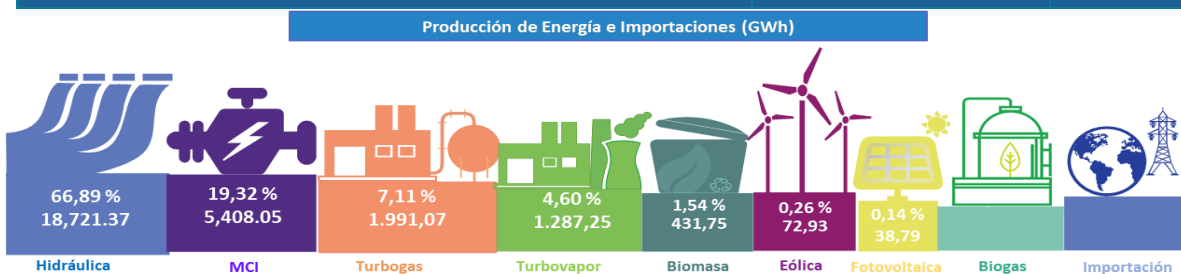


Figura 20. Producción de energía en el Ecuador 2017
Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017)

El plan maestro de electrificación en el escenario de expansión de la demanda de energía eléctrica 2013-2022, incluye una política relevante al ingreso de 3,5 millones de cocinas de inducción correspondientes a los años 2015-2017 además de las siguientes premisas:

- Crecimiento tendencial de consumo
- Proyectos Mineros
- Transporte eléctrico masivo (Metro de Quito, Tranvía de Cuenca)

- Cambio de matriz energética productiva
- Proyectos de eficiencia energética
- Ciudad del conocimiento (Yachay)
- Abastecimiento a la demanda de la refinería del Pacífico (etapas de construcción y operación)

Este escenario de expansión de la demanda toma en consideración los proyectos y cambios energéticos más importantes y de acuerdo a este análisis proyecta que se requerirán proyectos de generación hidroeléctrica adicionales y proyectos de generación térmica para cubrir las necesidades extremas de generación para cubrir los requerimientos del país en 10 años. (CONELEC, 2013).

PLAN DE EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN 2013-2022

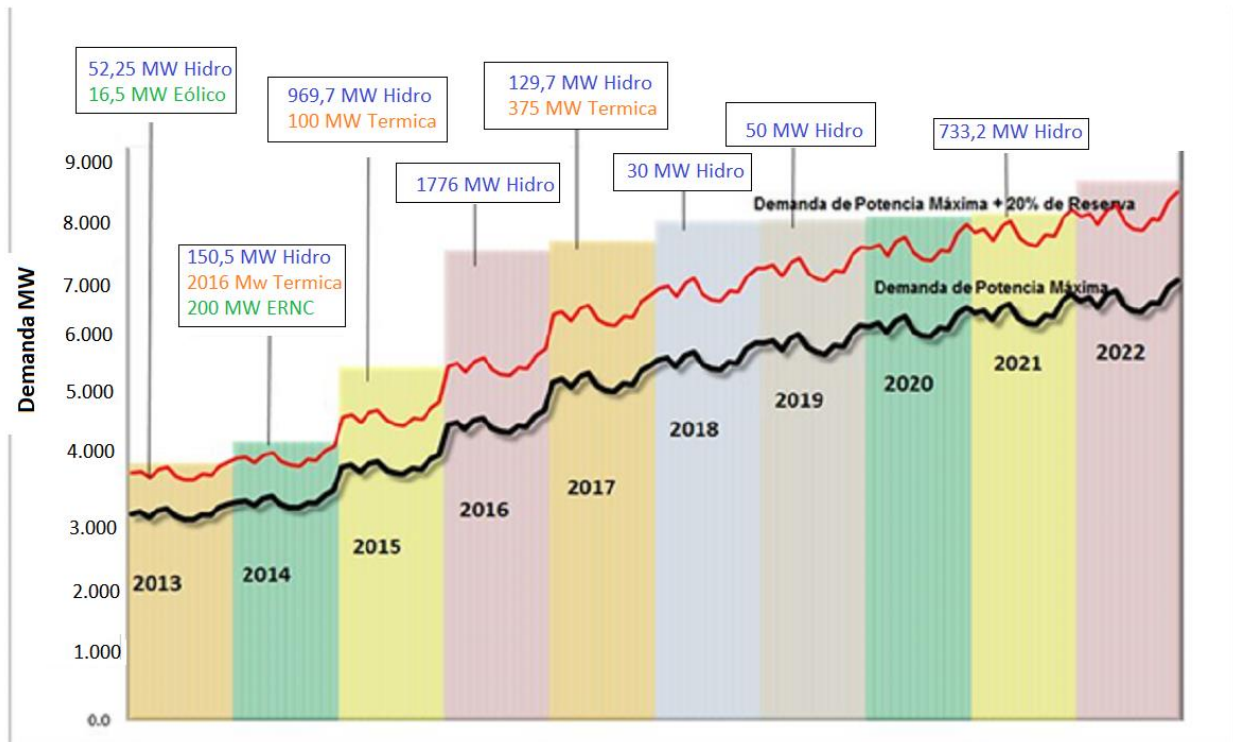


Figura 21. Producción de energía en el Ecuador
Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017)

2.3 Movilidad en la ciudad de Cuenca

La Ciudad de Cuenca cuenta con 475 buses en 28 rutas diferentes movilizand 318,352 Personas diarias, las mismas que están distribuidas en 7 empresas como se muestra en la figura (22), se observa que la empresa COMTRANUTOME tiene más líneas en servicio puesto que maneja más unidades de transporte. (I.MUNICIPALIDAD, 2015)

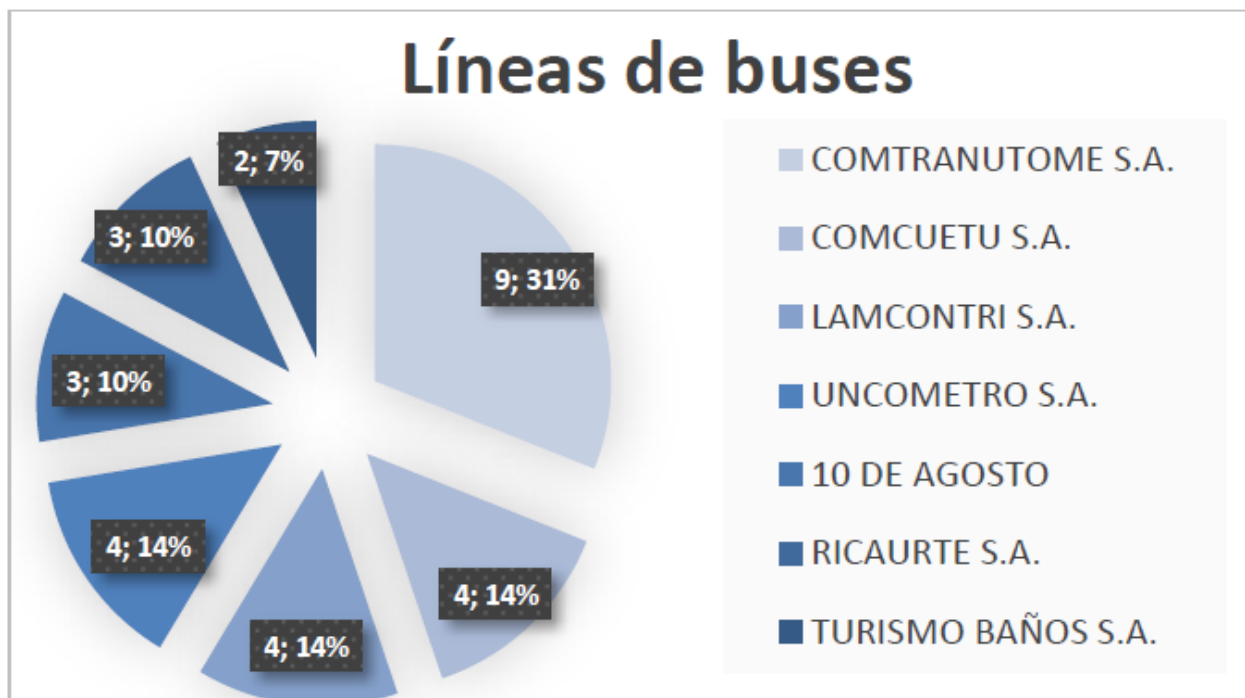


Figura 22. Distribución de líneas de buses en la Ciudad de Cuenca
Fuente: (Ruiz Castillo & Villacreses Novillo, 2015)

La línea N^o 22 GAPAL, UDA-SALESIANOS con una longitud de recorrido de 28,6 km. Moviliza 18.000 personas diarias (I.MUNICIPALIDAD, 2015). Por lo tanto, se considera la más factible para realizar el análisis, al tomar en consideración varios factores del sistema de transporte público, las características de los buses eléctricos y las estaciones de recarga. Los factores considerados son los siguientes:

- Longitud de la línea, medida en km de cabecera a cabecera.
- Velocidad comercial de la línea y tiempo total de duración del recorrido.

- Autonomía de las Baterías de los buses con una sola recarga.
- Ubicación de las electrolineras y alimentadores que servirán a dichos puntos de carga.

La figura (23) muestra el kilometraje de recorrido de las líneas a cargo de la empresa CONTRANUTOME.

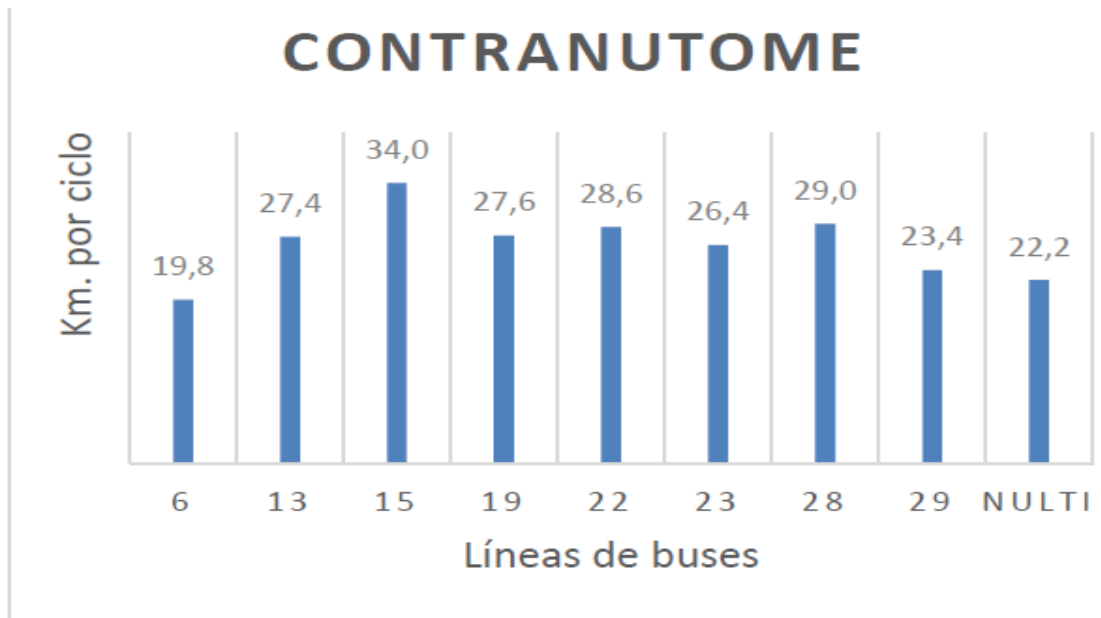


Figura 23. Kilómetros recorridos por cada línea de la empresa CONTRANUTOME
Fuente: (Ruiz Castillo & Villacreses Novillo, 2015)

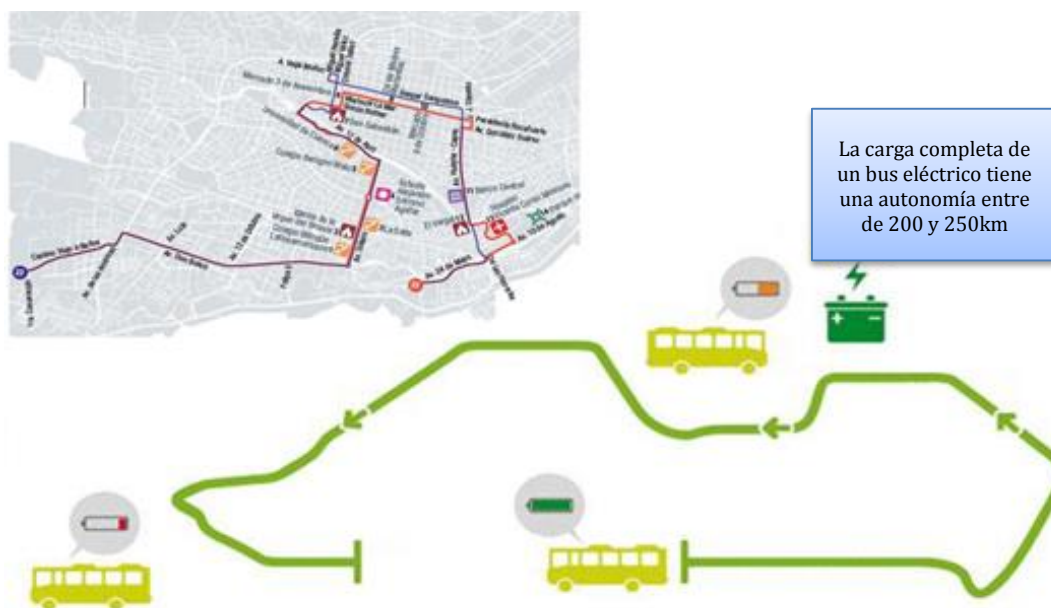


Figura 24. Recorrido de los buses en la línea N-22 (Salesianos-Uda, Gapal)
Fuente: Autor

2.4 Sistema de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur para el caso de estudio.

El sistema de Distribución de la CENTROSUR inicia en la subestación Cuenca, ubicada en el sector Rayoloma, perteneciente a la parroquia El Valle.

La subestación Cuenca recibe la energía del SNI (Sistema Nacional Interconectado) por medio de una línea de transmisión de 138kV. Esta subestación es reductora de (138kV / 69kV) que distribuye a las subestaciones pertenecientes a la CENTROSUR mediante una línea de subtransmisión de 69Kv, y hacia los alimentadores primarios con niveles de voltaje de 22, 13.8 y 6.3 Kv. Siendo estos alimentadores los que transferirán energía a las electrolineras propuestas en este estudio.

Se propone ubicar electrolineras que recargaran las baterías de los buses eléctricos en el Inicio y Fin de la ruta N° 22 “Gapal-Salesianos”, específicamente en la Av. 24 de Mayo y Francisco Moscoso Conectándose al alimentador 0323 perteneciente a la subestación 03 MONAY, en el camino viejo a baños y calle Primera Convención, utilizando el alimentador 0525 perteneciente a la subestación El Arenal.

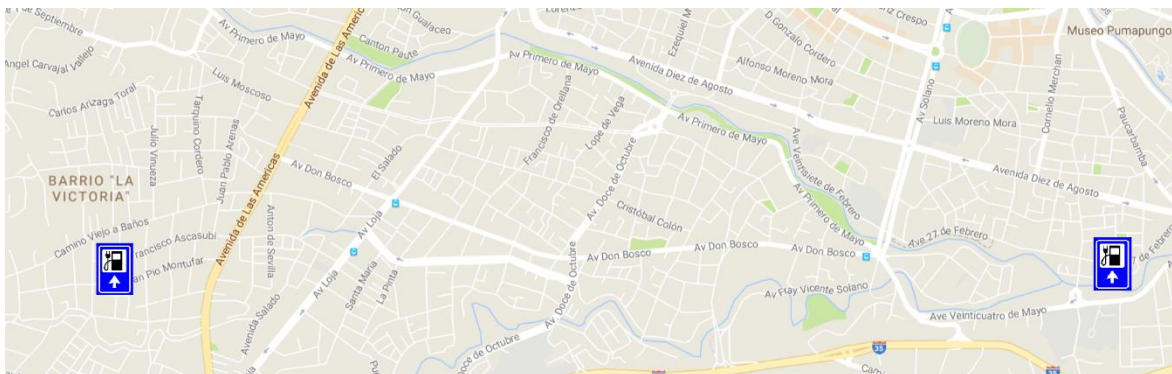


Figura 25. Ubicación de las electrolineras
Fuente: Autor

2.4.1 Demanda energética en la ciudad de Cuenca

El área de estudio para la implementación de los buses eléctricos y las electrolineras será centrada en el área urbana del cantón Cuenca, que está interconectada por 7 subestaciones principales encargados de distribuir la energía para

satisfacer la demanda diaria al sector residencial, comercial e industrial, estas subestaciones se detallan en la figura (26)

NOMBRE	NÚMERO	VP (kV)	VS (kV)	Provincia	Cantón	DIRECCION	Subtipo
Luis Cordero	01	22	6.3	Azuay	Cuenca	Luis Cordero y Rafael María Arizaga	Interior
Puente del Centenario	02	22	6.3	Azuay	Cuenca	Benigno Malo y Calle Larga	Interior
Monay	03	69	22	Azuay	Cuenca	Max Uhle y Pumapungo	Exterior
Parque Industrial	04	69	22	Azuay	Cuenca	Av. del Toril y Barrial Blanco	Exterior
Arenal	05	69	22	Azuay	Cuenca	Tarquino Cordero y Cornelio Crespo Vega	Exterior
El Verdillo	06	69	22	Azuay	Cuenca	El Verdillo	Exterior
Ricaurte	07	69	22	Azuay	Cuenca	Molinopamba (Ricaurte)	Exterior

Figura 26: Subestaciones pertenecientes a la Empresa eléctrica regional CENTROSUR

Fuente: (Calle, 2013)

En referencia al consumo energético en la ciudad de Cuenca, la curva diaria presenta una elevación desde las 06h00 hasta las 20h00, siendo desde las 18h00 hasta las 20h00 el valor pico de mayor consumo; por este motivo es imprescindible desarrollar políticas de una recarga lenta nocturna en la noche a partir de las 22h00 hasta 07h00 de los buses eléctricos, para no influir demasiado en las horas picos de consumo, de acuerdo a la curva de demanda de energía diaria, mostrada en la figura (27).

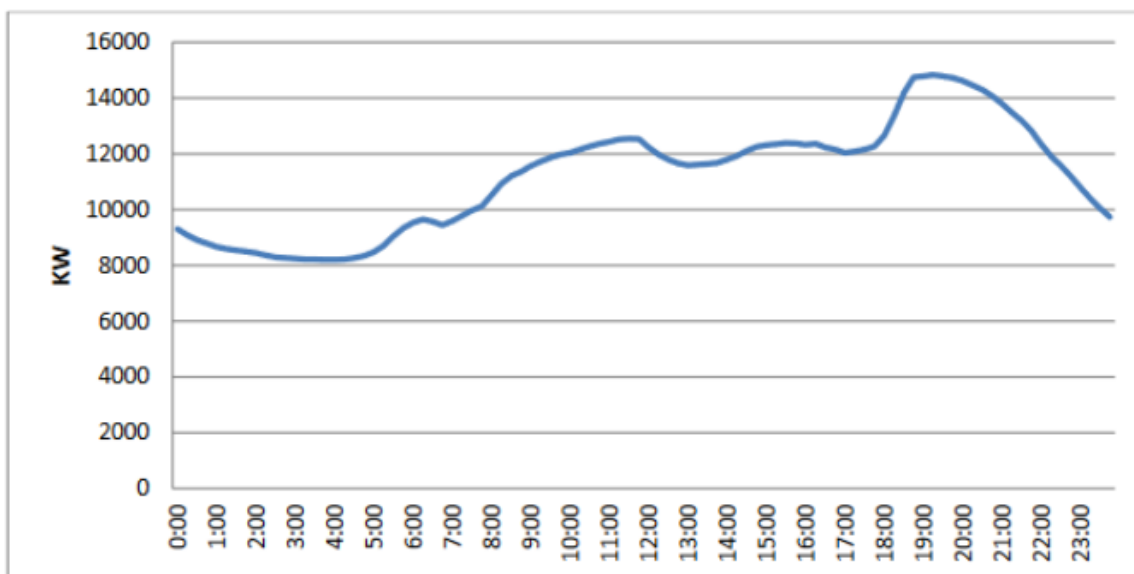


Figura 27. Curva de consumo energético en la ciudad de Cuenca.

Fuente: (Calle, 2013)

2.4.2 Subestación 03 “MONAY”

La subestación Monay recibe la energía de la subestación Cuenca por medio de dos líneas aéreas de subtransmisión con nivel de voltaje de 69kV, recorriendo una longitud de 3km y 343km cada una de ellas. Este tipo de configuración en anillo es muy eficiente para mantener el suministro eléctrico constante a la ciudad en el caso de falla de alguna de las líneas.

2.4.3 Alimentador 0323

El alimentador 0323 inicia en la subestación Monay desde los transformadores de potencia de 10,7 MW de conexión trifásica con calibre de conductores 3/0 para cada fase, que lleva una tensión de 22kV y dicho alimentador también cuenta con una configuración monofásica a lo largo de su recorrido. La configuración trifásica tiene una longitud de 13,4 km y la monofásica recorre unos 4.53km dando un total de recorrido de 17,93km, dotando de energía eléctrica a una parte del sector sur de la ciudad de Cuenca.

2.4.4 Subestación 05 “EL ARENAL”

La subestación 05 El Arenal es una subestación que recibe energía por las líneas del anillo de subtransmisión de 69kv desde la subestación 03 Monay, interconectadas con una línea de subtransmisión ACSCR de 473mcm, La subestación cuenta con dos transformadores conectados en paralelo, son transformadores reductores de 69kV/22Kv.

2.4.5 Alimentador 0525

El alimentador 0525 perteneciente a la subestación 05 suministra energía a una parte del sector sur y suroeste de la ciudad de Cuenca, el calibre del conductor es 3/0 por fase. El recorrido de la línea de distribución de 22kV trifásico, bifásico y monofásico es de 342.93 km

2.4.6 Curva de demanda mensual en los alimentadores 0323-0525

Con referencia al comportamiento mensual de la demanda de los alimentadores se puede apreciar que los alimentadores tienen una carga promedio entre el 0.5 y 0.7 pu correspondiente a los meses desde enero hasta septiembre del año 2017. Siendo el alimentador 0525 el alimentador con mayor carga eléctrica.

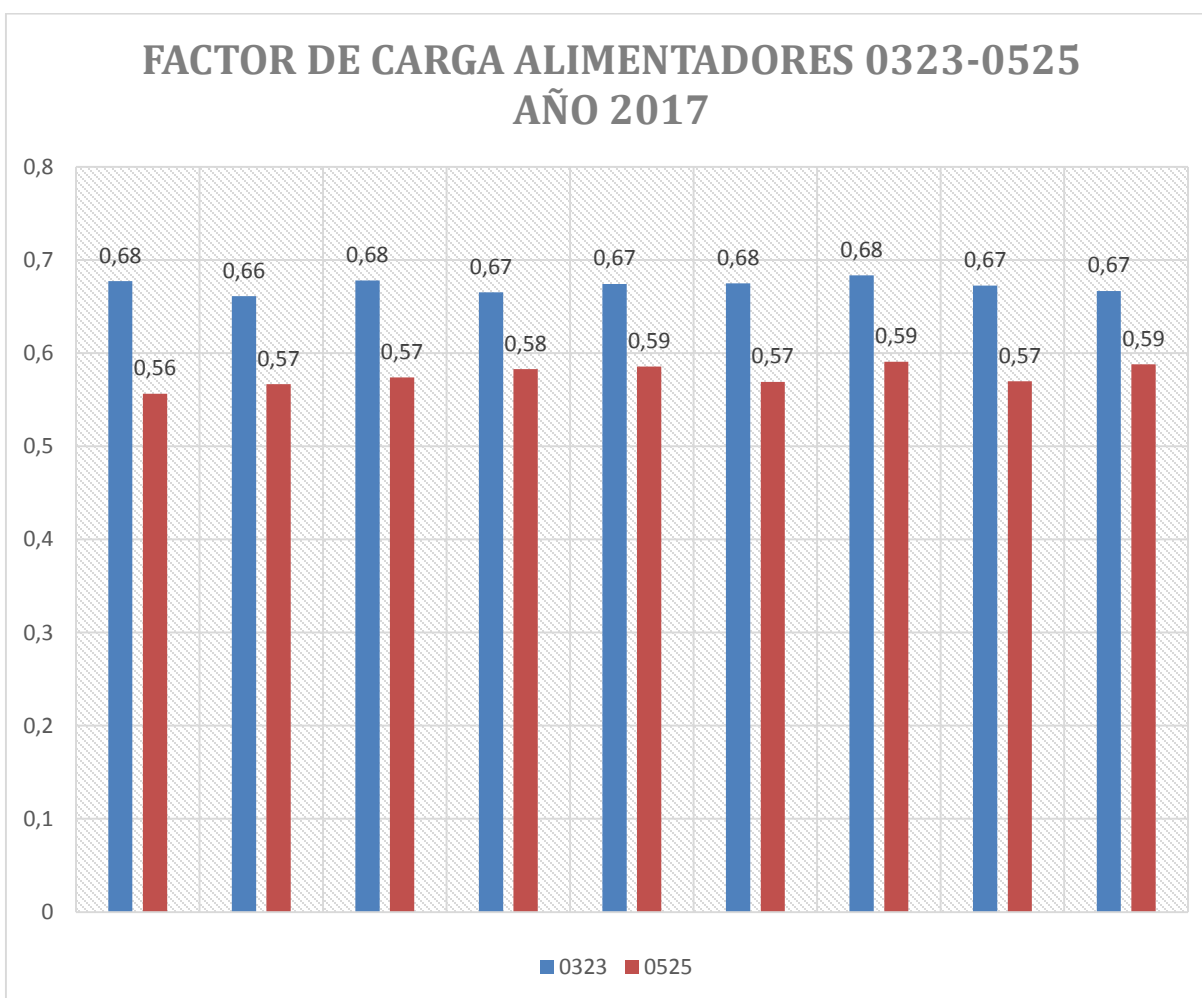


Figura 28. Factor de carga en los alimentadores 0323-0525
Fuente: (EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTRO SUR S.A, 2017)

2.5 Buses eléctricos en el Ecuador

Los Buses eléctricos en el Ecuador se convierten en una alternativa a la que apuntan las entidades de Movilidad, en búsqueda de un transporte público amigable

con el medio ambiente, de tal manera que se considera la implementación de buses eléctricos con la finalidad de reducir los gases de efecto invernadero, ruido y el consumo de combustibles fósiles, ya que desde el año 2012 la secretaria técnica del comité institucional ha impulsado un cambio de matriz energética “El cambio de la matriz consiste en aumentar, de manera óptima y sustentable las fuentes primarias de energía; al mismo tiempo cambiar las estructuras de consumo en el sector de transporte, residencial, comercial, para que su uso sea racional y eficiente”. (MEER, 2017)

En este año 2017, la empresa BYD ha ensamblado varios buses eléctricos en el Ecuador, modelo K9 con una longitud de 12m y una capacidad para 80 personas; 36 sentadas, 44 paradas y una autonomía de recorrido al menos de 250 km por carga. (BYD Vehiculos eléctricos, 2017)

Dichos buses se encuentran en etapa de prueba en las ciudades de Loja y Guayaquil, en esta etapa se podrá comprobar la capacidad de las baterías y así poder ubicar con mayor pericia técnica, las electrolineras a lo largo de cualquier ruta, con la finalidad poner en funcionamiento los primeros buses eléctricos de transporte masivo en el ecuador. En la Ciudad de Guayaquil se encuentra en etapa de prueba el primer bus 100% eléctrico, este Bus eléctrico estará en las pruebas desde el 6 de noviembre del 2017 hasta febrero del año 2018, estará realizando el recorrido de la línea 89 de la Cooperativa SAUCINC.S.A. (BYD Vehiculos eléctricos, 2017)



Figura 29. Bus eléctrico BYD modelo k9
Fuente: (BYD Vehículos eléctricos, 2017)

2.6 Consumo energético de los buses eléctricos en la ciudad de Cuenca

Es importante tener en cuenta la autonomía de los buses eléctricos para poder afrontar las demandas de recorrido diario en la ruta de los buses eléctricos por tal motivo planteamos el cálculo de energía necesaria para afrontar el recorrido de los buses en la Línea propuesta para este estudio.

Tabla 1: Características de las baterías de los buses eléctricos
Fuente: Autor

Recorrido de los buses eléctricos	Km
Distancia de recorrido de Inicio a Fin de la ruta (UDA-GAPAL)	28.6
Distancia de recorrido al día	200.2
Distancia de recorrido a la semana	1401.4
Distancia de recorrido al mes	5605.6
Distancia de recorrido al año	65267.2

Los buses eléctricos como consumidores, demandaran un consumo energético propio durante el recorrido de operación actual, que dependerá de la capacidad que posee sus baterías.

Tabla 2: Características de las baterías de los buses eléctricos
Fuente: (BYD Vehículos eléctricos, 2017)

BUSES ELECTRICOS (descripción de las baterías)	
Voltaje nominal de la batería (V)	325/315 V
Rendimiento eléctrica de batería (Wh/Km)	1269 Wh/km
Temperatura de trabajo (°C)	Min-40 Max 60

La tabla (2) muestra las características de las baterías según los fabricantes de la empresa BYD, permitiendo así determinar el rendimiento energético para el recorrido de la ruta de los buses eléctricos con la ecuación 1.

$$Capacidad (Wh) = Eficiencia \left(\frac{Wh}{km} \right) * recorrido(km) \quad (1)$$

2.6.1 Cálculo de la capacidad de la batería de los buses eléctricos según su recorrido

- Capacidad de las baterías en el recorrido de Inicio a Fin de la ruta (UDA-GAPAL)

$$Capacidad(Wh) = 1269 \left(\frac{Wh}{km} \right) * 28,6(km)$$

$$Capacidad(Wh) = 36293,4 = 36,2934kW/h$$

- Capacidad de las baterías en el recorrido diario

$$Capacidad(Wh) = 1269 \left(\frac{Wh}{km} \right) * 200,2(km)$$

$$Capacidad(Wh) = 254053,8 = 254,05kWh$$

- Capacidad de las baterías en el recorrido mensual

$$Capacidad(Wh) = 1269 \left(\frac{Wh}{km} \right) * 5605,6(km)$$

$$Capacidad(Wh) = 7113506,4 = 71113,51kWh$$

- Capacidad de las baterías en el recorrido anual

$$Capacidad(Wh) = 1269 \left(\frac{Wh}{km} \right) * 65267,2(km)$$

$$Capacidad(Wh) = 82824076,8 = 82824,08kWh$$

2.6.2 Recarga de los buses eléctricos

Las estaciones de carga que entregaran energía eléctrica a los buses BYD modelo K9 cuentan con 2 surtidores y sus respectivas protecciones de seguridad contra cortocircuitos, sobre-temperaturas y sobretensiones que podrían ocasionar daños a los equipos y a las personas. Estas estaciones de carga tienen características Eléctricas con Normas estándar y funcionan con una tensión de 480v trifásico y puede operar en un rango de voltaje de 432V-528V, la corriente de entrada es menor o igual a 240A consumiendo una potencia de 200kW con una frecuencia de 60Hz. Dicha electrolinera cuenta con un interfaz de salida estándar IEC62196, también cuenta con dos salidas de carga con una longitud de 3m cada cable de conexión y es muy eficiente en la intemperie por que cuenta con una protección IP54.



Figura 30. Electrolinera implementada en la ciudad de Loja.
Fuente: (BYD Vehículos eléctricos, 2017)

2.7 Modelado eléctrico

En la figura (31) se muestra el modelo en el programa computacional Digsilent Power Factory 15.1, el mismo que permite simular varios tipos de estudios en las redes de distribución pertenecientes a la Centrosur, estudiar los comportamientos de las cargas, las estaciones de transformación, al insertar las electrolineras en los alimentadores.

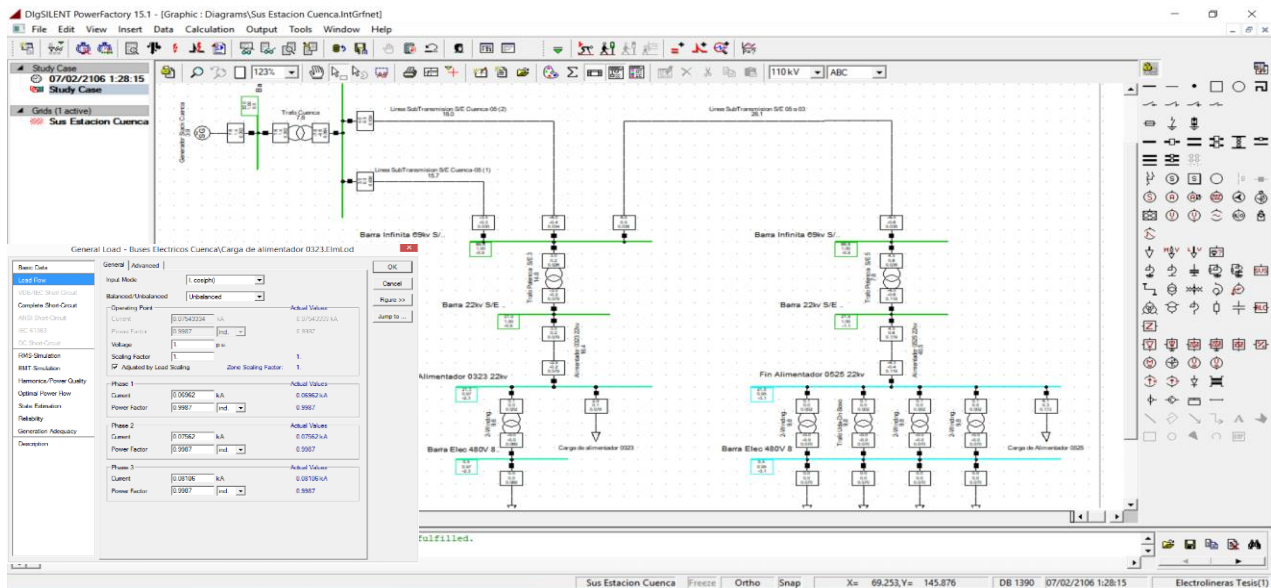


Figura 31. Ventana de barras y herramientas para modelar las redes de la Centrosur en Digsilent Power Factory
Fuente: Autor

En este programa podemos analizar varios parámetros eléctricos, que fundamenten la viabilidad de insertar los buses y electrolineras realizando varios estudios en una ruta del transporte público en la ciudad de Cuenca, estos parámetros son:

- Cargabilidad de los alimentadores.
- Balance de cargas.
- Distribución y evaluación de cargas.
- Análisis al insertar las electrolineras en los Alimentadores pertenecientes a la Centrosur.
- Incidencia de las electrolineras en las redes de la Centrosur

CAPITULO 3.

CARACTERISTICAS DE LOS ALIMENTADORES

3. INTRODUCCIÓN

Con la ayuda del programa computacional Digsilent analizaremos las redes de distribución a intervenir antes de insertar las electrolineras en los alimentadores propuestos y después de poner en operación las electrolineras, para analizar su comportamiento y así determinar la viabilidad de insertar las electrolineras.

Los alimentadores 0323 y 0525 pertenecen a las subestaciones 03 Monay y a la subestación 05 El Arenal respectivamente, estos pasan por la subestación 08 Turi que es una subestación de paso (anexo 1).

3.1 Estado actual de los alimentadores 0323 y 0525 sin electrolineras en operación.

3.1.1 Generador slack para el caso de estudio.

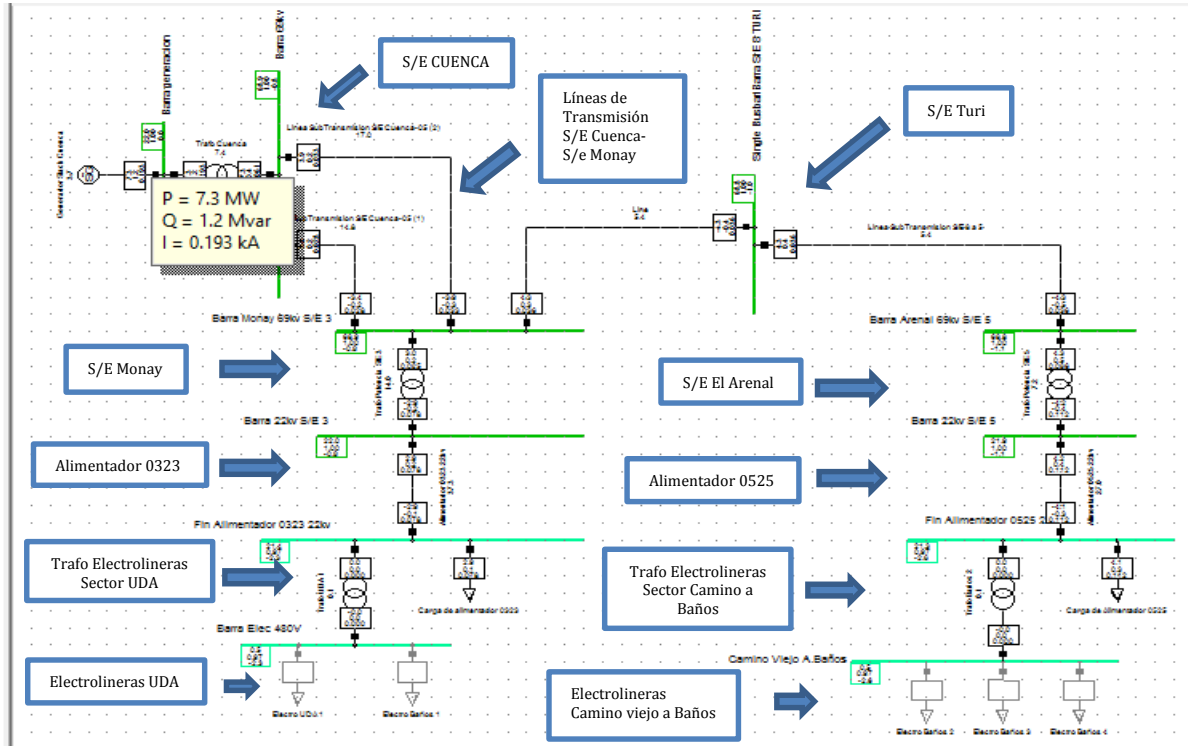


Figura 32. Características del generador slack (Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente)

Fuente: Autor

3.1.2 Perfil de Carga en bornes de generación.

El perfil de carga de los alimentadores 0323 y 0525 fue creado con datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Regional CentroSur, en su afán de contribuir a la investigación y colaboración entre instituciones para el desarrollo de trabajos de titulación. Dicho perfil es la combinación las cargas de los dos alimentadores para saber el comportamiento de los bornes de distribución en la Subestación Cuenca, que en este caso exclusivo de estudio servirá como datos de Generación.

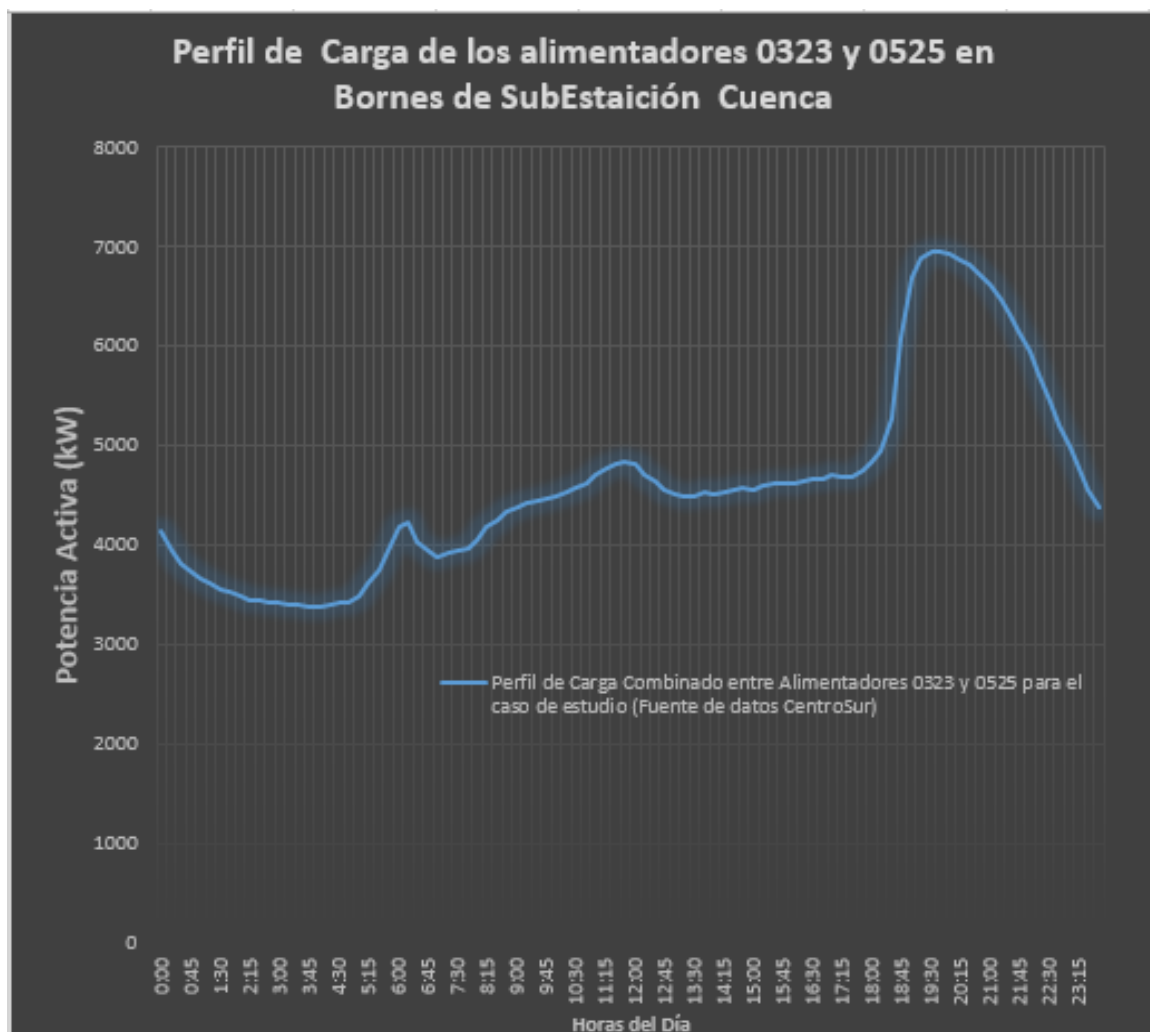


Figura 33. Perfil de carga combinado entre alimentadores 0323 y 0525 en bornes de Subestación Cuenca para el caso de estudio.
Fuente. CentroSur.

3.1.3 Redes de subtransmision electrica desde la subestacion Cuenca hacia la subestacion 03.

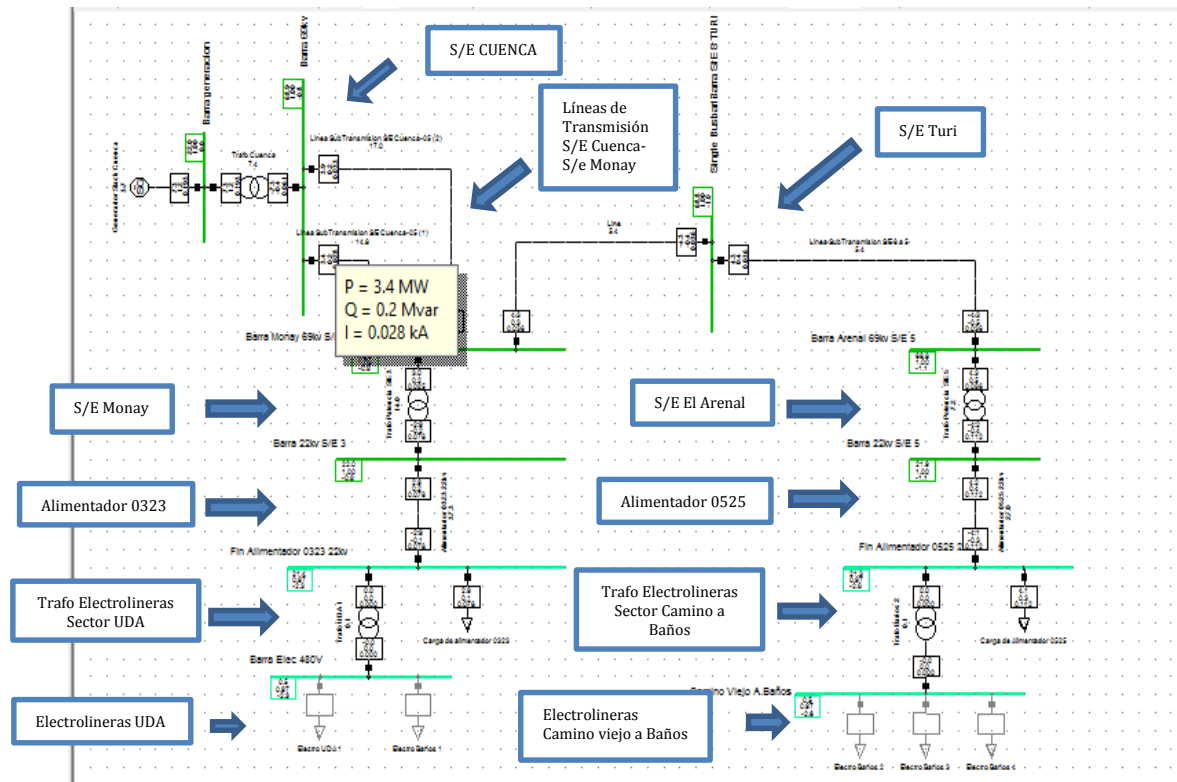


Figura 34. Línea 1 de Subtransmisión Subestación Cuenca – Subestación 03 Monay
Fuente: Autor

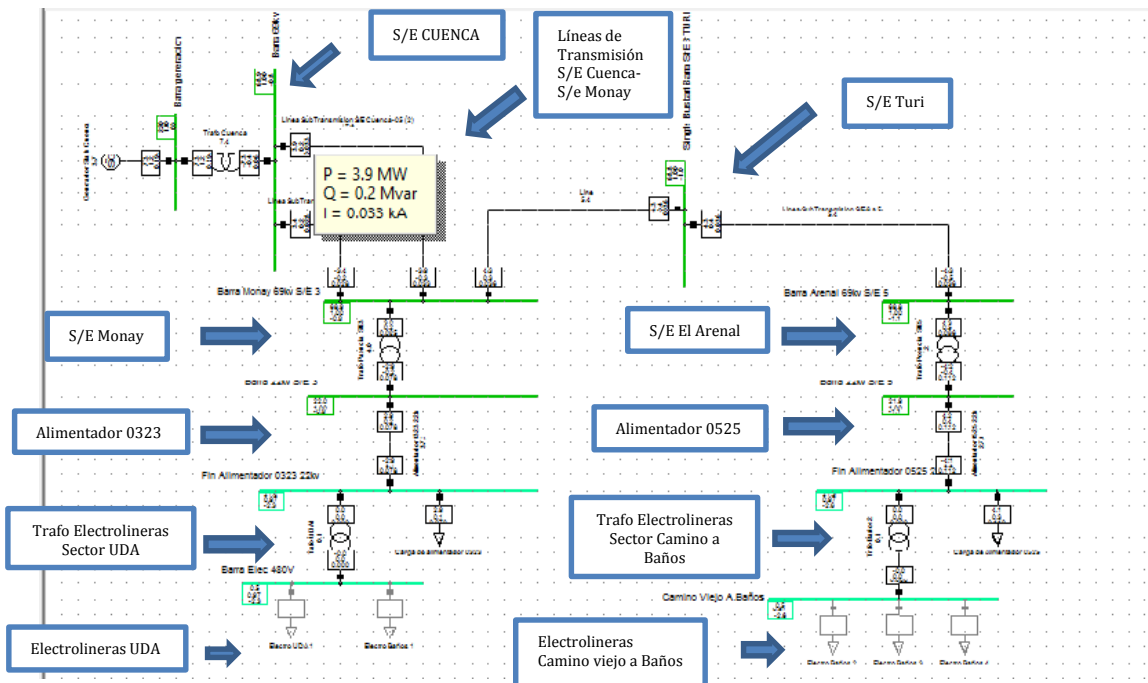


Figura 35. Línea 2 de Subtransmisión subestación Cuenca – subestación 03 Monay
Fuente: Autor

3.1.4 Transformadores subestacion 03 Monay

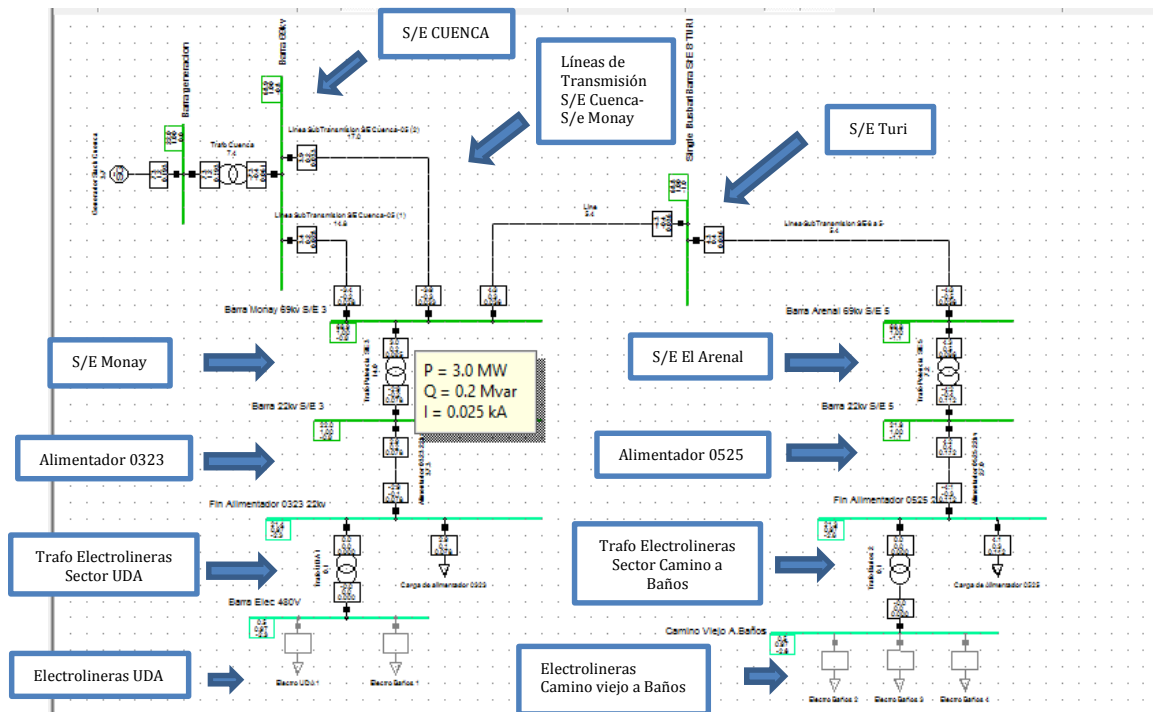


Figura 36. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion 03 Monay en bornes de Alta Tensión.

Fuente: Autor

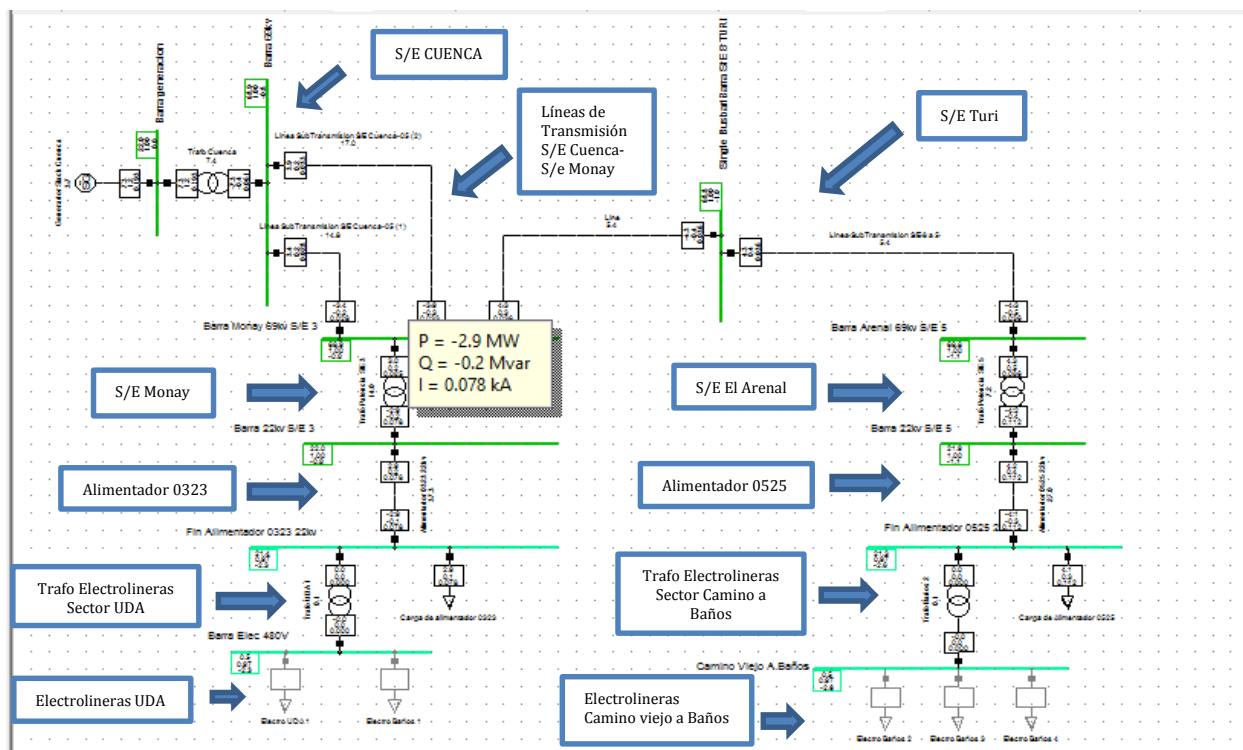


Figura 37. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion 03 Monay en bornes de Media Tensión.

Fuente: Autor

3.1.5 Alimentador 0323

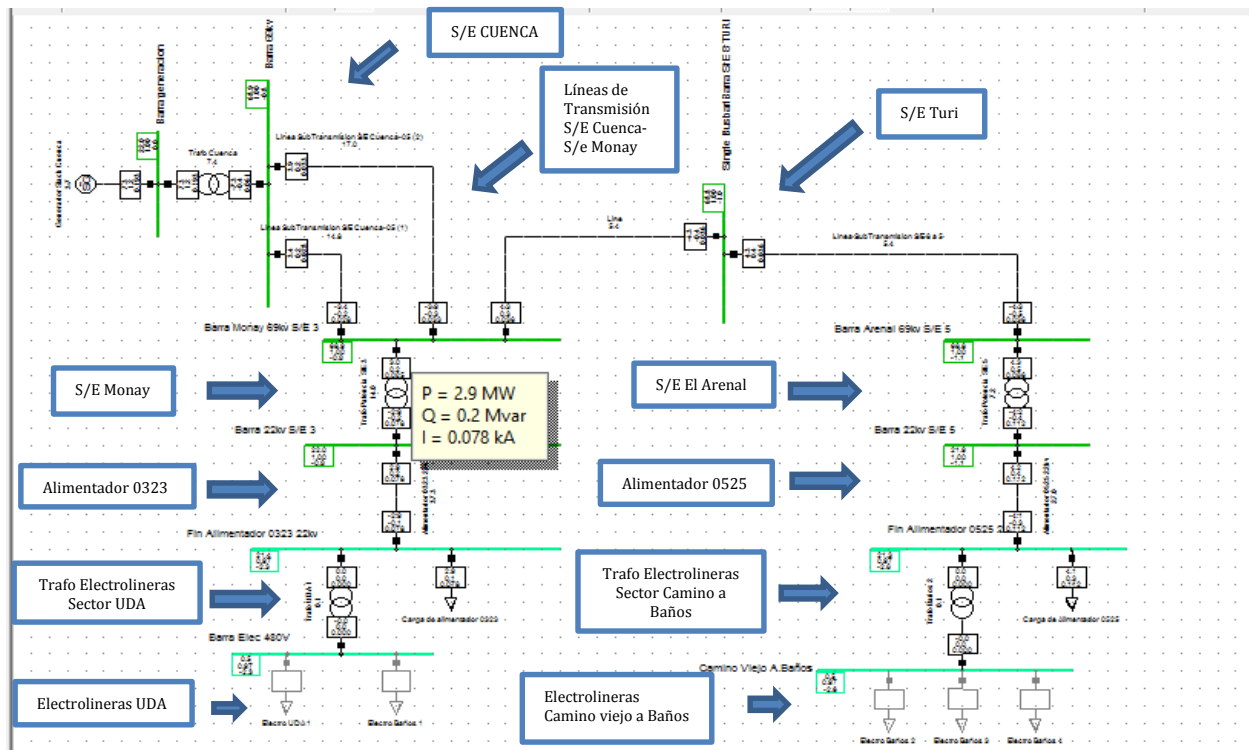


Figura 38. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Inicio del alimentador 0323

Fuente: Autor

3.1.6 Cargabilidad del alimentador 0323

La cargabilidad que tiene el alimentador 0323 es del 27% en demanda máxima. En este caso dicha cargabilidad será cuando el alimentador esté trabajando en horas pico de consumo eléctrico, al momento de realizar la simulación de las electrolineras dentro del sistema, se lo hará en diferentes horarios y también con un caso extremo de operación en dichas horas pico, para saber cuánto subirá la cargabilidad en el alimentador en caso que en bus recargue sus baterías dentro de cierto horario de cargabilidad máxima.

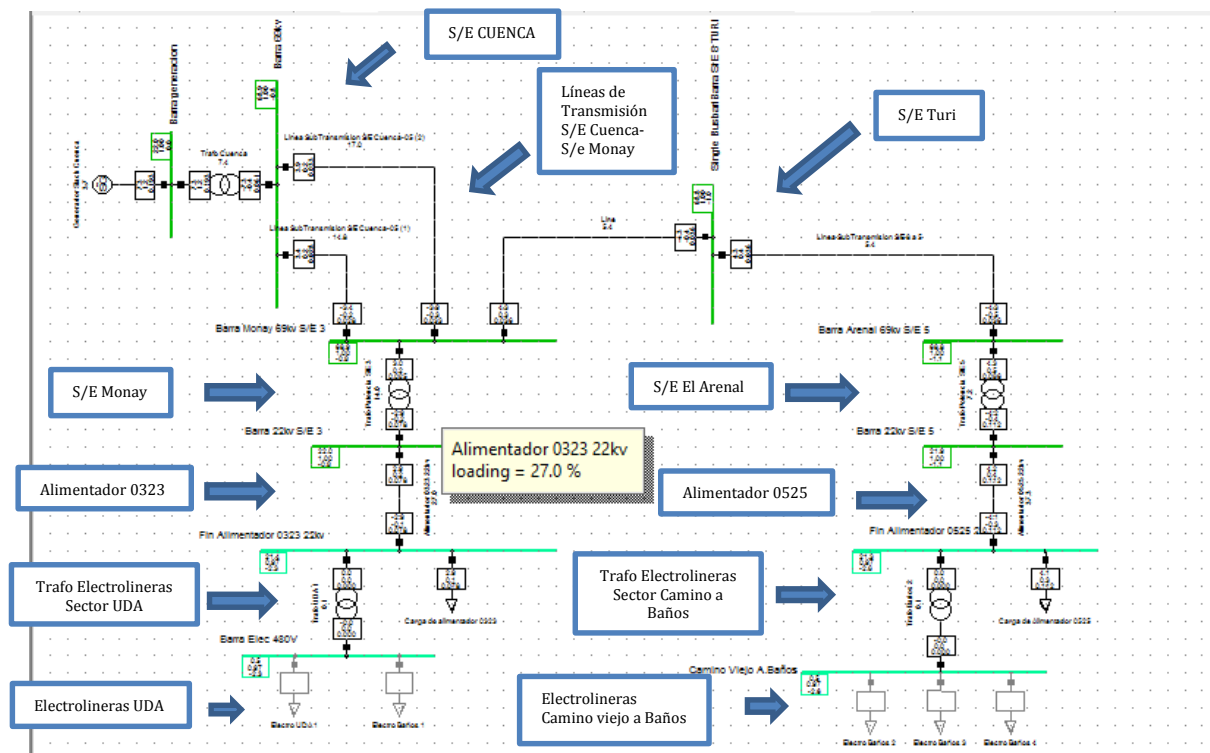


Figura 39. Cargabilidad del alimentador 0323
Fuente: Autor

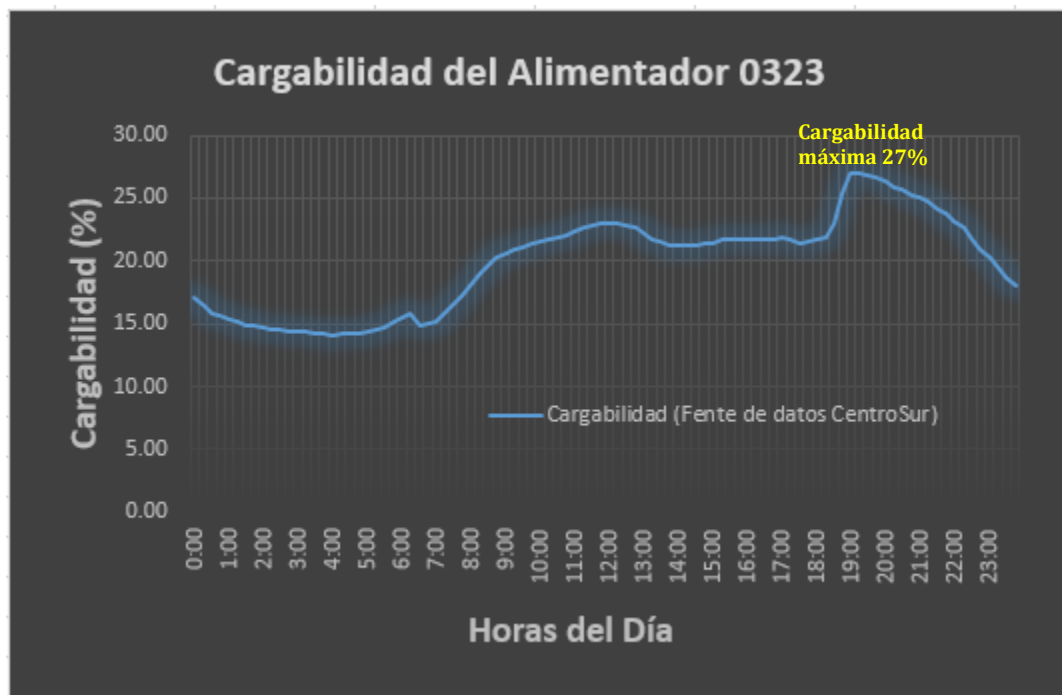


Figura 40. Curva de cargabilidad a lo largo del día en el alimentador 0323 sin electrolineras operando.
Fuente: CentroSur.

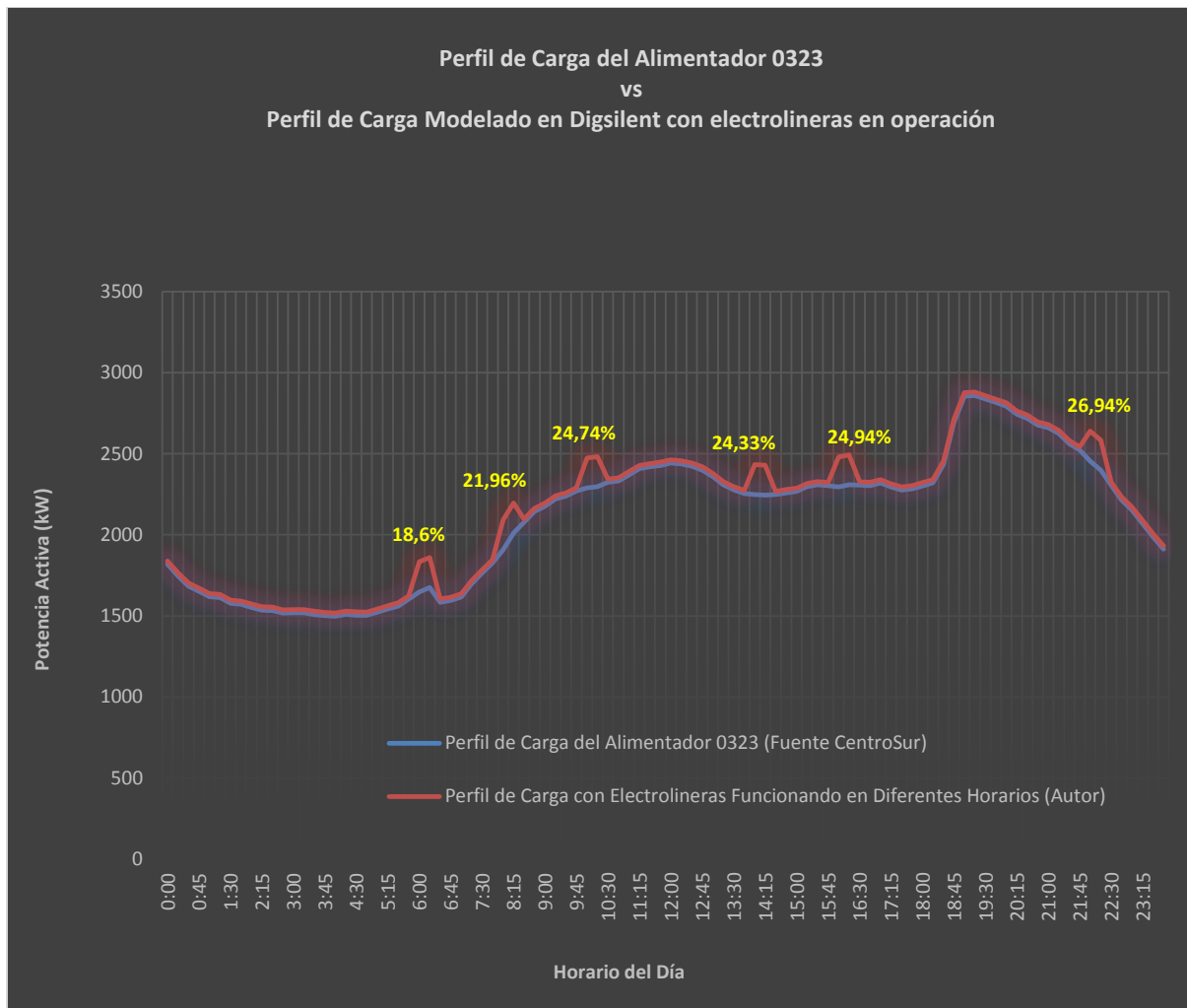


Figura 41. Curva de cargabilidad a lo largo del día en el alimentador 0323 con electrolineras en operación.
Fuente. CentroSur.

El Alimentador 0323 de acuerdo a la simulacion presenta que tiene una carga desbalanceada y sus corrientes se muestran en la figura 41

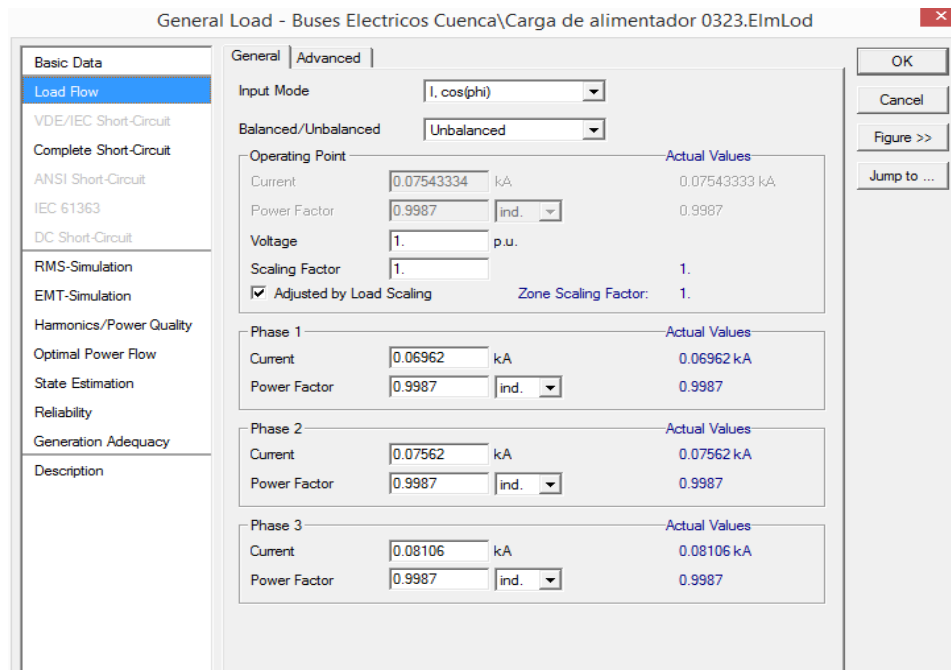


Figura 42. Corrientes de la carga eléctrica soportada por el alimentador 0323
Fuente: Autor

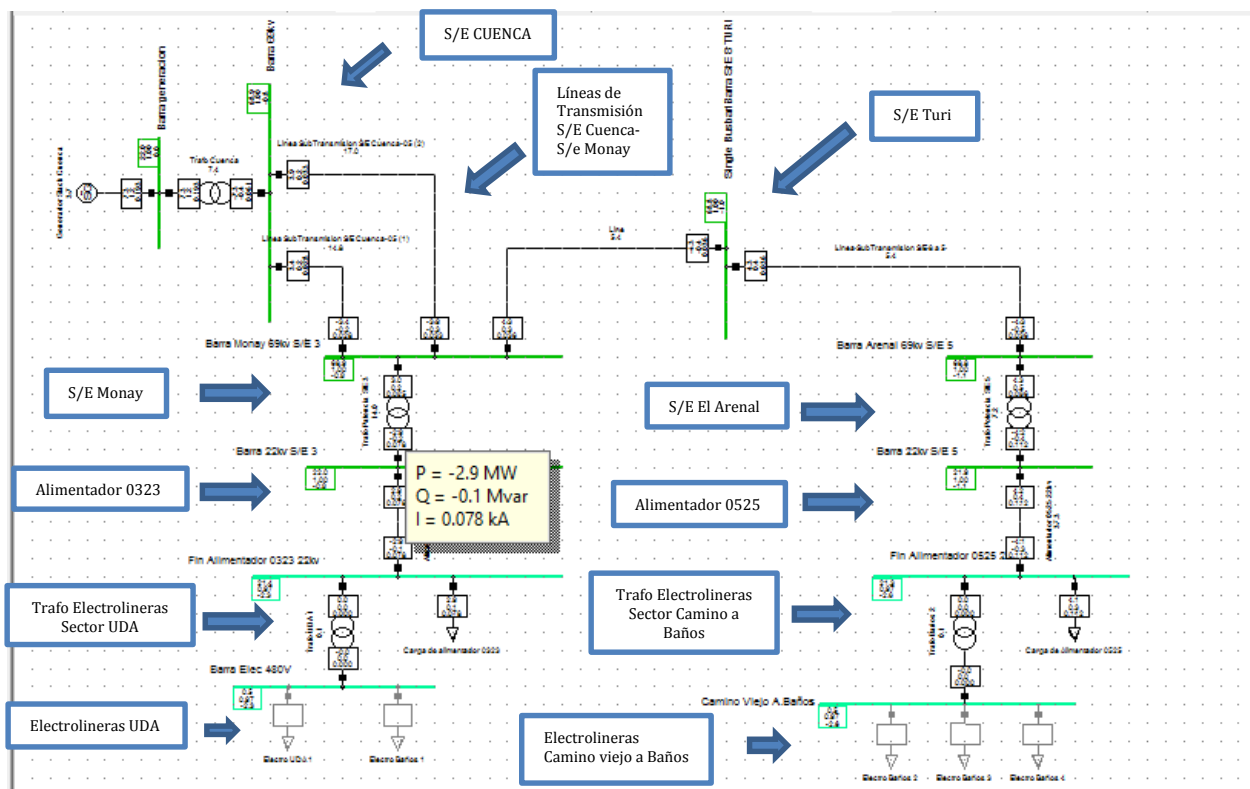


Figura 43. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Fin del Alimentador 0323

Fuente: Autor

3.1.7 Redes de subtransmisión desde la subestación 03 hacia la subestación 05.

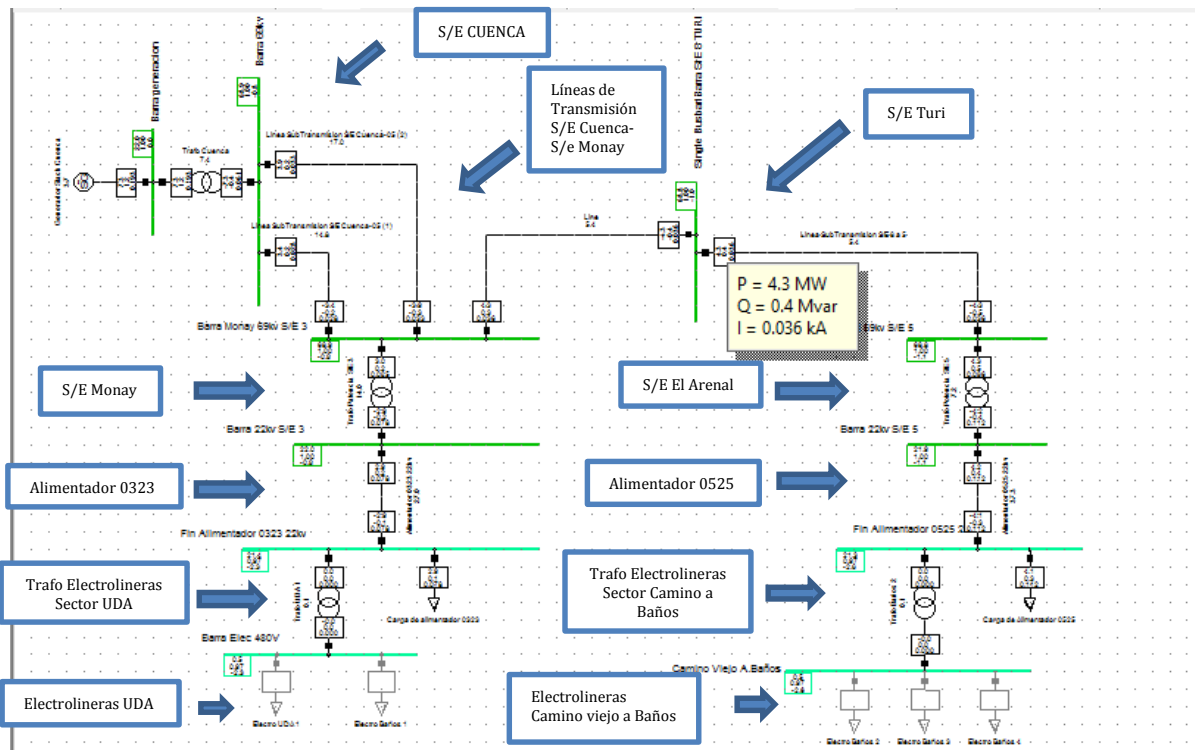


Figura 44. Línea de subtransmisión desde la subestación 03 Monay hacia la subestación 05 Arenal.

Fuente: Autor

3.1.8 Transformadores de la subestacion 05 Arenal

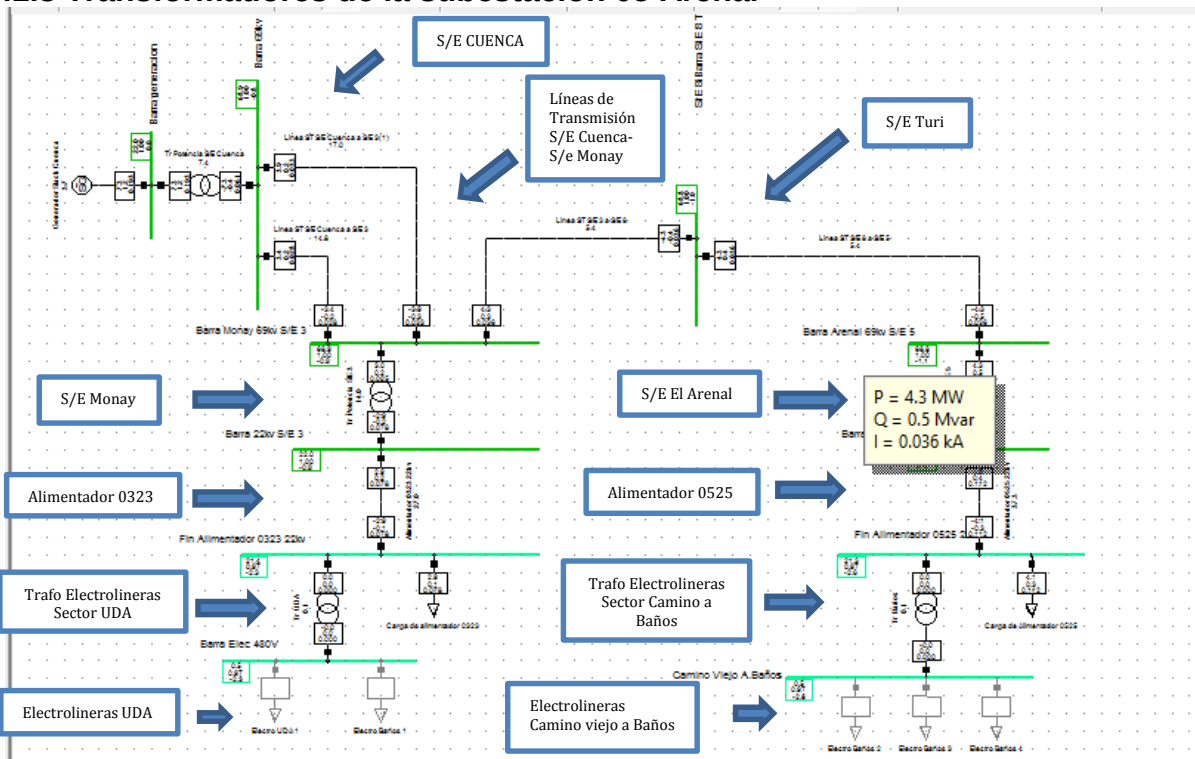


Figura 45. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion El Arenal en bornes de alta tension.

Fuente: Autor

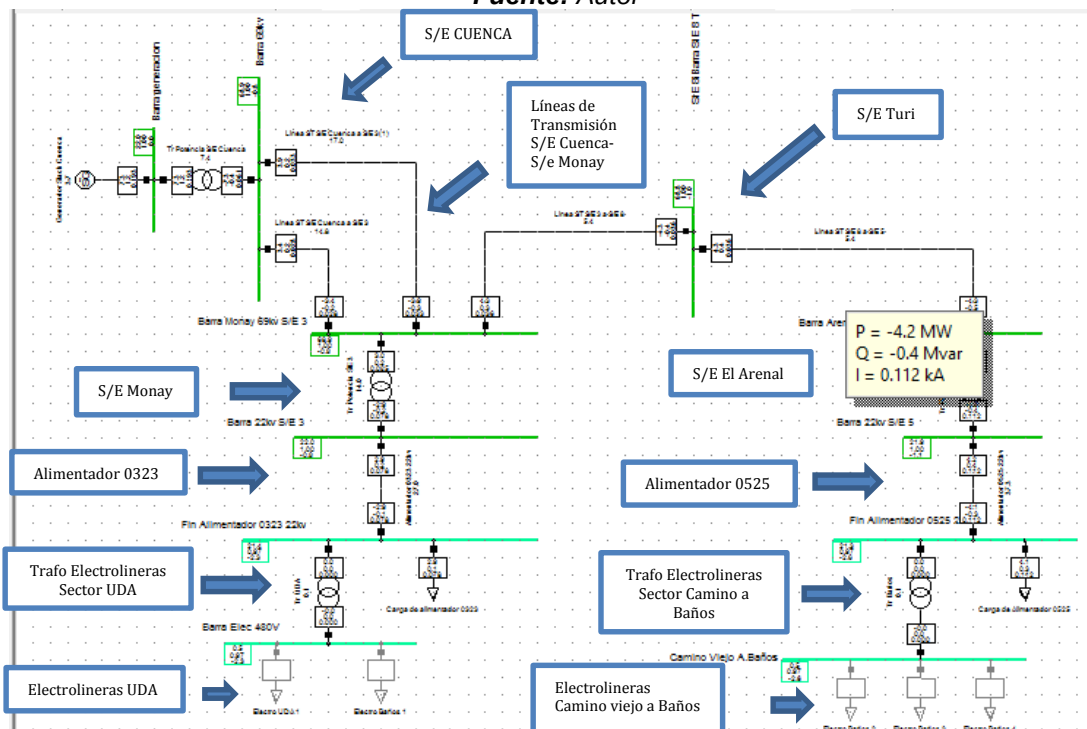


Figura 46. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion El Arenal en bornes de media tension.

Fuente: Autor

3.1.9 Alimentador 0525

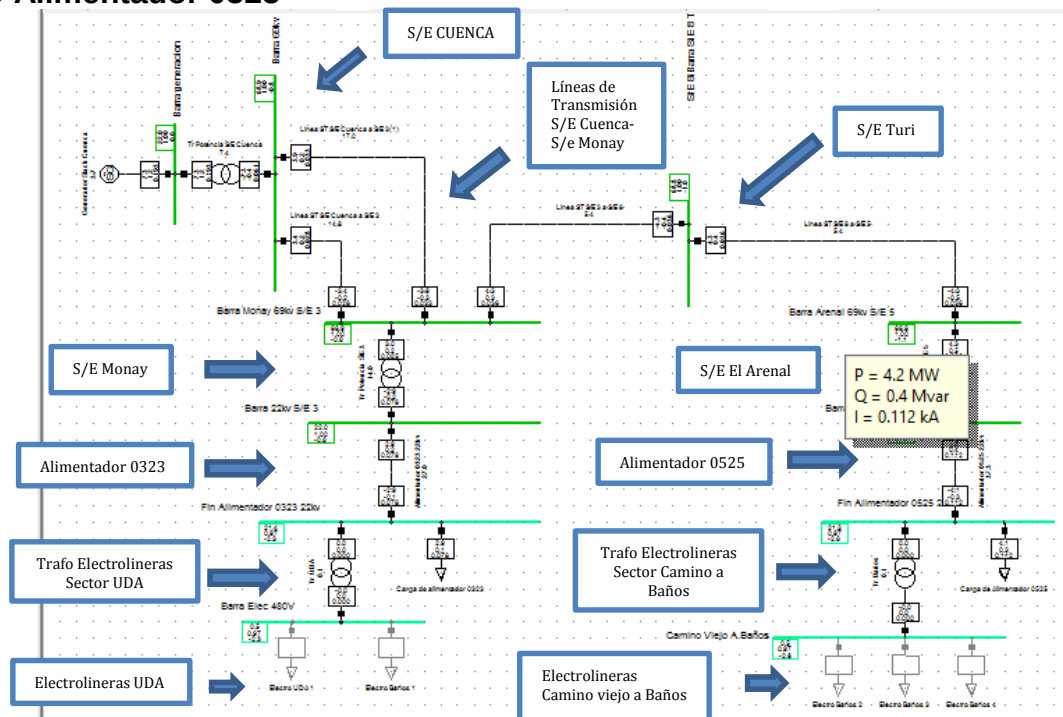


Figura 47. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Inicio del alimentador 0323

Fuente: Autor

3.1.10 Cargabilidad del Alimentador 0525

La cargabilidad que tiene el alimentador 0525 es del 37.3% en demanda máxima. En este caso dicha cargabilidad será cuando el alimentador esté trabajando en horas pico de consumo eléctrico, al momento de simular las electrolineras dentro del sistema se lo hará en diferentes horarios y también con un caso extremo de operación en dichas horas pico para saber cuanto subirá la cargabilidad en el alimentador en caso que en bus recargue sus baterías dentro de dicho horario extremo.

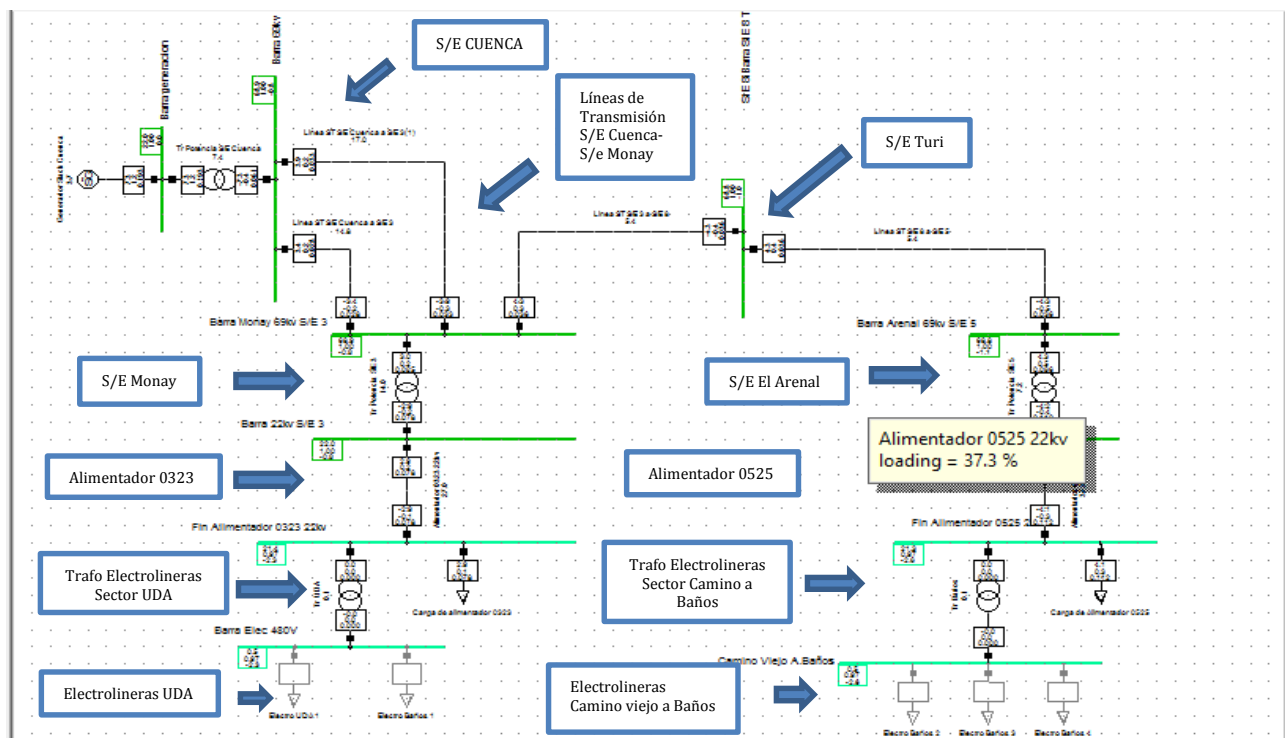


Figura 48. Cargabilidad del alimentador 0525.

Fuente: Autor

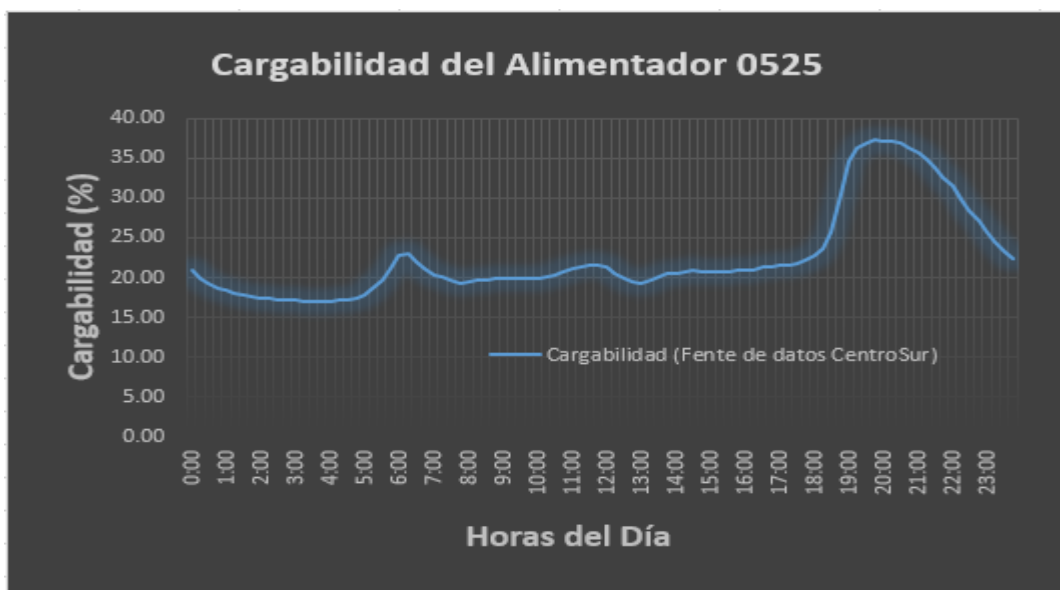


Figura 49. Curva de cargabilidad a lo largo del día en el alimentador 0525 sin electrolineras operando.

Fuente. CentroSur.

El alimentador tiene una carga desbalanceada y sus corrientes son las siguientes:

Parameter	Value	Unit	Actual Value
Input Mode	I, cos(phi)		
Balanced/Unbalanced	Unbalanced		
Operating Point Current	0.10816	kA	0.10816 kA
Power Factor	0.9977	ind.	0.9977
Voltage	1.	p.u.	
Scaling Factor	1.		1.
Adjusted by Load Scaling	☒		
Zone Scaling Factor	1.		
Phase 1			
Current	0.10873	kA	0.10873 kA
Power Factor	0.9977	ind.	0.9977
Phase 2			
Current	0.10374	kA	0.10374 kA
Power Factor	0.9977	ind.	0.9977
Phase 3			
Current	0.11201	kA	0.11201 kA
Power Factor	0.9977	ind.	0.9977

Figura 50. Corrientes de la carga que esta soportando el alimentador 0525

Fuente: Autor

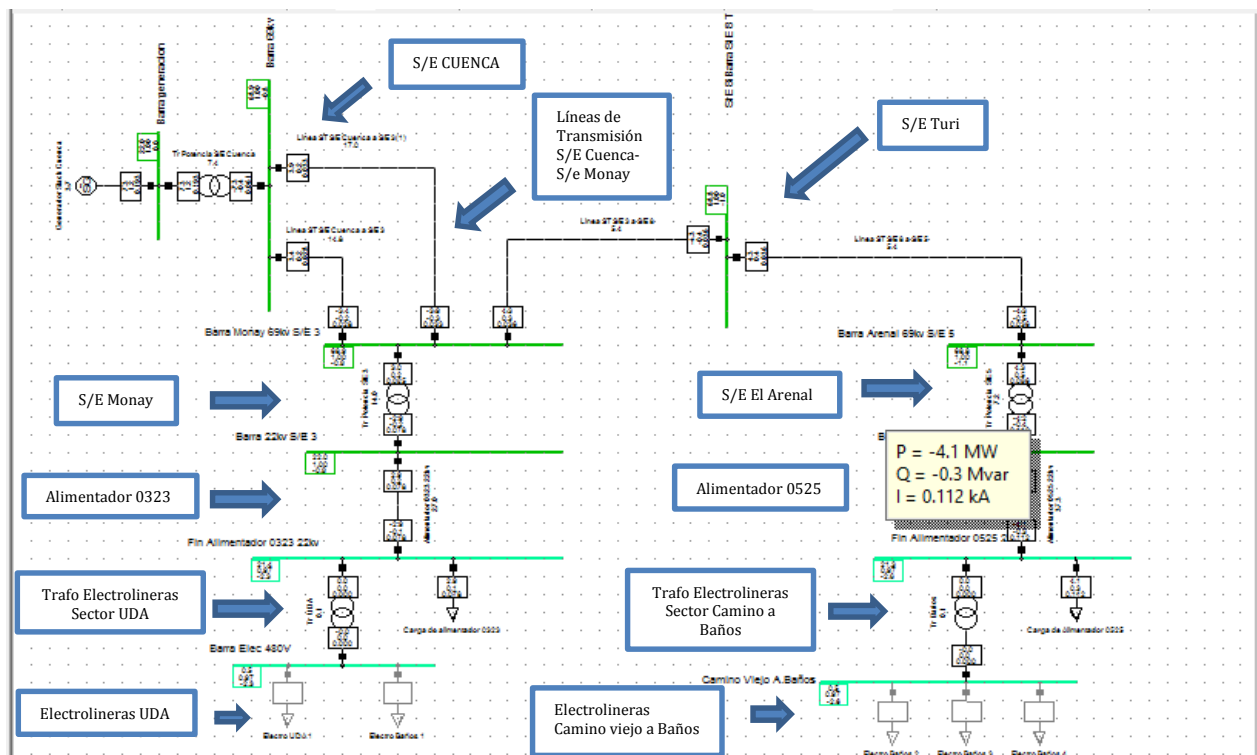


Figura 51. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el fin de alimentador 0323
Fuente: Autor

3.1.11 Cuadro de resultados generales sin electrolineras.

Grid: Tesis Electrolineras System Stage: Tesis Electroli Study Case: Study Case				Annex:		/ 1		
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [MW]	Reactive Power [Mvar]	Power.-factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
Carga de Alimentador 0525od			Fin Alimentador 052..	4.112	0.279	1.00	0.112	1.034
Carga de alimentador 0323od			Fin Alimentador 032..	2.871	0.147	1.00	0.078	1.029
Electro Baños 1	Lod		Barra Electro Baños	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro Baños 2	Lod		Barra Electro Baños	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro Baños 3	Lod		Barra Electro Baños	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro UDA 1	Lod		Barra Electro UDA	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro UDA 2	Lod		Barra Electro UDA	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Generador Slack Cuenca	Sym	3.68	Barra generacion	7.259	1.182	0.99	0.193	0.037
Alimentador 0323 22kv	Lne	26.96	Barra 22kv S/E 3	2.944	0.212	1.00	0.078	0.270
			Fin Alimentador 032..	-2.870	-0.146	-1.00	0.078	0.270
Alimentador 0525 22kv	Lne	37.29	Barra 22kv S/E 5	4.228	0.395	1.00	0.112	0.373
			Fin Alimentador 052..	-4.112	-0.279	-1.00	0.112	0.373
Linea ST S/E 3 a S/E 8	Lne	5.36	S/E 8/Barra S/E 8 T..	-4.263	-0.383	-1.00	0.036	0.054
			Barra Monay 69kv S/..	4.265	0.310	1.00	0.036	0.054
Linea ST S/E 8 a S/E 5	Lne	5.37	S/E 8/Barra S/E 8 T..	4.263	0.383	1.00	0.036	0.054
			Barra Arenal 69kv S..	-4.261	-0.455	-0.99	0.036	0.054
Linea ST S/E Cuenca a S/E 3		14.81	Barra 69kv	3.384	0.195	1.00	0.028	0.148
			Barra Monay 69kv S/..	-3.383	-0.247	-1.00	0.028	0.148
Linea ST S/E Cuenca a S/E 3(1)		16.95	Barra 69kv	3.874	0.231	1.00	0.033	0.169
			Barra Monay 69kv S/..	-3.873	-0.275	-1.00	0.033	0.170
Tr Potencia S/E 3	Tr2	14.04	Barra Monay 69kv S/..	2.990	0.212	1.00	0.025	0.140
			Barra 22kv S/E 3	-2.944	-0.212	-1.00	0.078	0.138
Tr Potencia S/E 5	Tr2	7.17	Barra Arenal 69kv S..	4.261	0.455	0.99	0.036	0.072
			Barra 22kv S/E 5	-4.228	-0.395	-1.00	0.112	0.071
Tr Potencia S/E Cuenca	Tr2	7.35	Barra 69kv	-7.258	-0.427	-1.00	0.061	0.073
			Barra generacion	7.259	1.182	0.99	0.193	0.074

Figura 52. Datos de los flujos en el sistema eléctrico sin introducir electrolineras a los alimentadores.
Fuente: Autor

3.2 Características del sistema eléctrico al introducir las electrolineras.

3.2.1 Transformadores de la subestación 03 MONAY

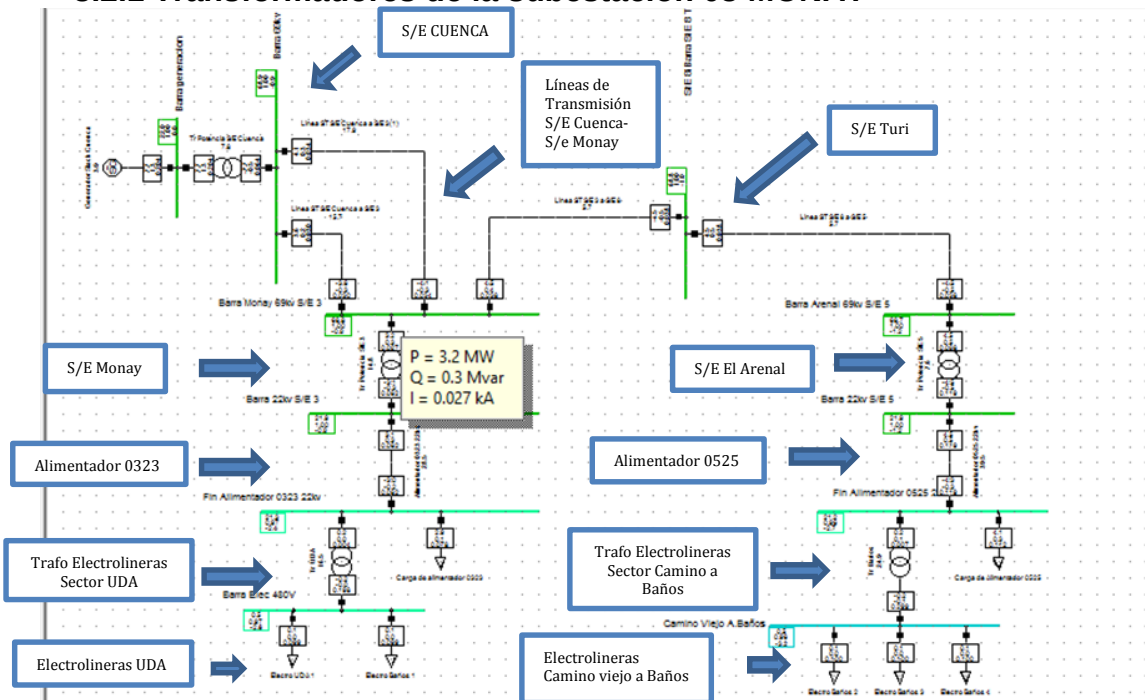


Figura 53: Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador en la subestacion Monay en los bornes de alta tension con electrolineras en operación.

Fuente: Autor

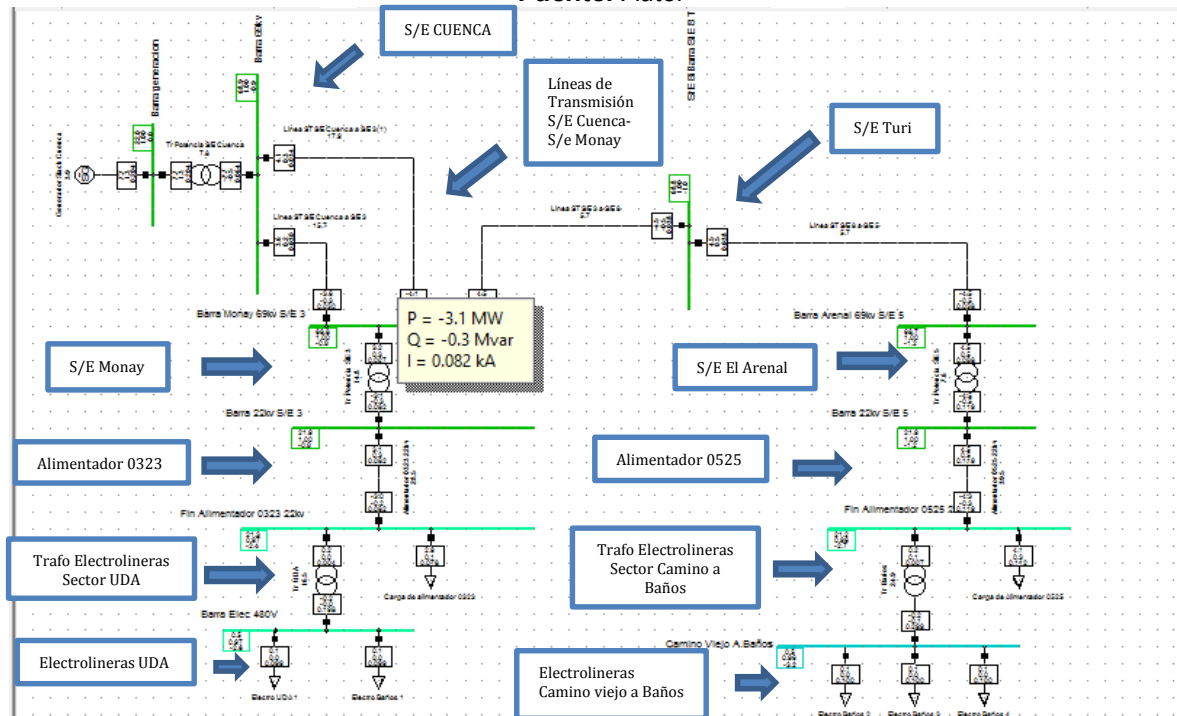


Figura 54. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion Monay en lado de media tension con electrolineras en operación.

Fuente: Autor

3.2.2 Alimentador 0323 con electrolineras en operación.

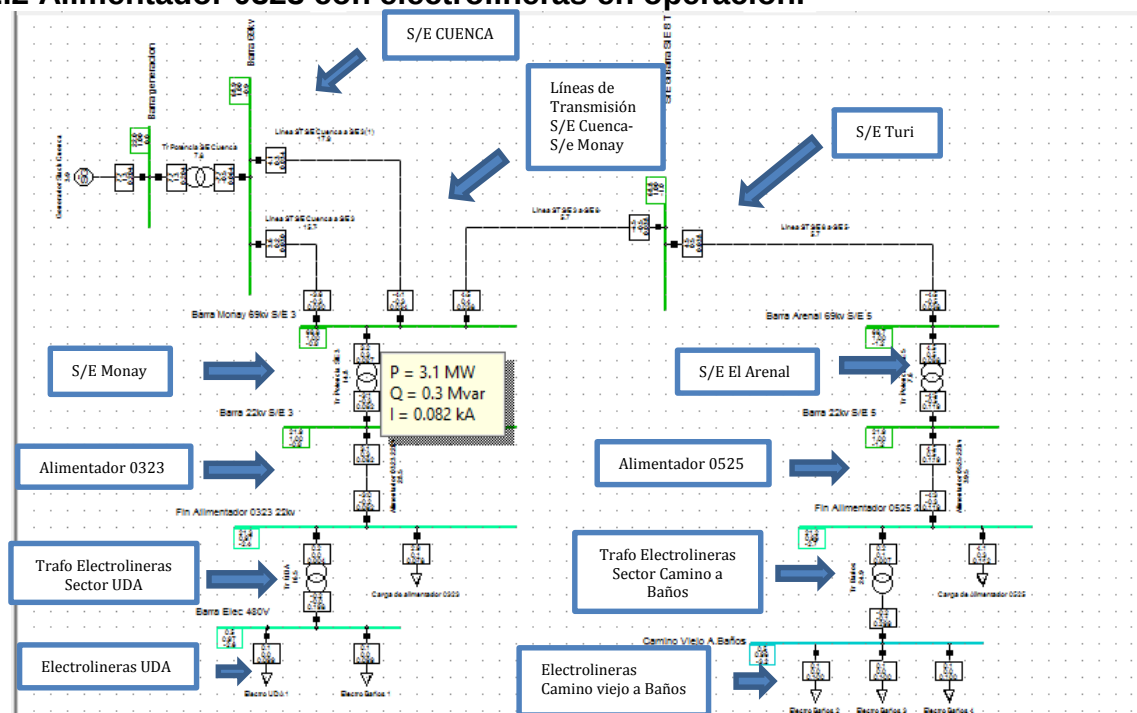


Figura 55. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al Inicio del alimentador 0323 con electrolineras en operación.

Fuente: Autor

La cargabilidad que tiene el alimentador 0323 es del 28.50% en demanda maxima. Ya que este escenario es el caso extremo de recarga de un bus electrico en ese horario,

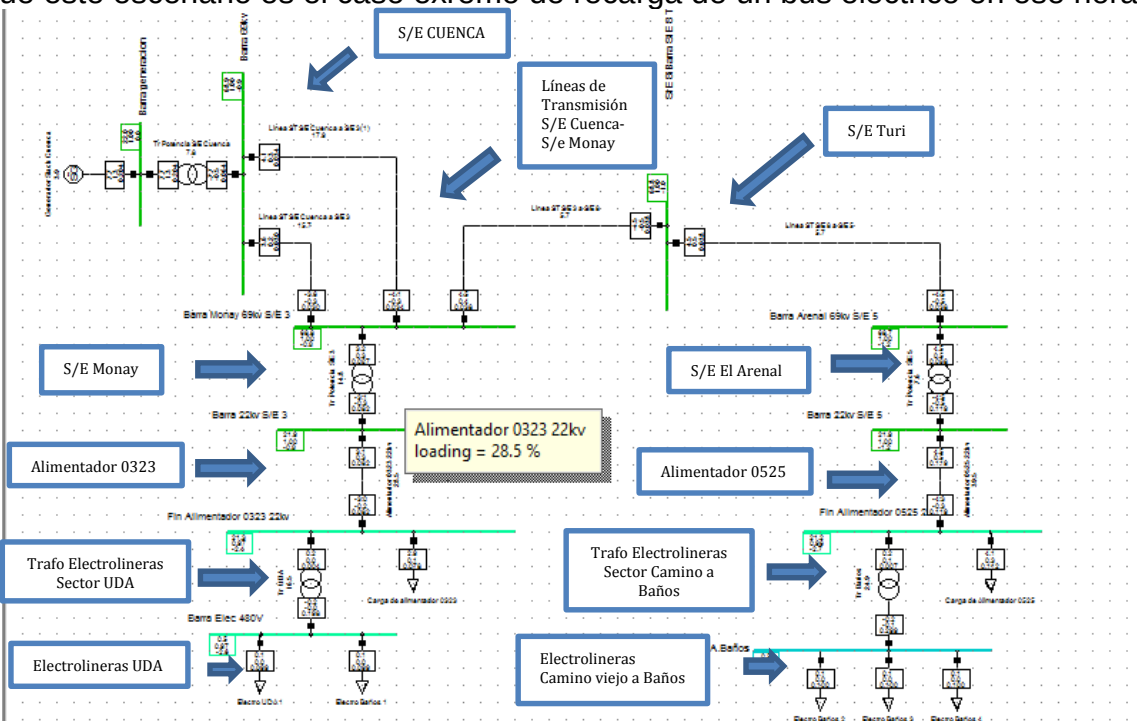


Figura 56. Cargabilidad del alimentador 0323 con electrolineras en operación.

Fuente: Autor

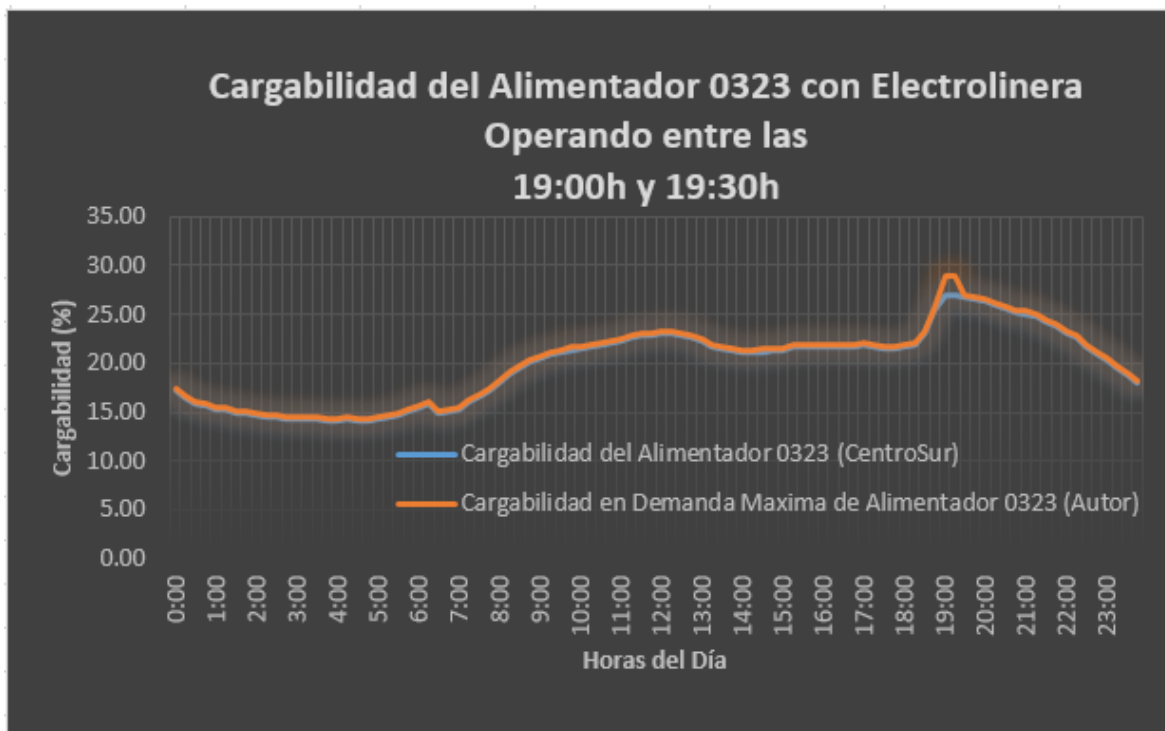


Figura 57. . Cargabilidad del alimentador 0323 mientras electrolinera está operando en hora pico de la demanda máxima de potencia.

Fuente. Autor

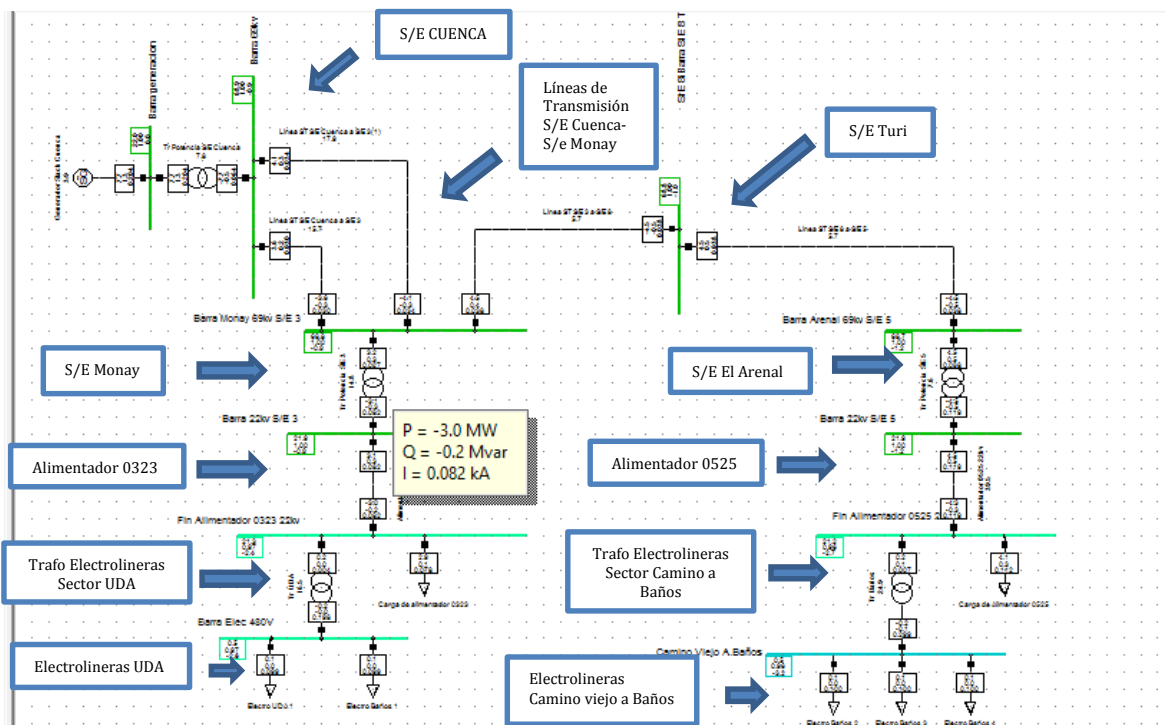


Figura 58. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al final del alimentador 0323 con electrolineras en operación.

Fuente: Autor

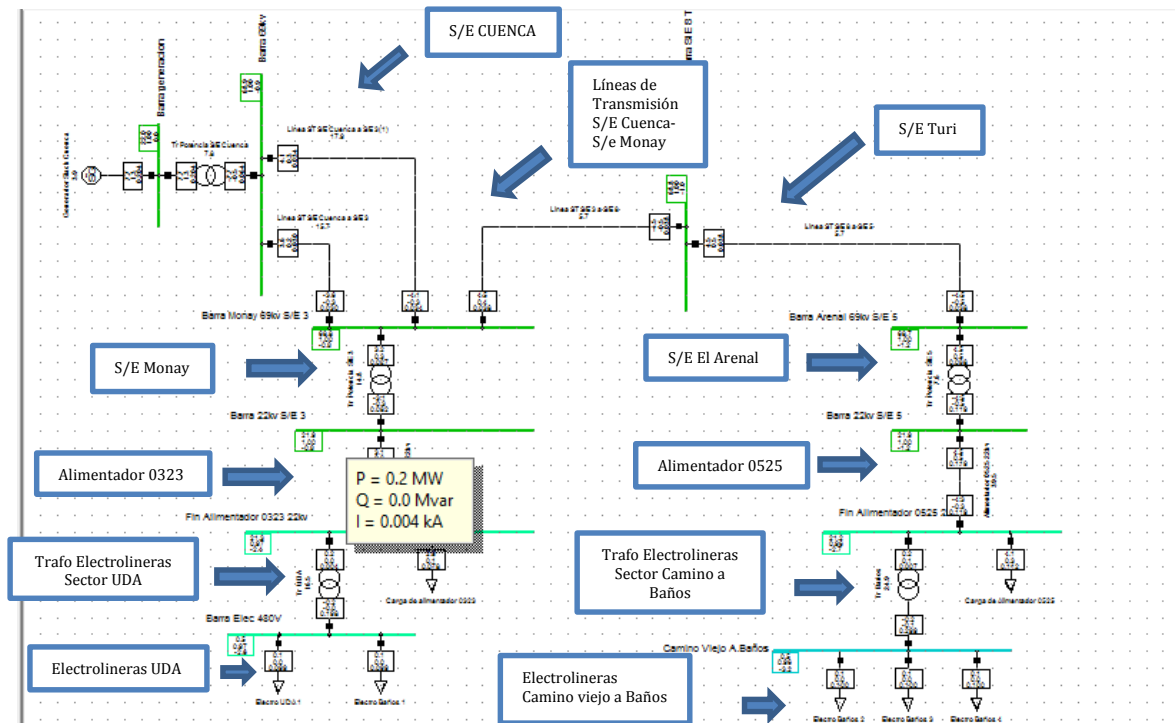


Figura 59. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado al alimentador 0323.

Fuente: Autor

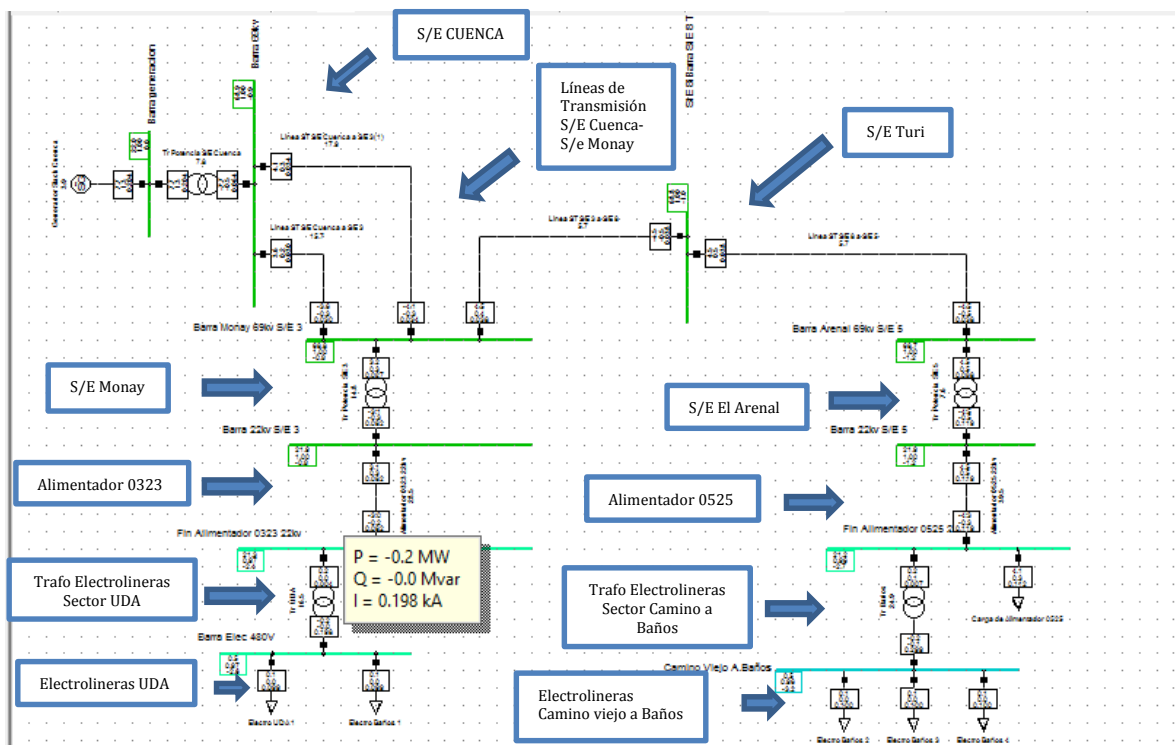


Figura 60. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado a electrolineras UDA.

Fuente: Autor

3.2.3 Transformadores subestación 05 El Arenal

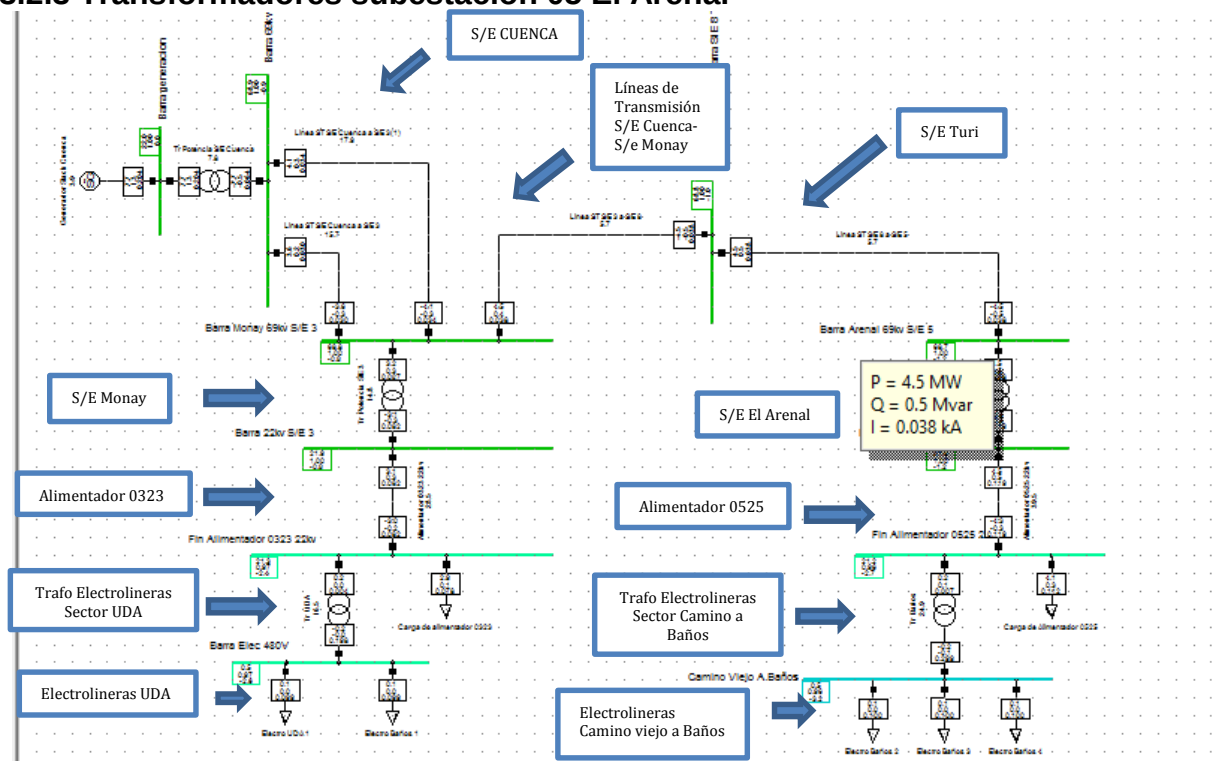


Figura 61. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador en la subestacion 05 El Arenal, en bornes de alta tensión con electrolineras en operación.

Fuente: Autor

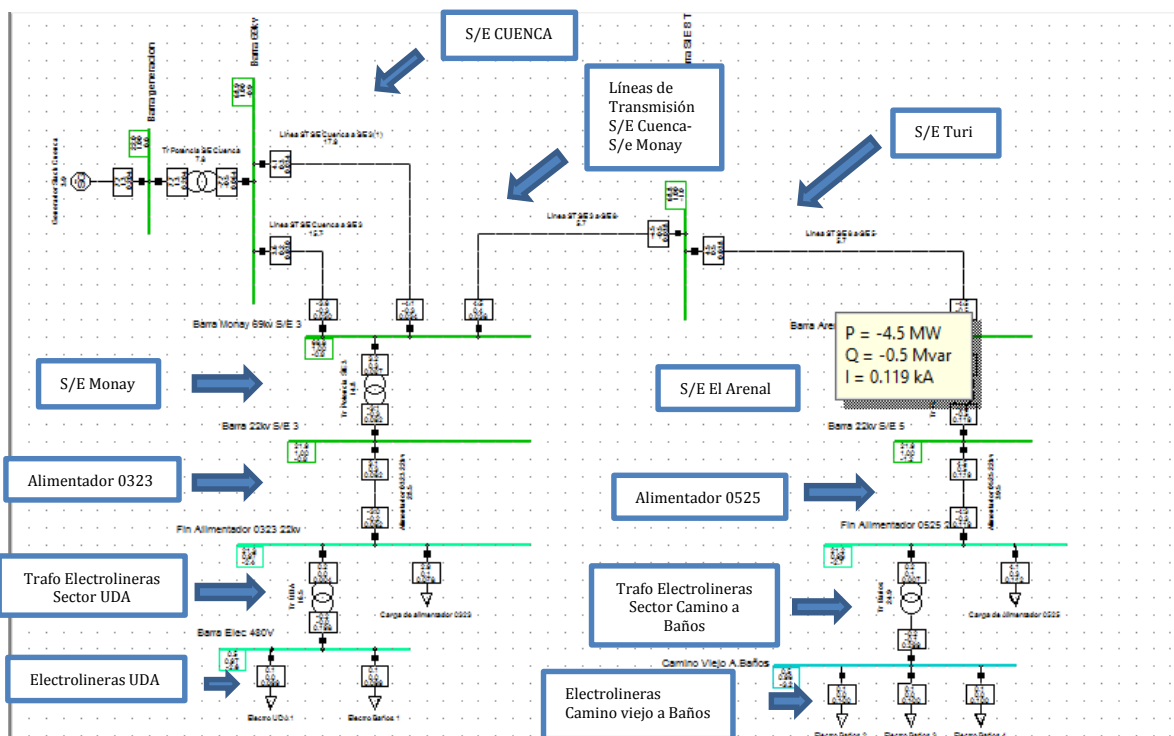


Figura 62. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestacion 05 El Arenal en bornes de media tensión con electrolineras en operación

Fuente: Autor

3.2.4 Alimentador 0525 con electrolíneas en operación.

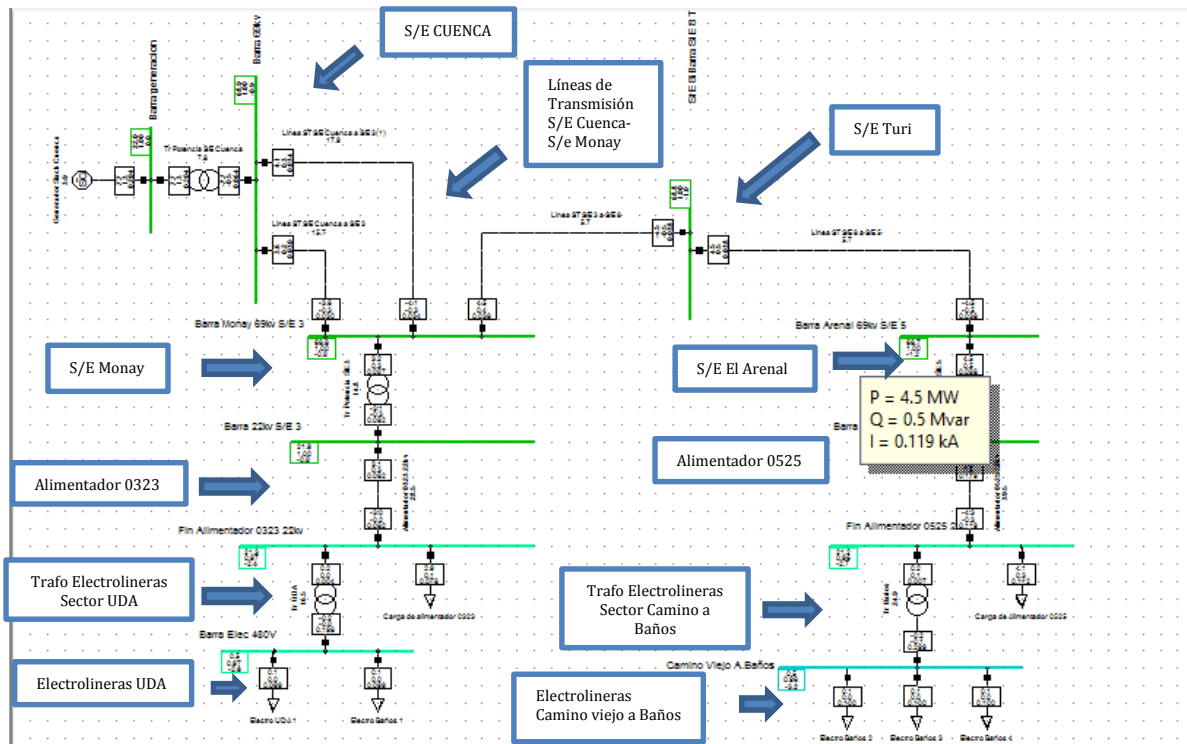


Figura 63. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al Inicio del alimentador 0525 con electrolíneas en operación.

Fuente: Autor

La cargabilidad que tiene el alimentador 0525 es del 39.53% en demanda máxima, ya que en este caso de estudio se ha tomado en cuenta la hora pico entre las 19h45 y 20h00 para operar la electrolínea y saber cuanto se eleva la cargabilidad del alimentador en dicho horario crítico..

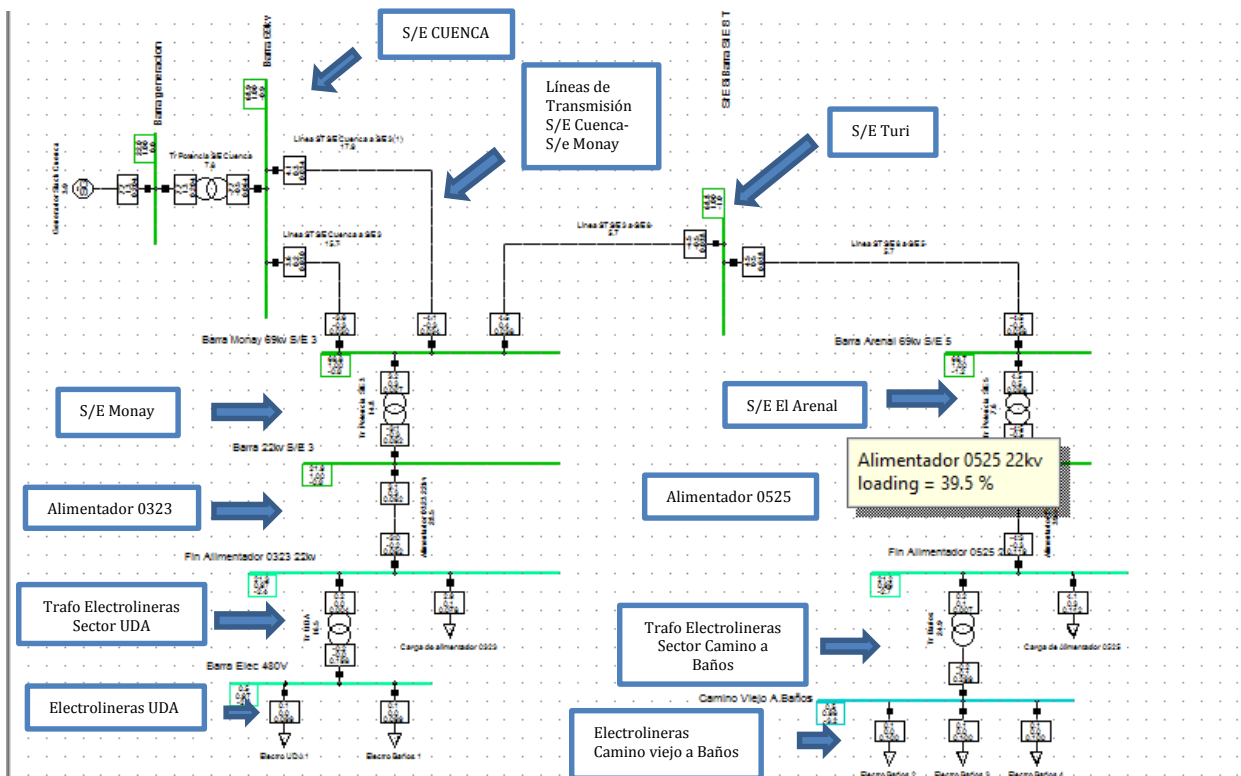


Figura 64. Cargabilidad del alimentador 0525 con electrolineras en operación.
Fuente: Autor

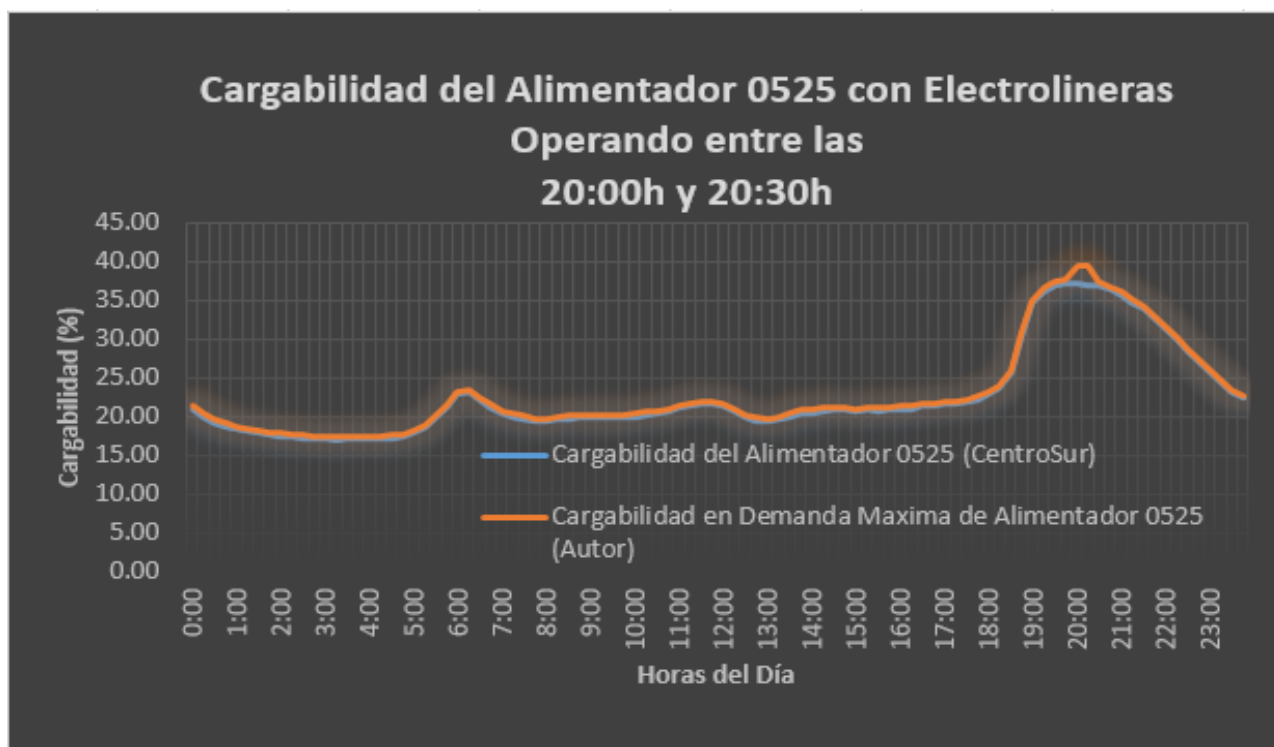


Figura 65. Cargabilidad d alimentador 0525 mientras electrolinera está operando en horas pico de la demanda máxima de potencia
Fuente. Autor.

3.2.5 Cargabilidad del alimentador 0525 con electrolíneas en operación.

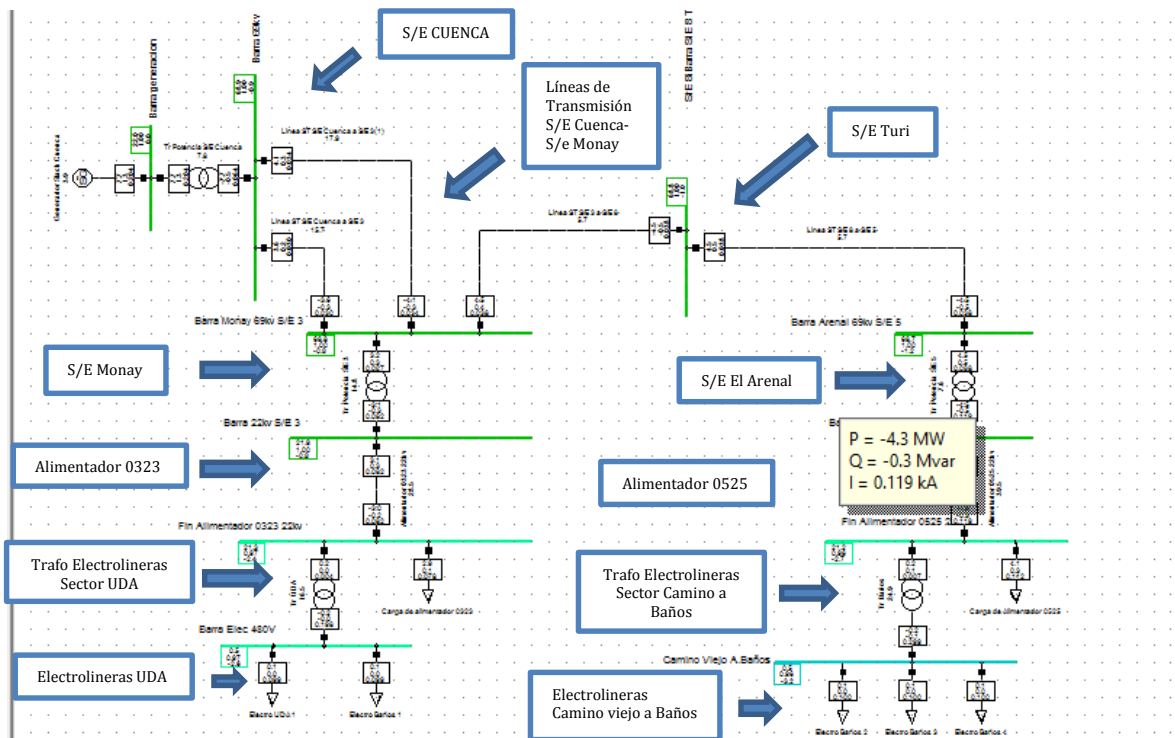


Figura 66. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente al final del alimentador 0525 con electrolíneas en operación.

Fuente: Autor

3.3 Transformadores para electrolíneas

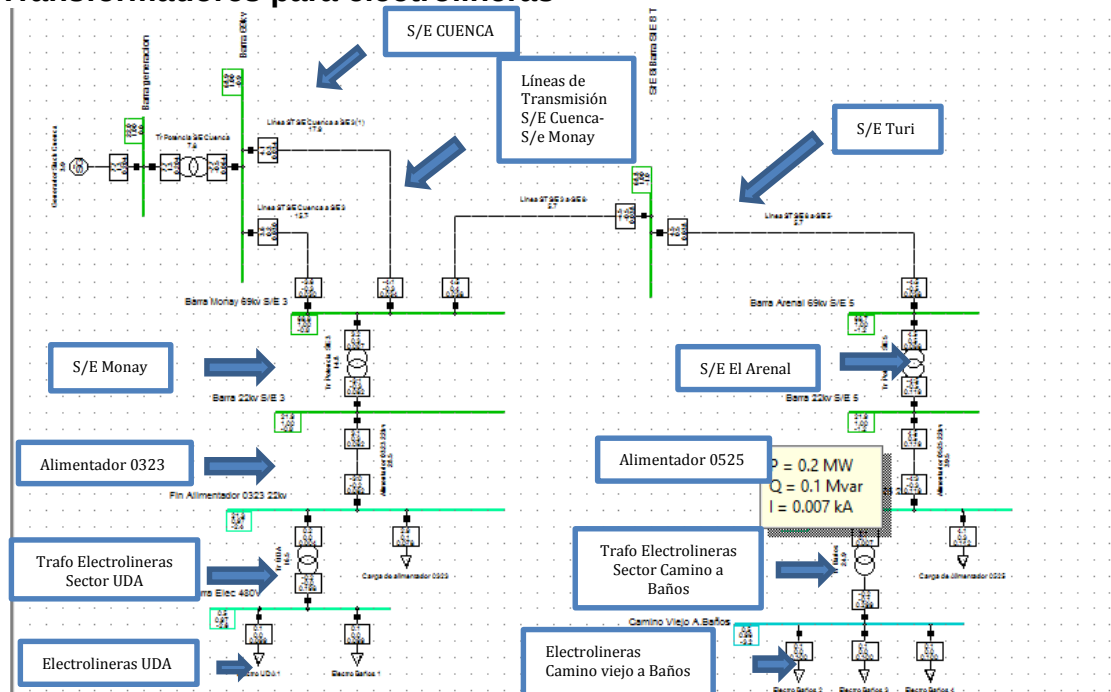


Figura 67. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado al alimentador 0525

Fuente: Autor

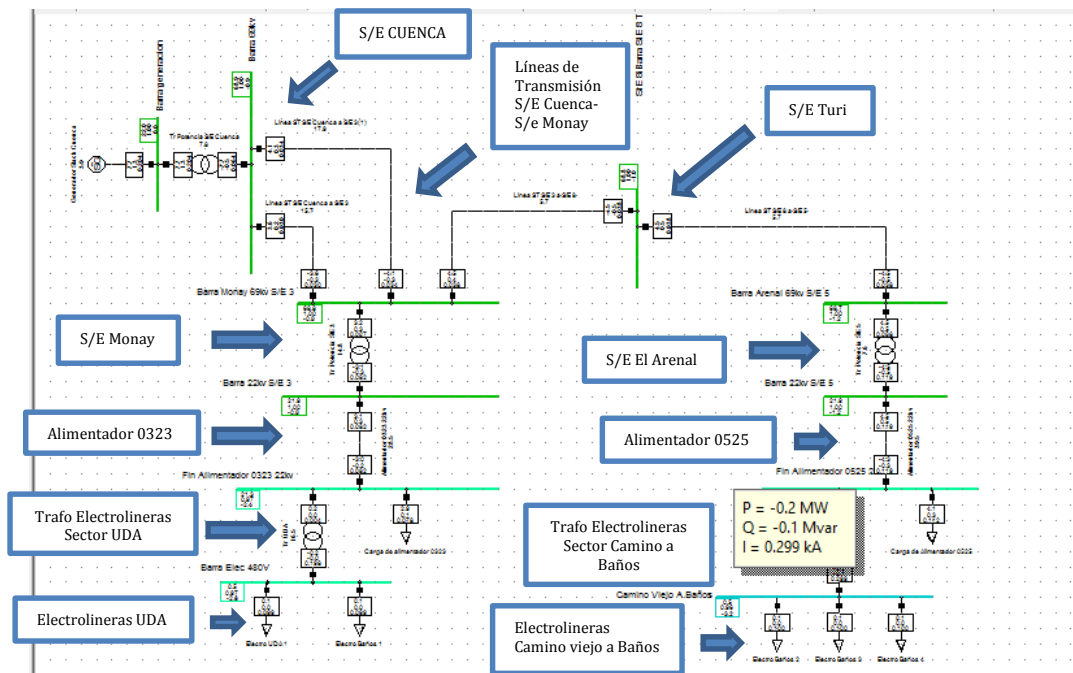


Figura 68. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador Padmount conectado a las electrolineras sector Camino Viejo a Baños.

Fuente: Autor

3.4 Cuadro de resultados generales con electrolineras en operación.

El programa Digsilent Power Factory permite realizar un resumen de los principales elementos y sus características eléctricas obtenidos al correr el flujo del sistema eléctrico que se está analizando (anexo 2).

Grid: Tesis Electrolineras System Stage: Tesis Electroli Study Case: Study Case				Annex:		/ 1		
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [MW]	Reactive Power [Mvar]	Power.- factor [-]	Current [kA]	[p.u.]
Carga de Alimentador 0525od			Fin Alimentador 052..	4.112	0.279	1.00	0.112	1.037
Carga de alimentador 0323od			Fin Alimentador 032..	2.871	0.147	1.00	0.078	1.032
Electro Baños 1	Lod		Barra Electro Baños	0.078	0.017	0.98	0.100	1.039
Electro Baños 2	Lod		Barra Electro Baños	0.078	0.017	0.98	0.100	1.039
Electro Baños 3	Lod		Barra Electro Baños	0.078	0.017	0.98	0.100	1.039
Electro UDA 1	Lod		Barra Electro UDA	0.078	0.017	0.98	0.099	1.033
Electro UDA 2	Lod		Barra Electro UDA	0.078	0.017	0.98	0.099	1.033
Generador Slack Cuenca	Sym	3.89	Barra generacion	7.673	1.311	0.99	0.204	0.039
Alimentador 0323 22kv	Lne	28.50	Barra 22kv S/E 3	3.109	0.256	1.00	0.082	0.285
			Fin Alimentador 032..	-3.026	-0.182	-1.00	0.082	0.285
Alimentador 0525 22kv	Lne	39.53	Barra 22kv S/E 5	4.477	0.463	0.99	0.119	0.395
			Fin Alimentador 052..	-4.346	-0.332	-1.00	0.119	0.395
Linea ST S/E 3 a S/E 8	Lne	5.68	S/E 8/Barra S/E 8 T..	-4.512	-0.453	-1.00	0.038	0.057
			Barra Monay 69kv S/..	4.514	0.380	1.00	0.038	0.057
Linea ST S/E 8 a S/E 5	Lne	5.69	S/E 8/Barra S/E 8 T..	4.512	0.453	1.00	0.038	0.057
			Barra Arenal 69kv S..	-4.509	-0.524	-0.99	0.038	0.057
Linea ST S/E Cuenca a S/E 3		15.68	Barra 69kv	3.577	0.250	1.00	0.030	0.157
			Barra Monay 69kv S/..	-3.576	-0.301	-1.00	0.030	0.157
Linea ST S/E Cuenca a S/E 3(1)		17.94	Barra 69kv	4.095	0.293	1.00	0.034	0.179
			Barra Monay 69kv S/..	-4.093	-0.337	-1.00	0.034	0.179
Tr Baños	Tr2	24.90	Fin Alimentador 052..	0.234	0.054	0.97	0.007	0.249
			Barra Electro Baños	-0.234	-0.051	-0.98	0.299	0.249
Tr Potencia S/E 3	Tr2	14.83	Barra Monay 69kv S/..	3.155	0.257	1.00	0.027	0.148
			Barra 22kv S/E 3	-3.109	-0.256	-1.00	0.082	0.146
Tr Potencia S/E 5	Tr2	7.60	Barra Arenal 69kv S..	4.509	0.524	0.99	0.038	0.076
			Barra 22kv S/E 5	-4.477	-0.463	-0.99	0.119	0.075
Tr UDA	Tr2	16.51	Fin Alimentador 032..	0.156	0.036	0.97	0.004	0.165
			Barra Electro UDA	-0.156	-0.034	-0.98	0.198	0.165
Tr Potencia S/E Cuenca	Tr2	7.78	Barra 69kv	-7.672	-0.543	-1.00	0.064	0.077
			Barra generacion	7.673	1.311	0.99	0.204	0.078

Figura 69. Cuadro de resultados con electrolineras en operación.

Fuente: Autor

CAPITULO 4.

ANALISIS DE RESULTADOS

4. INTRODUCCIÓN

Este capítulo se dedica al análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la red modelada para el caso de estudio en el software Digsilent Power Factory.

Los datos utilizados en el análisis fueron proporcionados por el Departamento de Distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur, cuyos datos fueron evaluados en un día normal laborable y tomando en consideración la máxima demanda que presenta cada subestación y sus alimentadores.

4.1 Características eléctricas de las líneas de subtransmisión desde la subestación Cuenca hacia la subestación 03 Monay

Tabla 3: Línea 1 de Subtransmisión que va desde la subestación Cuenca hacia la subestación 03 Monay
Fuente: Autor

Características eléctricas de la Línea 1 de Sub Transmisión							
	Potencia Activa S/E Cuenca (kW)	Perdidas a lo largo del alimentador en kW	Potencia Activa S/E 3 (kW)	Potencia Reactiva S/E Cuenca (kVAr)	Aumento de Q en alimentador (kVAr)	Potencia Reactiva S/E 3 (kVAr)	Corriente (A)
Sin carga	3384	1	3383	195	52	247	28
Con carga	3577	1	3576	250	51	301	30
Aumento de potencia	193		193	55		54	
Porcentaje de Aumento (%)	5.40		5.40	22.00		17.94	6.67

La línea de subtransmisión 1 que alimenta la sub estación 3 parte desde la sub estación Cuenca con una potencia activa de 3384kW, la cantidad de reactivos son de 195kVAr y su corriente es de 28A, pero a lo largo de su recorrido existe una pérdida en

la potencia activa de 1kW, por lo cual; la potencia que llega a la sub estación 3 es de 3383kW y a su vez los reactivos ascienden a unos 247kVAr por efecto de todas las cargas no lineales conectadas a dicha S/E. Ahora bien, si las dos electrolineras entran en funcionamiento durante 15 minutos en un horario establecido más adelante por el autor, la S/E Cuenca sufrirá una alteración en la potencia activa entregada a la S/E 3, en este caso la potencia será de 3577kW, lo cual indica un incremento del 5.40%, es decir que aumentara 193kW, pero a lo largo de la línea se perderá 1kW y a la S/E 3 llegara 3576kW que en su barra se evidenciara un incremento del mismo porcentaje que la S/E Cuenca. Los reactivos en el mismo lapso de operación se incrementarán a 250kVAr en la S/E Cuenca lo cual indica un incremento del 22%, es decir; aumentara 55kVAr y a lo largo de la línea se nota un alza de 51kVAr, por esa razón la S/E 3 tendrá que soportar 301kVAr en su barra, pero en este caso el aumento de dichos reactivos en la S/E 3 son del 17.94% y la corriente sube a 30A.

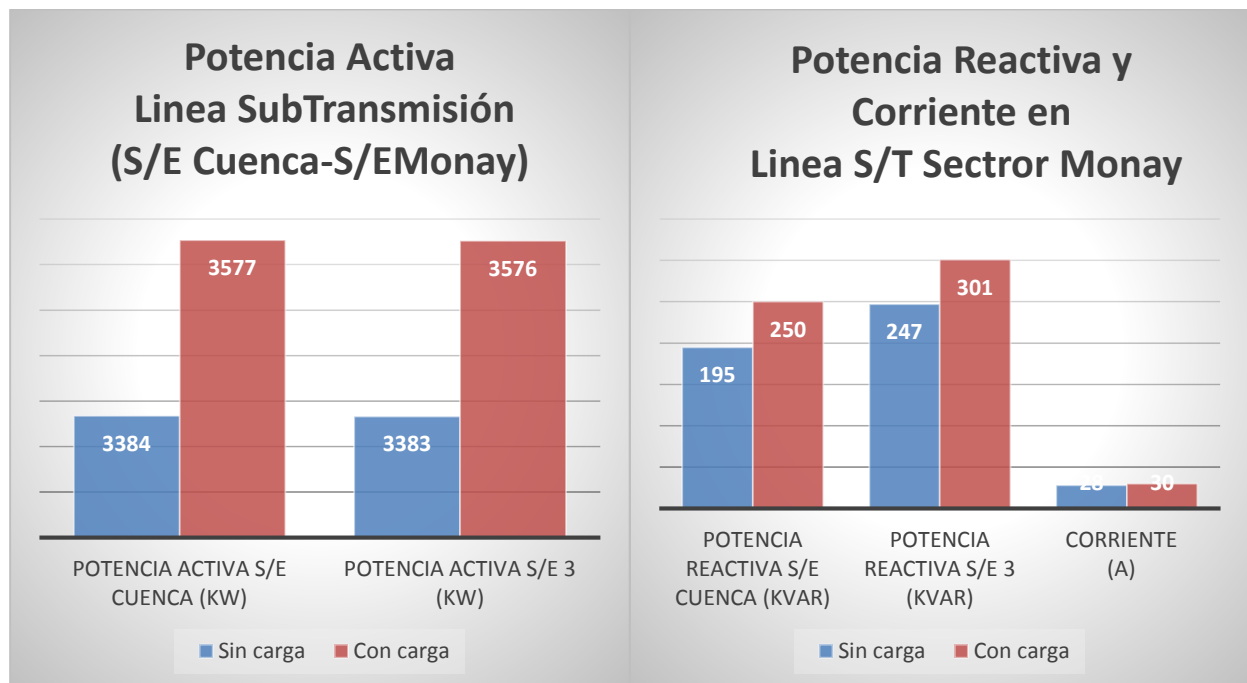


Figura 70. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en línea 1 de Sub Transmisión desde la subestación Cuenca hacia la subestación 03 Monay
Fuente: Autor

Tabla 4: Línea 2 de Subtransmisión que va desde Sub Estación Cuenca hacia Sub Estación 3
Fuente: Autor

Características eléctricas de la Línea 2 de Sub Transmisión

	Potencia Activa S/E Cuenca (Kw)	Perdidas a lo largo del alimentador en KW	Potencia Activa S/E 3 (kW)	Potencia Reactiva S/E Cuenca (kVAR)	Aumento de Q en alimentador (kVAR)	Potencia Reactiva S/E 3 (kVAR)	Corriente (A)
Sin carga	3874	1	3873	231	44	275	33
Con carga	4095	2	4093	293	44	337	34
Aumento de potencia en alimentador	221		220	62		62	
Porcentaje de Aumento (%)	5.40		5.38	21.16		18.40	2.94

Como la sub estación 3 está alimentada por una red en anillo que viene desde la subestación cuenca, entonces la línea de subtransmisión 2 sufrirá las mismas variaciones de potencia activa, reactiva y corriente pero con diferentes valores. Por ejemplo; cuando la línea está en operación normal y las electrolineras no están recargando a los buses la S/E Cuenca tiene que soportar un despacho de 3874 kW pero a la S/E 3 llegara 3873kW, lo cual indica que en la línea se ha perdido 1kW, los reactivos la S/E Cuenca serán de 231kVAR pero en el transcurso de la línea aumentaran a 275kVAR y la corriente será de 33A.

Al momento de funcionamiento de las electrolineras la S/E Cuenca soporta una potencia de 4095 kW en su barra pero con el transcurso de su recorrido perderá 2kW por lo cual a la S/E 3 llegara 4093kW, con los reactivos pasa lo contrario; en la S/E Cuenca existe 293kVAR y a la S/E 3 llega 337kVAR. Cuando las electrolineras entran en funcionamiento la potencia en la S/E Cuenca aumenta un 5.40% y en la S/E 3 aumenta un 5.38%, los reactivos en la S/E Cuenca suben un 21.16% pero en la S/E 3 aumentan solo un 18.40% y la corriente sube a 33A.

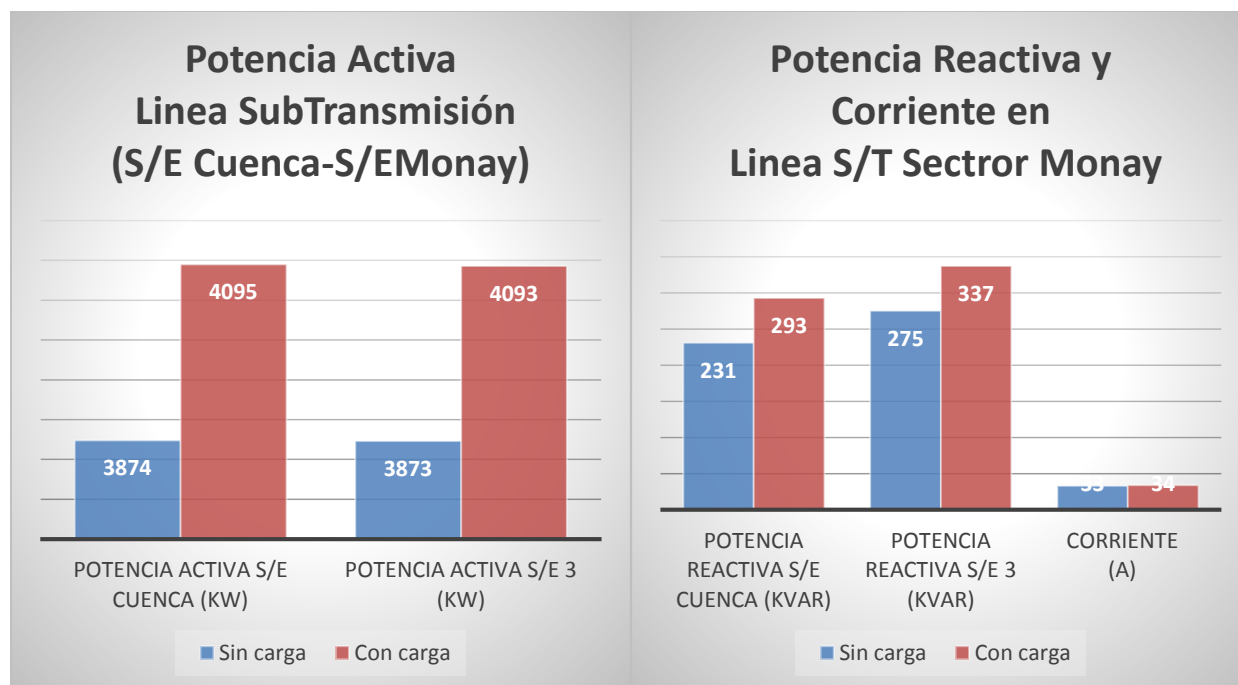


Figura 71. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente de la línea 2 de Sub Transmisión desde la subestación Cuenca hacia la subestación 3 Monay
Fuente: Autor

Tabla 5: Transformador de Potencia Sub Estación 3
Fuente: Autor

Transformador de Potencia Sub Estación 3								
	Potencia Alta Tensión (kW)	Perdidas en Transformador (KW)	Potencia Media Tensión (kw)	Reactivos Alta Tensión (kvar)	Aumento de Reactivos (kVAR)	Reactivos Media Tensión (kVAR)	Corriente Alta Tensión (A)	Corriente Media Tensión (A)
Sin carga	2990	46	2944	212	0	212	25	78
Con carga	3155	46	3109	257	1	256	27	82
Aumento de potencia en Transformador	165		165	45		44		
Porcentaje de Aumento (%)	5.23		5.31	17.51		17.19		4.88

Transformador de Potencia Sub Estación 3

	Potencia Alta Tensión (kW)	Perdidas en Transformador (KW)	Potencia Media Tensión (kw)	Reactivos Alta Tensión (kvar)	Aumento de Reactivos (kVAR)	Reactivos Media Tensión (kVAR)	Corriente Alta Tensión (A)	Corriente Media Tensión (A)
Sin carga	2990	46	2944	212	0	212	25	78
Con carga	3155	46	3109	257	1	256	27	82
Aumento de potencia en Transformador	165		165	45		44		
Porcentaje de Aumento (%)	5.23		5.31	17.51		17.19		4.88

Los transformadores de potencia de la Sub Estación 3 tiene como tarea reducir el voltaje de 68kV a 22kV y tiene que soportar toda la potencia que demanda el alimentador 0323, es por ello que dicho transformador actualmente soporta una potencia activa de 2944kW en el lado de media tensión, pero como en dicho transformador existen una pérdida de 46kW absorberá una potencia de 2990kW en el lado de alta tensión, los reactivos que soporta el transformador en el lado de 22kV son de 212 kVAr siendo los mismos en el lado de alta tensión; esto quiere decir que no existe un aumento significativo en el transformador, la corriente en el lado de alta tensión es de 25A pero en el lado de media tensión aumenta significativamente a 75A por el hecho de reducción de voltaje; todo esto es sin operación de las electrolineras, pero al momento de utilizar las electrolineras la potencia demandada por el lado de media tensión es de 3109kW y como existe una pérdida de 46kW entonces la potencia demandada por el transformador en la barra de subtransmisión es de 3155kW, este incremento en la potencia es de un 5.23% en lado de alta y un 5.31 en lado de media tensión. Al subir la potencia es normal que suba los reactivos que soporta el transformador, estos se incrementan un 17.51% en el lado de alta lo cual indica que el nuevo valor es de 257kVAr elevándose con 45kVAr en la barra de 69kv, algo similar pasa en la barra de 22kV, ya que se eleva hasta 256kVAr sufriendo un aumento del 17.19% en dicha barra, la corriente también sufre cambios, por lo tanto en el lado de alta tensión aumenta en un 7.41% ya que el nuevo valor es de 27A y el en lado de

media tensión aumenta un 4.88% y el nuevo valor es de 82A.

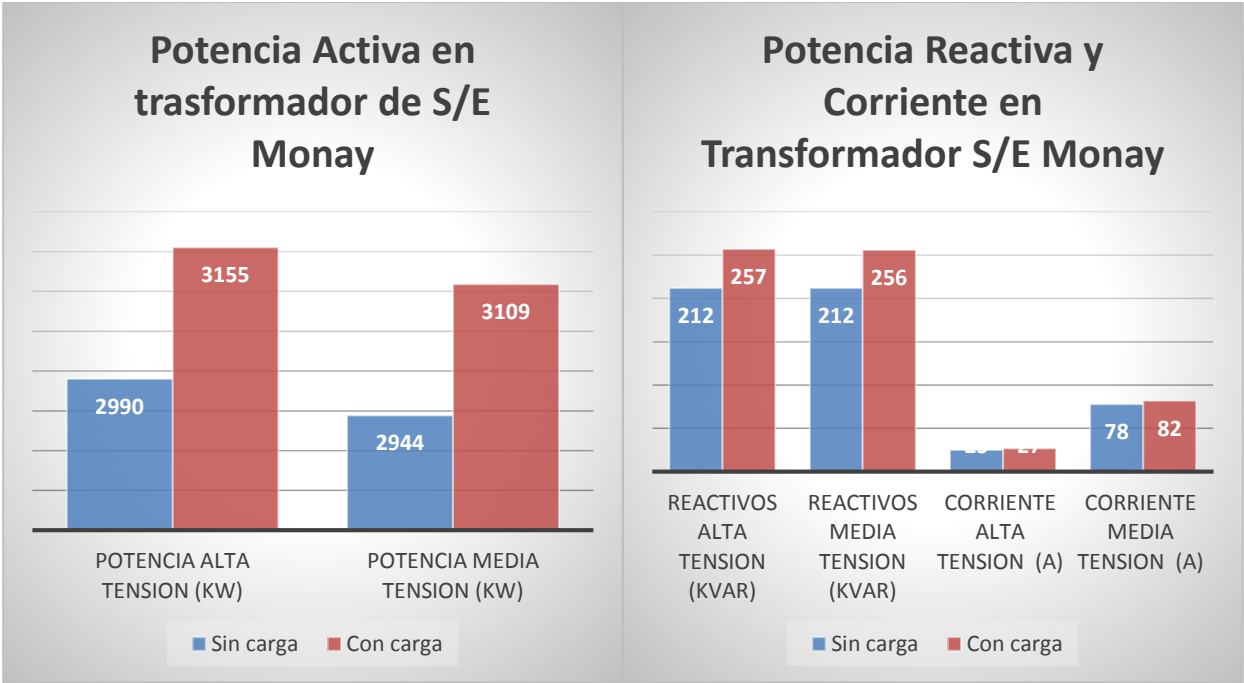


Figura 72. Características eléctricas de los transformadores de la subestación 03 Monay
Fuente: Autor

Tabla 6: Características eléctricas del Alimentador 0323
Fuente: Autor

Alimentador 0323							
	Potencia Activa S/E 3 (kW)	Perdidas a lo largo del alimentador en kW	Potencia Activa en Punto de conexión (kW)	Potencia reactiva en Punto de Conexión (kVar)	Aumento de Potencia reactiva en alimentador (kVar)	Potencia reactiva en S/E 3 (kVar)	Corriente (A)
Sin carga	2944	74	2870	146	66	212	78
Con carga	3109	83	3026	182	74	256	82
Aumento de potencia en alimentador	165		156	36		44	
Porcentaje de Aumento (%)	5.31		5.16	19.78		17.19	4.88

El alimentador 0323 en la actualidad transporta una potencia activa de 2870 kW para satisfacer la demanda de las cargas conectadas a la red que provee el suministro eléctrico, la S/E 3 tiene que suministrar una potencia de 2944kW ya que a lo largo de la línea se pierde 74kW, esto quiere decir que la línea absorbe un 2.51% de la potencia entregada por la S/E 3 solo en su funcionamiento como tal, las cargas conectadas a este alimentador son cargas no lineales y por lo cual se comportan como generadores de reactivos a lo largo de todo el tramo que recorre dicho alimentador, de manera que los reactivos totales inyectados por estas cargas son de 146kVAr, pero al recorrer todo el alimentador aumentan en un 31.13%, por lo cual la S/E 3 tiene que soportar un aumento de 66kVAr, que en total sería 212kVAr con una corriente de 78A. Pero al momento de funcionar las electrolineras por un lapso de tiempo mientras cargan las baterías la potencia demanda en conjunto con todas las otras cargas conectadas al alimentador son 3109kW por lo cual se evidencia un aumento de 165kW en el punto de conexión, es decir que aumentó un 5.31% más que antes y al ser de naturaleza no lineal inyectaran reactivos a la red. La cantidad de reactivos inyectados a la red son 36kVAr por lo que aumentan un 19.78% a los reactivos existentes en la red sin que las electrolineras estén operando, es en ese momento que los reactivos suben hasta 182 kVAr en dicho punto de operación. Como a lo largo de la red los reactivos inyectados aumentarían por la razón ya antes expuesta, es ahí entonces cuando la S/E 3 tendrá que soportar un aumento de 44kVAr en su barra infinita, la totalidad de reactivos que soportara la S/E 3 mientras operan las electrolineras llega a ser de 256kVAr aumentado en un 17.19 % al anterior valor de reactivos. La corriente también sufrirá un aumento del 4.88% y llegará a ser de 78A en el alimentador durante el tiempo que las electrolineras estén operando.

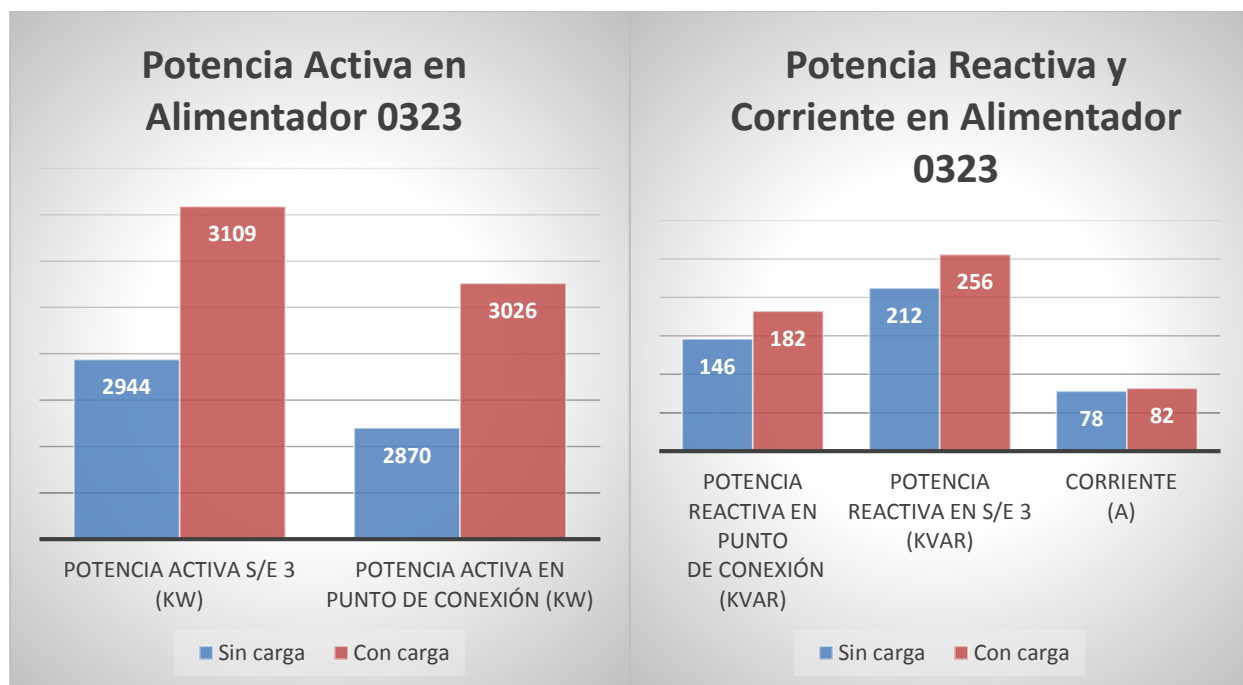


Figura 73. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente en el Alimentador 0323

Fuente: Autor

Tabla 7: Datos técnicos de las electrolineras sector Universidad Del Azuay

Fuente: Autor

Electrolineras propuestas sector UDA				
Electrolineras en operación	Potencia Electrolineras (kW)	Reactivos Electrolineras (kVAr)	Corriente en Electrolineras (A)	Voltaje de Operación (V)
2	156	34	198	480

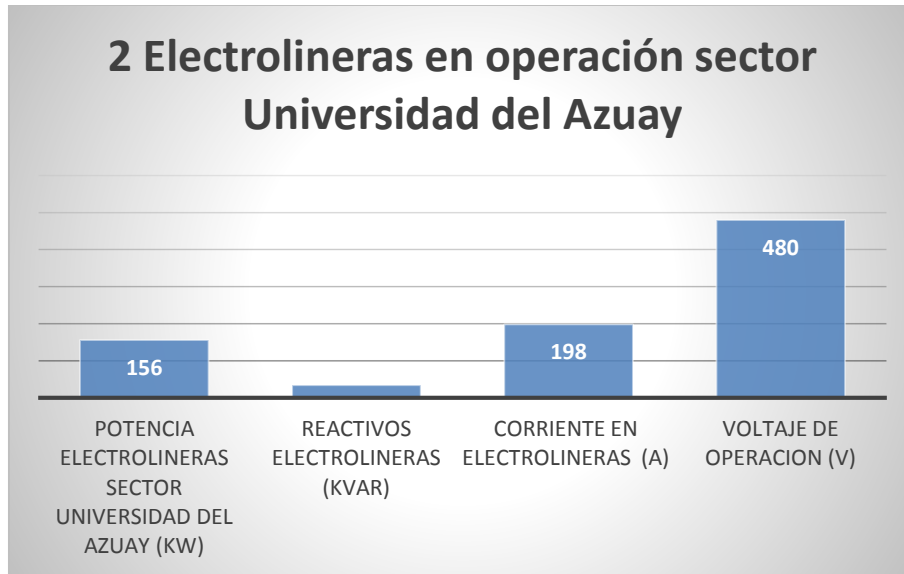


Figura 74: Potencia y Corriente electrolineras sector Universidad Del Azuay

Fuente: Autor

Tabla 8: Transformador de Electrolineras sector Universidad Del Azuay

Fuente: Autor

Transformador de Electrolineras Universidad Del Azuay								
	Potencia Media Tensión (kW)	Perdidas en Transformador (kW)	Potencia Baja Tensión (kW)	Reactivos Media Tensión (kVAr)	Aumento de Reactivos (kVAr)	Reactivos Baja Tensión (kVAr)	Corriente Media Tensión (A)	Corriente Baja Tensión (A)
Sin carga	0	0	0	0	0	0	0	0
Con carga	156	0	156	36	2	34	4	198

El transformador que servirá como reductor de voltaje para las electrolineras será de 250kva y al momento de trabajar junto con las electrolineras inyectará a la red 2kvar por el mismo hecho de tener un núcleo y dentro de este un bobinado de cobre que al tener contacto con la corriente alterna se convierte en una carga no lineal.

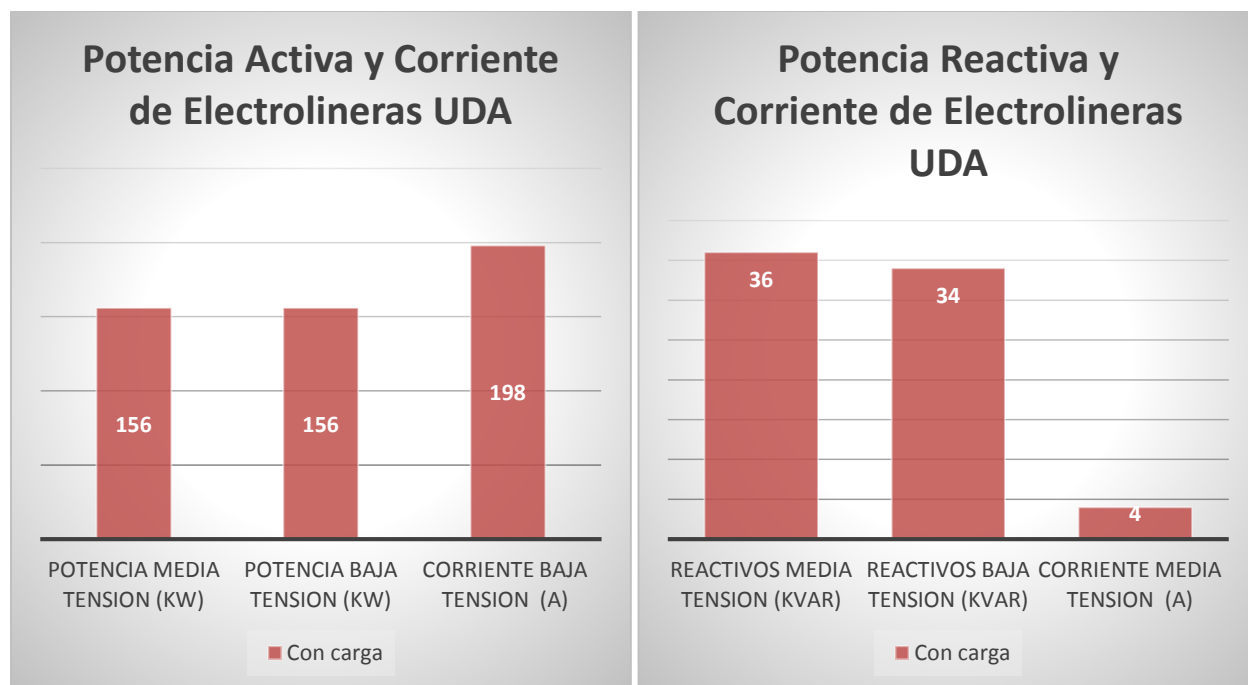


Figura 75. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del transformador de las electrolineras en el sector de la Universidad del Azuay

Fuente: Autor

4.2 Evaluación de datos subestación 03 Monay hacia subestación 08 Turi

Tabla 9: Línea de Sub Transmisión que va desde Sub Estación 3 hacia Sub Estación 8
Fuente: Autor

Línea de Sub Transmisión desde la Sub Estación 03 Monay hacia la Sub Estación 08 Turi

	Potencia Activa S/E 3 (kW)	Perdidas a lo largo del alimentador en kW	Potencia Activa S/E 8 (kW)	Potencia Reactiva S/E 3 (kVAr)	Aumento de Q en alimentador (kVAr)	Potencia Reactiva S/E 8 (kVAr)	Corriente (A)
Sin carga	4265	2	4263	310	73	383	36
Con carga	4514	2	4512	380	73	453	38
Aumento de potencia en alimentador	249		249	70		70	
Porcentaje de Aumento (%)	5.52		5.52	18.42		15.45	5.26

4.3 Evaluación de datos desde la subestación 08 Turi hacia la subestación 05 El Arenal

Tabla 10: Línea de Sub Transmisión que va desde la subestación 08 Turi hacia la subestación 05 El Arenal

Línea de Sub Transmisión que va desde S/E 8 hacia S/E 5

	Potencia Activa S/E 8 (kW)	Perdidas a lo largo del alimentador en KW	Potencia Activa S/E 5 (kW)	Potencia Reactiva S/E 8 (kVAr)	Aumento de kVAr en alimentador	Potencia Reactiva S/E 5 (kVAr)	Corriente (A)
Sin carga	4263	2	4261	383	72	455	36
Con carga	4512	3	4509	453	71	524	38
Aumento de potencia en alimentador	249		248	70		69	
Porcentaje de Aumento (%)	5.52		5.50	15.45		13.17	5.26

La S/E 5 esta alimentado por una línea de subtransmisión que parte desde la sub estación 3 hacia la sub estación 8 y desde ahí sale otra línea hacia la S/E 5, para este caso de estudio no se tomara en cuenta la carga que soporta la S/E 8 ya que este documento se centra en las los alimentadores de la Empresa Regional Centro Sur. Pero para dar una breve explicación de cómo se está comportando todo el sistema de transporte de energía eléctrica hasta el punto de conexión de las electrolíneas se diseñan las líneas de subtransmisión tal y como son en la realidad, es por ello que se evidencia una potencia de despacho en la barra de la sub estación 3 de 4265kW y a lo largo de la línea que va hacia la sub estación 8 se pierde 2kW, llegando a la S/E 8 4263kW para así salir desde ese punto hacia la S/E 5 con pérdidas en el trascurso del camino de 2kW, en total las pérdidas ascienden a 4kW, es por ello que llega 4261kW de potencia activa a la barra de la S/E 5 para así despachar al alimentador 0525 el cual distribuye energía eléctrica a todas las cargas que estén conectadas al mismo. Ahora bien, los reactivos generados por las cargas en el alimentador 0525 suman 310kVAr en la barra de la S/E 3 y salen hacia las S/E 8 con un aumento de 73kVAr dando como total unos 383kVAr, es desde ese punto de la barra que salen hacia las S/E 5 con un aumento de 72kVAr en la línea de transporte hacia dicho sub estación por lo cual llega a

la S/E 5 un total de 455kVAr, lo cual indica un incremento de 145kVAr en todo el trayecto de transporte de la energía eléctrica hacia la S/E 5. Hay que tomar en cuenta que estos datos son de las potencia sin que las electrolineras entren en funcionamiento, pero al momento que los buses necesiten recargar las baterías las electrolineras entraran en operación y es ahí cuando la potencia en la barra de la S/E 3 sufre un incremento del 5.52%, es decir aumenta 249kW y la S/E 3 soporta un de 4514kW pero a lo largo de la línea de pierde 2kW a la S/E 8 llegara 4512kW, es ahí donde la línea que conecta a la S/E 8 con la S/E 5 transportara la potencia iniciando su recorrido con los 4512kW y perdiendo 3kW en el camino para así llegar a su destino con 4509kW, lo cual indica un incremento del 5.50% en la barra de la S/E 5 cuando las electrolineras funcionen por ese breve lapso de tiempo. Con los reactivos pasa lo contrario; éstos parten desde la S/E 3 380kVAr hacia la S/E 8 y llegan con un amento de 71kVAr, por lo tanto dicha barra tiene que soportar un incremento de 15.45%, lo cual da un valor total de 453kVAr en la barra de la sub estación 8, es desde ese lugar donde parten hacia la S/E 5 con un incremento en la línea de 71kvar y llega a la barra de la Sub estación unos 524kVAr, es decir la barra de la S/E 5 tendrá que soportar un incremento del 13.71%, y la corriente subirá a 38A a lo largo de las dos líneas sub transmisión de conecta las Sub estaciones 3 con la sub estación 5.

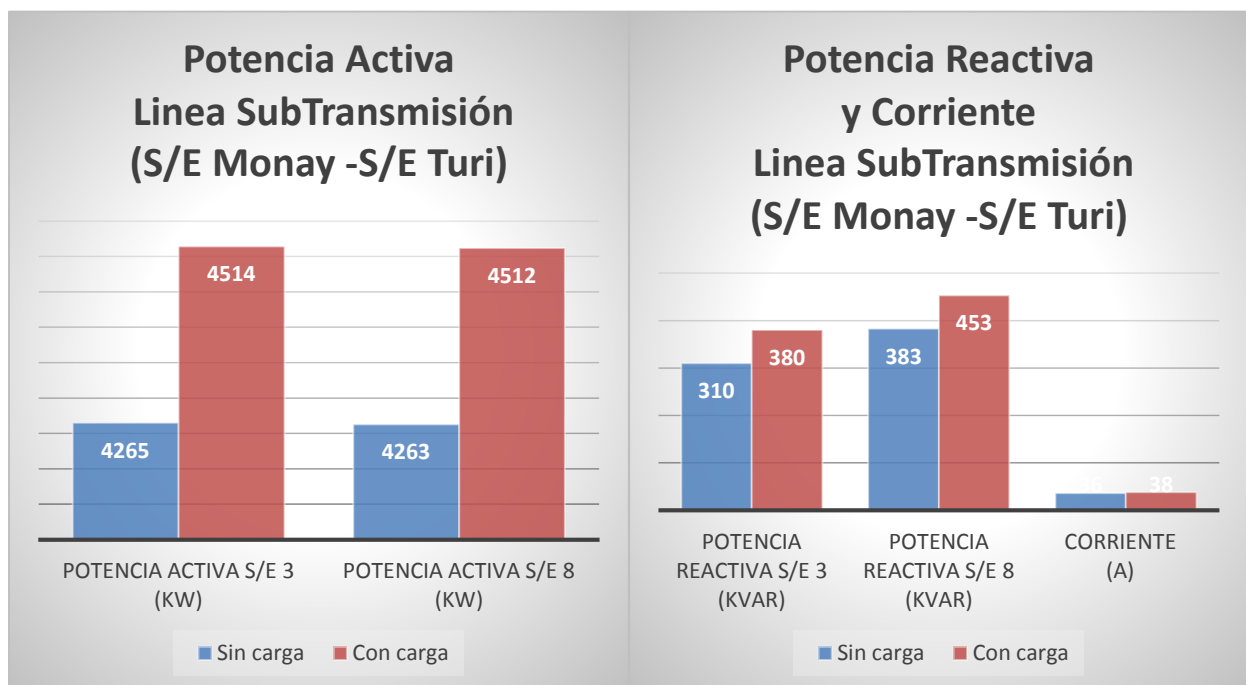


Figura 76. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente Línea de Sub Transmisión que va desde la subestación 03 Monay hacia la subestación 08 Turi

Fuente: Autor

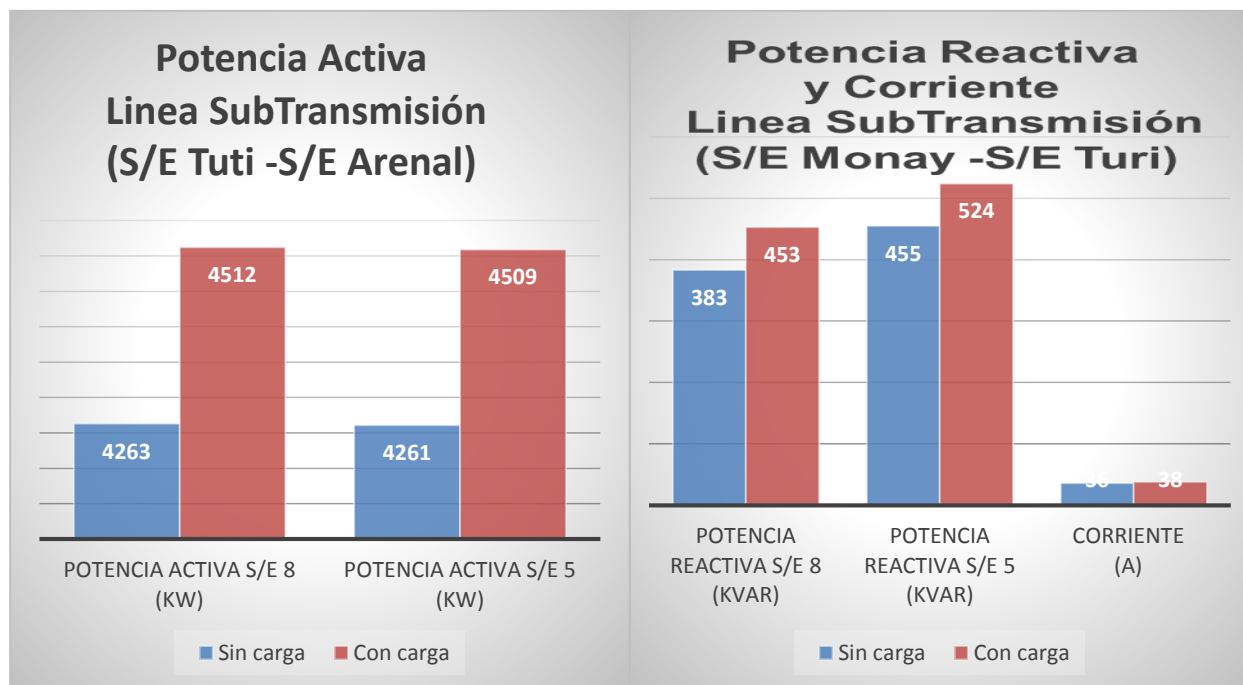


Figura 77. Línea de Sub Transmisión que va desde la subestación 08 Turi hacia la subestación 05 El Arenal

Fuente: Autor

Tabla 11: características eléctricas del Transformador de Sub Estación 05

Fuente: Autor

	Potencia Alta Tensión (kW)	Perdidas en Transformador (kW)	Potencia Media Tensión (kW)	Reactivos Alta Tensión (kVAR)	Aumento de Reactivos (kVAR)	Reactivos Media Tensión (kVAR)	Corriente Alta Tensión (A)	Corriente Media Tensión (A)
Sin carga	4261	33	4228	455	60	395	36	112
Con carga	4509	32	4477	524	61	463	38	119
Aumento de potencia en Transformador	248		249	69		68		
Porcentaje de Aumento (%)	5.50		5.56	13.17		14.69		5.88

El transformador de potencia en la sub estación 5 tiene que soportar una carga de 4228kW en el lado de media tensión, la cual está demandando todas las cargas en conjunto aguas abajo del alimentador 0525, ahora bien, en el lado de alta tensión el

transformador tiene que absorber 4261kW para poder suministrar la potencia demandada por el alimentador ya que en su interior se pierde 33kW, las cargas conectadas al alimentador 0525 generan 395kVAr de reactivos en el lado de 22kV y en el lado de alta tensión los reactivos ascienden a 455kVAr, existiendo así un aumento de 60kVAr en la transformación de voltaje. La corriente de trabajo en el lado de media tensión es de 112A, pero en el lado de alta tensión la corriente es de 36A, lo cual indica que el transformador tiene que soportar un cambio del 67.86% en operación normal sin electrolineras operando.

Al momento de funcionar las electrolineras la potencia en el lado de alta tensión será de 2509kw tendrá una pérdida de 32kW en el transformador por lo que en el lado de media tensión pasara a ser 4477kW aumentando en un 5.56% a la potencia que demanda el alimentador sin las electrolineras operando, los reactivos en lado de media tensión con las electrolineras cargando las baterías de los buses eléctricos son de 463kVAr, aumentado en un 14.69% a los reactivos sin carga y en el lado de alta tensión los reactivos serán de 524kVAr aumentando en un 13.17% en el lado de los 69kV.

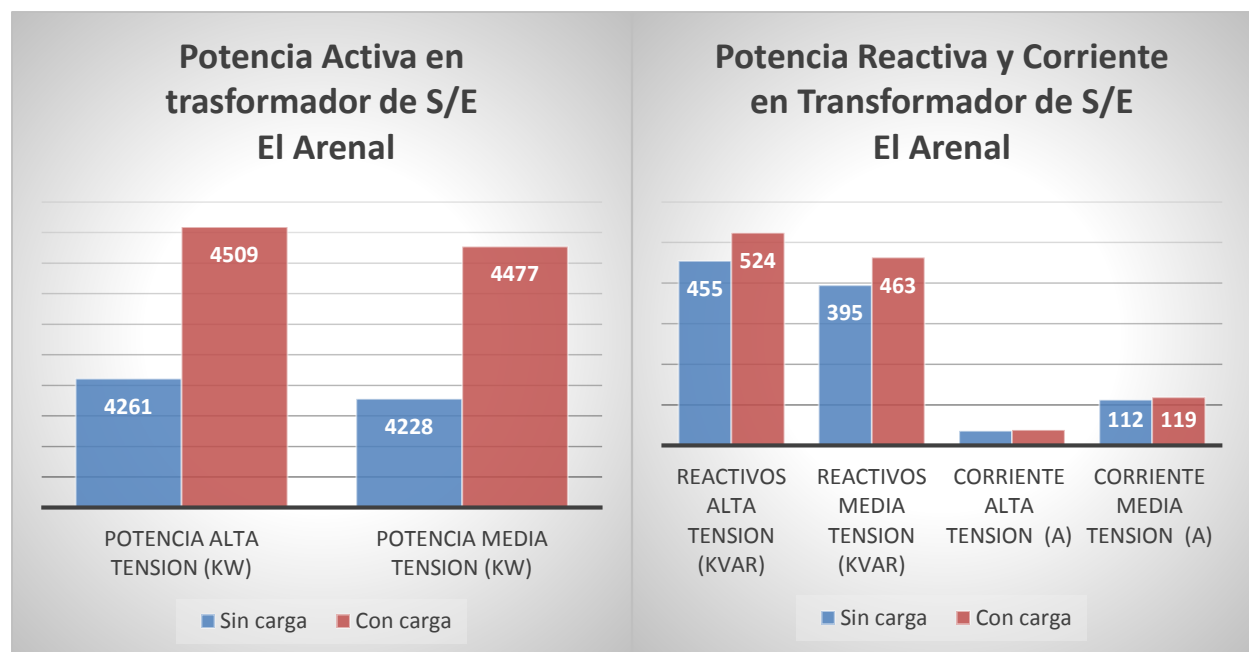


Figura 78. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Transformador de la subestación 05 El Arenal

Fuente: Autor

Tabla 12: Características alimentador 0525

Fuente: Autor

	Potencia Activa S/E 5 (kW)	Perdidas a lo largo del Alimentador en (kW)	Potencia Activa en Punto de conexión (kW)	Potencia Reactiva en Punto de Conexión (kVAr)	Aumento de Potencia Reactiva en alimentador (kVAr)	Potencia reactiva en S/E 5 (kVAr)	Corriente (A)
Sin carga	4228	116	4112	279	116	395	112
Con carga	4477	131	4346	332	131	463	119
Aumento de potencia en alimentador	249		234	53		68	
Porcentaje de Aumento (%)	5.56		5.38	15.96		14.69	5.88

El alimentador 0525 tiene una carga total de 4228 al momento de mantener funcionando todas las cargas aguas abajo y suministrando energía constante para que todo opere en perfectas condiciones, porque en el punto de conexión existe una potencia de 4228kW, reactivos 279kVAr y una corriente de 112A, pero como es de esperarse a lo largo del mismo existe pérdidas en la potencia activa de 116kW y un aumento en los reactivos de 116kVAr donde como resultado que la sub estación 3 debe soportar un despacho de una potencia activa de 4228kW y 395kVAr, la corriente del alimentador es de 112A cuando las electrolineras no están operando. Al momento de poner en funcionamiento las electrolineras por el lapso de recarga de las baterías en el punto de conexión de las mismas existe un aumento del 5.38% en la potencia activa, lo cual nos indica que el nuevo valor es de 4346kW y que en el alimentador se va perder 131kW por que la S/E 5 deberá soportar un despacho de 4477kW, por lo tanto es un alza del 5.56% en la barra de dicha sub estación, ya que los reactivos inyectados por las electrolineras serán de 56kVAr entonces en el punto de conexión los reactivos del alimentador 0525 se elevarán hasta alcanzar el nuevo valor de 332kVAr, poniendo en evidencia que existe un aumento del 15.96% cuando los buses recargan energía para su correcto funcionamiento, dichos reactivos al recorrer la línea de 22kV aumentarán unos 131kVAr hasta llegar a la sub estación 5, lo cual hace que la sub estación tenga

que soportar un aumento del 14.69% en sus reactivos. La corriente que antes era de 112A ahora es de 119A teniendo así un aumento del 5.88% en el alimentador. La cargabilidad del alimentador sin electrolineras funcionado es de 37.3% y al momento de operación de las mismas llega a tener un 39.53%, es decir que el alimentador no sufrirá grandes consecuencias si todas las electrolineras trabajan en conjunto al 100% recargando a las baterías de los buses en el camino viejo a baños.

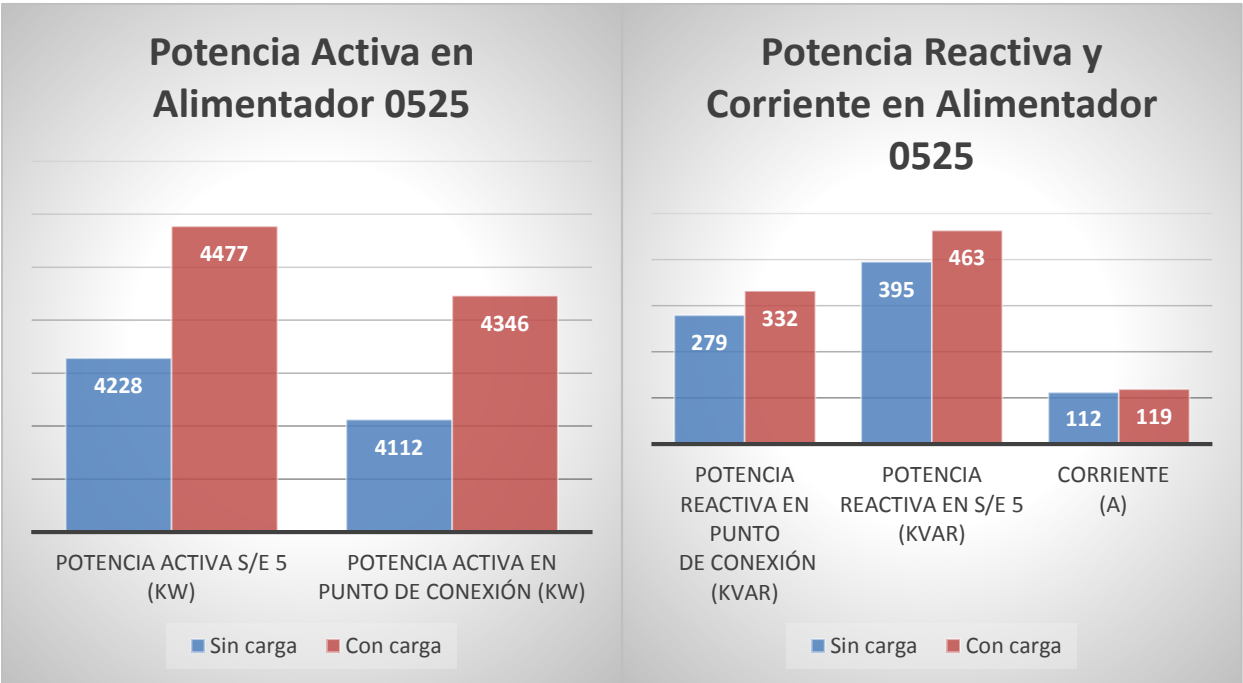


Figura 79. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente del Alimentador 0525
Fuente: Autor

Tabla 13: características eléctricas electrolineras Camino Viejo a Baños
Fuente: Autor

Electrolineras en Camino Viejo a Baños				
Potencia	Potencia Electrolineras Baños (kW)	Reactivos Electrolineras (kVAr)	Corriente en Electrolineras (A)	Voltaje de Operación (V)
Utilizando 3 electrolineras	234	51	296	480

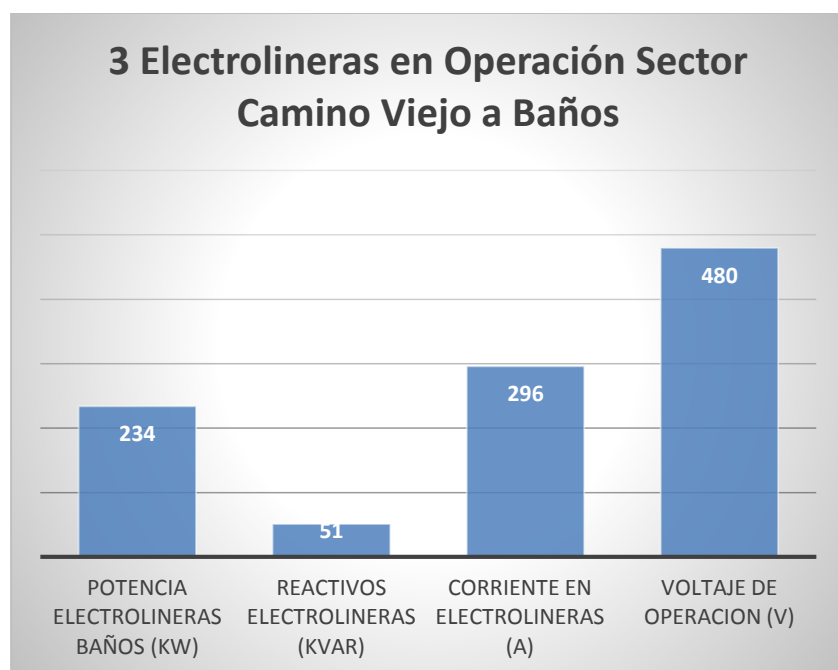


Figura 80. Potencia activa, Potencia reactiva y Corriente electrolineras Camino viejo a Baños
Fuente: Autor

Tabla 14: características eléctricas Transformador de Electrolineras en Camino Viejo a Baños
Fuente: Autor

Transformador de Electrolineras en Camino Viejo a Baños

	Potencia Media Tensión (kW)	Perdidas en Transformador (kW)	Potencia Baja Tensión (kW)	Reactivos Media Tensión (kVar)	Aumento de Reactivos (kVar)	Reactivos Baja Tensión (kVar)	Corriente Media Tensión (A)	Corriente Baja Tensión (A)
Sin carga	0	0	0	0	0	0	0	0
Con carga	234	0	234	54	3	51	7	299

EL transformador que utilizaran las electrolineras en el camino viejo a Baños es de 250kVA el cual tendrá que soportar una potencia activa de 234kW, los reactivos generados por las electrolineras son de 51kVAR y cuando pasan por el transformador se elevan hasta el valor de 54kVAR, la corriente que tendrá que soportar el transformador en el lado de media tensión es de 7A y en el lado baja tensión será de 299A.

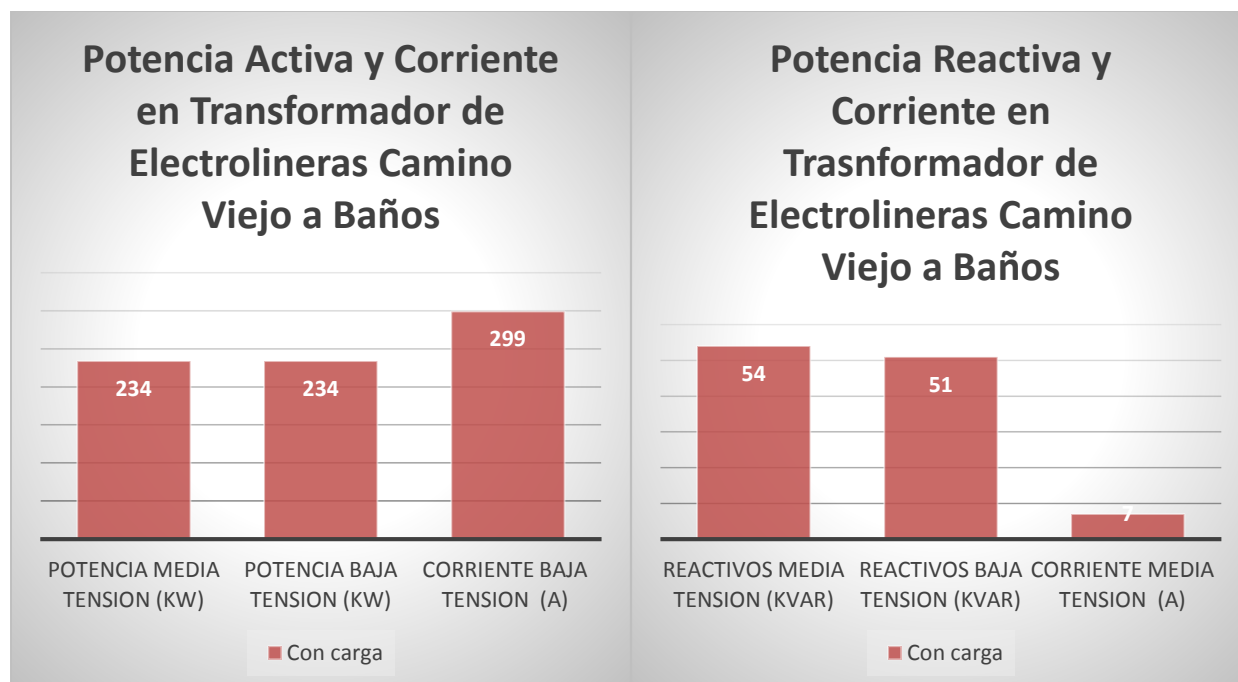


Figura 81. Potencia activa, Potencia reactiva del Transformador de Electrolineras en Camino Viejo a Baños
Fuente: Autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

- 1) Al insertar los buses eléctricos en el Ecuador estamos aprovechando el gran avance que ha presentado el sector eléctrico Ecuatoriano, a su vez existe gran interés por parte de las entidades encargadas de movilidad pública cambiar los buses convencionales de combustión interna a diésel por buses eléctricos que presentan grandes ventajas en el ámbito de una movilidad sustentable y amigable con su entorno.
- 2) Según el análisis realizado a los alimentadores que entregaran energía a dichos puntos de recarga, han sido elegidos estratégicamente debido a la autonomía de los buses eléctricos y al gran espacio que existe en la zona para ubicar las electrolineras y así poder recargar los buses eléctricos. En el caso de las electrolineras ubicadas en el sector de la Universidad del Azuay tendría un servicio multifuncional para poder recargar vehículos eléctricos o algún otro tipo de artefacto que requiera energía para su movilización. La cargabilidad de los alimentadores presentan; En el caso del alimentador 0323 sin las electrolineras en operación tiene un porcentaje del 27% y al momento de insertar las electrolineras incrementa a un 28,5 %, y en el caso del alimentador 0525 sin las electrolineras en operación presenta una cargabilidad de 37,3% y con las electrolineras en operación incrementa a un 39,5%; siendo estos porcentajes incrementos que no afecta en gran magnitud las redes de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur.
- 3) Según la curva de consumo que existe en la ciudad de Cuenca, se debe tomar en consideración las horas pico de consumo para restringir la carga de buses eléctricos en dicho horario, para no colapsar el sistema eléctrico. Se debería realizar la recarga de los buses eléctricos en las horas de menor consumo, en un horario desde las 22H00 hasta las 07H00 (figura 27).

Recomendaciones

1) La Ilustre Municipalidad de Cuenca debe incentivar a la Cámara de Transporte con programas económicos para el cambio de buses de combustión interna por buses eléctricos ya que según los Directivos de dicha Institución consideran que la mayor parte de la flota de unidades que brindan el transporte público ya han cumplido su vida útil.

2) En la actualidad en la Ciudad de Cuenca, se encuentra la empresa BYD realizando pruebas piloto con los buses eléctricos modelo K9, por lo que se recomienda Realizar la recarga de los buses en los sectores mencionados. Además se recomienda también realizar un seguimiento a los sistemas de distribución propuestos en este estudio debido a que se trata de un sistema Dinámico en el que constantemente está en crecimiento.

BIBLIOGRAFIA

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (Septiembre de 2017). Balance Nacional de Energía Eléctrica. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Alvarez, R. (2015). *Aportes a la conversión DC-AC en sistemas fotovoltaicos*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/51157/1/88031483.2015.pdf>
- Arango, N. (2012). *Repositorio Universidad Politécnica de Cataluña*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19243/TFM.%20Natalia%20Arango.pdf?sequence=1>
- BYD Vehículos eléctricos. (DICIEMBRE de 2017). *BYD*. Obtenido de <http://bydelectrico.com/category/eventos/>
- Calle, J. R. (2013). EFICIENCIA ELÉCTRICA EN ALIMENTADORES PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR S.A - ECUADOR. CUENCA, ECUADOR.
- CONELEC. (2013). PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013-2022. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Córdova, A. (2015). *Repositorio Universidad Politécnica Salesiana*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8160/1/UPS-KT01026.pdf>
- Delzo, J. (2014). *Procesos de Recarga de Autobuses Eléctricos*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2017, de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22718/Juan.Pablo.Delzo\(722-TES-CA-5882\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22718/Juan.Pablo.Delzo(722-TES-CA-5882).pdf)
- Delzo, J. (2014). *Procesos de Recarga de Autobuses Eléctricos y Viabilidad de Funcionamiento en una red de funcionamiento urbano de Superficie 722-TES-CA-5885*. Recuperado el 2017 de Noviembre de 2017, de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22718/Juan.Pablo.Delzo\(722-TES-CA-5882\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22718/Juan.Pablo.Delzo(722-TES-CA-5882).pdf)
- Electromovilidad*. (2017). Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <http://electromovilidad.net/tipos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>
- EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR S.A. (Septiembre de 2017). Cuenca, Ecuador.
- ENDESA. (26 de Septiembre de 2016). *CARGA ULTRARÁPIDA PARA AUTOBUSES ELÉCTRICOS EN BARCELONA*. Obtenido de <http://electromovilidad.net/carga-ultrarrapida-para-autobuses-electricos-en-barcelona/>
- ENEL. (2015). Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de <https://www.enel.distribucion.cl/la-compania/chiletra-completa-10-electrolineras-instaladas-santiago-estableciendo-red-interconexion-cuatro-comunas-region-metropolitana>
- Estrella, A. (2009). *Repositorio Carlos III de Madrid*. Recuperado el 2017, de https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6955/PFC_Daniel_Estrella_Alvaro.pdf;jsessionid=96457A849AD4194BA515BD69B68B416B?sequence=2
- ETSEIB. (2009). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24699/Memoria%20y%20Anexos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guillen, I. O. (5 de Septiembre de 2017). Características de las subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. (J. C. William Lucero, Entrevistador)
- I.MUNICIPALIDAD, C. I. (2015). PLAN DE MOVILIDAD Y ESPACIOS PÚBLICOS. En D. M. TRANSITO. CUENCA.
- IBIL. (2017). Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <https://www.ibil.es/index.php/es/movilidad-electrica/la-recarga/tipos-de-recarga#>

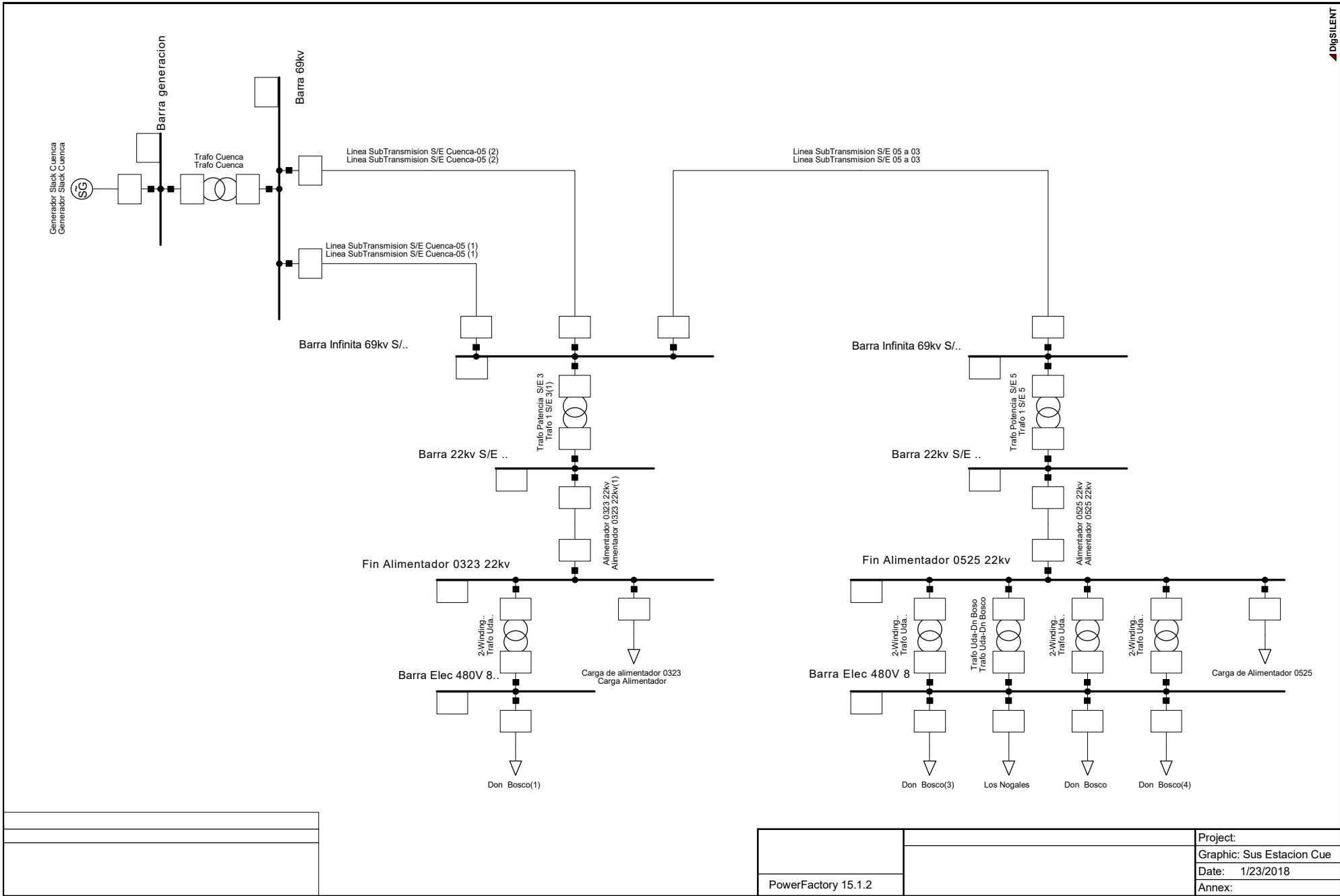
- Lebrón, S., & Palacios, C. (2013). *CARGA ULTRARAPIDA DE AUTOBUSES ELECTRICOS*. Obtenido de Trabajos Aula Green cities: <http://aulagreencities.coamalaga.es/>
- Mancebo, C. (2015). *CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS CON BATERIA ELECTROQUIMICAS*. Recuperado el 5 de Octubre de 2017, de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24093/PFC_Carlos_Mancebo_Duran_2015.pdf
- Mapa Técnico Movilidad Eléctrica. (2012). Recuperado el 27 de Septiembre de 2017, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf
- Martinez, J. (2013). *Vehículo eléctrico: Análisis y Prospectiva de Factores Tecnológicos y Económicos*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6296/1/PFC-P-94.pdf>
- MEER, M. d. (noviembre de 2017). *Biblioteca Meer*. Obtenido de www.meer.gob.ec
- Moya, D., & Gil, A. (2015). *Control de la tensión de un bus de continua de un filtro activo mediante un convertidor DC/DC*. Recuperado el 6 de Octubre de 2017, de <http://www.ehu.eus/documents/3444171/4484751/114.pdf>
- Pizarro, V. (2013). *Ventajas del primer bus eléctrico chileno*. Obtenido de <https://www.veoverde.com/2013/08/ventajas-del-primer-bus-electrico-chileno/>
- Repositorio Universidad San Francisco de Quito. (2016). Obtenido de https://www.usfq.edu.ec/sobre_la_usfq/servicios/autoclub/Documents/2016/Mecanica_de_Buses.pdf
- Ruiz Castillo, V. M., & Villacreses Novillo, H. F. (Febrero de 2015). Análisis de costos operativos entre el sistema de transporte público urbano y el tranvía de la ciudad de Cuenca. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Silva, L. A. (2016). *Buses y Camiones eléctricos*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2017, de http://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Buses_Camiones_Electricos.pdf
- Solís, A. (27 de SEPTIEMBRE de 2017). *ENERGIA A DEBATE*. Obtenido de <https://www.energiaadebate.com/blog/2614/>
- Solorzano, P. M., Soltysik Molina, A., & Bermudez Flores, G. (2005). DISEÑO DEL CONTROL DE TRACCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DENTRO DE LA ESPOL CAMPUS PROSPERINA. Gualaquil, Guayas, Ecuador.
- TESLA. (Octubre de 2016). *Dreamstime*. Obtenido de <https://es.dreamstime.com/fotograf%C3%ADa-editorial-estaci%C3%B3n-y-estacionamiento-del-sobrealimentador-de-tesla-image80232362>
- Torres, J. (2015). *Repositorio Universidad Politécnica Salesinana*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8050/1/UPS-CT004893.pdf>
- Vélez, J. (2017). *Repositorio Universidad de Cuenca*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27353/1/TRABAJO%20DE%20TITULACION.pdf>
- Verdaguer, J. (2014). *Equipamiento y servicios municipales*. Recuperado el 1 de Octubre de 2017, de <http://www.eysmunicipales.es/actualidad/barcelona-ampla-la-flota-de-autobuses-limpios-con-nuevos-vehiculos-100-elctricos>
- Vidal, G. (2012). *QUE ES UN CONVERTIDOR AC/DC*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de https://www.academia.edu/6097805/Qu%C3%A9_es_un_convertidor_DC-AC

ANEXOS.

Anexo 1. MODELO ELÉCTRICO PARA EL CASO DE ESTUDIO DE LAS SUBESTACIONES DE LA EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTROSUR Y SUS ALIMENTADORES

**Anexo 2. CUADRO GENERAL DE RESULTADOS ELECTRICOS EN EL SOFTWARE
DIGSILENT POWER FACTORY**

**Anexo 3. MODELO ELECTRICO DE LAS SUBESTACIONES PERTENECIENTES A
LA CENTROSUR**



		Project:
		Graphic: Sus Estacion Cue
PowerFactory 15.1.2		Date: 1/23/2018
		Annex:

Grid: Tesis Electrolineras System Stage: Tesis Electroli Study Case: Study Case						Annex:	/ 1	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [MW]	Reactive Power [Mvar]	Power.- factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
Carga de Alimentador 0525od			Fin Alimentador 052..	4.112	0.279	1.00	0.112	1.034
Carga de alimentador 0323od			Fin Alimentador 032..	2.871	0.147	1.00	0.078	1.029
Electro Baños 1	Lod		Barra Electro Baños	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro Baños 2	Lod		Barra Electro Baños	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro Baños 3	Lod		Barra Electro Baños	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro UDA 1	Lod		Barra Electro UDA	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Electro UDA 2	Lod		Barra Electro UDA	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
Generador Slack Cuenca	Sym	3.68	Barra generacion	7.259	1.182	0.99	0.193	0.037
Alimentador 0323 22kv	Lne	26.96	Barra 22kv S/E 3	2.944	0.212	1.00	0.078	0.270
			Fin Alimentador 032..	-2.870	-0.146	-1.00	0.078	0.270
Alimentador 0525 22kv	Lne	37.29	Barra 22kv S/E 5	4.228	0.395	1.00	0.112	0.373
			Fin Alimentador 052..	-4.112	-0.279	-1.00	0.112	0.373
Linea ST S/E 3 a S/E 8	Lne	5.36	S/E 8/Barra S/E 8 T..	-4.263	-0.383	-1.00	0.036	0.054
			Barra Monay 69kv S/..	4.265	0.310	1.00	0.036	0.054
Linea ST S/E 8 a S/E 5	Lne	5.37	S/E 8/Barra S/E 8 T..	4.263	0.383	1.00	0.036	0.054
			Barra Arenal 69kv S..	-4.261	-0.455	-0.99	0.036	0.054
Linea ST S/E Cuenca a S/E 3		14.81	Barra 69kv	3.384	0.195	1.00	0.028	0.148
			Barra Monay 69kv S/..	-3.383	-0.247	-1.00	0.028	0.148
Linea ST S/E Cuenca a S/E 3(1)		16.95	Barra 69kv	3.874	0.231	1.00	0.033	0.169
			Barra Monay 69kv S/..	-3.873	-0.275	-1.00	0.033	0.170
Tr Potencia S/E 3	Tr2	14.04	Barra Monay 69kv S/..	2.990	0.212	1.00	0.025	0.140
			Barra 22kv S/E 3	-2.944	-0.212	-1.00	0.078	0.138
Tr Potencia S/E 5	Tr2	7.17	Barra Arenal 69kv S..	4.261	0.455	0.99	0.036	0.072
			Barra 22kv S/E 5	-4.228	-0.395	-1.00	0.112	0.071
Tr Potencia S/E Cuenca	Tr2	7.35	Barra 69kv	-7.258	-0.427	-1.00	0.061	0.073
			Barra generacion	7.259	1.182	0.99	0.193	0.074

