



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**“ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA  
REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN UN SISTEMA DE 14 BARRAS”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniería Eléctrica

AUTOR: BRYAN JAVIER ZAMBRANO RENDON

TUTOR: Ing. ROY FREDDY SANTANA JARA Msc.

Guayaquil – Ecuador

2024

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

Yo, Bryan Javier Zambrano Rendon con documento de identificación N° 0928340991; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 17 de septiembre del año 2024

Atentamente,



---

Bryan Javier Zambrano Rendon

C.I 0928340991

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

Yo, Bryan Javier Zambrano Rendon con documento de identificación No. 0928340991, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto técnico: “ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN UN SISTEMA DE 14 BARRAS”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 17 de septiembre del año 2024

Atentamente,



---

Bryan Javier Zambrano Rendon

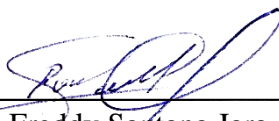
C.I 098340991

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

Yo, Roy Freddy Santana Jara con documento de identificación N° 0910972637, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN UN SISTEMA DE 14 BARRAS” realizado por Bryan Javier Zambrano Rendon con documento de identificación N° 0928340991, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Roy Freddy Santana Jara, Msc

C.I. 0910972637

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios por haberme proporcionado la salud, la fuerza y la sabiduría que he necesitado para llegar hasta aquí.

Al culminar esta etapa de mi vida, quiero agradecer sinceramente a todos los que me han ayudado y animado a lo largo del camino.

A mis padres, cuyo amor, esfuerzo y sacrificio me han permitido alcanzar este logro. Su apoyo incondicional ha sido mi mayor motivación y les estaré eternamente agradecido por creer en mí y en mis sueños.

A mis profesores, quienes con su conocimiento y dedicación me han guiado a lo largo de mi formación. Gracias por cada enseñanza, por cada consejo y por inspirarme a ser mejor cada día.

A mis compañeros de estudio, con quienes compartí innumerables horas de trabajo, estudio y también de risas. Su compañía hizo que este camino fuera más llevadero y enriquecedor.

A mis amigos, por estar siempre ahí, brindando su apoyo en los momentos difíciles y celebrando cada pequeño logro.

Y, finalmente, a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la realización de este sueño, ya sea con una palabra de aliento, un gesto de apoyo o simplemente con su presencia. Este logro también les pertenece.

*Bryan Zambrano*

## DEDICATORIA

*“El futuro pertenece a quienes creen en la belleza de sus sueños”*

A Dios, por ser la luz en mi camino y guiarme en cada paso de esta travesía. A mis padres, quienes con su amor, apoyo incondicional y sacrificio han hecho posible la realización de este sueño. Su confianza en mí ha sido el motor que me impulsó a superar cada desafío. A mis profesores, por compartir su conocimiento y sabiduría, y por inspirarme a ser un mejor profesional y persona. Gracias por sembrar en mí la pasión por la ingeniería. A mis amigos, por su compañía, risas y momentos compartidos durante estos años de estudio. Su amistad ha sido un pilar fundamental en este viaje.

Y, finalmente, a todos aquellos que creyeron en mí y en mi capacidad para alcanzar este logro. Este triunfo es también suyo.

***Bryan Zambrano***

## RESUMEN

Con el propósito de disminuir las pérdidas técnicas, esta tesis examina y analiza la aplicación de un sistema distribuido de generación (GD) en una red eléctrica de 14 barras. La generación distribuida es una solución efectiva para mejorar la eficacia y la estabilidad del sistema eléctrico, que implica la incorporación de pequeños generadores cerca de los puntos de consumo.

Evaluar los efectos de múltiples escenarios de generación distribuida en las pérdidas técnicas del sistema, el análisis se enfoca en la modelización y simulación de la red de 14 barras mediante herramientas de software sofisticadas. Para encontrar la configuración que maximice la reducción de pérdidas, la ubicación ideal de los generadores es uno de los muchos factores que se examinan., la capacidad instalada y las características de la carga.

La integración de generación distribuida en lugares estratégicos puede mejorar la eficiencia energética del sistema al disminuir significativamente las pérdidas técnicas, según los hallazgos. Se examinan también los beneficios adicionales, como la disminución de la dependencia de energía centralizada y la mejora de la calidad del suministro.

Por último, la tesis concluye con sugerencias para la planificación e implementación de la generación distribuida en redes eléctricas, destacando su potencial para aumentar la resiliencia y la sostenibilidad de los sistemas eléctricos actuales.

## **ABSTRACT.**

With the purpose of reducing technical losses, this thesis examines and analyzes the application of a distributed generation (DG) system in a 14-bus power grid. Distributed generation is an effective solution to improve the efficiency and stability of the power system, which involves the incorporation of small generators close to the consumption points.

To evaluate the effects of multiple distributed generation scenarios on system technical losses, the analysis focuses on modeling and simulation of the 14-bus network using sophisticated software tools. To find the configuration that maximizes loss reduction, the ideal location of generators is one of the many factors examined., installed capacity, and load characteristics.

Integrating distributed generation at strategic locations can improve system energy efficiency by significantly decreasing technical losses, according to the findings. Additional benefits, such as decreased dependence on centralized power and improved supply quality, are also examined.

Finally, the thesis concludes with suggestions for the planning and implementation of distributed generation in power grids, highlighting its potential to increase the resilience and sustainability of current power systems.



## **PREFACIO.**

La generación distribuida (GD) ha emergido como una estrategia revolucionaria en el panorama de los sistemas eléctricos de potencia, transformando la forma en que generamos y consumimos energía. A diferencia del modelo tradicional de generación centralizada, la GD implica la producción descentralizada de electricidad en o cerca de los puntos de consumo.

Este enfoque innovador aborda diversos desafíos y presenta una serie de beneficios significativos.

Una particularidad de la generación distribuida es la variedad de fuentes energéticas. Al incorporar tecnologías renovables como la energía solar, eólica, hidroeléctrica a pequeña escala y biomasa, la generación distribuida no solo ayuda a combatir el cambio climático, sino que también disminuye la dependencia de los combustibles fósiles. Este cambio hacia fuentes más limpias y sostenibles representa un avance crucial en la construcción de un sistema eléctrico más respetuoso con el medio ambiente. [1]

Hoy en día, debido a la utilización de una abundante cantidad de combustibles fósiles, la contaminación ambiental aumenta rápidamente. Para solucionar este grave problema, el sector eléctrico se ha centrado en la tecnología de generación distribuida, que aumenta la calidad, sostenibilidad y fiabilidad del suministro eléctrico. Existen diferentes tipos de recursos de generación distribuida accesibles en el mercado eléctrico en el rango de 5 KW a 5 MW. Para mitigar las pérdidas de transmisión y aumentar la estabilidad del sector eléctrico, los recursos de generación distribuida se sitúan cerca de la carga del usuario final. [2]

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....</b>	<b>iii</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT. ....</b>	<b>viii</b>
<b>PREFACIO. ....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Problemática .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Justificación: .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3 Objetivos: .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.1 Objetivo General: .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos:.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>3</b>
<b>MARCO TEÓRICO: .....</b>	<b>3</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP).....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Definición y Componentes de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP): Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1 Generación de Energía Eléctrica.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2 Transmisión de Energía Eléctrica.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3 Distribución de Energía Eléctrica .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Generación Distribuida.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1 Características de la Generación Distribuida: Definición, Ventajas y Desventajas .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1.1 Descentralización .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1.2 Proximidad al Consumo.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1.3 Diversidad de Fuentes de Energía.....</b>	<b>12</b>

2.2.1.4 Integración con Redes Inteligentes .....	12
2.2.1.5 Reducción de Pérdidas en la Transmisión y Distribución .....	13
2.2.1.6 Mejora de la Fiabilidad y Resiliencia de la Red .....	13
2.2.1.7 Facilita la Integración de Energías Renovables .....	13
2.2.1.8 Empoderamiento del Consumidor .....	13
2.2.1.9 Flexibilidad y Escalabilidad .....	13
2.2.1.10 Variabilidad e Intermittencia de las Fuentes Renovables .....	14
2.2.1.11 Costos Iniciales Elevados .....	14
2.2.1.12 Necesidad de Almacenamiento de Energía .....	14
2.2.1.13 Desafíos en la Integración con la Red Eléctrica .....	14
2.2.1.14 Regulación y Políticas .....	14
<b>2.3 Barras de Herramientas .....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Barra de Herramientas Project .....	15
2.3.2 Barra de Herramientas Mode .....	17
<b>2.4 Barras de herramienta de edición .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Celdas fotovoltaicas .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Generadores eólicos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7 Generador Síncrono .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPITULO 3 .....</b>	<b>26</b>
<b>3 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS RENOVABLES .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Capacidad de Integración de la Red .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Impacto Económico .....	26
3.1.2 Impacto en la Calidad del Suministro Eléctrico .....	27
3.1.3 Factores Ambientales y Sociales .....	27
3.1.4 Regulaciones y Políticas .....	27
3.1.5 Evaluación de Riesgos .....	28
<b>3.2 Estudio de Métodos de Simulación y Modelado para Evaluar Diferentes Escenarios de Ubicación y su Impacto en la Eficiencia del Sistema .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Herramientas y Plataformas de Simulación en Sistemas Eléctricos de Potencia .....</b>	<b>29</b>
3.3.1 DIgSILENT PowerFactory .....	29
3.3.2 ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) .....	30
3.3.3 Análisis de Flujos de Potencia .....	30
3.3.4 Estudio de Estabilidad del Sistema .....	30
3.3.5 Evaluación de Contingencias y Confiabilidad .....	31
3.3.6 Modelado de Energías Renovables .....	31
3.3.7 Análisis de Costos y Beneficios .....	31
3.3.8 Planificación y Diseño de Redes .....	31
3.3.9 Beneficios de las Herramientas de Simulación .....	32
<b>3.4 Impacto de la Generación Distribuida en la Estabilidad de Voltaje .....</b>	<b>33</b>

<b>3.5 Sistemas de distribución de 14 barras .....</b>	<b>36</b>
<b>3.6 Máquina síncrona .....</b>	<b>38</b>
<b>3.7 Red de distribución.....</b>	<b>39</b>
<b>3.8 Transformador.....</b>	<b>39</b>
<b>3.9 Flujo de potencia.....</b>	<b>40</b>
<b>3.10 Flujo de cargas .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPITULO 4.....</b>	<b>41</b>
<b>4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA EN ETAP.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Descripción .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Detalle sobre datos de entrada .....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>45</b>
<b>5 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1 Procedimiento de modelado del sistema en ETAP. ....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.1 Configuración de barras: .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.2 Configuración de generadores: .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.3 Configuración de transformadores:.....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.4 Configuración de líneas de transmisión: .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.5 Configuración de controlador de carga (Stactic Load).....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.6 Configuración de Circuit Breaker .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.9 Verificación del modelo.....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 Análisis de pérdidas comparación de escenarios .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2.1 Escenario 1: Generadores eólicos y fotovoltaico apagados.....</b>	<b>51</b>
<b>5.2.2 Escenario 2: Generadores eólicos y fotovoltaicos encendidos .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.3 Comparación con Escenario 2 (Generadores Encendidos): .....</b>	<b>55</b>
<b>Análisis comparativo de pérdidas técnicas en el sistema de 14 barras.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla Comparativa de Pérdidas por Barra .....</b>	<b>56</b>
<b>Resumen General: .....</b>	<b>61</b>
<b>CAPITULO 6.....</b>	<b>64</b>
<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>64</b>
<b>6 resultados del escenario 1: generadores eólicos y fotovoltaicos apagados .....</b>	<b>64</b>
<b>6.1 Resultados del escenario 2: generadores eólicos y fotovoltaicos encendidos .....</b>	<b>65</b>
<b>6.2 Análisis Comparativo de Escenarios.....</b>	<b>65</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>67</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>68</b>
<b>Referencias. ....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. barra de herramientas Project.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2. Calculadora de potencia de ETAP .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 3. Barra de herramientas Mode.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 4. Barra de herramientas para modelar elementos AC.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5. Barra de herramientas para modelar elementos DC y AC-DC.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 6. herramienta de edición .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 7. Análisis en corriente alterna .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 8. Instrumentos y medidores .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 9. Análisis en corriente directa.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 10. Barra de análisis.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 11. Utilización de Sistema Fotovoltaicos en SEP.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 12. Sistema de generación eólica .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 13. Tipos de aerogeneradores .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 14. Generador síncrono .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 15. Ejemplo propuesto diagrama 14 barra Digsilent power factory .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 16. Sistema de 14 barras ETAP .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 17. Flujo de carga con generadores eólicos y fotovoltaico apagados.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 18. Flujo de carga con generadores eólicos y fotovoltaicos encendidos .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Funciones de la Barra de Herramientas Project.</b> .....	16
<b>Tabla 2. Clasificación de los elementos que modela ETAP</b> .....	18
<b>Tabla 3. resumen de perdidas escenario 1</b> .....	52
<b>Tabla 4. Resumen de perdidas escenario 2</b> .....	54
<b>Tabla 5. Comparativa de perdidas por barra</b> .....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.configuración de barras</b> .....	74
<b>Anexo 2. Condiciones iniciales</b> .....	75
<b>Anexo 3. Configuración de generadores</b> .....	76
<b>Anexo 4. Parámetros de control</b> .....	77
<b>Anexo 5. Configuración de transformadores</b> .....	78
<b>Anexo 6. Opciones de regulación de tensión</b> .....	79
<b>Anexo 7. Configuración de líneas de transmisión</b> .....	80
<b>Anexo 8. Parámetros técnicos info</b> .....	81
<b>Anexo 9.Configuración parámetros técnicos loading</b> .....	82
<b>Anexo 10.Ajuste de parámetros Reliability</b> .....	83
<b>Anexo 11.Ajuste de parámetros Cable/Vd</b> .....	84
<b>Anexo 12.Detalles info</b> .....	85
<b>Anexo 13. configuración vista rating</b> .....	86
<b>Anexo 14.configuración vista reliability</b> .....	87
<b>Anexo 15.Librería seleccionada para el panel fotovoltaico</b> .....	88
<b>Anexo 16.Configuración de paneles en serie y paralelo</b> .....	89
<b>Anexo 17.Valores de inversión</b> .....	90
<b>Anexo 18.Verificación del modelo</b> .....	91
<b>Anexo 19.Configuración de generadores eólicos</b> .....	92
<b>Anexo 20.Panel de Load Flow Analysis</b> .....	93
<b>Anexo 21.Selección de reporte</b> .....	94
<b>Anexo 22.Generadores apagados</b> .....	95
<b>Anexo 23. Generación de informe</b> .....	96

## CAPITULO 1

### 1 INTRODUCCION

#### 1.1 Problemática

Un sistema eléctrico de potencia está sometido a distintos problemas durante su proceso de operación. Siendo uno muy característico, las pérdidas en la etapa de la distribución. [3]

Esto, debido a las grandes distancias que tienen que recorrer las líneas de distribución desde las centrales generadoras, hasta los usuarios consumidores.

#### 1.2 Justificación:

En la actualidad, los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) se han desarrollado a tal nivel que han evolucionado a redes eléctricas inteligentes que permiten mantener una buena calidad de energía. En los sistemas eléctricos de transmisión, el rendimiento que se tiene al ser perturbado por una falla afecta directamente la fiabilidad del SEP, por lo que se utilizan y aprovechan las tecnologías de comunicaciones en estos sistemas para mantener la confiabilidad del SEP. [4]

Uno de los aspectos más importantes es la rápida identificación de fallas porque ayuda a la toma de decisiones sobre las medidas a tomar y a la reparación más rápida. [4]



### **1.3 Objetivos:**

#### **1.3.1 Objetivo General:**

"Analizar y evaluar el impacto de la implementación de un sistema de generación distribuida en la reducción de pérdidas en un sistema de distribución de 14 barras."

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- 1.** Analizar los datos recopilados durante las pruebas piloto o estudios de campo para identificar los beneficios en términos de reducción de pérdidas, mejora en la eficiencia energética y calidad del suministro eléctrico.
- 2.** Identificar ubicaciones estratégicas para la implementación de sistemas de generación distribuida eólica y fotovoltaica en el sistema de distribución de 14 barras, considerando factores como la disponibilidad de recursos renovables, la capacidad de integración y la reducción potencial de pérdidas.
- 3.** Comparar los resultados de pérdidas técnicas en el sistema de distribución con y sin la integración de sistemas de generación distribuida, evaluando el impacto de estos sistemas en la reducción de pérdidas activas y reactivas, así como en la mejora de la eficiencia del sistema.

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO:

#### 2 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP)

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) son el acceso más importante de la infraestructura energética moderna. Comprenden una serie de componentes y subsistemas diseñados para generar, transmitir y distribuir electricidad desde las plantas generadoras hasta los consumidores finales. Su correcta operación permite asegurar un suministro continuo y confiable de energía eléctrica; un componente importante del desarrollo social y económico de cualquier país. [5]

Un SEP típico se compone de tres partes principales: generación, transmisión y distribución. La generación de electricidad se realiza en plantas eléctricas que pueden ser de diversos tipos como las termoeléctricas, hidroeléctricas, plantas nucleares y también en plantas renovables como eólica, solar, biomasa, entre otros. La transmisión se encarga de transportar la energía generada a través de líneas de alta tensión a grandes distancias, reduciendo las pérdidas y asegurando que la energía llegue a las áreas de consumo. De igual manera, la distribución lleva la electricidad desde las subestaciones de transmisión a los consumidores finales, ya sean residenciales, comerciales o industriales. [6]

El funcionamiento de los Sistemas Eléctricos de Potencia requiere un control preciso y una coordinación efectiva entre todos sus componentes. [7] Esto incluye la regulación de voltajes, la gestión de la frecuencia y el control del flujo de potencia para mantener el equilibrio entre la generación y la demanda en tiempo real. La estabilidad del sistema es un aspecto crítico que se logra mediante el uso de técnicas avanzadas de control y protección.

La estabilidad de los SEP se puede dividir, en dos categorías principales: estabilidad dinámica y estabilidad transitoria. La estabilidad dinámica se refiere a la habilidad del sistema para conservar el equilibrio durante las condiciones normales de funcionamiento, mientras que la estabilidad transitoria se enfoca en la reacción del

sistema frente a perturbaciones grandes y súbitas, como fallas en las líneas o la pérdida considerable de generación. [8]

Uno de los desafíos significativos en la operación de los Sistemas Eléctricos de Potencia son las pérdidas de energía, que pueden clasificarse en pérdidas técnicas y no técnicas. Las pérdidas técnicas son inherentes al proceso de transmisión y distribución de electricidad y están relacionadas con la resistencia de los conductores y otros componentes del sistema. Estas pérdidas incluyen pérdidas por efecto Joule y pérdidas en transformadores y equipos de conmutación. Las pérdidas no técnicas, por otro lado, suelen ser causadas por actividades como el robo de electricidad y errores en la medición y facturación. [9]

En este sentido, la Generación Distribuida (GD) es una tendencia creciente en el desarrollo de los sistemas eléctricos de potencia y hace referencia a la producción de electricidad mediante fuentes de energía ubicadas cerca del punto de consumo. En contraste con las grandes plantas generadoras centralizadas, las tecnologías de generación distribuida incluyen sistemas fotovoltaicos, turbinas eólicas, generadores de biomasa y cogeneración. Asimismo, la generación distribuida ofrece varios beneficios como puede ser la reducción de pérdidas técnicas, la mejora de la eficiencia energética y la resiliencia del sistema, y la reducción de la huella de carbono. [10]

La integración de generación distribuida en los Sistemas Eléctricos de Potencia requiere un manejo cuidadoso de varios aspectos técnicos y operativos que incluye la gestión del flujo de potencia bidireccional, el control de la calidad de la energía y la estabilidad del sistema menciona que las redes eléctricas inteligentes, o <sup>1</sup>*smart grids*, facilitan esta integración al utilizar tecnologías de comunicación avanzada para mejorar la monitorización y el control de la red. [11]

---

<sup>1</sup> Los *smart grids* o redes eléctricas inteligentes representan una evolución significativa en la manera en que los sistemas eléctricos de potencia (SEP) son gestionados y operados. A diferencia de las redes eléctricas tradicionales, los *smart grids* incorporan tecnologías avanzadas de información y comunicación con el objetivo de mejorar la eficiencia, fiabilidad y sostenibilidad del suministro de electricidad. Esta modernización abarca desde la generación y transmisión hasta la distribución y el consumo de energía, proporcionando beneficios tanto para los operadores del sistema como para los consumidores finales.

Otro aspecto relevante en los Sistemas Eléctricos de Potencia es la calidad de la energía la cual se refiere a mantener parámetros como el voltaje y la frecuencia dentro de rangos aceptables para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos ya que influye directamente en el rendimiento, la eficiencia y durabilidad de los equipos eléctricos conectados al sistema de energía. [12]

Problemas como fluctuaciones de voltaje o las interrupciones pueden afectar la calidad del suministro y causar daños a los equipos. De esta manera, la implementación de la generación distribuida y la modernización de los Sistemas Eléctricos de Potencia mediante tecnologías avanzadas pueden ayudar a mejorar la calidad de la energía suministrada. Estos parámetros incluyen el voltaje, la frecuencia, la forma de onda y el equilibrio entre las fases. Cabe señalar que la falta de calidad de la energía puede llevar a problemas como fluctuaciones de voltaje, interrupciones, armónicos, flicker y otros fenómenos que afectan negativamente tanto a los consumidores como a los operadores de la red. [13]

De igual manera, los SEP enfrentan varios retos en el contexto actual incluidos el envejecimiento de la infraestructura, la creciente demanda de energía, la integración de fuentes renovables y la necesidad de mejorar la resiliencia ante eventos extremos. De esta manera, Jenkins destaca la modernización de los Sistemas Eléctricos de Potencia a través de la implementación de tecnologías de redes inteligentes, la integración de almacenamiento de energía y la mejora de la ciberseguridad para enfrentar estos desafíos.

La evolución hacia redes eléctricas inteligentes representa una tendencia clave en el futuro de los SEP. Las *smart grids* utilizan tecnologías avanzadas de información y comunicación para optimizar la operación, la monitorización y el control de la red. Esto permite una mayor flexibilidad en la gestión de la demanda, la integración de recursos energéticos distribuidos y una respuesta más rápida a las perturbaciones. Los Sistemas Eléctricos de Potencia son fundamentales para el suministro confiable y eficiente de electricidad. La integración de generación distribuida, la mejora de la calidad de la energía y la adopción de redes inteligentes son aspectos clave para enfrentar los desafíos actuales y futuros. Un enfoque integral que incluya el análisis y la implementación de

estas tecnologías es esencial para optimizar la operación y la resiliencia de los SEP. [14]

## **2.1 Definición y Componentes de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP): Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica**

Como hemos mencionado anteriormente, los Sistemas Eléctricos de Potencia son complejas redes interconectadas que permiten la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica desde las plantas de generación hasta los consumidores finales. Estos sistemas están diseñados para suministrar electricidad de manera eficiente, segura y confiable. La energía eléctrica es una forma de energía altamente versátil y esencial para el funcionamiento de la sociedad moderna, impulsando todo, desde hogares y oficinas hasta fábricas y redes de transporte.

Un Sistema Eléctrico de Potencia se define como una red de componentes eléctricos que se utiliza para generar, transmitir y distribuir electricidad. [15] Un Sistema Eléctrico de Potencia abarca todos los elementos necesarios para producir energía eléctrica y entregarla a los puntos de consumo. Estos elementos incluyen generadores, transformadores, líneas de transmisión, subestaciones y equipos de distribución. Se componen principalmente de tres secciones: generación, transmisión y distribución. Cada una de estas secciones desempeña un papel crucial en el suministro de energía eléctrica y está compuesta por varios componentes y sistemas interdependientes.

### **2.1.1 Generación de Energía Eléctrica**

La generación de energía eléctrica es la primera etapa en un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) y se refiere a la producción de electricidad a partir de diferentes fuentes de energía. Estas fuentes pueden ser tradicionales, como los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y la energía nuclear, o renovables, como la hidroeléctrica, eólica, solar y geotérmica. [16]

**Centrales Térmicas:** las centrales térmicas utilizan combustibles fósiles para generar vapor, que a su vez acciona turbinas conectadas a generadores eléctricos. Aunque son

eficientes y fiables, estas plantas generan emisiones significativas de gases de efecto invernadero. [17]

**Centrales Hidroeléctricas:** utilizan la energía del agua en movimiento para accionar turbinas hidroeléctricas. Estas plantas son una fuente importante de energía renovable y tienen un impacto ambiental relativamente bajo, aunque pueden afectar los ecosistemas acuáticos. [16]

**Centrales Nucleares:** generan electricidad a través de reacciones nucleares. Las plantas nucleares son capaces de producir grandes cantidades de energía con bajas emisiones de carbono, pero presentan riesgos asociados a la gestión de residuos radiactivos y la seguridad. [16]

**Generación Renovable:** incluye parques eólicos, plantas solares y plantas geotérmicas. Estas fuentes son sostenibles y tienen un impacto ambiental mínimo, pero su disponibilidad puede ser intermitente y depende de las condiciones naturales. [17]

### 2.1.2 Transmisión de Energía Eléctrica

La transmisión de energía eléctrica implica el transporte de electricidad desde las plantas generadoras hasta las subestaciones de distribución. Este proceso se realiza a través de líneas de transmisión de alta tensión, que permiten el transporte eficiente de grandes cantidades de electricidad a largas distancias con mínimas pérdidas de energía. [18]

**Líneas de Transmisión:** La energía a larga distancia se realiza a través de líneas de transmisión de alta tensión. Estas líneas pueden ser aéreas o subterráneas y están diseñadas para minimizar las pérdidas de energía y resistir condiciones climáticas adversas. [19]

**Transformadores:** los transformadores son dispositivos que convierten los niveles de voltaje de la electricidad para su transporte y distribución. En la transmisión, los transformadores aumentan el voltaje con el fin de minimizar las pérdidas de energía durante el transporte y luego lo reducen nuevamente en las subestaciones para su distribución segura. [20]

**Subestaciones:** las subestaciones son instalaciones que contienen equipos de conmutación, transformadores y dispositivos de control. Actúan como puntos de interconexión y regulación en la red de transmisión, asegurando que la electricidad se distribuya de manera eficiente y segura. [19]

### 2.1.3 Distribución de Energía Eléctrica

La distribución de energía eléctrica es el último paso en un SEP y se refiere a la entrega de electricidad desde las subestaciones de transmisión hasta los consumidores finales. Este proceso involucra una red de líneas de distribución de media y baja tensión que conectan a los hogares, negocios e industrias.

**Redes de Distribución:** Las redes de distribución consisten en líneas de media y baja tensión que llevan la electricidad desde las subestaciones hasta los lugares de consumo. Según la configuración y las demandas de la zona a la que sirven, estas redes pueden ser radiales o malladas. [21]

**Transformadores de Distribución:** estos transformadores reducen aún más el voltaje para que sea seguro y utilizable por los consumidores. Están ubicados en postes de luz o en gabinetes en áreas urbanas y rurales. [21]

**Sistemas de Medición y Control:** los sistemas de medición permiten monitorear el consumo de electricidad en tiempo real, lo cual es esencial para la gestión eficiente de la red. Los sistemas de control, por otro lado, permiten la operación remota y automática de los componentes de la red para mantener la estabilidad y la calidad del suministro. [21]

La generación, transmisión y distribución de energía eléctrica son procesos interrelacionados que requieren una coordinación precisa y una infraestructura robusta para asegurar un suministro confiable y eficiente. A medida que la demanda de electricidad continúa creciendo y las preocupaciones ambientales se intensifican, los SEP deben evolucionar para incorporar nuevas tecnologías y fuentes de energía, asegurando así su sostenibilidad y resiliencia a largo plazo. [22]

## 2.2 Generación Distribuida

La Generación Distribuida (GD) ha emergido como una solución innovadora y esencial dentro del ámbito de los sistemas eléctricos de potencia. En contraste con los sistemas centralizados tradicionales, donde grandes plantas de generación están ubicadas lejos de los centros de consumo y la electricidad se transmite a través de largas distancias, la GD se caracteriza por la instalación de pequeñas unidades de generación cerca del punto de uso. Esta proximidad permite una serie de beneficios significativos que están transformando la infraestructura y la gestión de la energía eléctrica a nivel mundial. [23]

La Generación Distribuida representa un cambio fundamental en la estructura tradicional de los sistemas eléctricos de potencia. En contraste con el modelo centralizado, donde grandes plantas de generación alimentan redes de transmisión y distribución para llegar a los consumidores finales, la GD se caracteriza por la instalación de pequeñas fuentes de generación cerca del punto de consumo. Esta estrategia tiene el potencial de mejorar la eficiencia energética, reducir pérdidas en la transmisión y distribución, y aumentar la resiliencia y sostenibilidad del suministro eléctrico. [24]

Diversos elementos han fomentado el aumento y la aceptación de la Generación Distribuida en tiempos recientes. Principalmente, la inquietud por el cambio climático y la urgencia de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero han promovido el cambio hacia energías renovables. La Generación Distribuida apoya esta transición al incorporar fuentes de energía limpia, como la solar y la eólica, de manera directa en la red de distribución. [18]

En segundo lugar, los avances tecnológicos han reducido significativamente los costos de las tecnologías de generación distribuida, particularmente en el caso de los paneles solares fotovoltaicos y las turbinas eólicas. Estos avances han hecho que la GD sea una opción económicamente viable para una amplia gama de usuarios, desde hogares y pequeñas empresas hasta grandes industrias. [18]



Otro factor importante es la necesidad de mejorar la resiliencia y la fiabilidad del suministro eléctrico. Las redes centralizadas son vulnerables a fallos y desastres naturales, que pueden interrumpir el suministro eléctrico en vastas áreas. La GD, al distribuir la generación en múltiples puntos, puede mejorar la capacidad de la red para resistir y recuperarse de tales eventos. [25]

La Generación Distribuida ofrece numerosos beneficios que están transformando la manera en que se produce y consume la electricidad. Uno de los beneficios más destacados es la reducción de las pérdidas de energía. En los sistemas centralizados, la electricidad debe ser transmitida a través de largas distancias, lo que resulta en pérdidas significativas de energía. La GD, al estar cerca del punto de consumo, minimiza estas pérdidas y mejora la eficiencia del sistema. [26]

La Generación Distribuida facilita la incorporación de fuentes de energía renovable en el sistema eléctrico. Las tecnologías solares y eólicas pueden ser desplegadas de manera modular y escalable, permitiendo una mayor penetración de energía limpia en el mix energético.

Esto no solo reduce las emisiones de carbono, sino que también disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y mejora la seguridad energética. [24]

Asimismo, la generación distribuida también empodera a los consumidores al permitirles generar su propia electricidad, es decir, los consumidores se convierten en "*prosumidores*", no solo reduce sus costos energéticos, sino que también promueve una mayor conciencia y participación en la gestión energética. Los prosumidores pueden vender el exceso de energía a la red, creando nuevas oportunidades económicas y promoviendo un uso más eficiente de los recursos energéticos. [26]

---

<sup>2</sup> El término "prosumidor" es una combinación de las palabras "productor" y "consumidor" y se refiere a aquellos individuos o entidades que no solo utilizan energía, sino que también generan y, en muchos casos, la suministran a la red eléctrica. Este concepto ha cobrado relevancia en el contexto de los sistemas eléctricos de potencia modernos, donde la Generación Distribuida (GD) y las tecnologías de energías renovables han facilitado la capacidad de los consumidores de producir su propia electricidad.

Uno de los principales desafíos es la variabilidad e intermitencia de las fuentes renovables. La generación solar y eólica depende de las condiciones climáticas, lo que puede resultar en fluctuaciones en el suministro de electricidad. Para mitigar este problema, es crucial desarrollar tecnologías de almacenamiento de energía y sistemas de gestión inteligente que puedan equilibrar la oferta y la demanda en tiempo real. [23]

Otro desafío es la integración de la GD en la infraestructura de red existente. Las redes eléctricas actuales están diseñadas para un flujo unidireccional de energía desde las plantas de generación hasta los consumidores. La GD requiere una red más flexible y bidireccional que pueda manejar el flujo de electricidad en múltiples direcciones. Esto implica la necesidad de actualizaciones en la infraestructura y el desarrollo de estándares y protocolos para asegurar la compatibilidad y la seguridad. De esta manera, la regulación y las políticas deben adaptarse para apoyar el crecimiento de la GD. Esto incluye la creación de incentivos financieros, la eliminación de barreras burocráticas y la implementación de tarifas justas que reflejen el valor real de la generación distribuida. Un marco regulatorio favorable es esencial para atraer inversiones y fomentar la adopción de tecnologías de GD. [27]

La Generación Distribuida, está redefiniendo el panorama energético global al ofrecer una alternativa más sostenible, eficiente y resiliente a los sistemas centralizados tradicionales. Su capacidad para integrar fuentes renovables de energía, reducir pérdidas de energía, y empoderar a los consumidores la convierte en una componente crucial de los sistemas eléctricos modernos. No obstante, para aprovechar plenamente sus beneficios, es necesario abordar los desafíos técnicos, económicos y regulatorios que enfrenta. Con el apoyo adecuado, la GD puede desempeñar un papel central en la transición hacia un futuro energético más limpio y seguro. [28]

### **2.2.1 Características de la Generación Distribuida: Definición, Ventajas y Desventajas**

La generación de electricidad a través de instalaciones de menor tamaño ubicadas cerca del punto de consumo se conoce como generación distribuida. Fuentes de energía renovable como la biomasa, la solar y la eólica son componentes de una red

descentralizada de pequeños productores, utilizada en la generación distribuida, junto con generadores convencionales de menor tamaño. Esta red distingue a las grandes plantas de generación centralizadas que transportan energía a largas distancias. Debido a su capacidad para aumentar la resiliencia de la red eléctrica y la eficiencia energética, este método ha ganado popularidad en las últimas décadas. [29]

Las características más importantes de la Generación Distribuida son las siguientes.

#### **2.2.1.1 Descentralización**

La GD se basa en una estructura descentralizada, donde la generación de energía está dispersa en múltiples ubicaciones en lugar de estar concentrada en unas pocas plantas grandes. Esto permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad del sistema eléctrico. [29]

#### **2.2.1.2 Proximidad al Consumo**

La generación de energía se realiza cerca del punto de uso, lo que reduce las pérdidas de transmisión y distribución. Al estar más cerca de los consumidores, la eficiencia del suministro de energía mejora significativamente. [29]

#### **2.2.1.3 Diversidad de Fuentes de Energía**

La Generación Distribuida puede utilizar una buena variedad de fuentes de energía tanto renovable como no renovable. Las tecnologías más comunes incluyen paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas, generadores de biomasa, microturbinas y celdas de combustible. [30]

#### **2.2.1.4 Integración con Redes Inteligentes**

La creación de redes inteligentes o "smart grids" incluye la Generación Distribuida. Para administrar de manera efectiva el consumo, la distribución y la generación de energía, estas redes emplean tecnologías de comunicación avanzadas.

### **2.2.1.5 Reducción de Pérdidas en la Transmisión y Distribución**

Al generar energía cerca del punto de consumo, la GD minimiza las pérdidas asociadas con la transmisión de electricidad a largas distancias. Esto aumenta la eficiencia del sistema eléctrico en general.

### **2.2.1.6 Mejora de la Fiabilidad y Resiliencia de la Red**

La Generación Distribuida aumenta la resiliencia de la red eléctrica. Al diversificar la generación en varios puntos, se minimiza la susceptibilidad a fallos o interrupciones en el sistema centralizado y se mejora la capacidad de recuperación frente a desastres naturales o problemas técnicos.

### **2.2.1.7 Facilita la Integración de Energías Renovables**

La GD promueve el uso de fuentes de energía renovable, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad y cambio climático.

### **2.2.1.8 Empoderamiento del Consumidor**

Los consumidores pueden convertirse en prosumidores, generando su propia electricidad y, en algunos casos, vendiendo el exceso a la red. Esto no solo reduce los costos energéticos para los usuarios, sino que también fomenta una mayor participación en la gestión energética. [10]

### **2.2.1.9 Flexibilidad y Escalabilidad**

Las instalaciones de GD pueden ser escaladas de acuerdo con las necesidades locales y pueden ser implementadas en etapas, permitiendo una adaptación progresiva a las demandas energéticas y a las condiciones tecnológicas y económicas cambiantes.

De igual manera, cabe destacar las siguientes desventajas de la Generación Distribuida.

#### **2.2.1.10 Variabilidad e Intermittencia de las Fuentes Renovables**

Una de las principales desventajas de la GD, especialmente cuando se basa en fuentes renovables como la solar y la eólica, es la variabilidad e intermitencia de la generación de energía. Las condiciones meteorológicas influyen directamente en la capacidad de generación, lo que puede resultar en una producción inconsistente de electricidad.

#### **2.2.1.11 Costos Iniciales Elevados**

La instalación de tecnologías de GD, particularmente las renovables, puede requerir una inversión inicial significativa. Aunque los costos han disminuido en los últimos años, la barrera inicial puede ser un impedimento para algunos consumidores y comunidades.

#### **2.2.1.12 Necesidad de Almacenamiento de Energía**

Para mitigar la intermitencia y asegurar un suministro constante de energía, es necesario implementar sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, que pueden añadir costos adicionales y requerir tecnología avanzada de gestión.

#### **2.2.1.13 Desafíos en la Integración con la Red Eléctrica**

La integración de múltiples generadores distribuidos en la red eléctrica existente puede ser compleja. Se requieren actualizaciones en la infraestructura, así como la implementación de sistemas de gestión y control avanzados para asegurar la estabilidad y calidad del suministro eléctrico.

#### **2.2.1.14 Regulación y Políticas**

Las políticas y la regulación actuales pueden no estar completamente adaptadas para promover e integrar la GD. Un marco regulatorio favorable, que incluya incentivos monetarios, tarifas justas y apoyo para la investigación y el desarrollo de tecnologías relacionadas, es esencial. [31]

La forma en que se consume y produce la electricidad ha sufrido una transformación

significativa gracias a la Generación Distribuida. La GD es fundamental para avanzar hacia sistemas eléctricos más eficientes y sostenibles debido a sus múltiples beneficios, entre los que se incluyen la reducción de pérdidas, la mejora de la resiliencia y la promoción de energías renovables. No obstante, también enfrenta desafíos significativos, como la integración con la red existente, los costos iniciales y la variabilidad de las fuentes renovables.

Se requieren inversiones en tecnología, almacenamiento de energía y un marco regulatorio que respalde la transición para abordar estos desafíos. La GD tiene la capacidad de desempeñar un papel fundamental en la creación de un futuro energético más seguro y limpio si recibe el apoyo y el enfoque adecuados. [31]

### 2.3 Barras de Herramientas

ETAP cuenta con cinco barras de herramientas fundamentales para el funcionamiento del software. Estas barras permiten acceder a los editores de los elementos del programa y a otras barras que simplifican la ejecución de diferentes tareas. [32]

El programa dispone de las siguientes barras de herramientas: Project, Mode, Configuration, PSMS y Study Case. A continuación, se detallarán las principales características de cada una de estas barras. [32]

#### 2.3.1 Barra de Herramientas Project

La barra de herramientas Project incluye los íconos que facilitan el acceso directo a las funciones más frecuentes en PowerStation. La Figura 1 presenta esta barra y sus componentes, mientras que la Tabla 1 detalla las aplicaciones de cada ícono. [32]



**Figura 1.** Barra de herramientas Project

**Fuente.** Manual del usuario ETAP PowerStation 3.0.2

1.	Inicia un nuevo proyecto.
2.	Abre un archivo previamente guardado.
3.	Guarda el proyecto en curso.
4.	Imprime el diagrama unifilar.
5.	Corta los elementos seleccionados del diagrama unifilar y los envía al área de eliminación ( <sup>3</sup> <i>dumpster</i> )*
6.	Copia los elementos seleccionados desde el diagrama unifilar al área de eliminación ( <i>dumpster</i> )
7.	Pega los elementos del área de eliminación ( <i>dumpster</i> ) al diagrama unifilar
8.	Acerca el diagrama unifilar, para observar más detalles.
9.	Aleja el diagrama unifilar.
10.	Ajusta la vista para visualizar todo el diagrama unifilar en la pantalla.
11.	Activa una cuadrícula de referencia sobre el diagrama unifilar.
12.	Comprueba la continuidad del sistema.
13.	Activa la herramienta de cálculo de potencia.
14.	Consulta la ayuda sobre la herramienta que necesites.

**Tabla 1. Funciones de la Barra de Herramientas Project.**

**Fuente.** Manual del usuario ETAP PowerStation 3.0.2

La calculadora de potencia conecta MW, MVA, kV, amperios y factor de potencia en sistemas trifásicos, presentando los resultados en kVA o MVA. Además, permite establecer ciertos valores para determinar los que faltan. [32]



**Figura 2. Calculadora de potencia de ETAP (Power Calculator)**

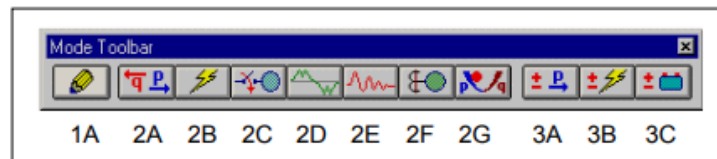
**Fuente.** Manual del usuario ETAP PowerStation 3.0.2

<sup>3</sup> El sistema de almacenamiento temporal, conocido como “*dumpster*”, está formado por múltiples celdas que guardan elementos eliminados o copiados del diagrama unifilar. Cuando se corta un objeto o un grupo de objetos del diagrama, PowerStation los transfiere a una de estas celdas. Estos elementos permanecen en las celdas hasta que se eliminan de manera definitiva de la base de datos del proyecto.

### 2.3.2 Barra de Herramientas Mode

La barra de herramientas Mode se compone de tres secciones: la primera se utiliza para editar los diagramas unifilares, mientras que la segunda y la tercera están destinadas a realizar análisis de corriente alterna (AC) y corriente continua (DC). [32]

La Figura 3 ilustra la barra de herramientas Mode con sus distintas secciones.



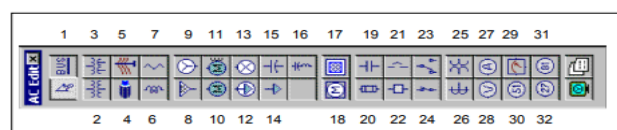
**Figura 3. Barra de herramientas (Mode Toolbar)**

**Fuente.** Manual del usuario ETAP PowerStation 3.0.2

La barra de herramientas Mode cuenta con íconos que activan distintos editores de elementos (1A) y permiten realizar varios tipos de análisis, como flujo de carga AC (2A), cortocircuito AC (2B), arranque de motores (2C), armónicos (2D), estabilidad transitoria (2E), coordinación de relés (2F), flujo de carga óptimo (2G), flujo de carga DC (3A), cortocircuito DC (3B) y ajuste de baterías (3C). [32]

Edición de diagramas unifilares: PowerStation ofrece un editor gráfico completo para crear diagramas unifilares, permitiendo agregar, eliminar, mover o conectar elementos, así como editar propiedades o ajustar el estado de operación. El ícono 1A en la barra de herramientas Mode activa este editor, junto con las barras de herramientas AC, DC y AC-DC, que contienen los dispositivos que el programa puede modelar. [32]

Con ETAP, es posible modelar elementos AC, DC y AC-DC para diseñar el diagrama unifilar del sistema que se desea simular. Estos elementos se insertan en el diagrama unifilar seleccionando el ícono correspondiente en las barras de herramientas mostradas en las figuras 4 y 5. [32]



**Figura 4. Barra de herramientas para modelar elementos AC**

**Fuente.** Manual del usuario ETAP PowerStation 3.0.2



Los elementos poseen un editor que posibilita el ajuste de sus parámetros. Este editor dispone de campos en los que se registra la información requerida para llevar a cabo los diferentes de análisis de datos. [32]

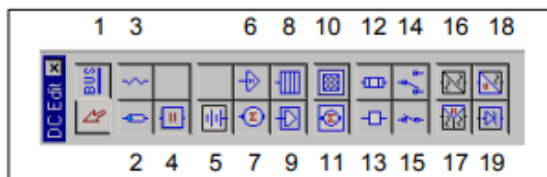


Figura 5. Barra de herramientas para modelar elementos DC y AC-DC

Fuente. Manual del usuario ETAP PowerStation 3.0.2

ELEMENTOS AC	ELEMENTOS DC	ELEMENTOS AC-DC
<b>Elementos de rama</b> 1 Barras o nodos 2 Transformadores bidevanados 3 Transformadores tridevanados 4 Conductores 5 Líneas de transmisión 6 Reactores limitantes de corriente 7 Impedancias	<b>Elementos de rama</b> 1 Barras o nodos 2 Conductores 3 Impedancias 4 Convertidores DC-DC	16 UPS' 17 VFD" 18 Cargadores 19 Inversores
<b>Fuentes y cargas</b> 8 Redes de distribución de potencia 9 Generadores 10 Máquinas de inducción 11 Motores sincrónicos 12 Cargas concentradas 13 Motores operados por válvula 14 Cargas estáticas 15 Capacitores 15 Filtros de armónicos	<b>Fuentes y cargas</b> 5 Baterías 6 Máquinas 7 Cargas estáticas 8 Cargas elementales 9 Cargas concentradas	
<b>Elementos Compuestos</b> 17 Redes Compuestas 18 Motores AC y DC	<b>Elementos Compuestos</b> 10 Redes 11 Motores AC y DC	
<b>Dispositivos de protección</b> 19 Contactores 20 Fusibles 21 Interruptores de bajo voltaje 22 Interruptores de alto voltaje 23 Conmutadores de dos vías 24 Conmutadores de una vía 25 transformadores de potencial 26 Transformadores de corriente 27 Amperímetros 28 Voltímetros 29 Multímetros 30 Relés de Sobre corriente 31 Relés de Frecuencia 32 Relés de Voltaje	<b>Dispositivos de protección</b> 12 Fusibles 13 Interruptores 14 Conmutadores de dos vías 15 Conmutadores de una vía	

Tabla 2. Clasificación de los elementos que modela ETAP

Fuente. Manual del usuario ETAP PowerStation 3.0.2

La Tabla 2 muestra la clasificación de elementos que el programa te permite modelar usando la barra de herramientas Elementos, la cual te permite editar un diagrama unifilar. [32]

A manera introductoria e ilustrativa se presentan a continuación las características básicas de algunos de los análisis AC que ETAP simula. [32]

**Análisis de flujo de carga AC:** El análisis del flujo de carga de PowerStation se basa en la determinación del voltaje y factor de potencia en cada una de las barras, corrientes y

el flujo de potencia a través del sistema, permitiendo la manipulación de sistemas radiales o en lazo. [32]

El Sistema Power PowerStation ofrece tres métodos de cálculo: Newton-Raphson, Fast Decoupled (acelerado desacoplado) y Gauss-Seidel acelerado. Cada uno exhibe diversas características de convergencia, cuyo rendimiento puede variar en función de su configuración, generación, condiciones de carga y voltajes iniciales en las barras. [32]

**Análisis de cortocircuito AC.** ETAP PowerStation examina las consecuencias de las fallas trifásicas, línea a tierra, línea a línea, y línea línea a tierra en los sistemas de distribución eléctrica. El software mide la corriente de cortocircuito y el impacto de cada motor y generador al sistema. ETAP emplea dos métodos: el ANSI/IEEE y el IEC. El método ANSI/IEEE utiliza las corrientes de cortocircuito en  $\frac{1}{2}$ , 1.5-4 y 30 ciclos después de la falla, mientras que el método IEC utiliza la corriente de cortocircuito inicial, la corriente máxima de cortocircuito y la corriente de interrupción del sistema. [32]

**Análisis de estabilidad transitoria:** El software de análisis de estabilidad transitoria facilita el cálculo de los límites de estabilidad de un sistema durante y después de perturbaciones o cambios. Este programa simula las características dinámicas del sistema, permite implementar acciones y eventos, y resuelve las ecuaciones diferenciales de las máquinas para obtener la respuesta en el dominio temporal. Con estas respuestas, se puede evaluar el comportamiento transitorio del sistema, realizar análisis de estabilidad y aplicar las soluciones requeridas para mantener la estabilidad en caso de fallos. [32]

**Puesta en marcha de generadores.** El análisis de puesta en marcha de los generadores es una característica particular del programa de estabilidad transitoria. Se requiere este tipo de análisis para plantas de generación nuclear y otras condiciones especiales, como cuando la conexión a la malla de potencia se pierde y es necesario recuperar la fuente de alimentación para algunas cargas críticas. En este caso, es necesario un arranque en frío del generador para volver al estado estable. [32]

## 2.4 Barras de herramienta de edición

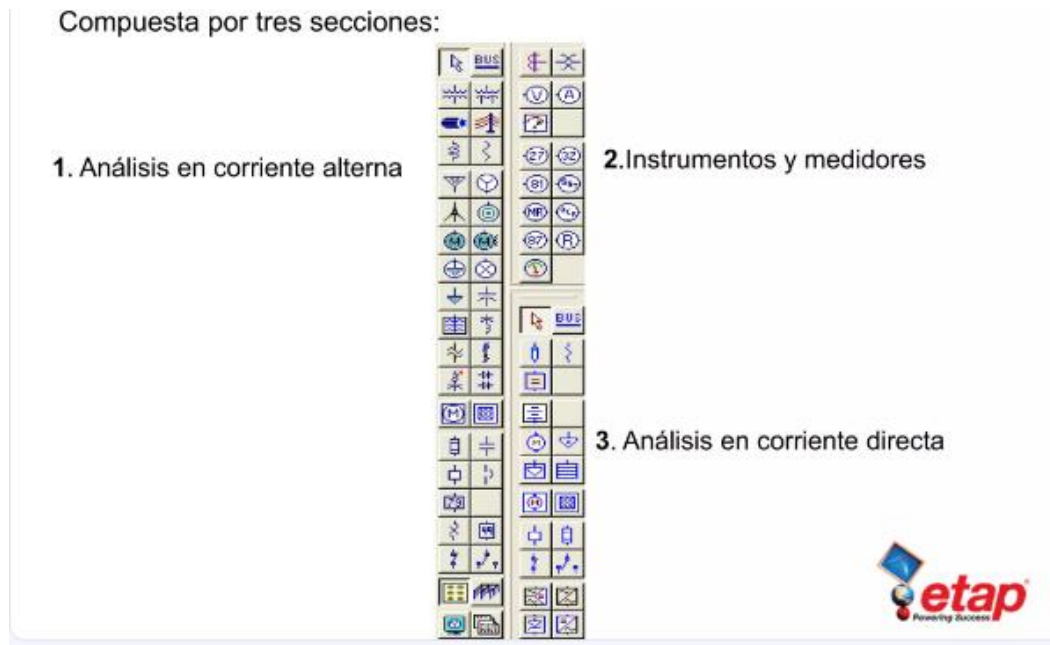


Figura 6. herramienta de edición

Fuente: Luisa Fernanda Barrera Escobar



Figura 7. Análisis en corriente alterna

Fuente: Luisa Fernanda Barrera Escobar

Transformador de Corriente			Transformador de Potencial
Voltímetro			Amperímetro
Multímetro			
Relé de Voltaje 27/59			Relé de Potencia Inversa
Relé de Frecuencia 81			Relé de Estado Sólido
Guardamotor			Relé de Sobrecorriente
Relé Diferencial 87			Relé Multifuncional
Tag			

*Figura 8. Instrumentos y medidores*

**Fuente:** Luisa Fernanda Barrera Escobar

Bus			Bus
Cable DC			Impedancia DC
Convertidor DC/DC			
Batería			
Motor DC			Carga Estática DC
Cargas Agrupadas DC			Carga Compuesta
Red Compuesta			Red Compuesta
Fusible DC			Fusible DC
Seccionador de Doble Posición DC			Seccionador de Doble Posición DC
Unidad de Frecuencia Variable			Unidad de Frecuencia Variable
Inversor			Inversor



*Figura 9. Análisis en corriente directa*

**Fuente:** Luisa Fernanda Barrera Escobar

Cada modo de simulación tiene su barra de análisis con las siguientes características:

1. Correr flujo de carga
2. Mostrar opciones
3. Mostrar alertas
4. Ver reportes
5. Fin de cálculos



*Figura 10. Barra de análisis*

**Fuente:** Luisa Fernanda Barrera Escobar

## 2.5 Celdas fotovoltaicas

Un sistema fotovoltaico o solar es un conjunto de dispositivos concebidos para transformar la energía del sol en energía eléctrica directamente, adaptado a las necesidades particulares de una aplicación determinada. Este sistema se compone de tres elementos fundamentales: [33]

1. Generación y producción (células o módulos solares)
2. Control (reguladores o reguladores de tensión)
3. Alimentación (Baterías o Acumuladores)

Las celdas solares son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad. Esto puede ocurrir directamente a través del efecto fotovoltaico o indirectamente mediante la conversión previa de la energía solar en calor o energía química. El método más común se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un semiconductor de dos capas produce una diferencia de voltaje entre ellas. Esta diferencia de voltaje permite que una corriente eléctrica circule a través de un circuito externo, proporcionando así energía para aplicaciones específicas. [33]

Las células de silicio monocristalino representan el estándar en la tecnología fotovoltaica comercial. Durante su producción, el silicio se somete a un proceso de purificación, fusión y cristalización en forma de lingotes o láminas delgadas. Luego, se corta en obleas finas que forman las celdas individuales, y se pulen por ambos lados. En este proceso de corte y pulido, casi la mitad del material original se desperdicia. Posteriormente, las obleas se someten a altas temperaturas para introducir material dopante, como boro o fósforo. El boro convierte al silicio en un semiconductor tipo p, mientras que el fósforo lo convierte en tipo n. [33]

La mayoría de las células fotovoltaicas producen un voltaje cercano a 0.5 voltios, sin importar su tamaño. No obstante, una mayor área de la célula permite generar una mayor cantidad de corriente. [33]

### **Aplicaciones en los Sistemas Eléctricos de Potencia**

Hoy en día, la tecnología de los sistemas fotovoltaicos está experimentando un crecimiento significativo. Un claro ejemplo de esto es el creciente uso de esta tecnología de energía renovable para suministrar electricidad a industrias y comercios. [33]



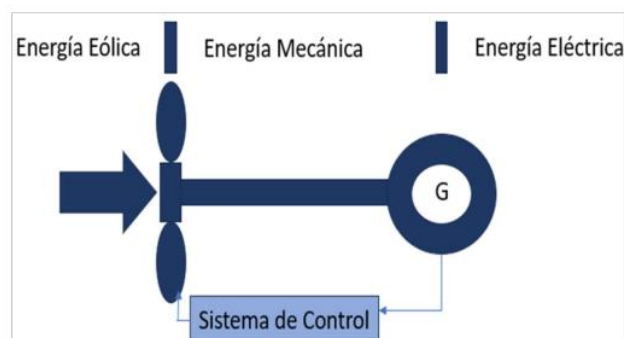
**Figura 11. Utilización de Sistema Fotovoltaicos en SEP.**

Una de las ventajas clave que se están evaluando es que las plantas fotovoltaicas pueden ser construidas mucho más rápido que las plantas convencionales, ya sean nucleares o de combustibles fósiles. Además, los módulos fotovoltaicos tienen la capacidad de expandirse si aumenta la demanda. Estos pueden ser instalados en áreas con rápido crecimiento poblacional para distribuir energía, eliminando así la necesidad de ampliar las líneas de transmisión. [33]

Asimismo, es imperativo mantener una proximidad más cercana a la producción de energía y prevenir pérdidas que se presentan en líneas de transmisión que presentan grandes distancias. Al instalar equipos fotovoltaicos cerca de las subestaciones, se podría evitar la sobrecarga de los equipos en la subestación al instalar equipos fotovoltaicos cerca de las subestaciones. [33]

## 2.6 Generadores eólicos

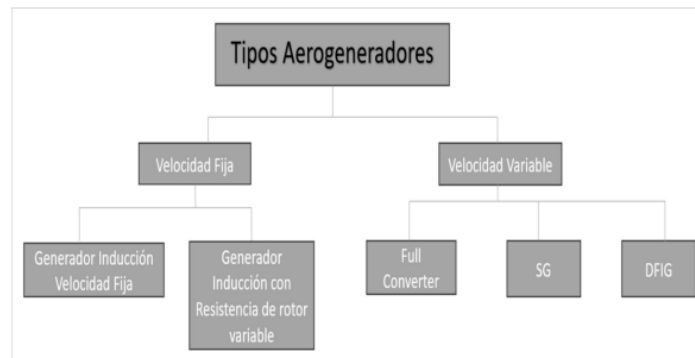
La generación eólica explota la energía cinética contenida en el viento. En la Figura 12 se muestra el esquema de la conversión de la energía del viento en eléctrica mediante el uso de turbinas eólicas, que, por lo general, utilizan generadores sincrónicos o asincrónicos que pueden estar directa o indirectamente conectados a la red. Los aerogeneradores se encargan de convertir la energía eólica, en energía mecánica rotacional y mediante un campo electromagnético obtener energía eléctrica, debido a la estocasticidad del viento los aerogeneradores se clasifican en velocidad fija o variable como se muestra en la (Figura 12). [34]



*Figura 12. Sistema de generación eólica*

Los aerogeneradores de velocidad fija son generadores de inducción y mientras que los de velocidad variable son de inducción o sincrónicos. De entre los aerogeneradores de inducción el denominado doblemente alimentado (DFIG), se diseña de tal manera en que el rotor y el estator se conecten mediante convertidores independientes a la red eléctrica. [34]

Este tipo de generador presenta la capacidad de conectarse a la red eléctrica de manera más flexible, trabajando en un rango de velocidades de viento variable, lo que permite una conversión de energía más eficiente al aprovechar mejor el recurso primario, sin embargo, requiere un sistema de control más complejo debido al convertidor, con el fin de realizar la transferencia de potencia de forma bidireccional. [34]



**Figura 13. Tipos de aerogeneradores**

## 2.7 Generador Síncrono

Los generadores síncronos transforman la energía mecánica en energía eléctrica de corriente alterna (CA). Para que funcionen correctamente, la fuente de energía mecánica debe mantener una velocidad constante, independientemente de la demanda de energía. Si esta condición no se cumple, la frecuencia del sistema eléctrico puede verse afectada. Es importante mencionar que no toda la energía mecánica que entra en un generador síncrono se convierte en energía eléctrica. [35]

Las pérdidas en una máquina se determinan como la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida. Por otro lado, la potencia mecánica de entrada está vinculada con la fuerza aplicada al eje del generador, la cual es el resultado de multiplicar la potencia de entrada por el par aplicado y la velocidad angular. La potencia mecánica que se transforma internamente en energía eléctrica se denomina potencia convertida, y se calcula como tres veces la tensión de fase por la corriente de fase y el coseno del ángulo. [35]

Es capaz de convertir la energía mecánica en eléctrica cuando actúa como generador, y de transformar la energía eléctrica en mecánica cuando funciona como motor.



**Figura 14. Generador síncrono**



## CAPITULO 3

### 3 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS RENOVABLES

Una de las variables más relevantes en la mejora de la ubicación de generación distribuida es la disponibilidad de recursos renovables. La generación distribuida a menudo depende de fuentes de energía reutilizables, como la solar y la eólica, que varían según la ubicación geográfica. Por ejemplo, los paneles solares deben ubicarse en áreas con alta radiación solar para maximizar la producción de energía, mientras que las turbinas eólicas necesitan ubicarse en zonas con velocidades de viento adecuada. La evaluación precisa de la disponibilidad de estos recursos es esencial para asegurar una generación eficiente y sostenible. [21]

#### 3.1 Capacidad de Integración de la Red

La capacidad de la red eléctrica para integrar generadores distribuidos sin causar congestión o inestabilidad es otro factor crítico. Esto incluye la capacidad de las líneas de distribución, las subestaciones y otros componentes de la red para manejar la energía adicional generada por las GD. La integración de GD puede alterar los flujos de potencia en la red y afectar la estabilidad del voltaje y la frecuencia. Por lo tanto, es fundamental realizar un análisis detallado de la capacidad de integración de la red y asegurar que la ubicación de los generadores no cause problemas operativos. [19]

##### 3.1.1 Impacto Económico

La viabilidad económica es un factor crucial en la mejora de la ubicación de GD. Esto implica evaluar tanto los costos como los beneficios asociados con la instalación y operación de generadores distribuidos. Los costos incluyen la inversión inicial, los gastos de operación y mantenimiento, y los costos de conexión a la red. Los beneficios económicos pueden derivarse de la reducción de pérdidas técnicas, la mejora de la eficiencia energética y la disminución de los costos de transporte de energía. Un análisis costo-beneficio detallado ayuda a identificar las ubicaciones óptimas que ofrecen el mayor retorno de inversión. [15]

### **3.1.2 Impacto en la Calidad del Suministro Eléctrico**

La calidad del suministro eléctrico es otro factor importante que debe ser considerado. La integración de generadores distribuidos debe mejorar o al menos no degradar la calidad del suministro. Esto incluye la estabilidad del voltaje, la continuidad del suministro y la minimización de perturbaciones como armónicos y fluctuaciones de frecuencia. La ubicación adecuada de los generadores puede ayudar a estabilizar el voltaje y mejorar la calidad del suministro eléctrico, lo que es especialmente importante en sistemas con una alta penetración de energías renovables.

### **3.1.3 Factores Ambientales y Sociales**

Es crucial considerar los factores sociales y ambientales, además de los económicos y técnicos. Se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes gracias a la generación distribuida a partir de fuentes renovables, lo cual tiene un efecto positivo en el medio ambiente. No obstante, los efectos locales de la instalación de generadores distribuidos incluyen el uso del suelo y el impacto visual de las turbinas eólicas o los paneles solares. Es esencial realizar evaluaciones ambientales para minimizar estos impactos. [14]

En cuanto a los factores sociales menciona que la aceptación de la comunidad es crucial para el éxito de los proyectos de GD. Los proyectos deben ser diseñados e implementados teniendo en cuenta las preocupaciones y necesidades de las comunidades locales. La participación de la comunidad en el proceso de planificación y la comunicación transparente sobre los beneficios y los posibles impactos de la GD pueden ayudar a obtener el apoyo y la aceptación social necesarios. [12]

### **3.1.4 Regulaciones y Políticas**

Las regulaciones y políticas gubernamentales también juegan un papel fundamental en la mejora de la ubicación de GD. Las políticas que apoyan a las energías renovables, los incentivos fiscales y las regulaciones de conexión a la red pueden influir significativamente en la viabilidad y el éxito de los proyectos de GD. Es importante

estar al tanto de las normativas locales, regionales y nacionales, y considerar cómo estas pueden afectar la planeación y ejecución de los proyectos de GD. [17]

### **3.1.5 Evaluación de Riesgos**

Finalmente, la evaluación de riesgos es un componente esencial en la mejora de la ubicación de GD. Esto incluye la identificación y mitigación de riesgos técnicos, económicos y ambientales asociados con la instalación y operación de generadores distribuidos. La evaluación de riesgos ayuda a anticipar y gestionar posibles problemas, asegurando la viabilidad y la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos de generadores distribuidos. [16]

La mejora de la ubicación de generadores distribuidos es un proceso multifacético que requiere la consideración de diversos factores técnicos, económicos, ambientales, sociales y regulatorios. La disponibilidad de recursos renovables, la capacidad de integración de la red, el impacto económico, la calidad del suministro eléctrico, los factores ambientales y sociales, las regulaciones y políticas, y la evaluación de riesgos son todos elementos cruciales que deben ser cuidadosamente analizados para maximizar los beneficios de la GD y minimizar los posibles inconvenientes.

Al abordar estos factores de manera integral, se puede lograr una implementación exitosa y sostenible de generadores distribuidos, contribuyendo a la eficiencia, la resiliencia y la sostenibilidad del sistema eléctrico. [18]

### **3.2 Estudio de Métodos de Simulación y Modelado para Evaluar Diferentes Escenarios de Ubicación y su Impacto en la Eficiencia del Sistema**

La simulación y el modelado se han convertido en herramientas fundamentales para evaluar y optimizar la ubicación de generadores distribuidos en los sistemas eléctricos, estas técnicas permiten a los ingenieros y planificadores analizar diferentes escenarios y tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia del sistema. [7]

En este propósito, el análisis de flujos de potencia es una técnica fundamental utilizada en la planificación y operación de sistemas eléctricos, este método calcula el flujo de

electricidad a través de la red, considerando las características de los generadores y las cargas. Las herramientas de simulación como DIgSILENT PowerFactory y ETAP permiten realizar análisis de flujos de potencia para evaluar cómo diferentes ubicaciones de generación distribuida afectan la eficiencia y estabilidad del sistema. Estos análisis ayudan a identificar las ubicaciones óptimas que minimizan las pérdidas técnicas y mejoran la calidad del suministro eléctrico. [6]

Por lo tanto, es posible destacar las herramientas y plataformas de simulación que son cruciales para el análisis, el diseño y la mejora de sistemas eléctricos de potencia (SEP). Los ingenieros y planificadores pueden modelar y evaluar el comportamiento de los sistemas eléctricos en una variedad de situaciones operativas y de fallo con estas herramientas, lo que facilita la toma de decisiones informadas.

### **3.3 Herramientas y Plataformas de Simulación en Sistemas Eléctricos de Potencia**

Las herramientas y plataformas de simulación son esenciales en el análisis, diseño de sistemas eléctricos de potencia (SEP). Estas herramientas permiten a los ingenieros y planificadores modelar y evaluar el comportamiento de los sistemas eléctricos bajo diversas condiciones operativas y de fallo, facilitando la toma de decisiones informadas. [6]

#### **3.3.1 DIgSILENT PowerFactory**

Es una herramienta avanzada de simulación y análisis de sistemas eléctricos que ofrece una amplia gama de funcionalidades para la evaluación de generadores distribuidos. Permite realizar análisis de flujos de potencia, estudios de equilibrio transitorio, análisis de armónicos y estudios de cortocircuito, entre otros. La plataforma es ampliamente utilizada en la industria y la academia para simular y optimizar la ubicación de GD, considerando tanto los aspectos técnicos como económicos. [31]

El análisis de flujos de potencia es una de las aplicaciones más comunes de las herramientas de simulación en los SEP. Este análisis calcula el flujo de electricidad a través de la red, determinando los voltajes en los nodos y las corrientes en las líneas de

transmisión y distribución. Las herramientas como DIgSILENT PowerFactory y ETAP permiten realizar estos cálculos con gran precisión, ayudando a identificar problemas de sobrecarga, caídas de tensión y pérdidas técnicas en el sistema. [25]

### **3.3.2 ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)**

ETAP es otra herramienta de simulación ampliamente utilizada en el análisis y diseño de sistemas eléctricos. Ofrece módulos para el análisis de flujos de potencia, estudios de estabilidad, análisis de confiabilidad y evaluación de contingencias. ETAP permite modelar y simular diferentes escenarios de ubicación de GD, proporcionando una visión detallada de cómo estas decisiones afectan la eficiencia y la resiliencia del sistema eléctrico. [17]

De igual forma, podemos destacar las principales funciones y beneficios de estas herramientas y plataformas de simulación.

### **3.3.3 Análisis de Flujos de Potencia**

El análisis de flujos de potencia es una de las aplicaciones más comunes de las herramientas de simulación en los SEP. Este análisis calcula el flujo de electricidad a través de la red, determinando los voltajes en los nodos y las corrientes en las líneas de transmisión y distribución. Herramientas como DIgSILENT PowerFactory y ETAP permiten realizar estos cálculos con gran precisión, ayudando a identificar problemas de sobrecarga, caídas de tensión y pérdidas técnicas en el sistema. [6]

### **3.3.4 Estudio de Estabilidad del Sistema**

La estabilidad del sistema es crucial para asegurar la continuidad del suministro eléctrico. Las plataformas de simulación pueden modelar eventos transitorios, como fallos en líneas de transmisión o desconexiones de generadores, y evaluar cómo el sistema responde a estas perturbaciones. Esto es fundamental para diseñar sistemas que sean resilientes y capaces de mantener la estabilidad bajo condiciones adversas. [7]

### **3.3.5 Evaluación de Contingencias y Confiabilidad**

Las herramientas de simulación permiten realizar estudios de contingencia para evaluar la confiabilidad del sistema eléctrico. Esto implica simular una serie de fallos posibles y evaluar el impacto de cada uno en el sistema. Este análisis es fundamental para identificar puntos vulnerables en la red y diseñar estrategias de mitigación adecuadas. [7]

### **3.3.6 Modelado de Energías Renovables**

Las energías renovables, como la solar y la eólica, presentan desafíos específicos debido a su naturaleza intermitente y variable. Las plataformas de simulación pueden modelar la creación de energía reusable bajo diferentes condiciones climáticas y evaluar su impacto en el sistema eléctrico. Esto es crucial para planificar la integración de renovables y diseñar sistemas que puedan gestionar su variabilidad. [6]

### **3.3.7 Análisis de Costos y Beneficios**

Además de los elementos técnicos, las herramientas de simulación posibilitan la realización de análisis económicos. Evaluar los gastos de inversión, operación y mantenimiento de diversas configuraciones de sistemas eléctricos, así como los beneficios económicos que se derivan de la disminución de las pérdidas y de la mejora de la eficiencia del sistema, forman parte de esto. Para justificar las inversiones en tecnología e infraestructura, este análisis es esencial. [25]

### **3.3.8 Planificación y Diseño de Redes**

Las herramientas de simulación son esenciales en la planificación y diseño de nuevas redes eléctricas o la expansión de las existentes. Permiten modelar diferentes configuraciones de red y evaluar su desempeño bajo diversas condiciones de carga y generación. Esto ayuda a optimizar el diseño de la red, asegurando que sea capaz de satisfacer la demanda futura de manera eficiente y confiable. [29]

### 3.3.9 Beneficios de las Herramientas de Simulación

Las herramientas de simulación en sistemas eléctricos de potencia ofrecen numerosos beneficios, los cuales son de gran importancia para el análisis, diseño, operación y mejora de estos sistemas. A continuación, se describen en detalle los principales beneficios que proporcionan estas herramientas.

**Precisión y eficiencia:** las herramientas de simulación permiten realizar cálculos complejos con alta precisión y en tiempos relativamente cortos. Esto mejora la eficiencia en el proceso de planificación y diseño, reduciendo el tiempo y los recursos necesarios para evaluar diferentes escenarios. [31]

**Reducción de riesgos:** Al permitir la evaluación de múltiples escenarios y contingencias, las herramientas de simulación ayudan a identificar y mitigar riesgos antes de que ocurran en la realidad. Esto es crucial para asegurar la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico. [31]

**Toma de decisiones informadas:** las plataformas de simulación proporcionan datos y análisis detallados que respaldan la toma de decisiones informadas. Esto incluye decisiones sobre la ubicación de generación distribuida, inversiones en infraestructura y estrategias de operación y mantenimiento.

**Flexibilidad:** las herramientas de simulación son altamente flexibles y pueden adaptarse a una amplia gama de aplicaciones y necesidades. Pueden modelar sistemas de diferentes tamaños y complejidades, desde microrredes hasta redes de transmisión a gran escala. [27]

**Innovación y Desarrollo:** las plataformas de simulación facilitan la planeación y el desarrollo de tecnologías revolucionarias y estrategias de gestión de sistemas eléctricos. Permiten probar y evaluar nuevas ideas en un entorno virtual antes de implementarlas en el mundo real, reduciendo el riesgo y los costos asociados con la innovación. [29]

De la misma manera, las herramientas de simulación son indispensables para el análisis, diseño, operación y mejora de sistemas eléctricos de potencia y proporcionan una base

sólida para evaluar diferentes escenarios. Las herramientas de simulación permiten identificar problemas potenciales y tomar decisiones informadas que mejoren la eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad del sistema eléctrico. A medida que los sistemas eléctricos enfrentan desafíos crecientes y la integración de nuevas tecnologías, las capacidades de simulación seguirán siendo fundamentales para asegurar su desempeño y evolución a largo plazo. [30]

### **3.4 Impacto de la Generación Distribuida en la Estabilidad de Voltaje**

Por lo tanto, la generación distribuida se ha caracterizado por la generación de electricidad en pequeña escala cerca de los puntos de consumo mediante el uso de fuentes de energía renovables como la biomasa, la solar fotovoltaica y la eólica. A pesar de que su amplia integración en los sistemas eléctricos presenta desafíos importantes, especialmente en cuanto a la estabilidad de voltaje, esta evolución es el resultado de la necesidad de diversificar las fuentes de energía, mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para que un sistema eléctrico funcione de manera segura y efectiva, es necesaria la estabilidad de voltaje; sin embargo, su incumplimiento puede provocar fluctuaciones de voltaje, colapsos de voltaje y, en situaciones extremas, apagones masivos. Los mecanismos de control de voltaje, la capacidad de generación, la configuración de la red de transmisión y la demanda de carga son factores que afectan la estabilidad de voltaje. La administración de la estabilidad de voltaje se complica más con la inclusión de fuentes de generación distribuida, que tienen características intrínsecamente variables e intermitentes. Por ejemplo, la variabilidad de las fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, es muy conocida, lo cual puede provocar variaciones significativas en el voltaje de la red si no se gestiona adecuadamente. [31]

La estabilidad de voltaje se refiere a la capacidad de un sistema eléctrico para mantener voltajes constantes en todas las barras del sistema bajo condiciones normales y cuando existan perturbaciones lo cual es de mucha importancia para el funcionamiento seguro y eficiente del sistema eléctrico. Como se ha señalado existen varios factores que afectan la estabilidad de voltaje en un sistema eléctrico, los más relevantes son según: [16]



- Demanda de Carga: una alta demanda de carga puede reducir los voltajes en ciertas partes del sistema.
- Capacidad de Generación: la capacidad de los generadores para suministrar potencia reactiva es crucial para mantener el voltaje.
- Red de Transmisión: la configuración y capacidad de la red de transmisión afectan cómo se distribuye la energía y, por ende, el voltaje.
- Control de Voltaje: los dispositivos de control de voltaje, como reguladores de voltaje y compensadores estáticos, ayudan a mantener la estabilidad de voltaje.

De igual forma, la generación distribuida presenta varios beneficios como la reducción de pérdidas en la transmisión de energía, el aumento de la resiliencia del sistema eléctrico, alivio a la carga en subestaciones y la democratización del acceso a la energía, mencionados por: [16]

- Reducción de Pérdidas de Transmisión: al generar electricidad cerca del punto de consumo, se reducen las pérdidas en las líneas de transmisión, lo que puede ayudar a mantener voltajes más estables.
- Mejora de la Resiliencia: la GD puede proporcionar una fuente de energía adicional durante perturbaciones en la red, mejorando la resiliencia del sistema.
- Alivio de la Carga en Subestaciones: la generación local puede reducir la carga en subestaciones y otros componentes del sistema de transmisión.

A pesar de sus beneficios, la generación distribuida también presenta varios desafíos para la estabilidad de voltaje, por ejemplo: la variabilidad e intermitencia que puede ser causada por fuentes de energía renovable como la solar y la eólica; la coordinación de control en la integración de múltiples generadores distribuidos los cuales requieren una coordinación efectiva de los sistemas de control para evitar conflictos y asegurar la estabilidad; los desafíos en la protección del sistema por la presencia de generación distribuida que pueden complicar los esquemas de protección y requerir ajustes en los dispositivos de protección. [15]

Por su parte, la integración de la generación distribuida en la red eléctrica introduce una nueva capa de complejidad en la gestión de la estabilidad de voltaje. Las fuentes de energía renovable son intrínsecamente variables e intermitentes, lo que puede causar

fluctuaciones significativas en el voltaje de la red si no se gestionan adecuadamente. Esta variabilidad puede ser especialmente problemática en sistemas eléctricos que no están diseñados para manejar grandes cantidades de generación distribuida. [18]

Para mitigar los impactos negativos de la GD en la estabilidad de voltaje, se han propuesto varias soluciones: [6]

- Dispositivos de Almacenamiento de Energía. Los sistemas de almacenamiento de energía, como las baterías, pueden ayudar a amortiguar las fluctuaciones de voltaje al almacenar exceso de energía durante períodos de alta generación y liberarla durante períodos de baja generación.
- Controladores Inteligentes. El uso de controladores inteligentes y sistemas de gestión de energía puede mejorar la coordinación entre generadores distribuidos y el sistema de red, asegurando una respuesta rápida y efectiva a las perturbaciones.
- Regulación de Voltaje Basada en FACTS. Los sistemas flexibles de transmisión de corriente alternan (FACTS) pueden proporcionar un control dinámico de voltaje en tiempo real, ayudando a mantener la estabilidad de voltaje en presencia de GD.

Asimismo, se han realizado numerosos estudios de caso y modelos para analizar el impacto de la GD en la estabilidad de voltaje. Estos estudios generalmente utilizan simulaciones basadas en software especializado, como PSS/E, DIgSILENT PowerFactory y PSCAD, para evaluar diferentes escenarios de integración de GD.

De acuerdo con [11], se han realizado simulaciones en PSS/E para evaluar el impacto de la generación distribuida solar en un sistema de distribución típico. Los resultados mostraron que la integración de una alta penetración de GD solar puede llevar a fluctuaciones de voltaje significativas, especialmente durante períodos de alta irradiación solar seguidos de nubes repentinas. [8]

En este sentido, podemos señalar algunas estrategias para a integración efectiva de la generación distribuida en el sistema eléctrico: [7]

- Planificación de la Red. La planificación proactiva de la red puede identificar los puntos críticos donde la integración de GD puede tener mayores impactos y desarrollar medidas de mitigación.

- Normativas y Políticas. El desarrollo de normativas y políticas que promuevan la integración segura y eficiente de la GD es crucial. Estas normativas pueden incluir estándares para la conexión de GD y requisitos para el control de voltaje.
- Investigación y Desarrollo. La inversión en investigación y desarrollo puede conducir a nuevas tecnologías y métodos para mejorar la estabilidad de voltaje en sistemas con alta penetración de GD.

La estabilidad de voltaje es un aspecto relevante de la operación del sistema eléctrico y la integración de la generación distribuida debe manejarse cuidadosamente para asegurar la confiabilidad y seguridad del suministro eléctrico.

### **3.5 Sistemas de distribución de 14 barras**

Las redes que llevan la energía eléctrica a los consumidores finales desde las subestaciones de transmisión se conocen como sistemas de distribución de energía eléctrica. Estos sistemas aseguran que la electricidad llegue de manera eficiente y confiable a los hogares, las industrias y otros usuarios. El sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de dispositivos que permiten la energización efectiva de una serie de cargas. Estos sistemas se encuentran en varios lugares y transmiten la energía eléctrica a cada consumidor desde las subestaciones de transmisión.

Dependiendo de las áreas de carga es la forma que tomará el sistema de distribución, pero siempre considerando el mínimo de interrupciones, de variaciones de tensión permitiendo expansiones en pequeños incrementos entre modificaciones y gastos. [10]

El sistema de distribución de 14 barras es un modelo, según [8], de red de distribución que incluye 14 nodos interconectados por líneas de transmisión, 5 generadores y 11 cargas. Este modelo representa una pequeña sección de una red de distribución más grande y se utiliza para simular y analizar diversas condiciones operativas y contingencias en la red eléctrica. Los componentes principales del sistema son las barras que representan puntos de conexión en la red donde se ubican las cargas y los generadores-, los generadores- que suministran la energía necesaria al sistema- las líneas de transmisión-que facilitan el flujo de energía entre las barras- y las cargas -que representan el consumo de energía de los usuarios finales-.

El sistema de 14 barras de IEEE se utiliza para realizar análisis de flujos de carga que permite el distribuir la carga en la red y analiza los comportamientos de los voltajes en diferentes puntos del sistema para garantizar una operación eficiente y segura de la red eléctrica. Según un estudio reciente sobre el análisis de flujos de carga en el sistema de 14 barras ayuda a identificar puntos críticos de la red y a planificar mejoras para optimizar la distribución de energía. [10]

De igual manera, la estabilidad de voltaje en los sistemas eléctricos es crucial para prevenir cualquier tipo de falla y puede asegurar la estabilidad en el funcionamiento. Cuando un sistema eléctrico está sujeto a perturbaciones, tiene la capacidad de mantener niveles de voltaje constantes en todas las barras del sistema. El voltaje de las barras disminuirá a medida que aumenta el consumo de energía y podría alcanzar un valor crítico que el sistema no podrá recuperar. La estabilidad de voltaje garantiza que los niveles de voltaje permanezcan dentro de un rango aceptable en una variedad de circunstancias operativas. [8]

En el sistema de 14 barras, asegurar la estabilidad de voltaje es esencial para poder garantizar la calidad de la energía suministrada a los consumidores. En investigaciones realizadas en este ámbito se demostró que la estabilidad del voltaje puede mejorarse significativamente mediante la mejora de la ubicación y el tamaño de los generadores distribuidos en el sistema de 14 barras. [11]

Emplear la estabilidad de voltaje puede evitar fallos en los equipos de generación y distribución y mantener la eficiencia operativa del sistema eléctrico. La implementación de dispositivos como condensadores y reactores puede ayudar a controlar el flujo de potencia reactiva y mantener los niveles de voltaje dentro de rangos aceptables. El estudio de Fernández y Rodríguez se destacó la eficacia de estos dispositivos en mejorar la estabilidad de voltaje en el sistema de 14 barras. [12]

Con el aumento de la generación distribuida, como la energía solar y eólica, el modelo de 14 barras se utiliza para estudiar el impacto de estas fuentes de energía en la red de distribución. Esto incluye el análisis de cómo la GD afecta los flujos de carga, la estabilidad del voltaje y la calidad de la energía. El estudio realizado por Martínez se

menciona que la integración de paneles solares en el sistema de 14 barras, destacando los desafíos y beneficios de la GD en términos de eficiencia y sostenibilidad. [13]

Por su parte, un estudio realizado por [9], investigó el impacto de la GD en la estabilidad de voltaje del sistema de 14 barras. Los resultados mostraron que una adecuada distribución de generadores distribuidos puede mejorar significativamente la estabilidad de voltaje. Se identificaron ubicaciones óptimas para la instalación de GD que minimizan las fluctuaciones de voltaje y mejoran la robustez del sistema.

Utilizar algoritmos de mejora (como el algoritmo genético y la mejora por enjambre de partículas) permite identificar las configuraciones que puede maximizar la eficiencia del sistema y minimizar las pérdidas de energía. Los resultados subrayan la importancia de una planificación cuidadosa en la integración de GD. [13]

Por otro lado, la evaluación de tecnologías de control permite probar y evaluar diferentes tecnologías de control algunas de estas tecnologías son los dispositivos FACTS (Flexible AC Transmission Systems) que mejoran la resiliencia y la eficiencia de la red.

Por otra parte, también se han mostrado según [8], cómo la implementación de dispositivos FACTS en el sistema de 14 barras puede mejorar significativamente la estabilidad y la capacidad de respuesta de la red ante variaciones de carga [12].

Utilizar El uso del modelo de 14 barras proporciona un marco simplificado que es mucho más fácil de implementar y de analizar, facilitando estudios detallados sin la complejidad de modelos más grandes. El modelo de 14 barras es un estándar ampliamente aceptado por lo que es muy adaptable en diversas condiciones y configuraciones permitiendo su uso en una amplia red eléctrica. [10]

### **3.6 Máquina síncrona**

Cuando las máquinas síncronas transforman la energía mecánica en energía eléctrica, funcionan como generadores. Constan de dos partes, una fija (estator) y una móvil

(rotor), por lo que son uno de los componentes más cruciales de los SEP. Se encuentran dos ejes en la parte móvil: el cilíndrico y el de polos salientes. El devanado de campo del rotor recibe corriente de CD para generar una fuerza conocida como "Fuerza Magneto Motriz". El devanado de campo también recibe corriente de CD para combinar esta fuerza y el flujo resultante induce un voltaje al devanado de armadura. [36]

### **3.7 Red de distribución**

El efecto Joule incrementa las pérdidas técnicas y las redes de distribución alcanzan ocasionalmente su capacidad máxima debido al continuo aumento de la demanda eléctrica. Las compañías de distribución suelen decidir reforzar o ampliar las líneas de distribución del sistema eléctrico para abordar este problema. Para resolver este desafío, las empresas de distribución suelen optar por ampliar o fortalecer las líneas de distribución del sistema eléctrico. La estrategia prevé una inversión mucho mayor en infraestructura para aumentar la capacidad de transmisión y distribución de energía para satisfacer la demanda de los clientes y mejorar los estándares de calidad del servicio. Si esta situación persiste, es probable que los requerimientos energéticos de los usuarios no puedan ser cumplidos a tiempo, ya que uno de los obstáculos es el tiempo requerido para construir nuevas redes de distribución y los gastos asociados a ello. La implementación de sistemas de Generación Distribuida (GD) de baja capacidad podría ser otra opción. La integración de pequeñas unidades de generación cerca del punto de consumo constituye la generación distribuida (GD). También se conoce como generación in-situ, generación integrada, generación descentralizada, generación o energía descentralizada. [37]

### **3.8 Transformador**

Los transformadores de potencia (TP), que pueden alcanzar el 60 % del costo total de la subestación, son una de las partes más cruciales de los sistemas eléctricos de potencia. La disponibilidad se incrementa con la evaluación de la condición TP al asegurar un seguimiento adecuado que tiene como objetivo prolongar su vida útil mediante operaciones de mantenimiento y reparación. El estado de condición de un TP, también conocido como "estado de salud", está afectado por una variedad de factores, como las solicitudes eléctricas, mecánicas y químicas que operan al mismo tiempo. [38]

### **3.9 Flujo de potencia**

El análisis de flujos de potencia es un estudio fundamental en sistemas eléctricos. Su objetivo es determinar los voltajes (tanto en magnitud como en ángulo) para condiciones específicas de carga, generación y red. Una vez que se conocen los voltajes en todos los nodos, es posible calcular los flujos de línea y las pérdidas. El primer paso para resolver problemas de flujo de potencia es identificar las variables conocidas y desconocidas del sistema. [39]

### **3.10 Flujo de cargas**

El procedimiento de flujo de carga es el procedimiento base para diversas aplicaciones de energía en los sistemas de gestión de distribución. Las redes de distribución modernas son significativamente más grandes que las antiguas y es comprensible la necesidad de un cálculo rápido y preciso del flujo de carga.

El cálculo del flujo de carga es una de las aplicaciones de energía más importantes del Sistema de Gestión de Energía y Distribución, ya que es la base para otras aplicaciones de energía, como la estimación del estado, el cálculo de fallas, la restauración del suministro, el flujo de energía óptimo, etc. Estas aplicaciones se basan en los resultados del flujo de potencia y son tan precisos como su entrada inicial que se obtiene del cálculo del flujo de potencia. [40]

## CAPITULO 4

## 4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA EN ETAP

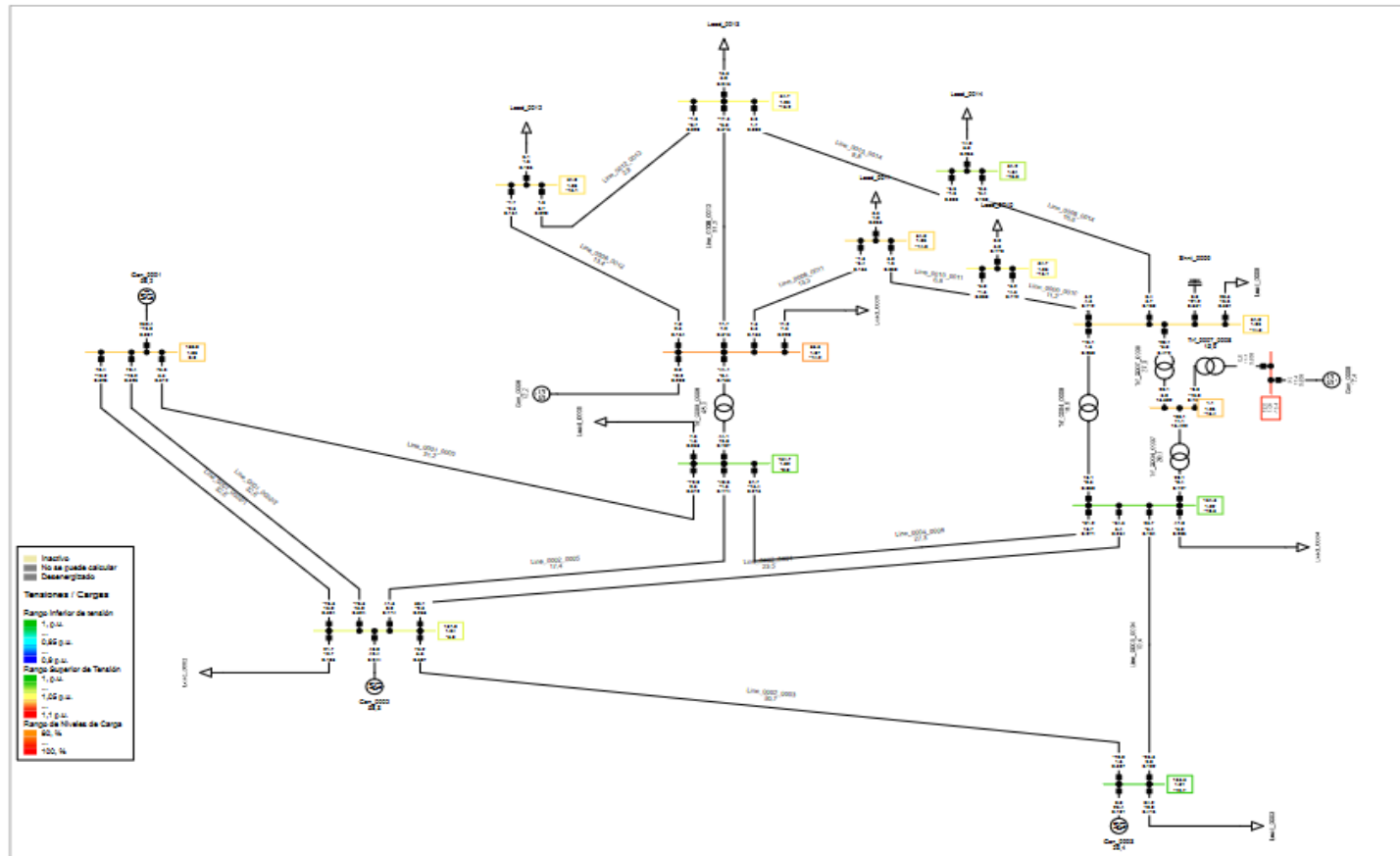


Figura 15. Ejemplo propuesto diagrama 14 barra Digilent power factory



## 4.1 Descripción

El sistema de 14 barras analizado en este proyecto representa una red de distribución eléctrica que incluye una combinación de generadores eólicos, transformadores y líneas de transmisión. Este sistema está diseñado para evaluar la eficiencia y confiabilidad de la distribución de energía en un entorno simulado, permitiendo el análisis de pérdidas técnicas y la mejora de la generación distribuida. La estructura del sistema incluye:

- **Barras:** un total de 14 barras distribuidas estratégicamente en la red para conectar diferentes elementos del sistema.
- **Generadores:** 5 generadores síncronos, denominados “Gen1, Gen3, Gen4”, Gen7, Gen13. Ubicados 5 barras de nuestro sistema.
- **Transformadores:** 5 transformadores, denominados “T1, T2, T3, T4, T5”, que interconectan diferentes niveles de tensión.
- **Líneas de transmisión:** diversas líneas de transmisión que conectan las barras, facilitando la distribución de energía a lo largo del sistema.
- **Carga estática:** el sistema hace uso de 11 controladores de cargas denominados “Load 1 a Load11”, mismos que están conectados en las barras 2, 3, 4, 5, 12, 10, 11, 13, 14 y 9, respectivamente.
- **Circuit Breaker:** 56 circuit breaker distribuidos alrededor de todo el sistema
- **Power Grid:** en el sistema está incluido una red eléctrica que brinda energía a todo el sistema
- **PV Array:** dos paneles fotovoltaicos ubicados estratégicamente la cual están conectadas en la barra 12 y 13 respectivamente.
- **Generadora de turbina eólica:** 7 generadores que forman parte del sistema de 14 barras.

## 4.2 Detalle sobre datos de entrada

Para modelar el sistema en ETAP, se usaron los siguientes datos de entrada:

- **Características de las cargas:** información detallada sobre la demanda de energía en cada barra, incluyendo potencia activa (MW) y reactiva (MVAR).
- **Generadores eólicos:** datos técnicos de los generadores, como potencia nominal (MW), tensión (kV), factor de potencia (% PF), eficiencia (%), y configuración de conexión.
- **Transformadores:** especificaciones de los transformadores, incluyendo tensión primaria y secundaria (kV), potencia nominal (MVA), impedancias (%Z), y tipo de conexión.
- **Líneas de distribución:** parámetros de las líneas de transmisión, como longitud (millas o km), resistencia y reactancia por unidad de longitud (ohms/milla o ohms/km), y configuración física de los conductores.
- **Carga estática:** detalles sobre “Load static” incluyendo configuraciones de tensión primaria secundaria (kv), potencia nominal (MVA), potencia reactiva (MW), potencia reactiva (Mvar), factor de potencia (%PF).
- **Circuit Breaker:** parámetro precisos y generales como potencia nominal y reactiva.
- **Red eléctrica:** ajuste de datos eléctricos basados en las cargas de barras y generadores.
- **Paneles fotovoltaicos:** datos técnicos de los paneles, adecuados a la cantidad de energía de la red eléctrica.
- **Generadora de turbina eólica:** detalles sobre rating específicamente potencia reactiva (MW).

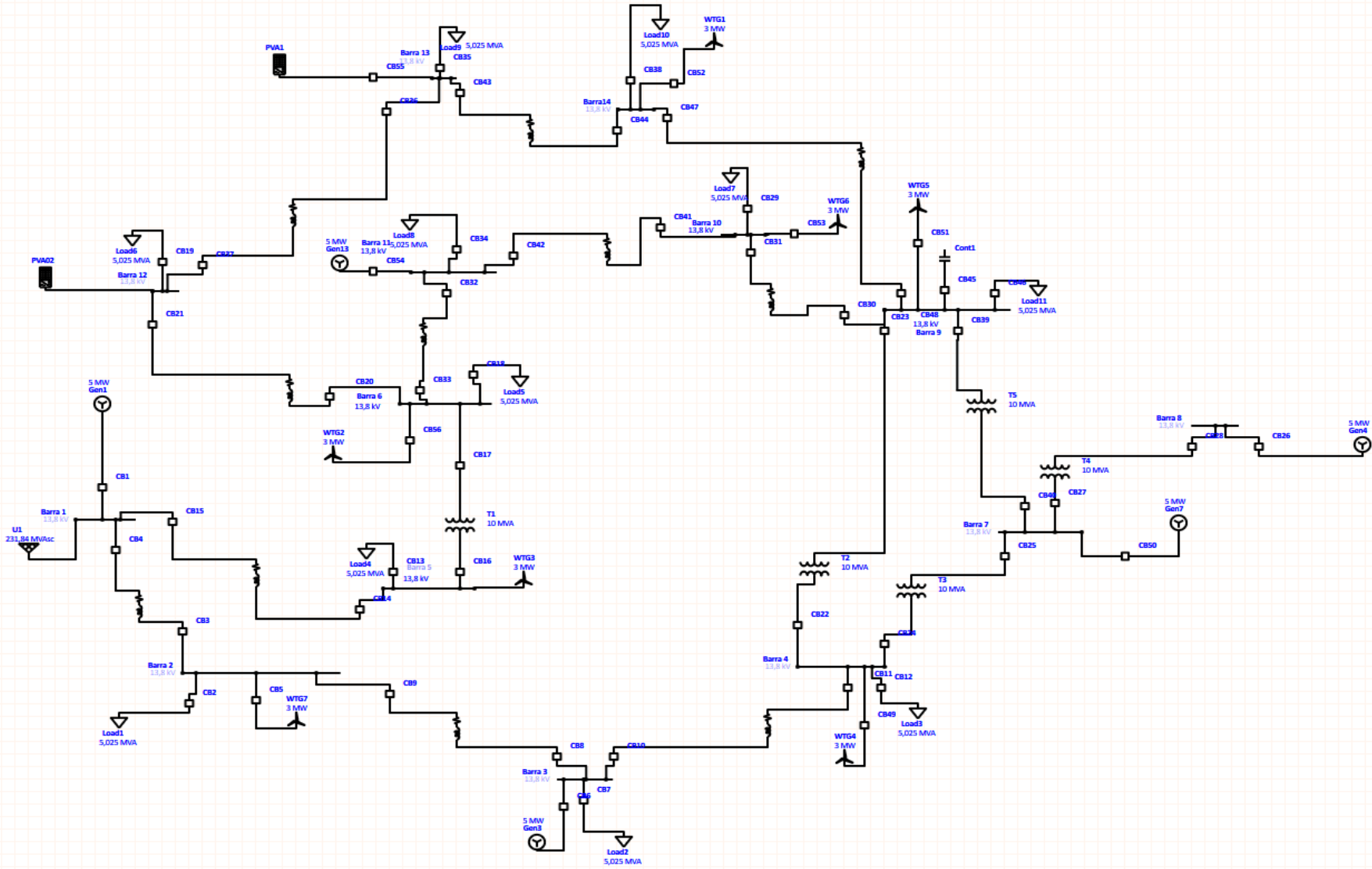


Figura 16. Sistema de 14 barras ETAP

## CAPÍTULO 5

### 5 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA

Esta metodología define los valores proporcionados por el software digsilent powerfactory con la normativa IEEE en el sistema de 14 barras descrita por el software y así mismo dichos valores son proporcionados por la aplicación ya mencionada. A medida que avanzo en la simulación colocamos los valores propuestos por digsilent y ETAP genera y ajusta datos en tiempo que hacemos la simulación, los cuales utilizo para llevar a cabo los análisis. Estos valores son generados por el software y no corresponden a datos reales obtenidos de sistemas físicos.

#### 5.1 Procedimiento de modelado del sistema en ETAP.

Para poder realizar el modelo propuesto utilizando el software ETAP, se realizaron configuraciones claves a los diferentes elementos:

##### 5.1.1 Configuración de barras:

- Asignación de nombres y valores de tensión nominal a cada una de las 14 barras (anexo 1).
- Establecer condiciones iniciales y límites operativos para cada barra (anexo 2).

##### 5.1.2 Configuración de generadores:

- Ingreso de datos técnicos para “Gen1, Gen3, Gen4, Gen7, Gen13”, incluyendo potencia nominal, tensión, factor de potencia, eficiencia, y tipo de conexión (anexo 3).
- Ajuste parámetros de control de tensión y características de inercia (anexo 4).

##### 5.1.3 Configuración de transformadores:

- Definición de parámetros técnicos para “T1, T2, T3, T4, T5”, como tensión primaria y secundaria, potencia nominal, impedancias y tipo de conexión (anexo 5).

- Configurar opciones de regulación de tensión (LTC) y detalles de conexión a tierra (anexo 6).

#### **5.1.4 Configuración de líneas de transmisión:**

- Detalles de las líneas, incluyendo longitud, tipo de conductor, resistencia, reactancia, y configuración física de los conductores (anexo 7).
- Ajuste de parámetros de agrupamiento y configuración de la tierra para asegurar una modelación precisa (anexo 8).

#### **5.1.5 Configuración de controlador de carga (Stactic Load)**

- Definición de parámetros en técnicos “Load1 hasta Load11”, como info y loading y reliability (Anexo 8 y 9).
- Ajuste de parámetros de resistencia como reliability Cable/Vd (Anexo 10 y 11).

#### **5.1.6 Configuración de Circuit Breaker**

- Definición de parámetros técnicos de “Circuit Breaker” como info (Anexo12).
- Configuración adecuada para rating (Anexo 13).
- Establecimiento de valores iniciales y constantes para reliability (Anexo 14).

#### **5.1.7 Configuración de paneles fotovoltaicos**

- Elección de librería correcta para el panel fotovoltaico PV Panel (Anexo 15)
- Configuración adecuada de paneles en serie y paralelo según la configuración de red eléctrica usada en el sistema de 14 barras (Anexo16)
- Definición de valores de inversión (Anexo17)

#### **5.1.8 Configuración de red eléctrica**

- Configuraciones adecuadas de la red eléctrica y/o calculo automático

### 5.1.9 Verificación del modelo

Para realizar la verificación del modelo se hizo una simulación de flujo de carga con el objetivo de encontrar algún tipo de error.

- Primero nos aseguramos de las configuraciones correctas (anexo 18)
- Con todas las configuraciones claras podemos ejecutar la simulación de flujo de carga.

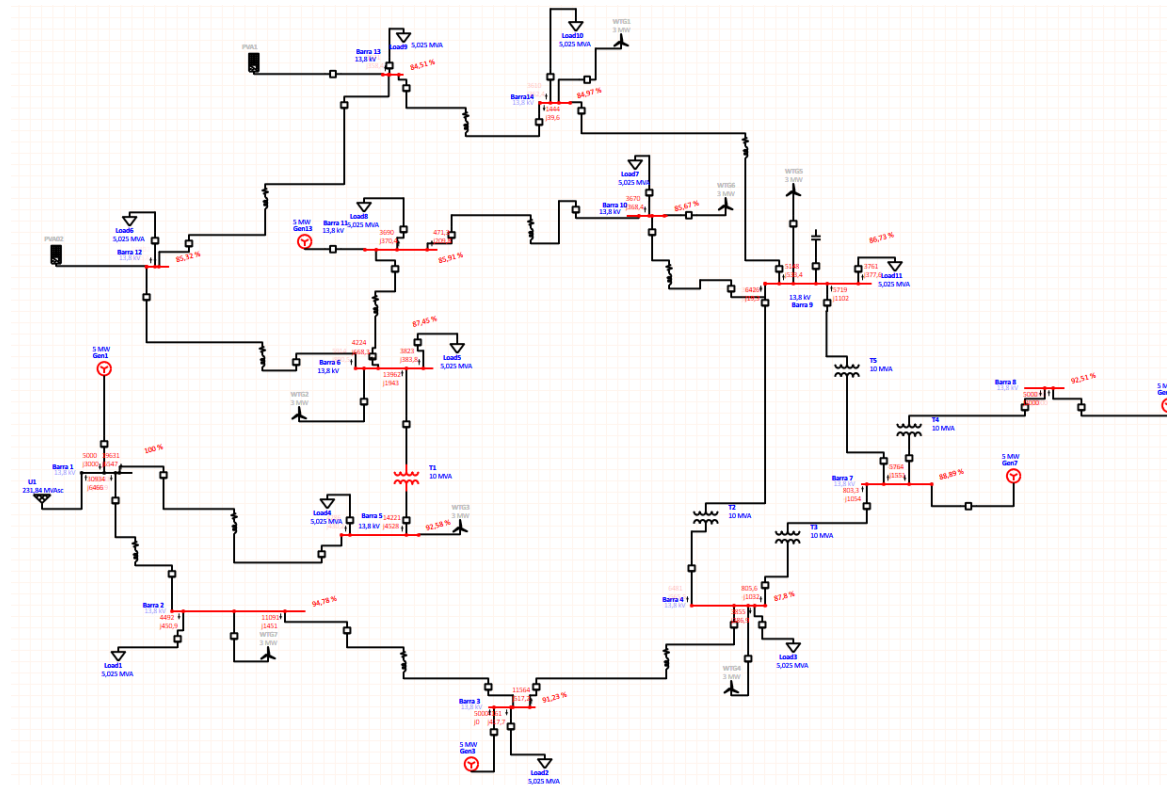


Figura 17. Flujo de carga con generadores eólicos y fotovoltaico apagados

### 5.1.8 Identificación de puntos críticos y análisis de pérdidas técnicas

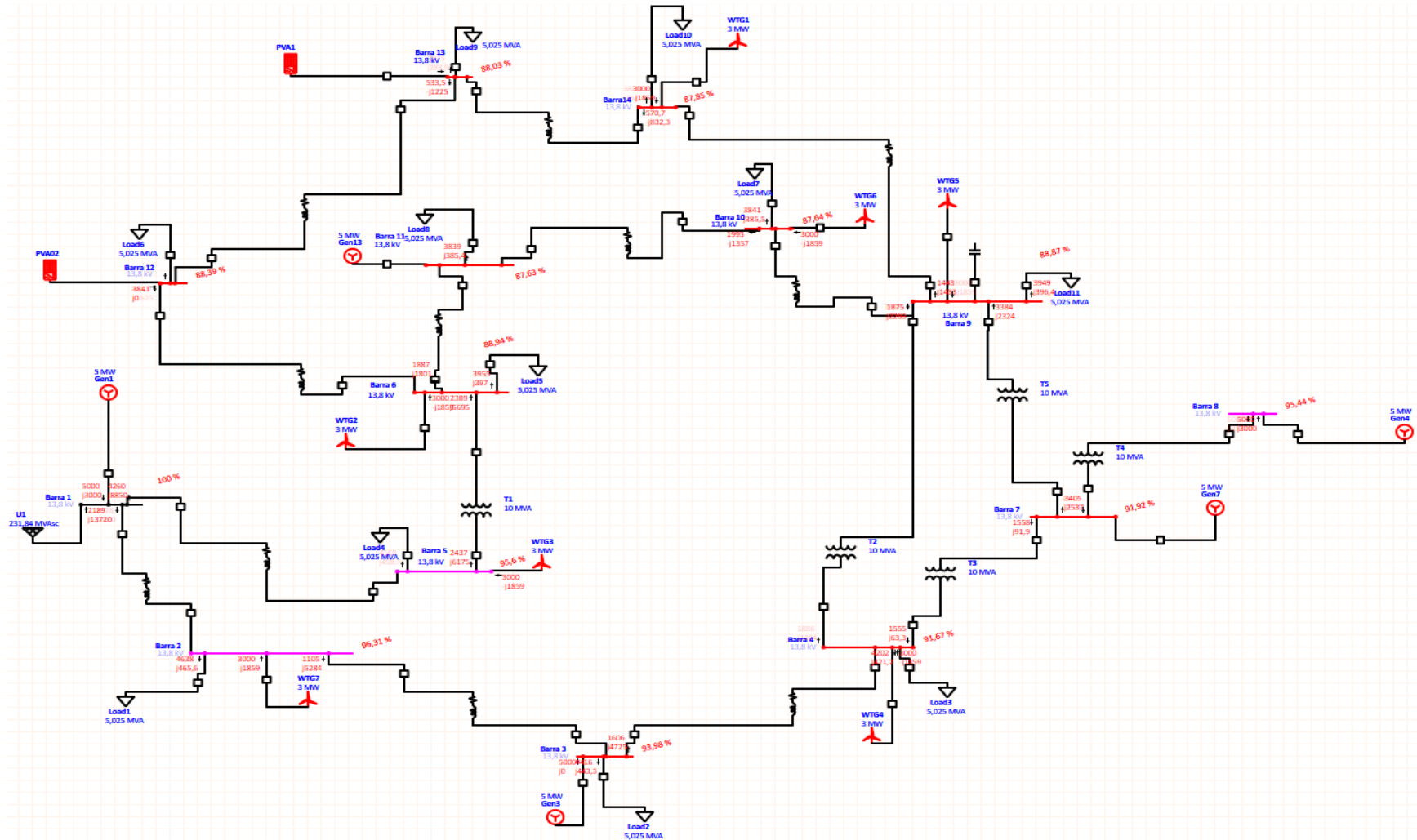


Figura 18. Flujo de carga con generadores eólicos y fotovoltaicos encendidos

### 1. Revisar los porcentajes de carga:

Observa los porcentajes de carga en cada barra. Los valores cercanos o superiores al 100% indican posibles sobrecargas. En la (Fig. 18), se puede ver que algunas barras están cerca del 100% de su capacidad.

### 2. Voltajes en las barras:

- Los valores de "% Bus Voltage" en la tabla cuando los generadores y paneles están encendidos indican el nivel de voltaje en los extremos "From" y "To" de cada línea o transformador. Las caídas significativas en el voltaje pueden ser indicativas de problemas de regulación de voltaje. Por ejemplo, en la Línea 13, el voltaje disminuye del 100.0% al 95.6%, lo cual es una caída considerable de 4.4%. Esto sugiere un problema potencial de subvoltaje en la barra "To", que podría afectar el rendimiento y la estabilidad del sistema.

### 3. Flujos de potencia y reactivos:

- Los flujos de potencia activa (MW) y reactiva (Mvar) en las líneas y transformadores. Valores altos o desbalanceados pueden indicar pérdidas significativas o líneas sobrecargadas. Por ejemplo, la Línea 13 presenta un flujo de -4.007 MW y -8.493 Mvar en la dirección "To-From", junto con pérdidas de 253.4 kW y 357.1 kvar, lo que indica una línea con alta demanda de potencia y reactivos.
- Otro punto crítico es el transformador T1, con un flujo de -2.389 MW y -5.695 Mvar en la dirección "To-From", acompañado de pérdidas de 48.0 kW y 479.9 kvar. Estas pérdidas sugieren una carga significativa en el transformador, lo que puede estar afectando su eficiencia operativa.
- Además, en la Línea 12, se observan pérdidas de 74.1 kW y 103.8 kvar, lo que indica una posible área de mejora en la eficiencia mediante la implementación de soluciones como la compensación reactiva o la optimización de la configuración del sistema.



## **Análisis de pérdidas técnicas**

### **1. Cálculo de pérdidas:**

- Para llevar a cabo un análisis detallado de las pérdidas técnicas en el sistema, es esencial utilizar las herramientas de simulación disponibles en ETAP, las cuales permiten calcular con precisión las pérdidas de potencia en cada sección del sistema. En este caso, las pérdidas técnicas se han calculado como la diferencia entre la potencia generada y la potencia que finalmente es consumida por las cargas. Por ejemplo, en el análisis se observa que las pérdidas totales alcanzan los 821.1 kW y 2183.8 kvar, lo que representa un impacto importante en la eficiencia general del sistema. Este tipo de información es fundamental para identificar los puntos críticos en la red y determinar qué secciones requieren atención prioritaria.

### **2. Identificación de áreas con altas pérdidas:**

- Tras calcular las pérdidas, es esencial identificar las áreas del sistema que están experimentando las mayores pérdidas. Las líneas y transformadores que presentan altos niveles de pérdidas son particularmente críticos y representan áreas donde la eficiencia del sistema podría mejorarse. En el análisis actual, destacan elementos como la Línea 13, que presenta pérdidas significativas de 253.4 kW y 357.1 kvar, lo que la convierte en un punto crítico que requiere atención. De manera similar, el Transformador T5 muestra pérdidas considerables de 212.2 kW y 212.3 kvar, indicando que este equipo está bajo una carga elevada que podría estar afectando su eficiencia. Estas áreas deben ser priorizadas para un análisis más profundo, ya que la optimización de estos elementos puede mejorar significativamente la eficiencia y estabilidad del sistema.
- Además, se recomienda evaluar las secciones donde el voltaje ha experimentado caídas importantes, como en la Línea 13 y el Transformador T1, lo que sugiere posibles problemas de regulación de voltaje que también pueden estar contribuyendo a las pérdidas observadas.

## 5.2 Análisis de pérdidas comparación de escenarios

### 5.2.1 Escenario 1: Generadores eólicos y fotovoltaico apagados

Para evaluar el comportamiento del sistema sin los generadores en operación, se realizó un análisis de flujo de carga con los generadores configurados fuera de servicio. A continuación, se presenta un análisis detallado de las pérdidas técnicas y el comportamiento del sistema en este escenario.

#### 1. Ejecución del Flujo de Carga:

- **Configuración Inicial:** Los generadores y paneles fueron configurados fuera de servicio (Service: Out) y se ejecutó el análisis de flujo de carga.
- **Resultados Obtenidos:** Se generó el informe de pérdidas técnicas en el sistema, que muestra cómo se distribuyen las pérdidas de potencia en ausencia de los generadores.

#### 2. Análisis de Pérdidas:

- **Pérdidas de Potencia Activa (MW):** En este escenario, las pérdidas de potencia activa total en el sistema son de 3375.3 kW lo que indica un incremento en las pérdidas debido a la falta de generación local y el aumento en la transferencia de carga a través de las líneas y transformadores.
- **Pérdidas de Potencia Reactiva (kVAR):** Las pérdidas de potencia reactiva total en el sistema son de 8,193.7 kVAR, distribuidas de la siguiente manera en cada línea y transformador del sistema:
  - Línea 10 presenta pérdidas de 131.4 kVAR.
  - Línea 11 muestra pérdidas de 51.1 kVAR.
  - Línea 12 tiene pérdidas de 596.7 kVAR.
  - Línea 13 presenta pérdidas significativamente altas de 1588.4 kVAR.
  - Línea 14 tiene pérdidas considerables de 10.17.1 kVAR.
  - Línea 15 muestra pérdidas de 516.0 kVAR.
  - Línea 16 muestra pérdidas de 23.5 kVAR.

- Línea 17 muestra pérdidas de 88.0 kVAR.
- Línea 7 muestra pérdidas de 10.0 kVAR.
- Línea 8 muestra pérdidas de 172.9 kVAR.
- Línea 9 muestra pérdidas de 0.6 kVAR.
- El transformador T1 muestra pérdidas de 2585.7 kVAR.
- El transformador T2 tiene pérdidas de 546.2 kVAR.
- El transformador T3 presenta pérdidas de 22.1 kVAR.
- El transformador T4 presenta pérdidas de 395.3 kVAR.
- El transformador T5 tiene pérdidas de 448.7 kVAR.

### Análisis resultante de perdidas.

#### Branch Losses Summary Report

Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Line10	5.148	0.533	-5.054	-0.402	93.5	131.4	86.7	85.0	1.76
Line11	3.236	0.210	-3.200	-0.159	36.7	51.1	86.7	85.7	1.06
Line12	11.564	0.517	-11.141	0.080	422.9	596.7	91.2	87.8	3.42
Line13	19.631	6.547	-18.506	-4.958	1124.8	1588.4	100.0	92.6	7.42
Line14	16.303	2.919	-15.583	-1.902	720.5	1017.1	100.0	94.8	5.22
Line15	11.091	1.451	-10.725	-0.935	365.8	516.0	94.8	91.2	3.56
Line16	2.152	0.352	-2.135	-0.329	17.2	23.5	85.3	84.5	0.81
Line17	4.224	0.668	-4.161	-0.580	62.8	88.0	87.4	85.9	1.54
Line7	-1.436	-0.030	1.444	0.040	7.6	10.0	84.5	85.0	0.46
Line8	5.914	0.891	-5.792	-0.718	122.9	172.9	87.4	85.3	2.13
Line9	-0.470	-0.209	0.471	0.210	0.9	0.6	85.7	85.9	0.23
T1	14.221	4.528	-13.962	-1.943	258.6	2585.7	92.6	87.4	5.13
T2	6.481	0.566	-6.426	-0.019	54.6	546.2	87.8	86.7	1.07
T3	0.806	-1.032	-0.803	1.054	2.2	22.1	87.8	88.9	1.08
T4	-4.960	-2.605	5.000	3.000	39.5	395.3	88.9	92.5	3.62
T5	5.764	1.551	-5.719	-1.102	44.9	448.7	88.9	86.7	2.15
					3375.3	8193.7			

\* This Transmission Line includes Series Capacitor.

**Tabla 3.resumen de perdidas escenario 1**

### 5.2.2 Escenario 2: Generadores eólicos y fotovoltaicos encendidos

Para evaluar el comportamiento del sistema sin los generadores y paneles en operación, se realizó un análisis de flujo de carga con estos elementos configurados fuera de servicio. A continuación, se presenta un análisis detallado de las pérdidas técnicas y el comportamiento del sistema en este escenario.

## Ejecución del flujo carga

Para llevar a cabo el análisis del flujo de carga con los generadores en operación, se realizaron los siguientes pasos:

1. **Configuración del sistema:** Asegurar que todos los generadores estén configurados correctamente y en estado "In Service" dentro del software ETAP. Esto implica revisar las configuraciones de los generadores y asegurar que sus parámetros de operación, tales como potencia activa y reactiva, estén correctamente definidos (anexo 19):
  - **Configuración de generadores y paneles:** Los generadores fueron ajustados para proporcionar los valores requeridos de potencia activa y reactiva en el sistema, lo cual se reflejó en los flujos de potencia observados en las líneas del sistema.
2. **Ejecución del análisis:** Se utilizó la opción "**Load Flow Analysis**" en **ETAP** para ejecutar el análisis de flujo de carga. Se seleccionó la opción correspondiente para visualizar las pérdidas técnicas ("Losses") y se generaron los informes necesarios (Anexos 20 y 21). Durante la ejecución del análisis, se observaron las caídas de voltaje en algunas barras y transformadores, especialmente en **T1** y **Línea 13**, que experimentaron caídas del **6.66%** y **4.40%**, respectivamente. Estas caídas indican posibles problemas de regulación de voltaje en el sistema.
  - **Panel de Load Flow Analysis:** La interfaz de análisis de flujo de carga en ETAP permitió visualizar las pérdidas tanto activas como reactivas en las diferentes líneas y transformadores.
  - **Selección de reporte:** Los reportes generados proporcionaron un desglose detallado de las pérdidas, permitiendo identificar áreas críticas como la **Línea 14** con pérdidas de 185.2 kW y 260.7 kVAR, y la **Línea 13** con pérdidas de 253.4 kW y 357.1 kVAR.
3. **Registro de resultados:** Los resultados del análisis incluyeron el comportamiento de voltajes y corrientes en el sistema, así como las pérdidas de potencia activa (kW) y reactiva (kVAR) en cada sección del sistema.

## Análisis resultante de pérdidas

### Branch Losses Summary Report

Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	% Drop in Vmag
Line10	1.443	1.433	-1.429	-1.414	13.8	18.6	88.9	87.8	1.02
Line11	2.866	0.929	-2.836	-0.887	30.2	41.9	88.9	87.6	1.23
Line12	1.606	4.725	-1.532	-4.622	74.1	103.8	94.0	91.7	2.31
Line13	4.260	8.850	-4.007	-8.493	253.4	357.1	100.0	95.6	4.40
Line14	2.928	7.870	-2.743	-7.609	185.2	260.7	100.0	96.3	3.69
Line15	1.105	5.284	-1.023	-5.169	82.5	115.7	96.3	94.0	2.33
Line16	-0.527	1.233	0.533	-1.225	6.0	7.8	88.4	88.0	0.36
Line17	1.887	1.801	-1.864	-1.770	22.6	31.1	88.9	87.6	1.31
Line7	-0.567	0.836	0.571	-0.832	3.5	4.1	88.0	87.8	0.18
Line8	-0.452	1.638	0.462	-1.625	9.6	12.8	88.9	88.4	0.55
Line9	1.995	-1.357	-1.975	1.385	19.9	27.4	87.6	87.6	0.01
T1	2.437	6.175	-2.389	-5.695	48.0	479.9	95.6	88.9	6.66
T2	1.886	2.404	-1.875	-2.293	11.1	110.5	91.7	88.9	2.80
T3	-1.555	-0.063	1.558	0.092	2.9	28.7	91.7	91.9	0.25
T4	-4.963	-2.629	5.000	3.000	37.1	371.4	91.9	95.4	3.52
T5	3.405	2.537	-3.384	-2.324	21.2	212.3	91.9	88.9	3.05
					821.1	2183.8			

**Tabla 4. Resumen de pérdidas escenario 2**

### Interpretación:

En la tabla anterior (**Tabla 3**), se puede observar que las líneas con mayores pérdidas de potencia activa son Line13 y Line14, con pérdidas de 1124.8 kW y 720.5 kW, respectivamente. Estas pérdidas son considerablemente más altas en comparación con otras líneas en el sistema, lo que indica que estas son áreas críticas que requieren atención para posibles mejoras en la eficiencia y la distribución de carga del sistema.

También se destaca la Line12, que presenta pérdidas de 422.9 kW, y el Transformador T1, con pérdidas de 258.6 kW, lo que sugiere que estos componentes están manejando una carga significativa, contribuyendo a las pérdidas del sistema.

Este análisis es fundamental para comprender cómo se comporta el sistema bajo condiciones sin generación distribuida. Al identificar las líneas con mayores pérdidas,

se puede priorizar la optimización en estas áreas para mejorar la eficiencia global del sistema. Además, este análisis establece una base de referencia que será útil para realizar comparaciones con otros escenarios, como un escenario con generadores y paneles activos, que se analizará en la siguiente sección.

### 5.2.3 Comparación con Escenario 2 (Generadores Encendidos):

- **Pérdidas de potencia activa:**
  - **Escenario 1:** Las pérdidas de potencia activa total fueron de 3375.3 kW.
  - **Escenario 2:** Las pérdidas de potencia activa total son 821.1 kW.
  
- **Pérdidas de potencia reactiva:**
  - **Escenario 1:** Las pérdidas de potencia reactiva total fueron de 8193.7 kvar.
  - **Escenario 2:** Las pérdidas de potencia reactiva total son de 2183.8 kvar.

### 5.2.4 Comportamiento del sistema

#### Voltajes y corrientes

- **Escenario 1 (Apagados):** En este escenario, los voltajes en las barras muestran caídas más pronunciadas. Por ejemplo, en Línea 13, el voltaje cae de 100% a 92.6%, y en Línea 14 de 100% a 94.8%, lo que indica una afectación significativa en la regulación de voltaje sin la contribución de la generación distribuida.
  
- **Escenario 2 (Encendidos):** En este escenario, las caídas de voltaje son menores. En Línea 13, por ejemplo, el voltaje desciende solo hasta 95.6% desde el 100%, mostrando una mayor estabilidad de voltaje debido a la generación activa en el sistema.

#### Caídas de tensión

##### Escenario 1:

- La Línea 13 muestra una caída de 7.42%.
- La Línea 14 tiene una caída de 5.22%.

- El Transformador T1 muestra una caída del 5.13%.

#### **Escenario 2:**

- La Línea 13 presenta una caída de tensión de 4.40%, lo que es significativamente menor.
- La Línea 14 muestra una caída de 3.69%.
- El Transformador T1 presenta una caída de 6.66%.

Esto indica que, aunque las caídas de tensión persisten, el sistema tiene una mejor capacidad de respuesta cuando los generadores están encendidos.

#### **Análisis comparativo de pérdidas técnicas en el sistema de 14 barras**

En este apartado, se presenta un análisis detallado de las pérdidas técnicas que se producen en el sistema de 14 barras tanto en condiciones normales como en un escenario con menos pérdidas. La evaluación se realiza considerando dos situaciones: con los generadores y paneles encendidos y apagados, con el objetivo de identificar los puntos críticos donde se generan las mayores pérdidas y proponer soluciones para minimizarlas.

#### **Tabla Comparativa de Pérdidas por Barra**

A continuación, se muestra una tabla que resume las pérdidas de potencia activa (kW) y reactiva (kVAR) en cada una de las barras del sistema, comparando los escenarios con generadores eólicos y fotovoltaicos apagados & generadores eólicos y fotovoltaicos encendidos.

Barra	Pérdidas con Generadores eólicos & fotovoltaico Apagados (kW)	Pérdidas con Generadores eólicos & fotovoltaicos Encendidos (kW)	Diferencia (kW)	Pérdidas con Generadores & paneles Apagados (kVAR)	Pérdidas con Generadores & paneles Encendidos (kVAR)	Diferencia (kVAR)	Comentario Explicativo
Line10	93,5	13.8	-79,7	67.1	18.6	-112,8	Las pérdidas activas disminuyen considerablemente, pasando de <b>93,5 kW a 13,8 kW</b> , lo que representa una reducción de <b>79,7 kW</b> . De manera similar, las pérdidas reactivas caen en <b>112,8 kVAR</b> . Esto indica una mejora significativa en la eficiencia al encender los generadores, lo que podría atribuirse a la cercanía o influencia directa de estos sobre esta línea.
Line11	36,7	30.2	-6,5	11.6	41.9	-9,2	Se observa una reducción modesta en las pérdidas activas ( <b>6,5 kW</b> ) y reactivas ( <b>9,2 kVAR</b> ). Aunque el impacto de los generadores es menor en comparación con otras barras, sigue siendo una mejora notable en términos de eficiencia.
Line12	422,9	74.1	-348,8	746.8	103.8	-492,9	La reducción en las pérdidas es significativa, especialmente en las pérdidas activas, que disminuyen en <b>348,8 kW</b> , mientras que las reactivas caen en <b>492,9 kVAR</b> . Esto indica que



							esta línea se ve muy beneficiada por la generación adicional, probablemente debido a una alta demanda que es compensada por los paneles fotovoltaicos.
Line13	1124,8	253.4	-871,4	1982.7	357.1	-1231,3	Esta línea muestra una de las mayores mejoras, con una reducción de <b>871,4 kW</b> en las pérdidas activas y <b>1231,3 kVAR</b> en las reactivas. Es posible que la línea soporte una carga importante, y la generación distribuida mejora sustancialmente su rendimiento, minimizando las pérdidas.
Line14	720,5	185.2	-535,3	1987.5	260.7	-756,4	Las pérdidas activas se reducen en <b>535,3 kW</b> , mientras que las reactivas disminuyen en <b>756,4 kVAR</b> . Este gran impacto indica que los generadores encendidos alivian de manera significativa la demanda en esta línea, mejorando la eficiencia del sistema.
Line15	365,8	82.5	-283,3	1273.3	115.7	-400,3	Hay una disminución de <b>283,3 kW</b> en las pérdidas activas y <b>400,3 kVAR</b> en las reactivas. La reducción es considerable, lo que refleja una mejora en la operación de esta barra con los generadores funcionando.
Line16	17,2	6.0	-11,2	54.4	7.8	-15,7	Se observa una reducción relativamente menor en las pérdidas activas ( <b>11,2 kW</b> ) y reactivas ( <b>15,7 kVAR</b> ). Aunque no es tan significativa como en otras

							barras, la mejora sigue siendo beneficiosa para la eficiencia general.
Line17	62,8	22.6	-40,2	158.7	31.1	-56,9	Esta barra experimenta una reducción de <b>40,2 kW</b> en pérdidas activas y <b>56,9 kVAR</b> en las reactivas. Aunque el cambio no es tan drástico, es consistente con la tendencia general de disminución de pérdidas cuando los generadores están encendidos.
Line7	7,6	3.5	-4,1	0.5	4.1	-5,9	Con una reducción de <b>4,1 kW</b> y <b>5,9 kVAR</b> , los generadores ayudan ligeramente en esta línea, pero el impacto es mucho menor en comparación con otras barras. Esto puede deberse a que la línea ya tiene pérdidas relativamente bajas.
Line8	122,9	9.6	-113,3	232.6	12.8	-160,1	Se observa una reducción importante en las pérdidas activas ( <b>113,3 kW</b> ) y reactivas ( <b>160,1 kVAR</b> ), lo que sugiere que esta barra tiene un gran beneficio con la presencia de los generadores encendidos, probablemente debido a su carga.
Line9	0,9	19.9	19	22.6	27.4	26,8	Las pérdidas aumentan en <b>19 kW</b> y <b>26,8 kVAR</b> . Esto podría deberse a una sobrecarga o algún fenómeno específico de esta barra.
T1	258,6	48.0	-210,6	3474.1	479.9	-2105,8	Esta barra muestra una de las mayores reducciones de pérdidas, con <b>210,6 kW</b>

							menos en pérdidas activas y <b>2105,8 kVAR</b> menos en reactivas. La presencia de los generadores alivia significativamente la carga en esta barra, lo que indica una alta mejora en eficiencia operativa.
T2	54,6	11.1	-43,5	448.4	110.5	-435,7	La reducción es notable, con <b>43,5 kW</b> menos en pérdidas activas y <b>435,7 kVAR</b> menos en reactivas. Esta barra se ve bastante beneficiada por los generadores, lo que mejora la distribución de la carga en el sistema.
T3	2,2	2.9	0,7	112.1	28.7	6,5	Las pérdidas activas aumentan ligeramente ( <b>0,7 kW</b> ), pero las reactivas disminuyen en <b>6,5 kVAR</b> . Aunque el impacto en esta barra no es significativo, la disminución en las pérdidas reactivas sigue siendo beneficiosa.
T4	39,5	37.1	-2,4	N/A	371.4	-23,9	Las pérdidas activas y reactivas apenas varían, con una reducción de <b>2,4 kW</b> y <b>23,9 kVAR</b> respectivamente. Esto indica que la influencia de los generadores es mínima en esta barra, lo que sugiere que ya operaba de manera eficiente.
T5	44,9	21.2	-23,7	112.1	212.3	-236,4	Las pérdidas activas se reducen en <b>23,7 kW</b> y las reactivas en <b>236,4 kVAR</b> . La mejora es moderada, lo que sugiere que los generadores ayudan a optimizar el rendimiento de esta barra en una

							medida considerable.
TOTAL	3375,40	821,1	-2554,3	10684,5	2183,8	-6010,00	Las pérdidas totales de potencia activa (kW) y reactiva (kVAR) disminuyen significativamente cuando los generadores eólicos y fotovoltaicos están encendidos. Esto se debe a que, con los generadores en operación, se reduce la sobrecarga en las líneas y transformadores, mejorando la eficiencia del sistema. La alta carga que se observa cuando los generadores están apagados refleja una mayor demanda de potencia, lo que genera mayores pérdidas debido a la mayor corriente circulando por el sistema y, en consecuencia, mayores caídas de tensión. En general, la operación de los generadores y paneles mejora notablemente la distribución de la carga, reduciendo las pérdidas tanto en potencia activa como en potencia reactiva.

*Tabla 5. Comparativa de pérdidas por barra*

### Resumen General:

En general, la mayoría de las barras experimentan una reducción significativa en las pérdidas tanto activas como reactivas cuando los generadores eólicos y fotovoltaicos están encendidos, mejorando la eficiencia del sistema. Las barras Line13, Line14, y T1 muestran las mayores reducciones, lo que puede ser indicativo de que estas áreas tienen un mayor impacto de la generación distribuida.

### **Interpretación de tabla comparativa**

La tabla presentada muestra las pérdidas de potencia activa (kW) y reactiva (kVAR) en diferentes barras y transformadores del sistema bajo dos escenarios: con los generadores y paneles encendidos y apagados. El análisis revela cómo la generación distribuida contribuye significativamente a reducir las pérdidas de potencia en el sistema y mejorar la eficiencia energética. A continuación, se detallan las conclusiones clave:

**Generadores y paneles encendidos ayudan a mitigar las pérdidas:** En casi todas las barras, las pérdidas de potencia activa y reactiva son notablemente menores cuando los generadores y paneles están encendidos. Esto se debe a que la generación distribuida, al proveer energía localmente, reduce la demanda de energía a través de las líneas y disminuye la carga reactiva que necesita ser compensada.

- Por ejemplo, en la Línea 13, las pérdidas activas pasan de 1403.8 kW en el escenario con generadores apagados a solo 253.4 kW cuando están encendidos. Esto refleja una disminución significativa de la demanda de carga y un mayor aprovechamiento de la generación local, que mejora la estabilidad del sistema y reduce la necesidad de transferencias de potencia a larga distancia.
- En la Línea 12, se observa un comportamiento similar, donde las pérdidas activas se reducen de 422.9 kW a 74.1 kW cuando los generadores están encendidos, y las pérdidas reactivas bajan de 596.7 kVAR a 103.8 kVAR. Esto indica que la generación local ayuda a mitigar tanto las pérdidas activas como las reactivas, optimizando el flujo de potencia en la red.

**Transformadores muestran mejor desempeño con generación activa:** Los transformadores también se ven beneficiados cuando los generadores y paneles están en funcionamiento. Las pérdidas reactivas en los transformadores tienden a ser significativamente más bajas en este escenario.

- Por ejemplo, en el Transformador T1, las pérdidas reactivas se reducen de 2585.7 kVAR en el escenario con generadores apagados a 479.9 kVAR cuando están

encendidos. Esto refleja cómo la generación activa reduce la sobrecarga de los transformadores, mejorando la estabilidad del sistema y reduciendo el estrés sobre la infraestructura.

**Líneas críticas experimentan una disminución drástica en pérdidas:** Las líneas con alta demanda, como las Líneas 13 y 14, muestran una notable reducción en las pérdidas cuando los generadores están activos. En el caso de la Línea 14, las pérdidas reactivas pasan de 1017.1 kVAR a 260.7 kVAR cuando los generadores están encendidos. Esto sugiere que la generación local está contribuyendo significativamente a reducir la sobrecarga reactiva en estas líneas críticas.

**Reducción de la carga reactiva:** En general, la presencia de generadores y paneles encendidos reduce la demanda de compensación reactiva, lo que se refleja en la disminución de las pérdidas reactivas en todo el sistema. Esto es particularmente evidente en líneas como la Línea 15, donde las pérdidas reactivas pasan de 516.0 kVAR a 115.7 kVAR. La reducción de la carga reactiva se traduce en una mayor estabilidad del sistema, una mejor regulación del voltaje y una mayor eficiencia energética.

**Eficiencia energética mejorada:** La generación distribuida no solo contribuye a la estabilidad del voltaje y la reducción de pérdidas reactivas, sino que también mejora la eficiencia energética general del sistema. La reducción de las pérdidas activas en casi todas las barras y transformadores, como se observa en la Línea 16 (de 17.2 kW a 6.0 kW) y la Línea 8 (de 122.9 kW a 9.6 kW), evidencia que la generación distribuida optimiza el uso de los recursos eléctricos y reduce la pérdida de energía durante la transmisión.

**Impacto de la generación distribuida en la estabilidad del sistema:** El análisis muestra claramente que la presencia de generadores eólicos y paneles fotovoltaicos contribuye a la mejora de la estabilidad del sistema. Las caídas de voltaje se mitigan, y las pérdidas de energía se reducen de manera considerable, lo que refleja una mejor respuesta del sistema ante fluctuaciones de carga y una mayor capacidad para mantener voltajes dentro de los niveles aceptables.

## CAPITULO 6

### Análisis de resultados

#### 6 resultados del escenario 1: generadores eólicos y fotovoltaicos apagados

En el escenario en el que todos los generadores están apagados, se identificaron las siguientes características principales:

- **Voltajes en Barras:**

En el escenario donde los generadores están apagados, los voltajes en las barras pueden estar más cercanos a los límites inferiores debido a la falta de generación distribuida, lo que reduce la capacidad del sistema para mantener niveles de tensión óptimos, especialmente en áreas con alta demanda de potencia.

- **Flujos de Potencia:**

En este escenario, los flujos de potencia a través de las líneas son más altos, ya que la demanda de potencia activa (kW) y reactiva (kVAR) debe ser suministrada principalmente por las plantas generadoras centrales. Esto provoca mayores pérdidas en las líneas debido a la distancia desde las fuentes principales de generación hasta las cargas.

- **Comparación de Resultados:**

En este escenario, se observan pérdidas de potencia más altas tanto activas como reactivas. El total de pérdidas es de 3375,4 kW y 8193,7 kVAR, lo que refleja una mayor ineficiencia del sistema debido a la falta de generación local. Los flujos de potencia son más significativos a través de las líneas más largas y de mayor carga.

## 6.1 Resultados del escenario 2: generadores eólicos y fotovoltaicos encendidos

En el escenario en el que todos los generadores están en operación, se identificaron las siguientes características principales:

- **Voltajes en Barras:**

Con los generadores encendidos, los voltajes en las barras mejoran considerablemente, ya que la generación distribuida reduce la caída de tensión al acercar las fuentes de potencia a las cargas. Esto ayuda a mantener los voltajes en un rango más estable y cercano a los niveles nominales en todo el sistema.

- **Flujos de Potencia:**

En este escenario, los flujos de potencia en las líneas disminuyen, ya que las cargas locales ahora son parcialmente suministradas por los generadores distribuidos (eólicos y fotovoltaicos). Esto reduce la cantidad de potencia que debe ser transmitida desde los generadores centrales, lo que a su vez disminuye las pérdidas en las líneas.

- **Comparación de Resultados:**

En este escenario, se observa una reducción significativa de las pérdidas. Las pérdidas totales se reducen a 821,1 kW en potencia activa y a 2183,8 kVAR en potencia reactiva. En comparación con el escenario 1, las pérdidas activas disminuyen en 2554,3 kW y las reactivas en 6010,0 kVAR, lo que indica una mejora notable en la eficiencia del sistema gracias a la integración de la generación distribuida.

## 6.2 Análisis Comparativo de Escenarios

El análisis comparativo de ambos escenarios evidencia que:

**Pérdidas técnicas en líneas y transformadores:** Las pérdidas técnicas en líneas y transformadores se reducen de manera significativa al encender los generadores distribuidos. En el escenario con los generadores apagados, las pérdidas totales en las líneas y transformadores son de 3375,4 kW en potencia activa y 8193,7 kVAR en potencia reactiva.



Sin embargo, al activar los generadores eólicos y fotovoltaicos, estas pérdidas disminuyen a 821,1 kW en potencia activa y 2183,8 kVAR en potencia reactiva. Esto representa una reducción del 75.6% en las pérdidas de potencia activa (2554,3 kW menos) y una reducción del 73.3% en las pérdidas de potencia reactiva (6010,0 kVAR menos).

**Impacto en la eficiencia del sistema:** La activación de los generadores distribuidos mejora notablemente la eficiencia del sistema. Al reducir las pérdidas en las líneas y transformadores, disminuyen los flujos de potencia requeridos desde las fuentes centrales de generación, lo que optimiza el uso de los recursos energéticos y alivia las cargas en las infraestructuras de transmisión y distribución.

Además, la integración de los generadores eólicos y fotovoltaicos permite mantener los niveles de voltaje más cercanos a sus valores nominales, lo que contribuye a una operación más estable y confiable del sistema eléctrico. Este aumento en la eficiencia reduce la dependencia de la generación centralizada, mejora la calidad del suministro eléctrico y minimiza la necesidad de inversiones en ampliaciones de infraestructura.

**En resumen,** la generación distribuida no solo ayuda a reducir las pérdidas técnicas, sino que también mejora la estabilidad y eficiencia global del sistema, brindando beneficios tanto económicos como operativos.

## Conclusiones

- **Datos recopilados durante las pruebas piloto o estudios de campo:** El análisis de los datos obtenidos en las pruebas piloto y estudios de campo (En **ETAP**) muestra que la implementación de sistemas de generación distribuida (eólica y fotovoltaica) tiene un impacto positivo significativo en la reducción de pérdidas técnicas dentro de un sistema de distribución. La proximidad de las fuentes de generación a las cargas contribuye a minimizar las pérdidas de potencia activa y reactiva, mejorando la eficiencia energética del sistema.

Además, la generación distribuida ayuda a estabilizar los niveles de voltaje, lo que se traduce en una mejora en la calidad del suministro eléctrico, garantizando un servicio más confiable y eficiente para los usuarios. Estos resultados respaldan la viabilidad técnica y económica de la generación distribuida como una solución sostenible para los desafíos energéticos actuales.

- **Ubicaciones estratégicas para la generación distribuida:** Los resultados indican que las pérdidas se concentran en líneas y transformadores específicos, como Line13, Line14, T1 y T2. Esto sugiere que la implementación de sistemas de generación distribuida, tanto eólica como fotovoltaica, debe priorizarse en las barras que alimentan estas líneas, ya que la generación local podría reducir la carga en estas zonas críticas y disminuir las pérdidas reactivas.
- **Impacto de la generación distribuida en pérdidas técnicas:** La comparación entre los escenarios de generadores encendidos y apagados demuestra que la generación distribuida contribuye a una mayor estabilidad del sistema, pero introduce una carga reactiva adicional que incrementa las pérdidas. Para maximizar los beneficios de la generación distribuida, será necesario implementar estrategias de compensación reactiva adecuadas y optimizar la ubicación de los generadores para reducir el impacto en las pérdidas activas y reactivas, mejorando así la eficiencia general del sistema eléctrico.

## Recomendaciones

- **Optimización de la compensación reactiva:** Dado que la generación distribuida introduce una mayor demanda de potencia reactiva, es recomendable implementar dispositivos de compensación, como bancos de capacitores, en puntos estratégicos del sistema, especialmente en las líneas y transformadores que presentan mayores pérdidas, como Line13, Line14 y los transformadores T1 y T2.
- **Ubicación estratégica de la generación distribuida:** Se recomienda priorizar la instalación de generadores eólicos y fotovoltaicos en las barras y líneas que manejan una alta transferencia de potencia, como Line13 y Line14. Esto ayudará a reducir la carga en estas líneas y disminuir las pérdidas, tanto activas como reactivas.
- **Monitoreo y control avanzado:** Es crucial implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para ajustar dinámicamente los parámetros de operación de la generación distribuida en función de las condiciones de carga y demanda. Esto permitirá reducir las pérdidas técnicas y optimizar la eficiencia del sistema de manera continua.
- **Reconfiguración de la red:** Basado en los resultados obtenidos, es recomendable considerar una reconfiguración de las líneas y transformadores más críticos para mejorar la distribución de carga y reducir las sobrecargas que incrementan las pérdidas técnicas. En especial, se deben reevaluar las capacidades de los transformadores T1 y T2 para manejar mejor la demanda de potencia reactiva.
- **Simulación periódica y planificación:** Es necesario continuar utilizando herramientas como ETAP para realizar simulaciones periódicas y evaluar distintos escenarios de operación. Estas simulaciones ayudarán a anticipar posibles puntos críticos y a ajustar la operación de la generación distribuida y los sistemas de compensación reactiva en función de los resultados obtenidos.
- **Capacitación técnica:** Se recomienda capacitar al personal técnico en el uso avanzado de herramientas de simulación y gestión de sistemas eléctricos para poder optimizar la operación y reducir las pérdidas en tiempo real, asegurando un uso eficiente de los recursos energéticos distribuidos.

- **Integración de políticas de energía:** Finalmente, es fundamental desarrollar políticas y normativas que fomenten la integración de generación distribuida de forma eficiente, incentivando la reducción de pérdidas y la mejora en la eficiencia del sistema, considerando tanto la estabilidad del voltaje como la reducción de las pérdidas técnicas.

## Referencias.

- [1] P. K. Shukla and K. Deepa, “Deep learning techniques for transmission line fault classification – A comparative study,” *Ain Shams Engineering Journal*, 2023, doi: 10.1016/j.asej.2023.102427.
- [2] P. Rani, V. Parkash, and N. K. Sharma, “Technological aspects, utilization and impact on power system for distributed generation: A comprehensive survey,” Mar. 01, 2024, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2023.114257.
- [3] Briones Brigette and Pincay Bethzabeth, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL,” GUAYAQUIL, 2020.
- [4] RUIZ MALDONADO MILTON GONZALO, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELÉCTRICO,” Quito, Feb. 2020.
- [5] J. Pilatásig, D. Carrión, J. Pilatásig Lasluisa, and D. Carrión, “Citación: Electrical Power Systems Resilience by Switching of Power Transmission Lines-State of art.” [Online]. Available: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>
- [6] F. Mosquera and D. Carrión, “Optimal location of virtual generation plants in electric power systems based on optimal power flows.” [Online]. Available: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>
- [7] “SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA USANDO MÉTODOS COMPLETOS, DESACOPLADOS Y LINEALIZADOS.”
- [8] M. Campaña, P. Masache, E. Inga, and D. Carrión, “VOLTAGE STABILITY AND ELECTRONIC COMPENSATION IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS USING SIMULATION MODELS,” *Ingenius*, vol. 2023, no. 29, pp. 9–23, Jan. 2023, doi: 10.17163/ings.n29.2023.01.
- [9] D. Paúl Romero-Carrión and D. Francisco Carrión-Galarza, “Análisis bibliométrico de la planeación de expansión de los sistemas eléctricos de potencia Bibliometric analysis from expansion planning of electric power systems,” *Revista ITECKNE-Universidad*, vol. 18, no. 2, pp. 150–160, 2021, doi: 10.15332/iteckne.
- [10] NATHALY IVETTE MANTILLA CALDERÓN, “SIMULACIÓN DE FLUJOS DE POTENCIA CON PRESENCIA DE CONTENIDO ARMÓNICO USANDO EL MÉTODO FRECUENCIAL,” Quito, Sep. 2020.
- [11] JUAN MANUEL ESCAÑO GONZÁLEZ and ARTURO ANDRADE ORTÍZ, *Sistemas de potencia*. España, 2021. Accessed: Jul. 07, 2024. [Online]. Available: [https://www.google.com/books/edition/Sistemas\\_de\\_potencia\\_E\\_Book/t9S8zgEACAAJ?hl=es-419&kptab=overview](https://www.google.com/books/edition/Sistemas_de_potencia_E_Book/t9S8zgEACAAJ?hl=es-419&kptab=overview)
- [12] Acosta Montoya Alvaro, *Analisis de Sistemas Electricos de Potencia*, 3ra edicion. Bogota : [www.edicionesdelau.com](http://www.edicionesdelau.com), 2020. Accessed: Jul. 07, 2024. [Online].

- Available:  
[https://books.google.com.ec/books?id=4gcYEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=4gcYEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [13] Balbás García Francisco Javier, *Sistemas de energía eléctrica en alta tensión*, 2<sup>a</sup> edición. Universidad de Cantabria, 2020. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books/about/Sistemas\\_de\\_energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica\\_en\\_alta.html?id=THj6EAAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Sistemas_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica_en_alta.html?id=THj6EAAAQBAJ&redir_esc=y)
- [14] Escaño Gonzales Juan Manuel and Nuevo Garcia Antonio, *Sistema Electrico y Electronico*, 1ra edicion. Madrid , 2021. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=DnE-EAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=DnE-EAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [15] Oscar Danilo Montoya Giraldo, Andrés Escobar Mejía, Walter Julián Gil González, and Alejandro Garcés Ruiz, *Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución*, UTB. Cartagena de Indias, 2020. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=yiovEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=yiovEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [16] José Ramón Dapena Traseira, *Electrotecnia para ingenieros*, 1ra edicion. 2023. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=bv3DEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=bv3DEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [17] Luis Vargas, Jannik Haas, Lorenzo Reyes, and D. M. Felipe Salinas, *Generación de energía eléctrica con fuentes renovables*, 1ra edicion. Saantiago de Chile , 2020. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=0Pp6EAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=0Pp6EAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [18] Niño Vega Jorge Armando, Gutiérrez Barrios Guerly José, and Fernández Morales Flavio Humberto, “Dialnet-RecursoEducativoDigitalParaElUsoRacionalDeLaEnergí-8145530”.
- [19] J. Trashorras Montecelos, *Almacenamiento de energía eléctrica*.
- [20] Edición Emd, *Manual de Alta Tensión: Generación, aparamenta, canalización, puesta a tierra*. 2021. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books/about/Manual\\_de\\_Alta\\_Tensi%C3%B3n.html?id=ZvOczgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Manual_de_Alta_Tensi%C3%B3n.html?id=ZvOczgEACAAJ&redir_esc=y)
- [21] Í. Del Guayo Castiella, “Concepto, contenidos y principios del derecho de la energía,” *Revista de Administración Pública*, no. 212, pp. 309–345, Jul. 2020, doi: 10.18042/cepc/rap.212.12.
- [22] M. S. Enrique, N. Crespo, C. Santiago, L. Choy, C. Roberto, and P. Padrón, “Aproximación epistemológica al concepto de modo de actuación Epistemological approach to the concept of mode of action.” [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0001-5229-2189>

- [23] Vinicius Silva, Stefania Relva, Miguel Udaeta, André Gimenes, and Drielli Peyerl, “152-Texto del artículo-1710-1-10-20210614”.
- [24] A. J. Saavedra-Montes and G. J. Sanchez Zuluaga, “Método de enseñanza/aprendizaje aplicado a los sistemas de energía eléctrica,” *Scientia et Technica*, vol. 27, no. 1, pp. 7–14, Mar. 2022, doi: 10.22517/23447214.24546.
- [25] R. Aguado Molina, J. L. Casteleiro Roca, E. Jove Pérez, F. Zayas Gato, H. Quintián Pardo, and J. L. Calvo Rolle, *Hidrógeno y su almacenamiento: el futuro de la energía eléctrica*. Servicio de Publicaciones, 2021. doi: 10.17979/spudc.9788497497985.
- [26] A. B. Poque González, “116-Texto del artículo-1206-2-10-20201012,” Jun. 2020.
- [27] Francisco Javier Balbás García, *Sistemas de energía eléctrica en alta tensión*, 2da edición. 2024.
- [28] M. Saltos, A. Velásquez, M. Aguirre, A. Villamarín, J. R. Haro, and D. Ortiz, “Artículo Académico / Academic Paper Optimal Planning of Distributed Energy Resources for Enhancing the Electric Power Distribution System Resilience against Natural Hazards: Case on Volcanic Lahars Planificación Óptima de Recursos Energéticos Distribuidos para Mejorar la Resiliencia de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica frente a Desastres Naturales: Caso en Lahares Volcánicos,” 2022.
- [29] A. Latina and E. Caribe, “Acceso y asequibilidad a la energía eléctrica en,” 2019. [Online]. Available: [www.iadb.org/serviciosdeinfraestructura](http://www.iadb.org/serviciosdeinfraestructura)
- [30] A. Levy, D. Messina, and R. Contreras Lisperguer, “Definiciones del sector eléctrico para la incorporación de las energías renovables variables y la integración regional en América Latina y el Caribe.” [Online]. Available: [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)
- [31] E. Serrani, “12 América Latina: Hacia una agenda multidisciplinar para analizar las transiciones energéticas América Latina: Hacia una agenda multidisciplinar para analizar las transiciones energéticas América Latina: rumbo a una agenda multidisciplinar de transições de energia para análise,” 2020.
- [32] J. Alexander *et al.*, “ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA QUE FACILITE EL USO DEL SOFTWARE ETAP APLICÁNDOLO AL STN,” BOGOTÁ, 2002.
- [33] “UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA Capítulo 1 Celdas Fotovoltaicas 1.1 Sistema de Generación Solar.”
- [34] MEDINA PICHUCHO MARCO ALEJANDRO, “UNIVERSIDAD POLITECNICA NACIONAL,” 2024.
- [35] Yacelga Viteri Kevin Alexander, “Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico,” UNIVERSIDA TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2023.
- [36] “Análisis-de-Sistemas-de-Potencia-Grainger-Stevenson,” 2020.
- [37] VINICIO SEBASTIAN RIBADENEIRA RAMÍREZ, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

MEJORAMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN POR MEDIO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA UTILIZANDO UNA METODOLOGÍA PROBABILÍSTICA BIVARIADA TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE,” Quito, Dec. 2020.

- [38] O. N. Mata, G. Gómez-Ramírez, F. Acuña Rojas, and C. González Solís, “Metodología para Evaluar la Condición de Transformadores Eléctricos de Potencia Basada en un Índice de Salud Compuesto,” *Ingeniería*, vol. 33, no. 1, pp. 48–65, Nov. 2022, doi: 10.15517/ri.v33i1.50613.
- [39] Caicedo Rivadeneira and Javier Andrés, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELÉCTRICO,” 2022.
- [40] N. Vojnović, J. Vidaković, and M. Vidaković, “Decoupled load flow for large-scale multiphase distribution networks,” *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 34, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.segan.2023.101049.



## ANEXOS

## Configuración de barras:

Bus Editor - Barra 1

Info	Phase V	Load	Motor/Gen	Rating	Arc Flash	Protection												
13,8 kV 0 Amps			Asymmetrical 0 kA															
Info ID: Barra 1 Nominal kV: 13,8				Revision Data Base														
Bus Voltage <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>% V</th> <th>kV</th> <th>Angle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Initial</td> <td>100</td> <td>13,8</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Operating</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					% V	kV	Angle	Initial	100	13,8	0	Operating	0	0	0	Condition Service: <input checked="" type="radio"/> In <input type="radio"/> Out State: As-Built		
	% V	kV	Angle															
Initial	100	13,8	0															
Operating	0	0	0															
Equipment Tag #: <input type="text"/> Name: <input type="text"/> Description: <input type="text"/> Priority: Critical				Connection <input checked="" type="radio"/> 3 Phase <input type="radio"/> 1 Phase 2W <input type="text"/> <input type="radio"/> 1 Phase 3W														
Classification Zone: 1 Area: 1 Region: 1				Load Diversity Factor Min: 80% Max: 125%														
				Voltage Limit Min: 90% Duration: 0 Cycle														

Barra 1

OK Cancel

Anexo 1.configuración de barras

Bus Editor - Barra 1

Hamonic		Reliability		Remarks		Comment		
Info	Phase V	Load	Motor/Gen	Rating	Arc Flash	Protection		
13.8 kV 0 Amps				Asymmetrical 0 kA				
Standard <input checked="" type="radio"/> ANSI <input type="radio"/> IEC		Type Other		Enclosure Isolation <input checked="" type="checkbox"/> Main PD				
Continuous		Bracing						
Arc Flash Parameters								
Gap Between Conductors / Buses			13	mm	Distance X Factor			2
Gap Between Conductors L-G			51	mm				
Electrode Configuration			VCB		Enclosure Editor			
Conductor Type			Copper					
Height	660	mm	Width	660	mm	Depth	660	mm
Reflectivity Coefficients		a	100	mm	k	0.127		
Shock Protection (NFPA 70E)								
Print on Label		<input type="radio"/> Limited Approach Boundary		10' 0"	ft-in	Exp. Movable Conductor		
		<input checked="" type="radio"/> Limited Approach Boundary		5' 0"	ft-in	Fixed Circuit Part		
		Restricted Approach Boundary		2' 2"	ft-in			
				Typical Data				
				Data Options				
Insulating Glove Class		2	V-Rating		17000	VAC		
Shock Hazard when		covers removed						
<input checked="" type="checkbox"/> Automatically Update Arc Flash and Shock Protection Data								

Barra 1

OK Cancel

Anexo 2. Condiciones iniciales

### Configuración de generadores:

Synchronous Generator Editor - Generado distribuido 1

Hamonic Protection Reliability Fuel Cost Time Domain O and M Remarks Comment  
 Info Rating Capability Imp/Model Grounding Inertia Exciter Governor PSS

13,8 kV 5 MW Voltage Control

Rating

MW kV % PF MVA % Eff. Poles  
 5 13,8 85 5,882 95 4

% of Bus Nom. kV FLA RPM  
 100 246,1 1800

	Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Qmax	Qmir
1	Design	100		5			3	-3
2	Normal	100		5			3	-3
3	Shutdown	0		0			0	0
4	Emergency	100		4			3	-3
5	Standby	100		0			0	0

Prime Mover Rating

Continuous Peak  
 HP MW HP MW  
 6705,1 5 6705,1 5

Mvar Limits

Capability Curve  User-Defined Peak Mvar  
 3,099

Operating Values

% V Vangle MW Mvar  
 0 0 0 0

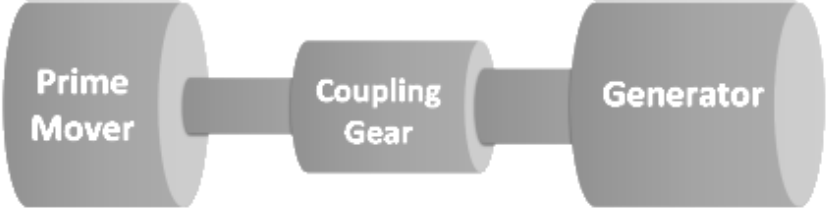
Generado distribuido 1 OK Cancel

Anexo 3. Configuración de generadores

Synchronous Generator Editor - Generado distribuido 1

Hammonic Protection Reliability Fuel Cost Time Domain O and M Remarks Comment  
 Info Rating Capability Imp/Model Grounding Inertia Exciter Governor PSS

13,8 kV 5 MW Voltage Control



**Inertia Calculator**

	PrimeMover	Coupling	Generator	Total
RPM	1800	1800	1800	1800
WR <sup>2</sup>	27508	1572	39297	68377
H	3,5	0,2	5	8,7

Include Torsion Effect

Generado distribuido 1

OK Cancel

Anexo 4. Parámetros de control

## Configuración de transformadores:

2-Winding Transformer Editor - T1

Reliability      Remarks      Comment

Info   Rating   Impedance   Tap   Grounding   Sizing   Protection   Harmonic

10 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C      13,8   13,8 kV

**Voltage Rating**

	kV	FLA	Nominal Bus kV
Prim.	13,8	418,4	13,8
Sec.	13,8	418,4	13,8

Other 65

**Z Base**

MVA

10

**Power Rating**

MVA

Rated 10

Other 65

Derated 10

% Derating 0

**Alert - Max**

MVA

10

Derated MVA

User-Defined

**Installation**

Altitude 3300 ft

Ambient Temp. 30 °C

MFR

**Type / Class**

Type	Sub Type	Class	Temp. Rise
Liquid-Fill	Other	Other	65

T1



OK Cancel

Anexo 5. Configuración de transformadores

2-Winding Transformer Editor - T1

Reliability			Remarks			Comment	
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
10 MVA	ANSI	Liquid-Fill Other 65 C				13,8	13,8 kV

**Impedance**

	%Z	X/R	R/X	%X	%R
Positive	10	10	0,1	9,95	0,995
Zero	10	10	0,1	9,95	0,995

Typical Z & X/R    Typical X/R

**Z Base**

MVA

10

Other 65

**Z Variation**

	%Z	% Z Variation
@ -5 % Tap	10	0
@ 5 % Tap	10	0








**Z Tolerance**

+ 0 %

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

	% FLA	kW	% G	% B
Positive	0	0	0	0
Zero	0	0	0	0

Buried Delta Winding    Zero Seq. Impedance    Typical Value





T1



OK Cancel

Anexo 6. Opciones de regulación de tensión

### Configuración de líneas de transmisión:

Transmission Line Editor - Line2

Sag & Tension	Ampacity	Compensation	Reliability	Remarks	Comment	
Info	Parameter	Configuration	Grouping	Earth	Impedance	Protection
Phase Conductor						
Conductor Type	R-T1 (75 °C)	R-T2 (75 °C)	Xa	Conductor Lib...		
CU	0,5	0,5	0,4526	ohms per 1 mile		
Outside Diameter	GMR	Xa'		Cond. Wire Lib...		
0,5 in	0,024 ft	0,1148		megohms per 1 mile		
Ground Wire						
Conductor Type	R-T1 (75 °C)	R-T2 (75 °C)	Xa	Ground Wire Lib...		
CU	0,6	0,6	0,4	ohms per 1 mile		
Outside Diameter	GMR	Xa'		Cond. Wire Lib...		
0,5 in	0,03701 ft	0,1148		megohms per 1 mile		

Line2

OK Cancel

Anexo 7. Configuración de líneas de transmisión

## Parámetros en técnicos Load1 hasta Load11 info

Static Load Editor - Load1

Reliability	Remarks	Comment
Info	Loading	Cable/Vd
	Cable Amp	Time Domain
		Harmonic

1 5 MW 0,5 Mvar 13,8 kV Cable Info not available

Info

ID

Bus  13,8 kV

Equipment

Tag #

Name

Description

Data Type

Priority

Load Type

Demand Factor

Continuous  Intermittent  Spare  %

Revision Data

Condition

Service  In  Out

State

Configuration

Status

Connection








3 Phase  1 Phase

Quantity

Reference kV

Calculated

User-Defined

    Load1    

Anexo 8. Parámetros técnicos info




## Parámetros en técnicos Load1 hasta Load11 loading

Static Load Editor - Load1

Reliability		Remarks		Comment	
Info	Loading	Cable/Vd	Cable Amp	Time Domain	Harmonic
1	5 MW 0,5 Mvar	13,8 kV			Cable Info not available

Ratings

kV	MVA	MW	Mvar	% PF	Amps	Grounding
13,8	5,025	5	0,5	99,5	210,2	

Calculator...

Loading

	Loading		Load		Feeder Loss	
	Category	%	MW	Mvar	MW	Mvar
1	Design	100	5	0,502	0	0
2	Normal	100	5	0,502	0	0
3	Brake	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0
9	Accident	0	0	0	0	0

Operating Load: 4,766 MW + j 0,478 Mvar

Load1

OK Cancel

Anexo 9. Configuración parámetros técnicos loading

## Ajuste de parámetros de resistencia reliability

Static Load Editor - Load1 ×

Info	Loading	Cable/Vd	Cable Amp	Time Domain	Harmonic
Reliability		Remarks		Comment	
1	5 MW	0,5 Mvar	13,8 kV	Cable Info not available	

**Reliability Parameters**

$\lambda_A$   Failure/yr

$\mu$   Repair/yr

FOR  MTTF  yr

MR  % MTTR  hr

Replacement Available

$r_p$   hr

**Library**

Source

Type

Class

**Interruption Cost**

Load Sector

📄
📋
↶
⏪

Load1 ▼

⏩
⏴
?

*Anexo 10. Ajuste de parámetros Reliability*

## Ajuste de parámetros de resistencia Cable /Vd

Static Load Editor - Load1

Reliability		Remarks		Comment	
Info	Loading	Cable/Vd	Cable Amp	Time Domain	Harmonic
1	5 MW 0,5 Mvar	13,8 kV			Cable Info not available

Equipment Cable

Overload Heater, 49

Cable Library...

OL Editor...

Voltage Drop

#	Loading Categ...	%Load	Vd	Vt.bus	Vt.load
1	Design	100	0	100	100
2	Normal	100	0	100	100
3	Brake	0	0	100	100
4	Winter Load	0	0	100	100
5	Summer Load	0	0	100	100
6	FL Reject	0	0	100	100

Vbus: 100,00 %

Vd Calculation

Use App MF

Load1

OK Cancel

Anexo 11. Ajuste de parámetros Cable/Vd

## Configuración Circuit Breaker

High Voltage Circuit Breaker Editor - CB22

Info Rating Reliability Interlock Remarks Comment

1,01 kV 5 Cy 0 kA 0 kA

Info

ID

From

To  13,8 kV

Revision Data

Equipment

Tag #

Name

Description

Condition

Service  In  Out

State

Real Time

Scanned	Control	Pin	Alarm
<input type="text" value="Not Scanned"/>	Close <input type="button" value="Close"/>	<input type="button" value="Pin"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text" value="(No Tag)"/>	Open <input type="button" value="Open"/>	<input type="button" value="Pin"/>	<input type="checkbox"/>

Configuration

Status  Close  Open

Anexo 12.Detalles info

## Configuración parámetros rating

High Voltage Circuit Breaker Editor - CB22

Info Rating Reliability Interlock Remarks Comment

1,01 kV 5 Cy 0 kA 0 kA

Standard

ANSI

IEC

Library Info

Library...

MFR none

Model none

Rating

Max. kV	Cont. Amp	Standard	Cycle	CPT	Time Constant
1,01	0	SYM	5	3	45
Rated Int.	Max Int.	C & L ms	C & L Peak	S Factor	% dc
0	0	0	0	1,1031	32,92

Application/Association

Association  ID  TRV

CB22

OK Cancel

Anexo 13. configuración vista rating

## Configuración valores iniciales y continuos Reliability

High Voltage Circuit Breaker Editor - CB22

Info Rating Reliability Interlock Remarks Comment

1,01 kV 5 Cy 0 kA 0 kA

Reliability Parameters

$\lambda_A$  0,003 Failure/yr

$\lambda_P$  0,0045 Failure/yr

$\mu$  175,2 Repair/yr

FOR 4,28E-5 MTF 133,3 yr

MR 80 % MTTR 50 hr

Replacement Available

Alternative Supply

$r_p$  10 hr

Switching Time 50 hr

Library

Library ...

Source

Type

Class

CB22

OK Cancel

Anexo 14.configuración vista reliability

## Selección de librerías

Library Quick Pick - PV Array ✕

**Manufacturer**

Kyocera  
MoserBaersolar  
Photowatt  
Q.CELLS  
Sharp  
Suniva  
**SUNTECH**  
Vireo

**Reference**

**Link**

**Model**

Model Name	Max Vdc
STP180S - 24/Adb+	600
<b>STP210 - 18/Ud,STP205 - 600</b>	<b>600</b>
STP280-24-VD,STP275...	600
STP280 - 24/Vd,STP27...	600

Size (W)	Imp (A)	Isc (A)
<b>205</b>	<b>7,3</b>	<b>8,19</b>

**Type**

**Brand Name**

**Reference**

**Application**

*Anexo 15.Librería seleccionada para el panel fotovoltaico*

## Configuración de paneles

PV Array Editor - PVA1

Info PV Panel PV Array Inverter Physical Time Domain Remarks Comments

MFR SUNTECH Type Poly-crystalline # of Cells 54  
 Model STP210 - 18/Ud,STP205 - 18/Ud Size 205 Vdc 600

PV Panel

Watt / Panel 206  
 # in Series 489  
 # of Parallel 43

PV Array (Total)

# of Panels 21027  
 Volts,dc 13800  
 kW,dc 4331,7  
 Amps,dc 313,9

Irradiance Calc.

	Generation Category	Irradiance	Ta	Tc	MPP kW
▶ 1	Design	1000	30	61,3	4267,63
2	Normal	900	30	58,1	3835,1
3	Shutdown	800	30	55	3403,25
4	Emergency	700	30	51,9	2972,17
5	Standby	600	30	48,8	2541,95
6	Startup	500	30	45,6	2112,75
7	Accident	400	30	42,5	1684,78
8	Summer Load	300	30	39,4	1258,34
9	Winter Load	200	30	36,3	833,96
10	Gen Cat 10	100	30	33,1	412,77

PVA1

OK Cancel

Anexo 16. Configuración de paneles en serie y paralelo



## Definición de valores de inversión

PV Array Editor - PVA1

Info PV Panel PV Array **Inverter** Physical Time Domain Remarks Comments

MFR  Type  # of Cells

Model  Size  Vdc

PV Array - Total Rated

Volts,dc

kW,dc

Amps,dc

Inverter

ID

	kW	V	FLA	%EFF
DC	<input type="text" value="4331,7"/>	<input type="text" value="13800"/>	<input type="text" value="313,9"/>	<input type="text" value="90"/>
	kVA	kV	FLA	%PF
AC	<input type="text" value="3898,5"/>	<input type="text" value="13,8"/>	<input type="text" value="163,1"/>	<input type="text" value="100"/>

Maximum Power Point Tracker (MPPT)

PV Array to Inverter Cable

Anexo 17.Valores de inversión

## Verificación del modelo

Load Flow Analyzer

Study Reports

Ref.	Select	Reports
1	<input checked="" type="checkbox"/>	analysis1

Project Report

Active Project

All Project in Active Directory

Report Type

General Info

Bus Results

Branch Results

Loads

Sources

	Study ID	analysis1
▶ 1	Study Case ID	LF
2		
3	Data Revision	Base
4	Configuration	Normal
5		
6	Loading Cat	Design
7	Generation Cat	Design
8	Diversity Factor	Normal Loading
9		
10	Buses	14
11	Branches	13
12	Generators	2
13	Power Grids	1
14	Loads	0
15		
16	Load-MW	0
17	Load-Mvar	0
18	Generation-MW	0,537
19	Generation-Mvar	1,532
20	Loss-MW	0,537
21	Loss-Mvar	1,532
22		
23	Mismatch-MW	0

Anexo 18.Verificación del modelo

## Configuración de generadores eólicos

Synchronous Generator Editor - Generado distribuido 1

Hammonic Protection Reliability Fuel Cost Time Domain O and M Remarks Comment  
 Info Rating Capability Imp/Model Grounding Inertia Exciter Governor PSS

13,8 kV 5 MW Voltage Control

Rating

MW kV % PF MVA % Eff. Poles  
 5 13,8 85 5,882 95 4

% of Bus Nom. kV FLA RPM  
 100 246,1 1800

	Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Qmax	Qmir
1	Design	100		5			3	-3
2	Normal	100		5			3	-3
3	Shutdown	0		0			0	0
4	Emergency	100		4			3	-3
5	Standby	100		0			0	0

Prime Mover Rating

Continuous Peak  
 HP MW HP MW  
 6705,1 5 6705,1 5

Mvar Limits

Capability Curve  User-Defined Peak Mvar 3,099

Operating Values

% V Vangle MW Mvar  
 100 3,9 5 0,766

Generado distribuido 1

OK Cancel

Anexo 19. Configuración de generadores eólicos

## Panel de Load Flow Analysis

Load Flow Analyzer

Study Reports

Ref.	Select	Reports
1	<input checked="" type="checkbox"/>	analysis 1

Project Report

Active Project

All Project in Active Directory

Report Type

General Info

Bus Results

Branch Results

Loads

Sources

	Study ID	analysis 1
▶ 1	Study Case ID	LF
2		
3	Data Revision	Base
4	Configuration	Normal
5		
6	Loading Cat	Design
7	Generation Cat	Design
8	Diversity Factor	Normal Loading
9		
10	Buses	14
11	Branches	16
12	Generators	1
13	Power Grids	0
14	Loads	11
15		
16	Load-MW	24,173
17	Load-Mvar	2,426
18	Generation-MW	27,398
19	Generation-Mvar	24,253
20	Loss-MW	3,224
21	Loss-Mvar	21,827
22		
23	Mismatch-MW	0

Export...

Anexo 20. Panel de Load Flow Analysis

## Selección de reporte

The screenshot displays a software interface for report selection. At the top, a dropdown menu is set to 'Losses'. Below it, a list of report categories is shown, with 'Losses' highlighted in blue. The background features a circuit diagram with the following annotations:

- A voltage source labeled '14 kV'.
- A busbar with a voltage drop of  $3047$  and a reactive power of  $-j2014$ .
- A line with a power factor of  $99,93\%$  and a phase angle of  $3,86\text{ deg}$ .
- A component labeled  $[35,1+$ .

The report selection menu includes the following items:

- Adjustments
- Alert Complete
- Alert Critical
- Alert Marginal
- Branch
- Branch Loading
- Bus
- Bus Loading
- Cable
- Complete
- Cover
- Equipment Cable
- High Voltage DC Link
- Impedance
- Line Compensation
- Line Coupling
- Load Flow Report
- Losses**
- Panel Report
- Reactor
- SVC
- Summary
- Switched Capacitor
- Switched Capacitor Switching Report
- Transformer
- UPS
- UPS Report
- VFD
- Voltage Regulator
- Voltage Regulator Summary

Anexo 21. Selección de reporte

## Generadores apagados

Synchronous Generator Editor - Generado distribuido 1

Hammonic Protection Reliability Fuel Cost Time Domain O and M Remarks Comment  
 Info Rating Capability Imp/Model Grounding Inertia Exciter Governor PSS

13,8 kV 5 MW Voltage Control

Info

ID Generado distribuido 1

Bus Barra 3 13,8 kV

Revision Data

Base

Condition

Service  In  Out

State As-Built

Equipment

Tag # Configuracion eolica

Name

Description

Configuration

Normal

Operation Mode

Swing  Voltage Control  Mvar Control  PF Control

Generado distribuido 1 OK Cancel

## Generación de informe

The screenshot shows a software interface with a menu open over a circuit diagram. The menu is titled 'Losses' and contains the following items:

- Adjustments
- Alert Complete
- Alert Critical
- Alert Marginal
- Branch
- Branch Loading
- Bus
- Bus Loading
- Cable
- Complete
- Cover
- Equipment Cable
- High Voltage DC Link
- Impedance
- Line Compensation
- Line Coupling
- Load Flow Report
- Losses** (highlighted)
- Panel Report
- Reactor
- SVC
- Summary
- Switched Capacitor
- Switched Capacitor Switching Report
- Transformer
- UPS
- UPS Report
- VFD
- Voltage Regulator
- Voltage Regulator Summary

The circuit diagram in the background shows a 14 kV source on the left. A vertical branch has a voltage drop of  $+0,452$  and an impedance of  $j3,09$ . A horizontal branch has a voltage drop of  $100\%$  and a phase angle of  $-0,003$  deg. A vertical branch below the horizontal one has an impedance of  $[0-j1,0]$ . A red 'g' is visible on the right side of the diagram.