

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**FLUJO ÓPTIMO DE POTENCIA**

**DESARROLLO DE PROCESADOR DE TOPOLOGÍA USANDO  
PYTHON Y DIGSILENT**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
ELÉCTRICO**

**MAURICIO ALEXANDER JIMÉNEZ CUACES**

**mauricio.jimenez@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: Dr. NELSON VICTORIANO GRANDA GUTIÉRREZ**

**nelson.granda@epn.edu.ec**

**DMQ, Septiembre 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, MAURICIO ALEXANDER JIMENEZ CUACES declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**MAURICIO ALEXANDER JIMENEZ CUACES**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por MAURICIO ALEXANDER JIMENEZ CUACES, bajo mi supervisión.

---

**DR.-ING. NELSON VICTORIANO GRANDA GUTIERREZ**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

MAURICIO ALEXANDER JIMÉNEZ CUACES

DR.-ING. NELSON VICTORIANO GRANDA GUTIÉRREZ.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, mi familia y mis amigos, quienes han sido mi inspiración y apoyo incondicional en cada paso de este camino. Su amor y aliento han sido mi motor para alcanzar este logro.

## **AGRADECIMIENTO**

Con profundo cariño y gratitud, dedico este trabajo a las personas que han iluminado mi camino con su amor, apoyo y aliento inquebrantables. A Dios, cuya guía y fuerza interior me han sostenido en los momentos de desafío y han llenado de significado cada paso que he dado. A mi familia, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido el cimiento de mis logros. A mis padres, por su ejemplo inspirador y por siempre creer en mí. A mis hermanos, por compartir alegrías y adversidades, y ser mi constante apoyo. A mis amigos, quienes han estado a mi lado con risas y palabras de aliento en cada etapa de este viaje. Sus amistades han tejido momentos imborrables en esta travesía académica. A mis profesores y asesores, cuya sabiduría y orientación han enriquecido mi conocimiento y visión del mundo académico. A todos aquellos cuya influencia y cariño han dejado una huella en mi vida, les dedico este logro como una expresión de mi agradecimiento sincero.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN .....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Objetivo general .....	11
1.2 Objetivos específicos .....	11
1.3 Marco teórico .....	12
1.3.1 Topología del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) .....	12
1.3.2 Modelos nodo – interruptor y barra – línea.....	12
1.3.2.1 Modelo Nodo-Interruptor.....	12
1.3.2.2 Modelo Barra-Línea .....	12
1.3.3 Algoritmos propuestos para el Procesamiento de Topología. ....	13
1.3.3.1 Algoritmo para la Identificación de Elementos y Creación de Nodos en el Modelo Nodo-Interruptor.....	14
1.3.3.2 Algoritmo para la Construcción de la Topología en el Modelo Barra-Línea .....	17
1.3.4 DlgSILENT .....	19
1.3.5 Python .....	20
1.3.6 Formato de intercambio de datos para flujo de potencia IEEE .....	21
2. METODOLOGÍA.....	23
2.1 Intercambio de datos Python – PowerFactory .....	23
2.2 Descripción del algoritmo.....	24
2.3 Exportación de datos a formatos Matpower, PandaPower e IEEE .....	26
2.3.1 Exportación a Matpower .....	26
2.3.2 Exportación a PandaPower .....	27
2.4 Caso de estudio detallado .....	27
2.5 Uso de la herramienta computacional .....	30
3. APLICACIÓN Y RESULTADOS .....	32
3.1 Sistema IEEE de 14 barras.....	32

3.1.1 Procesamiento de topología .....	32
3.2 Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano .....	39
3.2.1 Aplicación a S/E Paute Molino 230/138/13.8 kV .....	39
3.2.2 Aplicación a S/E Santa Rosa 230/138/46/13.8 kV .....	41
3.3 Líneas de Trasmisión .....	44
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
4.1 Conclusiones .....	49
4.2 Recomendaciones .....	49
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
6. ANEXOS .....	51
ANEXO 1 .....	52
ANEXO 2 .....	58
ANEXO 3 .....	61
ANEXO 4 .....	63
ANEXO 5 .....	63
ANEXO 6 .....	64

## RESUMEN

En este trabajo se desarrolló una herramienta computacional para el procesamiento de topología en sistemas eléctricos de potencia. Con este fin, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica relacionada a la temática, incluyendo la exploración de libros y artículos técnicos relevantes, con el objetivo de seleccionar un algoritmo que ofreciera excelentes prestaciones.

Se desarrollaron scripts de programación en el lenguaje Python, destinados a extraer datos del programa PowerFactory de DlgSILENT, de acuerdo con los requisitos de información específicos del algoritmo seleccionado para el procesamiento de topología. Esta información comprende: la descripción de la conectividad de la red, así como, el estado de interruptores y seccionadores, entre otros elementos cruciales.

El núcleo del trabajo consistió en la implementación del algoritmo de procesamiento de topología en el lenguaje Python, que toma como insumo los datos extraídos de PowerFactory, donde se tiene el "modelo nodo – breaker"; como resultado se obtiene el modelo de la red eléctrica en términos de barras y líneas. Este modelo, conocido como "modelo barra – línea", captura la configuración y relaciones de los elementos de la red, incluyendo barras, generadores, cargas y componentes de transmisión, tales como líneas, transformadores, reactores y capacitores.

**PALABRAS CLAVE:** procesamiento de topología, PowerFactory, modelo barra-línea, modelo nodo-breaker, Python.



## ABSTRACT

This study delves into the realm of topology processing in power systems, undertaking a well-defined sequence of steps. The initial phase involves an exhaustive literature review focused on state estimation and related subjects. Extensive exploration of pertinent books and technical articles culminates in the selection of an algorithm that promises optimal performance.

Subsequently, Python scripting comes into play, enabling data extraction from DlgSILENT's PowerFactory. These data configurations align with the specific information requirements of the chosen topology processing algorithm. Illustrated in Section II, these requirements encompass the depiction of network connectivity and the statuses of switches and disconnectors, among other critical components.

Central to this endeavor is the Python-based implementation of the topology processing algorithm, leveraging data harvested from PowerFactory. This implementation yields a detailed model of the electrical network in terms of buses and lines, referred to as the "bus-line model." This model encapsulates the network's configuration and relationships, including buses, generators, loads, and transmission elements like lines, transformers, reactors, and capacitors.

Furthermore, the study addresses interoperability by developing Python scripts that facilitate the export of the bus-line model into data formats compatible with tools like Matpower, PandaPower, and IEEE. Streamlining and automating the process, an intuitive user interface is devised for seamless operations.

**KEYWORDS:** topology processing, power systems, state estimation, PowerFactory, algorithm, bus-line model, Python, interoperability.

**Comentado [NVGG1]:** Actualizar dado que la página en español se modificó

**Comentado [MAJC2R1]:**

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en los centros de control modernos se buscan medios confiables para filtrar y depurar la información disponible, de manera que el operador del Sistema Eléctrico de Potencia (**SEP**) pueda tomar decisiones. El estimador de estado realiza parcialmente esta función a través de un proceso de carácter estadístico, por lo que las acciones de control se determinan utilizando los resultados del proceso de estimación de estado. La seguridad del SEP puede ser definida en función de su capacidad para soportar contingencias, es así como el análisis de contingencias tiene que realizarse sobre un modelo del sistema que refleje de manera fidedigna las condiciones actuales del sistema de potencia.

El modelo usado en el análisis de contingencias es una red eléctrica descrita en términos de barras y ramas, dicho modelo se construye en dos partes: la primera representa el sistema interno del cual el centro de control recibe tele mediciones, y la segunda, representa el sistema externo que modela el resto del sistema interconectado. Adicionalmente, se requiere disponer de una base de datos que contiene la descripción de la red en términos de sus parámetros. El procesador de topología utiliza el estado de los interruptores de la base de datos en tiempo real, así como también la información de conectividad para determinar la topología de la red, y sus resultados son utilizados por el estimador de estado para calcular los voltajes complejos en todos los nodos del sistema [1].

La importancia del procesador de topología radica en que los Sistemas de Manejo de la Energía (EMS) utilizan un modelo consolidado barra – línea para obtener las soluciones numéricas del estimador de estado y el flujo de potencia. Los interruptores se pueden representar como ramas de impedancia cero, por lo tanto, no se pueden modelar directamente como parte de una red eléctrica, así como tampoco pueden ser incluidas en la matriz jacobiana del flujo de potencia o mediciones del estimador de estado.

Se conoce que cuando se modela explícitamente en la matriz jacobiana una rama de impedancia cero, se obtiene como resultado una entrada no diagonal igual cero. Si bien algunas de estas entradas se pueden aceptar en la solución numérica, la existencia de muchas ramas de impedancia cero daría como resultado matrices jacobianas mal condicionadas y soluciones divergentes, es por eso por lo que el sistema EMS usa un algoritmo de procesamiento de topología para convertir el modelo de topología completa

(nodo – interruptor) en un modelo consolidado (barra – línea) [2]. Existen varios métodos para la conversión de topología en función del estado de interruptores, seccionadores, secciones de barra a una topología barra - línea, en algunos de ellos se emplean tablas lógicas y matrices de incidencia, sin embargo, los algoritmos que utilizan árboles de búsqueda han sido ampliamente aplicados.

El software PowerFactory de DlgSILENT permite modelar la conectividad real de la red eléctrica, en términos de interruptores, seccionadores, secciones de barra, configuración de subestaciones, generadores, alimentadores de carga, reactores en paralelo, líneas de transmisión, etc.; que se usan en la modelación nodo – interruptor. Por otro lado, los programas convencionales de flujo de potencia utilizan el modelo barra – línea, por tanto, no pueden aplicarse a sistemas donde la topología de la red se encuentra modelada como nodo – interruptor. Es necesario realizar un análisis previo que permita transformar el modelo nodo – interruptor a un modelo barra – línea, en base a algoritmos de procesamiento de topología [3].

## 1.1 Objetivo general

Implementar un algoritmo de procesamiento de topología en lenguaje Python que permita determinar el modelo barra – línea de un Sistema Eléctrico de Potencia basándose en el estado de los interruptores y los datos de conectividad de la red eléctrica.

## 1.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de algoritmos para procesamiento y consolidación de la topología de un sistema eléctrico de potencia.
- Implementar una herramienta computacional para el análisis de topología de sistemas eléctricos de potencia usando lenguaje Python y conexión a DlgSILENT PowerFactory.
- Implementar rutinas de programación para exportación de resultados del procesador de topología a formato de datos de programas Matpower, Pandapower e IEEE. [1]
- Aplicar la herramienta computacional desarrollada al sistema IEEE de 14 barras y al Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano.

## **1.3 Marco teórico**

### **1.3.1 Topología del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)**

La topología del SEP se refiere a la estructura física y conexiones de los componentes que componen el sistema eléctrico, desde la generación hasta la distribución.

### **1.3.2 Modelos nodo – interruptor y barra – línea**

#### **1.3.2.1 Modelo Nodo-Interruptor**

El modelo nodo-interruptor (también conocido como modelo bus – rama o nodal) es un enfoque utilizado para representar y analizar sistemas eléctricos complejos. En este modelo, el sistema se divide en dos componentes principales:

- **Nodos (o buses):** Los nodos son puntos en el sistema eléctrico donde se conectan elementos como generadores, cargas y líneas de transmisión. Cada nodo representa un punto de conexión eléctrica y se caracteriza por su nivel de voltaje y fase. Existen diferentes tipos de nodos, como el nodo de generación, el nodo de carga y el nodo de conexión de líneas.
- **Interruptores (o ramas):** Los interruptores representan las conexiones físicas entre los nodos y pueden ser líneas de transmisión, transformadores, reactores o cualquier otro elemento de la red eléctrica. Cada interruptor se caracteriza por su impedancia, admitancia y otras características eléctricas.

En el modelo nodo – interruptor, se utilizan ecuaciones matemáticas basadas en las leyes de Kirchhoff y las relaciones de impedancia/admitancia para describir las relaciones eléctricas entre los nodos y los interruptores.

#### **1.3.2.2 Modelo Barra-Línea**

El modelo barra – línea es una simplificación del modelo nodo – interruptor, y se utiliza cuando se desea estudiar el comportamiento de un sistema eléctrico de potencia de manera más general. En este modelo, se agrupan los elementos de un mismo nivel de voltaje en un único punto denominado "barra", que representa la característica eléctrica promedio de todos los elementos conectados a ella.

- **Barras (o nodos agrupados):** Las barras representan puntos de conexión donde se agrupan los generadores, las cargas y los elementos de consumo o

producción de un mismo voltaje. Cada barra se caracteriza por su nivel de voltaje y fase promedio.

- Líneas: Las líneas representan conexiones eléctricas entre las barras y se caracterizan por su impedancia y admitancia.

En el modelo barra – línea, las ecuaciones matemáticas también se basan en las leyes de Kirchhoff y las relaciones de impedancia/admitancia, pero al agrupar varios nodos en una sola barra, se simplifica el análisis y se reduce la complejidad del sistema.

#### Ley de Kirchhoff de las corrientes (LKC) a nivel de la barra

En el modelo barra-línea, la LKC se aplica a nivel de las barras, y establece que la suma algebraica de las corrientes en una barra es igual a cero. Es decir, para cualquier barra  $k$ , si se tiene  $n$  corrientes entrantes (corrientes que entran a la barra) y  $m$  corrientes salientes (corrientes que salen de la barra), la LKC se expresa mediante la ecuación 1:

$$\sum \text{Corrientes de entrada} - \sum \text{Corrientes de salida} = 0 \quad (1)$$

**Comentado [NVG63]:** Usar editor de ecuaciones para representar TODAS las ecuaciones, variables y parámetros.

#### Relaciones de impedancia/admitancia a nivel de la línea

En el modelo barra-línea, las ecuaciones que relacionan las corrientes y tensiones en las líneas de transmisión son similares a las del modelo nodo-interruptor, y están determinadas mediante la ecuación 2.

$$V_{kj} = I_{kj} \times Z_{kj} \quad (2)$$

Donde:

$V_{kj}$ : es la diferencia de voltaje (voltaje) entre la barra  $k$  y la barra  $j$ .

$I_{kj}$ : es la corriente que fluye desde la barra  $k$  hacia la barra  $j$  a través de la línea.

$Z_{kj}$ : es la impedancia de la línea de transmisión que conecta las barras  $k$  y  $j$ .

### **1.3.3 Algoritmos propuestos para el Procesamiento de Topología.**

Los algoritmos propuestos se centran en tareas como: la identificación de elementos, el cálculo de rutas de flujo de potencia, la detección de fallas y la evaluación de la confiabilidad del sistema.

### 1.3.3.1 Algoritmo para la Identificación de Elementos y Creación de Nodos en el Modelo Nodo-Interruptor

Este algoritmo tiene como objetivo convertir la descripción física del sistema eléctrico, que puede incluir información sobre interruptores, líneas de transmisión, transformadores y otros elementos, en una representación lógica y estructurada de nodos y sus respectivas conexiones eléctricas.

El concepto de representar sistemas eléctricos mediante nodos e interruptores ha sido ampliamente utilizado en la ingeniería eléctrica durante décadas. Se basa en las leyes de Kirchhoff y en la teoría de redes eléctricas. A lo largo del tiempo, se han desarrollado diferentes técnicas y algoritmos para el procesamiento de topología en sistemas eléctricos, y la creación de nodos en el modelo nodo-interruptor es uno de esos enfoques. En la imagen de la figura 1.1 , se describe el algoritmo:

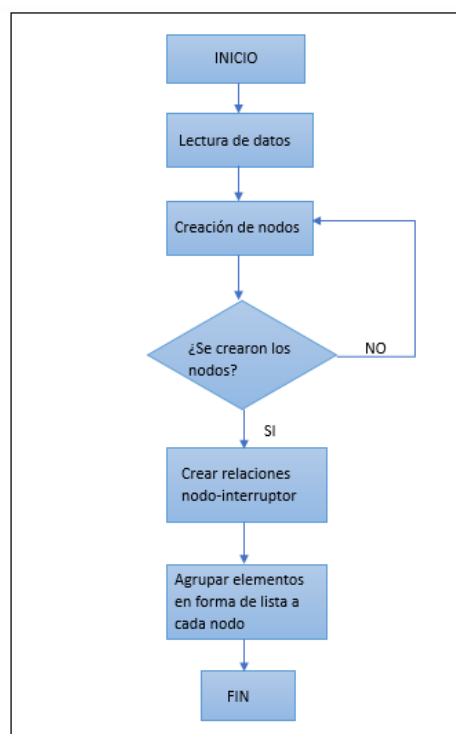


Figura 1.1 Algoritmo modelo Nodo-Interruptor.

Ejemplo de Identificación de Elementos y Creación de Nodos:

**Tabla 1.1** Elementos del sistema.

<b>Generador</b>	<b>Conexión</b>	<b>Líneas Conectadas</b>
G1	Barra A	L1, L3, L4
G2	Barra B	L1, L2, L5
G3	Barra C	L2, L3

Líneas de Transmisión:

**Tabla 1.2** Datos de líneas de transmisión.

<b>Línea</b>	<b>Desde Barra</b>	<b>Hacia Barra</b>
L1	A	B
L2	B	C
L3	A	C

	Línea	Desde Barra	Hacia Barra
L4		A	D
L5		D	B

En este ejemplo, se han creado tablas que muestran los generadores y sus respectivas conexiones a las barras, así como las líneas de transmisión y su conexión a las diferentes barras. Luego, se han agrupado los elementos conectados a cada nodo en base al algoritmo descrito en la imagen de la figura 1.1, se muestra el resultado obtenido en la tabla 1.3:

**Tabla 1.2** Nodos Creados.

Nodo	Elementos Conectados
A	G1, L1, L3, L4
B	G2, L1, L2, L5
C	G3, L2, L3
D	G4, L4, L5



### 1.3.3.2 Algoritmo para la Construcción de la Topología en el Modelo Barra-Línea

Es un procedimiento utilizado para representar la red eléctrica en forma de una estructura de nodos (barras) interconectada mediante líneas de transmisión. A través de este algoritmo, se busca simplificar la representación de la red eléctrica y permitir un análisis más eficiente de su topología. A continuación, se presenta un algoritmo.

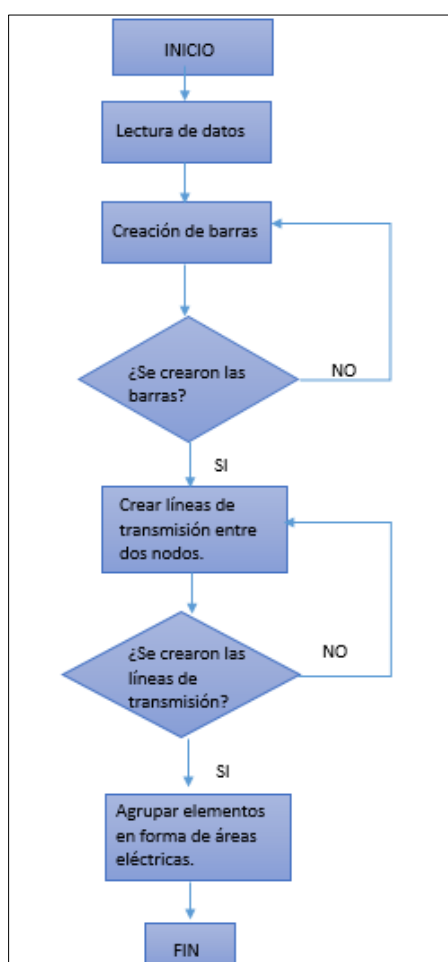


Figura 1.2 Algoritmo modelo Nodo-Interruptor.

**Ejemplo Detallado de Construcción de la Topología en el Modelo Barra-Línea:**

- 1) Leer Datos: Se leen los datos del sistema eléctrico, incluyendo la información sobre las barras y las líneas de transmisión.
- 2) Crear Barras: Se crea una barra para cada punto de conexión eléctrica en el sistema.

**Barras Creadas: A, B, C D.**

- 3) Crear Líneas de Transmisión: Se crea una línea de transmisión para cada conexión entre dos barras.

**Líneas de Transmisión Creadas:**

**Tabla 1.3** Líneas de transmisión creadas.

	Línea	Desde Barra	Hacia Barra
AB		A	B
BC		B	C
CD		C	D
AC		A	C
BD		B	D

- 4) Establecer Relaciones: Se conectan las barras con sus respectivas líneas de transmisión. Cada línea de transmisión se conecta a dos barras, una desde donde inicia y otra hacia donde termina.

Relaciones Establecidas:

**Tabla 1.4** Relaciones establecidas conexión barra- líneas de transmisión.

Barra	Líneas Conectadas
A	AB, AC
B	AB, BC, BD
C	BC, CD, AC
D	CD, BD

### 1.3.4 DlgSILENT

PowerFactory es un software de simulación y análisis de sistemas eléctricos de potencia desarrollado por la empresa DlgSILENT GmbH. Es una herramienta ampliamente utilizada en la industria eléctrica y en el ámbito académico para el diseño, análisis, planificación y operación de redes eléctricas de alta y baja tensión. PowerFactory se ha establecido como una de las principales herramientas de software para la ingeniería eléctrica debido a su amplia gama de funcionalidades y su enfoque en la precisión y eficiencia. [2]

#### 1.3.4.1 Características y Funcionalidades de DlgSILENT PowerFactory:

- **Análisis de Flujo de Potencia:** PowerFactory permite realizar estudios de flujo de potencia tanto en corriente alterna (AC) como en corriente continua (DC). Puede calcular tensiones, corrientes, potencias activas y reactivas en todos los nodos de la red eléctrica.
- **Modelado Completo del Sistema Eléctrico:** La herramienta permite modelar sistemas eléctricos complejos, incluyendo generadores, cargas,

transformadores, líneas de transmisión, interruptores, sistemas de protección y reguladores.

- Estabilidad de Tensión y Análisis de Estabilidad: PowerFactory facilita el análisis de la estabilidad de tensión y la estabilidad transitoria en sistemas eléctricos, permitiendo identificar problemas y proponer soluciones.
- Estudios de Cortocircuito y Coordinación de Protecciones: La herramienta puede llevar a cabo estudios de cortocircuito y coordinación de protecciones para asegurar la operación segura y confiable del sistema eléctrico [2].
- Optimización y Planificación: PowerFactory ofrece herramientas para optimizar y planificar la expansión y operación de redes eléctricas, considerando la generación, la demanda, los costos y otros criterios de diseño.
- Integración con Energías Renovables y Sistemas de Almacenamiento: PowerFactory permite la integración y el análisis detallado de fuentes de energía renovable y sistemas de almacenamiento en la red eléctrica.
- Interfaz Gráfica Intuitiva: PowerFactory proporciona una interfaz gráfica intuitiva y fácil de usar, que permite a los usuarios diseñar y analizar sistemas eléctricos de manera eficiente.
- Modelado de Mercados de Energía: PowerFactory incluye capacidades para modelar y analizar mercados de energía, lo que permite a los usuarios evaluar el impacto de diferentes escenarios de precios y políticas en la operación del sistema eléctrico. [3]

### 1.3.5 Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado, versátil y fácil de aprender. Ha ganado mucha popularidad en los últimos años debido a su amplia comunidad de usuarios y su extensa variedad de bibliotecas y herramientas disponibles. En el contexto de las aplicaciones en el análisis y simulación de sistemas eléctricos de potencia, se enumeran las principales ventajas [4]:

- 1) Facilidad de Uso: Python es conocido por su sintaxis sencilla y legible, lo que facilita el desarrollo y la depuración de código. Esto es especialmente útil para ingenieros eléctricos y estudiantes que desean realizar análisis y simulaciones en SEP sin una curva de aprendizaje extensa.
- 2) Bibliotecas Especializadas: Python cuenta con numerosas bibliotecas y paquetes especializados para el análisis de SEP, como Pandapower, Matplotlib, NumPy y SciPy. Estas bibliotecas proporcionan herramientas avanzadas para

realizar cálculos numéricos, análisis de datos, visualización y optimización, lo que hace que Python sea una opción atractiva para ingenieros eléctricos [6].

- 3) Flexibilidad e Integración: Python es un lenguaje versátil que permite a los usuarios integrar fácilmente diferentes herramientas y bibliotecas para adaptarse a sus necesidades específicas de análisis de SEP. También es compatible con otros lenguajes, lo que facilita la comunicación entre distintas herramientas y plataformas.
- 4) Código Abierto y Comunidad Activa: Python es de código abierto y tiene una comunidad de usuarios y desarrolladores muy activa. Esto significa que se desarrollan y mejoran constantemente nuevas bibliotecas, herramientas y módulos relacionados con el análisis de SEP, lo que proporciona una amplia gama de opciones y soluciones para los usuarios.

#### **Aplicaciones Prácticas de Python en el Análisis de SEP:**

- Simulación de Flujos de Potencia: Python se utiliza para realizar estudios de flujo de potencia en sistemas eléctricos, como cálculos de flujo de carga AC y DC para analizar la operación y el rendimiento de la red. [5]
- Análisis de Estabilidad: Python es utilizado para el análisis de estabilidad de tensión y la evaluación de la estabilidad transitoria y a largo plazo en sistemas eléctricos.
- Estudios de Optimización y Planificación: Python permite realizar estudios de optimización para minimizar pérdidas, optimizar la operación de generadores y cargas, y planificar la expansión y actualización de la red eléctrica.
- Visualización de Resultados: Python es ideal para la visualización de datos y resultados de análisis de SEP, lo que ayuda a los ingenieros eléctricos a comprender y comunicar de manera efectiva los resultados de sus estudios.
- Integración con Herramientas Específicas: Python se utiliza para integrar diferentes herramientas de análisis de SEP, como Pandapower, Matpower, DlgSILENT PowerFactory, entre otros, para aprovechar sus capacidades y funcionalidades específicas. [3]

#### **1.3.6 Formato de intercambio de datos para flujo de potencia IEEE**

El formato de intercambio de datos para flujo de potencia IEEE se refiere a un estándar que especifica cómo deben estructurarse y presentarse los datos necesarios para realizar análisis de flujo de potencia en sistemas eléctricos. El estándar más

ampliamente utilizado es el formato de intercambio de datos para flujo de potencia IEEE, también conocido como el formato IEEE Common Data Format o formato CDF [6].

#### **Características del Formato IEEE CDF:**

- Archivo de texto: El formato IEEE CDF utiliza un archivo de texto simple para almacenar los datos, lo que facilita su lectura y edición manual si es necesario.
- Estructura jerárquica: El archivo CDF está organizado en una estructura jerárquica que incluye bloques de datos para describir diferentes componentes del sistema eléctrico, como nodos, líneas de transmisión, transformadores, generadores, cargas, etc.
- Flexibilidad: El formato CDF es flexible y puede manejar sistemas eléctricos de diferentes tamaños y complejidades. Es capaz de describir sistemas con cientos o incluso miles de nodos.
- Datos de flujo de potencia: El formato CDF incluye información sobre la topología de la red eléctrica, datos de impedancias y admitancias, datos de generadores y cargas, datos de límites de operación, entre otros datos relevantes para el análisis de flujo de potencia.
- Compatibilidad con diferentes herramientas: El formato IEEE CDF es ampliamente aceptado y es compatible con varias herramientas de software utilizadas en el análisis de sistemas eléctricos, como MATPOWER, PowerFactory, PSS/E, PowerWorld Simulator, entre otros.
- Fuentes de datos: Los datos en el formato CDF pueden provenir de mediciones reales de sistemas eléctricos, simulaciones o estudios de planificación.

#### **Contenido Típico del Formato IEEE CDF:**

El contenido de un archivo CDF típico incluye bloques de datos para describir:

- Información general del sistema, como el número total de nodos, líneas de transmisión y transformadores.
- Datos de cada nodo, incluyendo su nombre, tipo (generador, carga, etc.), niveles de tensión, potencias inyectadas, límites de generación y consumo.
- Datos de cada línea de transmisión y transformador, incluyendo sus impedancias, admitancias y límites de operación.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Intercambio de datos Python – PowerFactory

La integración se realiza mediante el uso de la interfaz COM (Component Object Model) proporcionada por PowerFactory, que permite a Python interactuar con el software. A continuación, se enumeran los pasos necesarios para realizar el intercambio de datos [3].

**Paso 1:** Instalar PowerFactory y Python: Se debe asegurar que tanto PowerFactory como Python estén instalados en el sistema. Se puede descargar e instalar Python desde el sitio oficial de Python (<https://www.python.org/>) y obtener PowerFactory de DlgSILENT.

**Paso 2:** Habilitar la Interfaz COM en PowerFactory, para utilizar la interfaz COM, primero se habilita en PowerFactory. Abrir PowerFactory, ir a "Tools" (Herramientas) > "Preferences" (Preferencias) > "Automation" (Automatización). Asegurarse de que la casilla "Enable COM Automation Server" (Habilitar servidor de automatización COM) esté marcada.

**Paso 3:** Para la integración con PowerFactory se puede utilizar cualquier editor de texto como PyCharm, Visual Studio Code o Jupyter Notebook.

**Paso 4:** Importar la interfaz COM de PowerFactory, dentro del proyecto de Python, se debe importar la interfaz COM de PowerFactory utilizando el módulo `win32com.client`. Se puede instalar este módulo utilizando el administrador de paquetes de Python (pip install `pip install pfdio pandas openpyxl`).

**Paso 5:** Conectar con PowerFactory, se crea una conexión con PowerFactory utilizando la interfaz COM. Esto permitirá interactuar con el software y acceder a sus objetos y propiedades, como se muestra en la figura 2.1.

```
1 import win32com.client
2 # Crear una conexión con PowerFactory
3 app = win32com.client.Dispatch("PowerFactory.Application")
4 app.Visible = True # Opcionalmente, muestra la ventana de PowerFactory
5
```

Figura 2.1 Código conexión Power Factory- Python.

**Paso 6:** Interactuar con PowerFactory: A partir de este punto, se pueden utilizar las funciones y propiedades proporcionadas por la interfaz COM de PowerFactory para interactuar con el software. Se realiza la extracción de datos de nodos, breaker, barras

de cada subestación a un archivo Excel. Este proceso se muestra en las líneas de código de la figura 2.2

```
# Iterar a través de los nodos y construir el diccionario de nodos
for node in nodes:
    node_number = node.loc_name
    node_voltage = node.GetAttribute('m:u')
    node_type = node.GetAttribute('m:busbar_type')
    node_dict[node_number] = {'Voltage': node_voltage, 'Type': node_type}

# Diccionario de breakers
breaker_dict = {}

# Obtener objetos de breakers
breakers = app.GetCalcRelevantObjects('*.ELmCoup')

# Iterar a través de los breakers y construir el diccionario de breakers
for breaker in breakers:
    breaker_name = breaker.loc_name
    breaker_status = breaker.GetAttribute('m:open')
    breaker_dict[breaker_name] = {'Status': breaker_status}

# Combinar los diccionarios de nodos y breakers
combined_dict = {**node_dict, **breaker_dict}

# Crear un DataFrame a partir del diccionario combinado
combined_df = pd.DataFrame.from_dict(combined_dict, orient='index')

# Guardar el DataFrame combinado en el archivo Excel
excel_file = 'Topologia_14_Barras_Breakers_M.xlsx'
combined_df.to_excel(excel_file, sheet_name='Datos', index_label='Nombre')

print(f'Datos de nodos y breakers guardados en {excel_file}')

line_dict = {}
```

Figura 2.2 Extracción de datos desde PowerFactory por medio de Python a un archivo Excel.

## 2.2 Descripción del algoritmo

### ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE TOPOLOGÍA

En el presente Trabajo de Integración Curricular se empleará el algoritmo de procesamiento de topología propuesto en [4], que es implementado en Python.

Los datos de entrada al algoritmo son: elementos que forman parte de las subestaciones a ser analizadas, el estado de dichos elementos ya sea cerrado o abierto, la conectividad de la subestación; estos datos se obtienen de PowerFactory y son importados a Python para la posterior ejecución del algoritmo [7].

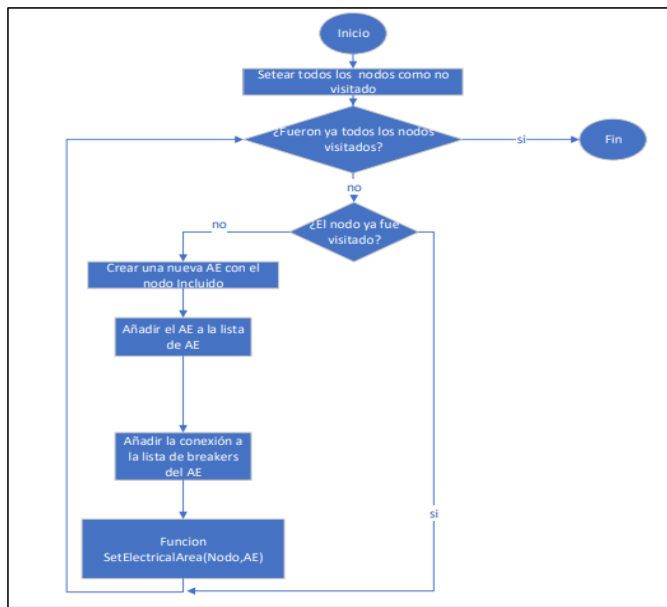
El algoritmo de procesamiento de topología consta de tres partes:

- La primera que hace un barrido de todos los nodos y setear dichos nodos en las áreas eléctricas que se vayan creando,



- La segunda parte permite avanzar a través de los nodos en la subestación, así como, incorporar los breakers y los nodos a una determinada área eléctrica, y,
- La tercera parte permite la creación de la nueva topología del sistema dependiendo de las condiciones actuales del estado de los interruptores, por lo tanto, si existe un cambio de estado de los interruptores, el algoritmo debe ser ejecutado de nuevo.

A continuación, en las figuras 2.3 y 2.4 se presentan los diagramas de flujo del algoritmo.



**Figura 2.3** Algoritmo de Procesamiento de Topología.

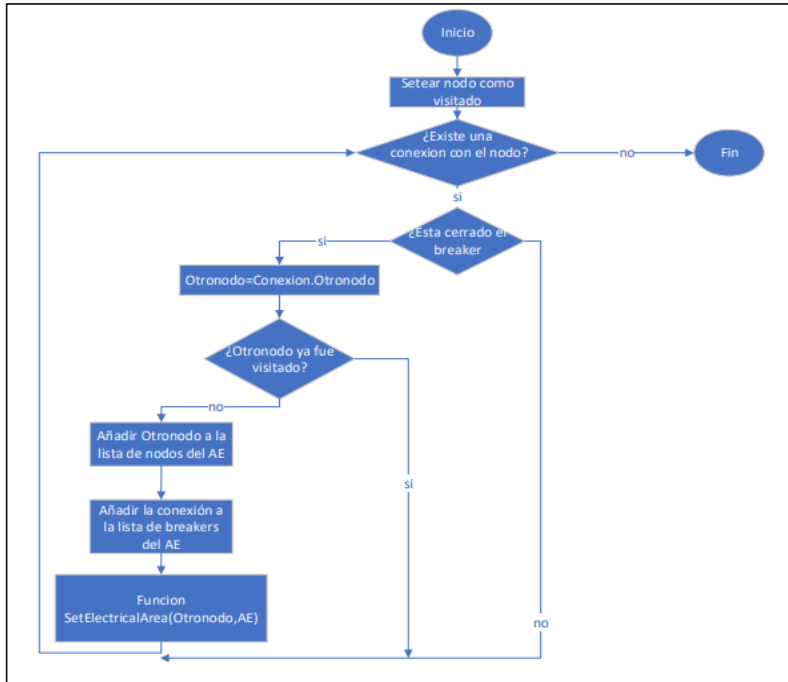


Figura 2.4 Función Electrical Área.

## 2.3 Exportación de datos a formatos Matpower, PandaPower e IEEE

**Comentado [NVGG4]:** Actualizar la numeración en función de los cambios realizados

### 2.3.1 Exportación a Matpower

Para exportar los datos a formato Matpower, se deben seguir los pasos que se enumeran a continuación: [2]

- 1) Utilizar la biblioteca "scipy.io" de Python para guardar los datos en un archivo \*.mat que sea compatible con Matpower.

En la imagen de la figura 2.5 se muestra el código para la exportación de datos.

```

32 def exportar_a_matpower():
33     global datos_buses, datos_lineas
34     if datos_buses is None or datos_lineas is None:
35         return
36
37     caso_mat = {'bus': [], 'branch': []}
38
39     for idx, bus in datos_buses.iterrows():
40         caso_mat['bus'].append([idx + 1, 0, 0, bus['Nodos'], 1, 0, 1, bus['Nodos'], 0, 0, 0, 1, 1])
41
42     for idx, linea in datos_lineas.iterrows():
43         from_bus = int(linea['To'])
44         to_bus = int(linea['To'])
45         caso_mat['branch'].append([from_bus, to_bus, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1])
46
47     savejson('caso_matpower.mat', caso_mat)
48     print('Datos exportados a formato Matpower')
49
50 ventana = tk.Tk()
51 ventana.title('Exportar Datos')

```

Figura 2.5 Exportación de datos a Matpower.

### 2.3.2 Exportación a PandaPower

Para exportar los datos a formato PandaPower, se enumeran los siguientes pasos:

- 1) Instalarse en el comando cmd la librería para pandapower con el siguiente formato: **pip install pandapower**.
- 2) Utilizar las funciones proporcionadas por PandaPower para crear el modelo del sistema eléctrico y guardar los resultados en un archivo [8].

En la imagen de la figura 2.6 se muestra el código para la exportación de datos.

```

32 def exportar_a_pandapower():
33     global datos_buses, datos_lineas
34     if datos_buses is None or datos_lineas is None:
35         return
36
37     net = pp.create_empty_network()
38
39     for idx, bus in datos_buses.iterrows():
40         pp.create_bus(net, m_b=bus['Nodos'])
41
42     for idx, linea in datos_lineas.iterrows():
43         from_bus = int(linea['To'])
44         to_bus = int(linea['To'])
45         pp.create_line(net, from_bus=from_bus, to_bus=to_bus)
46
47     pp.io.save(net, 'red_pandapower.json')
48     print('Datos exportados a formato Pandapower')
49
50 def exportar_a_matpower():
51     global datos_buses, datos_lineas

```

Figura 2.6. Exportación de datos a PandaPower.

- 3) La exportación a formato IEEE CDF requiere seguir los mismos pasos que la exportación a Matpower, ya que ambos formatos son muy similares. Se puede utilizar la biblioteca "scipy.io" de Python para guardar los datos en un archivo \*.cdf.

## 2.4 Caso de estudio detallado

A continuación, en la Figura 2.7, se presenta una subestación eléctrica modelada en PowerFactory usando la representación nodo – interruptor.

**Comentado [NVGG5]:** EN UN ANEXO INCLUIR LOS SCRIPTS PARA TRANSFORMACIÓN DE DATOS. RECORDAR QUE LOS DATOS A TRANSFORMAR SON LOS RESULTADOS DEL PROCESADOR DE TOPOLOGÍA

**Comentado [NVGG6]:** Este caso de estudio detallado debe mostrar cómo se realizan TODOS los pasos descritos hasta este punto.

1. Creación de modelos nodo-breaker en PowerFactory
2. Importación de datos desde PowerFactory a python.
3. Creación de archivos en excel
- 4.
- 5.
- .....

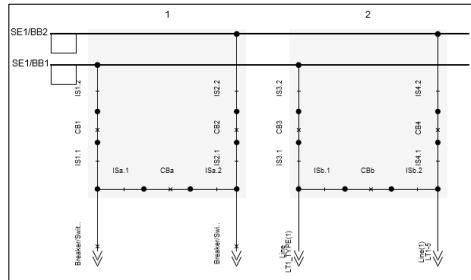


Figura 2.7 Modelo nodo-interruptor.

Se realiza la programación para obtener las áreas eléctricas, para lo cual se utilizan listas para ir almacenando los nodos y breakers en las respectivas áreas eléctricas.

Como primer paso se importan los datos desde PowerFactory para luego ser exportados a un archivo Excel y posterior a eso realizar los ajustes necesarios para importar estos datos según la opción que corresponda: Sistema de 14 Barras, Subestación Paute y Subestación Santa Rosa, en la imagen de la figura 2.8, se describe este proceso:

**Comentado [NVGG7]:** Hacer una descripción de la forma en que se importan los datos desde PowerFactory y cómo se almacenan.

```

28 nodes = app.GetCalcRelevantObjects("*.ElmTerm")
29
30 # Iterar a través de los nodos y construir el diccionario de nodos
31 for node in nodes:
32     node_number = node.loc_name
33     node_type = node.GetAttribute("mbusbar_type")
34     node_dict[node_number] = {'Type': node_type}
35
36 # Diccionario de breakers
37 breaker_dict = {}
38
39 # Obtener objetos de breakers
40 breakers = app.GetCalcRelevantObjects("*.ElmCoup")
41
42 # Iterar a través de los breakers y construir el diccionario de breakers
43 for breaker in breakers:
44     breaker_name = breaker.loc_name
45     breaker_status = breaker.GetAttribute("m:open")
46     breaker_dict[breaker_name] = {'Status': breaker_status}
47
48 # Combinar los diccionarios de nodos y breakers
49 combined_dict = {"**node_dict", "**breaker_dict"}
50
51 # Crear un DataFrame a partir del diccionario combinado
52 combined_df = pd.DataFrame.from_dict(combined_dict, orient='index')
53
54 # Guardar el DataFrame combinado en el archivo Excel
55 excel_file = 'Topologia_14_Barras_Breakers_M.xlsx'
56 combined_df.to_excel(excel_file, sheet_name='Datos', index_label='Nombre')
57
58 print(f'Datos de nodos y breakers guardados en {excel_file}')
59
60 line_dict = {}
61

```

Figura 2.8 Datos importados desde PowerFactory.

Para la primera sección del código se hace la lectura de datos desde el Excel, a manera de ejemplo para la subestación 2, se leen los siguientes datos:

**Tabla 2.1** Datos subestación 2, sistema de 14 barras.

Breaker	From	To	Estado
IS1.2	BB1	T1.2	Cerrado
CB1	T1.2	T1.1	Cerrado
IS1.1	T1.1	1	Cerrado
IS2.1	1	T2.1	Cerrado
CB2	T2.1	T2.2	Cerrado
IS2.2	T2.2	BB2	Cerrado
IS3.2	BB1	T3.2	Cerrado
CB3	T3.2	T3.1	Cerrado
IS3.1	T3.1	3	Cerrado
Isb.1	3	Tb.1	Cerrado
CBb	Tb.1	Tb.2	Abierto
ISb.2	Tb.2	4	Cerrado
IS4.1	4	T4.1	Cerrado
CB4	T4.1	T4.2	Cerrado
IS4.2	T4.2	BB2	Cerrado
IS1.2.1	BB1	T1.2.1	Cerrado
CB1.1	T1.2.1	1.1	Cerrado
CB2.1	1.1	T2.2.1	Cerrado
IS2.2.1	T2.2.1	BB2.1	Cerrado

Las líneas de transmisión del sistema de 14 barras se leen como se muestra en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Datos de líneas de transmisión, sistema de 14 barras.

Línea	From	SE	To	SE
LT-1-2	3	1	1.1	2
LT-1-5	4	1	1	5
LT-2-4	3	2	3	4
LT-2-5	4	2	1.1	4
LT-2-3	1	3	1.2	2
LT-3-4	3	3	5	4
TR-4-9	4	4	3	9
LT-5-4	3.1	5	1	4
TRF-5-6	3	5	3.1	6
LT-6-11	3.2	6	1	11
LT-6-13	1.2	6	1.1	13
LT-6-12	1.1	6	Ta.1	12
TRF-4-9	2	4	1	9
LT-9-14	2	9	3	9
TRF-4-8-9	4	4	3	9

LT-9-10	4	9	3	10
LT-10-11	1	10	3	11
LT-12-13	Tb.1	12	1	13
LT-13-14	3	13	1	14

## 2.5 Uso de la herramienta computacional

El código desarrollado se estructura tal como se presenta en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Descripción código implementado en Python.

Línea de Código	Descripción
Línea 1	Importa las bibliotecas necesarias: <code>os</code> , <code>pandas</code> y <code>tabulate</code> .
Línea 3	Obtiene el directorio actual donde se encuentra el script Python.
Línea 5	Especifica la ruta relativa del archivo Excel que contiene la topología con los breakers.
Línea 8	Especifica la ruta relativa del archivo Excel que contiene las conexiones de las líneas de transmisión.
Línea 11	Define una lista de tuplas que representa las subestaciones a procesar. Cada tupla contiene el nombre de la subestación, el nombre de la hoja en el archivo Excel y el rango de celdas que contiene la topología de la subestación.
Línea 19	Define una función llamada <code>setElectricArea</code> que se utilizará para determinar las áreas eléctricas a partir de la topología.
Línea 21	La función <code>setElectricArea</code> toma dos argumentos: <code>node</code> (nodo actual) y <code>EA</code> (diccionario para almacenar las áreas eléctricas).
Línea 22	Define una nueva tabla llamada <code>nueva_tabla</code> para cada subestación, que se utilizará para realizar el procesamiento de las áreas eléctricas.
Línea 24	Obtiene las conexiones de la subestación actual a partir del DataFrame <code>df</code> utilizando la columna 'From' (nodo de inicio) y 'Estado' (estado del breaker).
Línea 25	Itera sobre las conexiones para determinar las áreas eléctricas.
Línea 26	Obtiene el nodo al que está conectado el nodo actual ( <code>other_node</code> ).
Línea 27	Verifica si el nodo <code>other_node</code> ya ha sido visitado. Si no ha sido visitado, lo agrega al diccionario <code>EA</code> junto con el breaker correspondiente.

Línea de Código	Descripción
Línea 29	Llama recursivamente a la función setElectricArea para el nodo other_node y continúa determinando las áreas eléctricas.
Línea 33	Procesa cada subestación en la lista subestaciones.
Línea 37	Lee el archivo Excel y carga los datos de la hoja especificada en el DataFrame df.
Línea 40	Crea una nueva tabla llamada nueva_tabla para cada subestación, que se utilizará para realizar el procesamiento de las áreas eléctricas.
Línea 43	Crea una lista EA_list para almacenar las áreas eléctricas resultantes.
Línea 46	Itera sobre los nodos de la subestación actual para determinar las áreas eléctricas utilizando la función setElectricArea.
Línea 50	Crea un DataFrame df_areas con los datos de las áreas eléctricas y sus correspondientes breakers.
Línea 51	Exporta los resultados de las áreas eléctricas a un archivo Excel con el nombre de la subestación y el sufijo "_areas.xlsx".
Línea 57	Lee el archivo Excel que contiene las conexiones de las líneas de transmisión y carga los datos en el DataFrame LineasC.
Línea 60	Convierte el DataFrame LineasC en una lista de listas data.
Línea 63	Obtiene los encabezados de columna del DataFrame LineasC.
Línea 66	Muestra los datos de las líneas de transmisión en una tabla utilizando la función tabulate.
Línea 69	Crea un archivo Excel con los datos de las líneas de transmisión utilizando el DataFrame df_lineas_transmision.

### 3. APLICACIÓN Y RESULTADOS

**Comentado [NVGG8]:** Conclusiones y Recomendaciones pasan a capítulo 4

#### 3.1 Sistema IEEE de 14 barras.

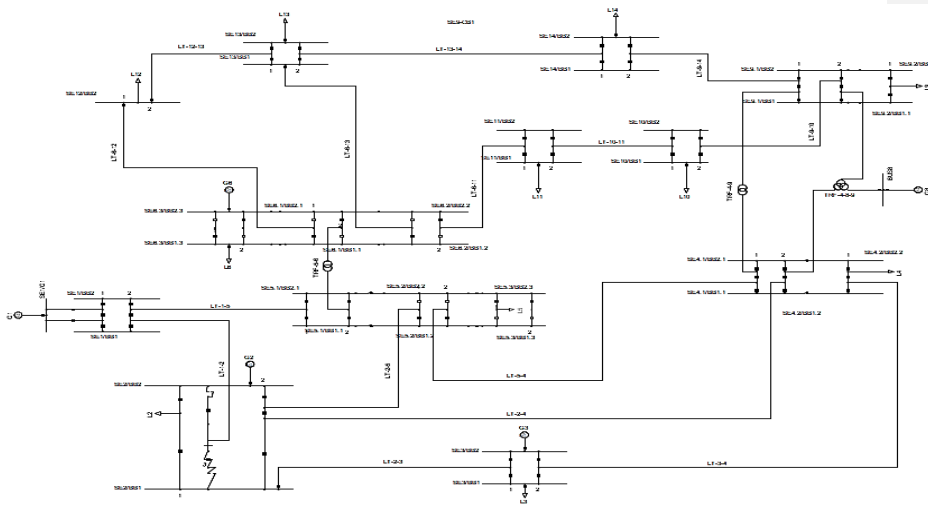


Figura 3.1 Sistema IEE de 14 Barras

##### 3.1.1 Procesamiento de topología

Subestación 5

Se presentan los siguientes datos para la subestación 5

Datos de entrada de la Subestacion obtenidos de Power Factory.

**Comentado [NVGG9]:** Presentar gráficas en modelo nodo - barra, y los resultados como gráficas en modelo bus - línea. En ambos modelos deben ser legibles los nombres de los elementos (nodos e interruptores) y debe poder observarse el estado abierto o cerrado.

Solamente para los dos primeros casos incluir una tabla de resultados. Para los siguientes casos, presentar solamente gráficas.

Finalmente, debe presentarse el archivo de datos de salida en formatos IEEE, Matpower y Pandapower.

ESTO SE APLICA PARA TODOS LOS CASOS DE ESTUDIO

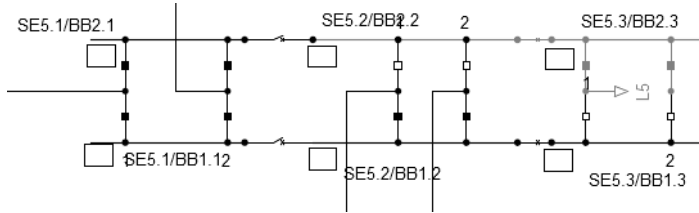


**Tabla 3.1** Datos de la subestación 5.

<b>Breaker</b>	<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Estado</b>	<b>Bahía</b>
IS1.2	BB1	T1.2	Cerrado	1
CB1	T1.2	T1.1	Cerrado	1
IS1.1	T1.1	1	Cerrado	1
IS2.1	1	T2.1	Cerrado	1
CB2	T2.1	T2.2	Cerrado	1
IS2.2	T2.2	BB2	Cerrado	1
IS3.2	BB1	T3.2	Cerrado	2
CB3	T3.2	T3.1	Cerrado	2
IS3.1	T3.1	3	Cerrado	2
IS4.1	3	T4.1	Cerrado	2
CB4	T4.1	T4.2	Cerrado	2
IS4.2	T4.2	BB2	Cerrado	2
IS1.2.1	BB1.1	T1.2.1	Cerrado	1.1
CB1.1	T1.2.1	T1.1.1	Cerrado	1.1
IS1.1.1	T1.1.1	1.1	Cerrado	1.1
IS2.1.1	1.1	T2.1.1	Cerrado	1.1
CB2.1	T2.1.1	T2.2.1	Cerrado	1.1
IS2.2.1	T2.2.1	BB2.1	Cerrado	1.1
IS3.2.1	BB1.1	T3.2.1	Cerrado	2.1
CB3.1	T3.2.1	T3.1.1	Cerrado	2.1
IS3.1.1	T3.1.1	3.1	Cerrado	2.1
IS4.1.1	3.1	T4.1.1	Cerrado	2.1
CB4.1	T4.1.1	T4.2.1	Cerrado	2.1
IS4.2.1	T4.2.1	BB2.1	Cerrado	2.1
IS1.2	BB1.2	T1.2.2	Cerrado	1.2
CB1.2	T1.2.2	T1.1.2	Cerrado	1.2
IS1.1	T1.1.2	1.2	Cerrado	1.2
IS2.1	1.2	T2.1.2	Cerrado	1.2
CB2	T2.1.2	T2.2.2	Cerrado	1.2
IS2.2	T2.2.2	BB2.2	Cerrado	1.2
IS3.2	BB1.2	T3.2.2	Cerrado	2.2
CB3	T3.2.2	T3.1.2	Cerrado	2.2
IS3.1	T3.1.2	3.2	Cerrado	2.2
IS4.1	3.2	T4.1.2	Cerrado	2.2
CB4	T4.1.2	T4.2.2	Cerrado	2.2
IS4.2	T4.2.2	BB2.2	Cerrado	2.2
SE5- CB1-1-2	BB1	BB1.1	Cerrado	Breakers
SE5- CB2-1-2	BB2	BB2.1	Cerrado	Breakers
SE5- CB1-2-3	BB1.1	BB1.2	Cerrado	Breakers

SE5- CB2-2-3	BB2.1	BB2.2	Cerrado	Breakers
-----------------	-------	-------	---------	----------

Representación gráfica de la topología de la Subestación 5

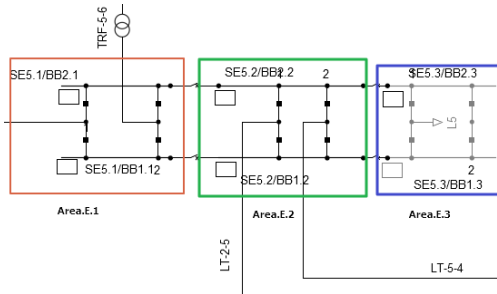


**Figura 3.2** Topología de la Subestación 5

- Caso de estudio

Para este caso se presentan los siguientes interruptores Circuit Breakers abiertos SE5-CB1-1-2, SE5-CB2-1-2, SE5-CB1-2-3, SE5-CB2-2-3.

El resultado gráfico de la topología de la subestación considerando los antes mencionados abiertos obtenido es el siguiente.



**Figura 3.3** Resultado Topología de la Subestación 5

La herramienta computacional presenta tres áreas eléctricas debido a la apertura de los Breakers entre las subestaciones que conforman a la subestación 5.

**Tabla 3.2** Resultado subestación 5.

<b>Subestacion5:</b>	
<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2

T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS2.2
BB2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4
<b>Área Eléctrica 2</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1.1	IS1.2.1
T1.2.1	CB1.1
T1.1.1	IS1.1.1
1.1	IS2.1.1
T2.1.1	CB2.1
T2.2.1	IS2.2.1
BB2.1	IS3.2.1
T3.2.1	CB3.1
T3.1.1	IS3.1.1
3.1	IS4.1.1
T4.1.1	CB4.1
<b>Área Eléctrica 3</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1.2	IS1.2
T1.2.2	CB1.2
T1.1.2	IS1.1
1.2	IS2.1
T2.1.2	CB2
T2.2.2	IS3.2
T3.2.2	CB3
T3.1.2	IS3.1
3.2	IS4.1
T4.1.2	CB4

#### Subestación 6

Se presenta los siguientes datos para la subestación 6 los cuales fueron obtenidos a través de Power Factory.

**Tabla 3.3** Datos de la subestación 6.

<b>Breaker</b>	<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Estado</b>	<b>Bahía</b>
IS1.2	BB1	T1.2	Cerrado	1
CB1	T1.2	T1.1	Cerrado	1
IS1.1	T1.1	1	Cerrado	1
IS2.1	1	T2.1	Cerrado	1
CB2	T2.1	T2.2	Cerrado	1
IS2.2	T2.2	BB2	Cerrado	1
IS3.2	BB1	T3.2	Cerrado	2
CB3	T3.2	T3.1	Cerrado	2
IS3.1	T3.1	3	Cerrado	2
IS4.1	3	T4.1	Cerrado	2
CB4	T4.1	T4.2	Cerrado	2
IS4.2	T4.2	BB2	Cerrado	2
IS1.2.1	BB1.1	T1.2.1	Cerrado	1.1
CB1.1	T1.2.1	T1.1.1	Cerrado	1.1
IS1.1.1	T1.1.1	1.1	Cerrado	1.1
IS2.1.1	1.1	T2.1.1	Cerrado	1.1
CB2.1	T2.1.1	T2.2.1	Cerrado	1.1
IS2.2.1	T2.2.1	BB2.1	Cerrado	1.1
IS3.2.1	BB1.1	T3.2.1	Cerrado	2.1
CB3.1	T3.2.1	T3.1.1	Cerrado	2.1
IS3.1.1	T3.1.1	3.1	Cerrado	2.1
IS4.1.1	3.1	T4.1.1	Cerrado	2.1
CB4.1	T4.1.1	T4.2.1	Cerrado	2.1
IS4.2.1	T4.2.1	BB2.1	Cerrado	2.1
IS1.2.2	BB1.2	T1.2.2	Cerrado	1.2
CB1.2	T1.2.2	T1.1.2	Cerrado	1.2
IS1.1.2	T1.1.2	1.2	Cerrado	1.2
IS2.1.2	1.2	T2.1.2	Cerrado	1.2
CB2.2	T2.1.2	T2.2.2	Cerrado	1.2
IS2.2.2	T2.2.2	BB2.2	Cerrado	1.2
IS3.2.2	BB1.2	T3.2.2	Cerrado	2.2
CB3.2	T3.2.2	T3.1.2	Cerrado	2.2
IS3.1.2	T3.1.2	3.2	Cerrado	2.2
IS4.1.2	3.2	T4.1.2	Cerrado	2.2
CB4.2	T4.1.2	T4.2.2	Cerrado	2.2
IS4.2	T4.2.2	BB2.2	Cerrado	2.2
SE6- CB1-1-3	BB1	BB1.1	Cerrado	Breakers
SE6- CB2-1-3	BB2	BB2.1	Cerrado	Breakers
SE6- CB1-1-2	BB1.1	BB1.2	Cerrado	Breakers
SE6- CB2-1-2	BB2.1	BB2.2	Cerrado	Breakers

Representación gráfica de la topología de la Subestación 6

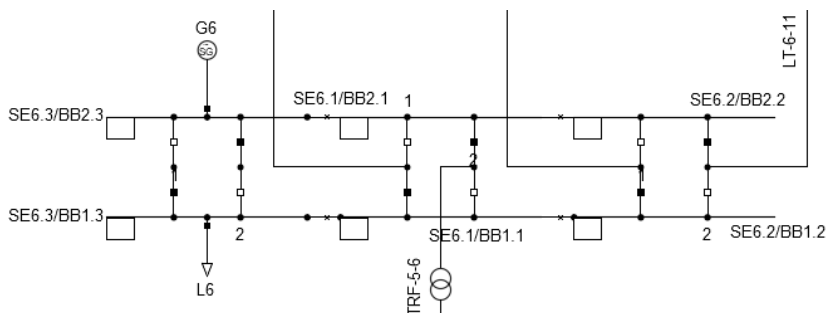


Figura 3.4 Topología de la Subestación 6

Para este caso la se presentan los siguientes interruptores Circuit Breakers abiertos SE6-CB1-1-1, SE6-CB2-1-2, SE6-CB1-1-1, SE6-CB2-2-1.

El resultado obtenido es el siguiente.

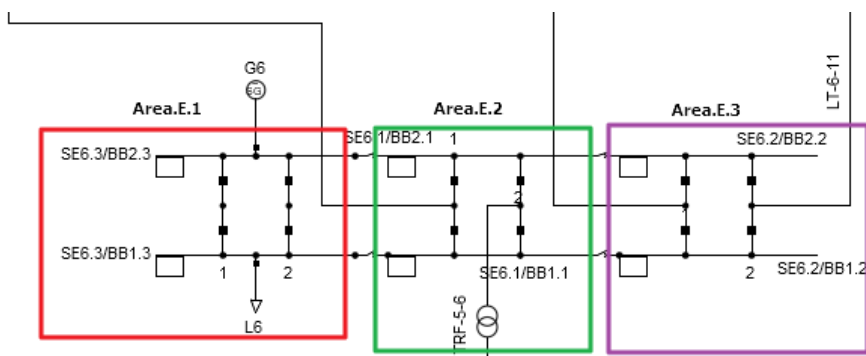


Figura 3.5 Resultados Topología de la Subestación 6

Tabla 3.4 Resultado subestación 6.

Subestacion6:	
Área Eléctrica 1	
Nodos	Breakers
BB1	IS1.2

T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS2.2
BB2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4
<b>Área Eléctrica 2</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1.1	IS1.2.1
T1.2.1	CB1.1
T1.1.1	IS1.1.1
1.1	IS2.1.1
T2.1.1	CB2.1
T2.2.1	IS2.2.1
BB2.1	IS3.2.1
T3.2.1	CB3.1
T3.1.1	IS3.1.1
3.1	IS4.1.1
T4.1.1	CB4.1
<b>Área Eléctrica 3</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1.2	IS1.2.2
T1.2.2	CB1.2
T1.1.2	IS1.1.2
1.2	IS2.1.2
T2.1.2	CB2.2
T2.2.2	IS3.2.2
T3.2.2	CB3.2
T3.1.2	IS3.1.2
3.2	IS4.1.2
T4.1.2	CB4.2

Los Resultados de los elementos en el sistema de 14 barra y sus respectivas conexiones con el área eléctrica que corresponde el nodo del elemento queda de la siguiente manera

Por otra parte, también se presentan otros resultados aplicados a otro caso de estudio en el Anexo 1: Resultados sistema de 14 barras.

## 3.2 Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano

### 3.2.1 Aplicación a S/E Paute Molino 230/138/13.8 kV

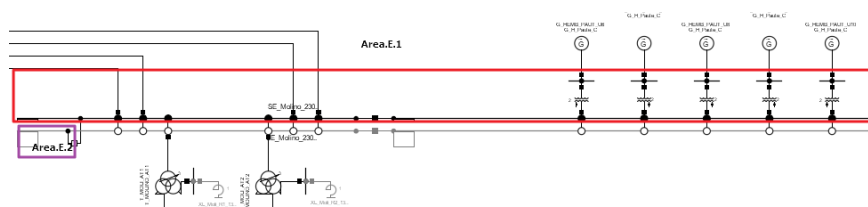
**Comentado [NVGG10]:** Revisar el comentario al inicio del capítulo

La subestación Paute Molino cuenta con dos subestaciones una de 230 kV y 138 kV, cuyos datos se pueden observar en el Anexo 2: Datos subestación Paute Molino 230 kV y 138 kV.

#### - Subestacion de 230 kV

Se considera la apertura de los siguientes Breakers, 289-7BT,289-9L4,289-9L3, 289-9AT2, 289-9AT1,289.9L1, 289-9L2, 289-9U10, 289-9U9, 289-9U6, 289-9U7, 289-9L5, 289-9L6

El resultado obtenido es el siguiente.



**Figura 3.6** Resultado de Topología Paute Molino 230 KV

**Tabla 3.5** Resultados Paute Molino 230 kV.

Subestacion1:	
Área Eléctrica 1	
Nodos	Breakers
BB1	289-7BT
T2	289-7L4
T3	289-1L4
T4	252-2L4
T5	289-3L4
1	289-5L4
3	289-5AT2
T11	289-1AT2

T12	252-2AT2
T13	289-7L3
T7	289-1L3
T8	252-2L3
T9	289-3L3
2	289-7AT1
T15	289-1AT1
T16	252-2AT1
T17	289-3AT1
4	289-7L1
T19	289-1L1
T20	252-2L1
T21	289-3L1
5	289-7L2
T23	289-1L2
T24	252-2L2
T25	289-3L2
6	289-6B1
BB1.1	289-7U8
T27	252-2U8
T28	289-8U8
T29	289-7U9
T31	252-2U9
T32	289-8U9
T33	289-7U6
T39	252-2U6
T40	289-8U6
T41	289-7U7
T43	252-2U7
T44	289-8U7
T45	U7
T46	289-7L5
T47	252-2L5
T48	289-3L5
T49	289-7L6
T51	252-2L6
T52	289-3L6
<b>Área Eléctrica 2</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
T1	289-9BT



### 3.2.2 Aplicación a S/E Santa Rosa 230/138/46/13.8 kV

Para el procesamiento de datos se utilizan las tablas presentadas en el Anexo 3: Datos subestación Santa Rosa 230 kV y 138 kV.

Con todos los Breakers cerrados se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3.6** Resultados Subestación Santa Rosa 138 kV.

<b>Subestacion1:</b>	
<b>Área Eléctrica</b>	
<b>1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BT	89-1O3
T2	52-1O2
T1	89-165
	1 CGSR
T5	CGSR
1.1	89-163
T4	52-162
T3	89-135
	2 Con1
T8	Con1
2.1	89-133
T7	52-132
T6	89-125
	3 Cap
T11	Cap
3.1	89-123
T10	52-122
T9	89-1U5
	4 ATU
T14	ATU
4.1	89-1U3
T13	52-1U2
T12	89-1T5
	5 ATT
T17	ATT
5.1	89-1T3
T16	52-1T2
T15	89-1P5
	6 TRP
T20	TRP

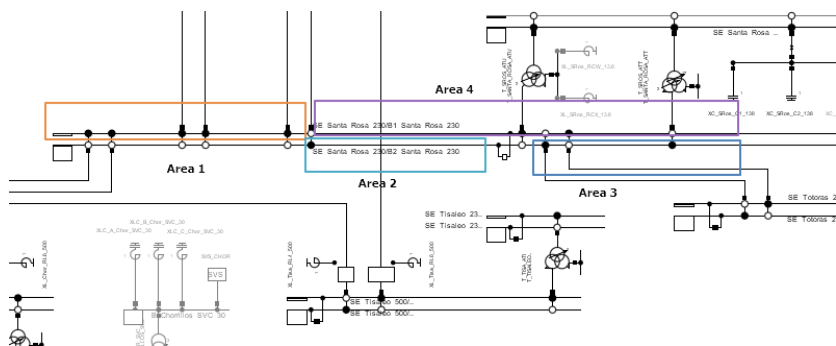
6.1	89-1P3
T19	52-1P2
T18	89-1N5
	7 TRN
T23	TRN
7.1	89-1N3
T22	52-1N2
T21	89-115
	8 E042
T26	E042
8.1	89-113
T25	52-112
T24	89-145
	9 Ros2
T29	Ros2
9.1	89-143
T28	52-142
T27	89-155
	10 Chil
T32	Chil
10.1	89-153
T31	52-152

- Caso de estudio

Se considera la apertura de los siguientes Breakers, 52-202, 89-2U9,89-219,89-229,89-259, 89-269, 89-27T, 89-247, 89-239, 89-277, 89-287

El resultado obtenido es el siguiente.

De manera grafica se puede visualizar las áreas eléctricas de la siguiente forma



**Figura 3.7** Resultado de Topología Santa Rosa 230 KV

Mediante el uso de la herramienta de topología se obtienen cuatro áreas eléctricas

**Tabla 3.7** Resultados Topología Subestación Santa Rosa 230 kV.

<b>Subestacion1:</b>	
<b>Area Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	89-207
T2	89-2U7
T3	89-2U1
T4	52-2U2
T5	89-2U3
1	89-2U5
T3.1	89-217
T7	89-211
T8	52-212
T9	89-213
2	89-215
T7.1	89-227
T11	89-221
T12	52-222
T13	89-223
3	89-225
T11.1	89-257
T15	89-251
T16	52-252
T17	89-253
4	89-255
T15.1	89-267
T19	89-261
T20	52-262
T21	89-263
5	89-237
T31	89-231
T32	52-232
T33	89-233
8	89-277
T35	89-271
T36	52-272
T37	89-273
9	89-275
<b>Area Eléctrica 2</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
T23	89-2T1

T24	52-2T2
T25	89-2T3
6	89-2T5
<b>Área Eléctrica 3</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
T27	89-241
T28	52-242
T29	89-243
<b>Área Eléctrica 4</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
T39	89-281
T40	52-282
T41	89-283

### 3.3 Líneas de Trasmisión

Como resultado del procesamiento de líneas el algoritmo genera el nombre de la línea, nodo de salida, subestación de salida, área eléctrica de salida correspondiente al nodo de salida y lo mismo para el nodo de llegada.

- **Sistema de 14 barras**

En la tabla del Anexo 4 se describe los datos de líneas de transmisión IEEE 14 barras.

Con el proceso de la topología se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3.8** Resultados del procesamiento de datos de líneas de transmisión subestación IEEE 14 barras.

Línea	From	From Área Eléctrica	SE	To	To Área Eléctrica	SE_2
LT-1-2	3	Área Eléctrica 1	1	1.1	Área Eléctrica 1	2
LT-1-5	4	Área Eléctrica 1	1	1	Área Eléctrica 1	5
LT-2-4	3	Área Eléctrica 1	2	3	Área Eléctrica 1	4
LT-2-5	4	Área Eléctrica 1	2	1.1	Área Eléctrica 1	4
LT-2-3	1	Área Eléctrica 1	3	1.2	Área Eléctrica 1	2
LT-3-4	3	Área Eléctrica 1	3	5	Área Eléctrica 3	4

**Comentado [NVGG11]:** La validación se realiza mediante el otro algoritmo implementado basado en descomposición QR. Se debe comparar los resultados de ambos algoritmos y llegar a la misma solución.

TR-4-9	4	Área Eléctrica 1	4	3	Área Eléctrica 1	9
LT-5-4	3.1	Área Eléctrica 1	5	1	Área Eléctrica 1	4
TRF-5-6	3	Área Eléctrica 1	5	3.1	Área Eléctrica 1	6
LT-6-11	3.2	Área Eléctrica 1	6	1	Área Eléctrica 1	11
LT-6-13	1.2	Área Eléctrica 1	6	1.1	Área Eléctrica 1	13
LT-6-12	1.1	Área Eléctrica 1	6	BB2	Área Eléctrica 1	12
TRF-4-9	2	Área Eléctrica 1	4	1	Área Eléctrica 1	9
LT-9-14	2	Área Eléctrica 1	9	3	Área Eléctrica 1	9
TRF-4-8-9	4	Área Eléctrica 1	4	3	Área Eléctrica 1	9
LT-9-10	4	Área Eléctrica 1	9	3	Área Eléctrica 1	10
LT-10-11	1	Área Eléctrica 1	10	3	Área Eléctrica 1	11
LT-12-13	BB2.1	Área Eléctrica 2	12	1	Área Eléctrica 1	13
LT-13-14	3	Área Eléctrica 1	13	1	Área Eléctrica 1	14

Con los resultados obtenidos en el archivo resultado subestaciones, se verifica la agrupación de los nodos en sus respectivas áreas eléctricas y formando el sistema de 14 barras cuya topología es nodo- Línea de transmisión-nodo.

- **Paute Molino**

Con el procesamiento de datos de las líneas de transmisión que se pueden observar en el Anexo 5: Datos de líneas de transmisión de la subestación Paute Molino, se obtuvieron los resultados de la siguiente tabla

**Tabla 3.9** Resultados del procesamiento de datos de líneas de transmisión subestación Paute-Molino.

Línea	From	From Área Eléctrica	SE	To	To Área Eléctrica	SE_2
L_MOLI_ZHOR_2_1	T6	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T14		Zhoray-230
L_MOLI_ZHOR_2_2	T10	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T18		Zhoray-230
T_MOLI_AT2	T14	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T28	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138
T_MOLI_AT1	T18	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T24	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138
L_MOLI_PASC_2_2	T22	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T26		Pascuales-230
L_MOLI_PASC_2_1	T26	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T30		Pascuales-230
T_PAUT_U8	T29	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	B_Paute_U8-13.8		Paute_U8-13.8
T_PAUT_U10	T33	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	B_Paute_U10-13.9		Paute_U10-13.9
T_PAUT_U9	T37	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	B_Paute_U9-13.10		Paute_U9-13.10
T_PAUT_U6	T41	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	B_Paute_U6-13.11		Paute_U6-13.11
T_PAUT_U7	T45	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	B_Paute_U7-13.12		Paute_U7-13.12
L_MOLI_TADA_2_1	T49	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T14		Taday-230
L_MOLI_TADA_2_2	T53	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230	T18		Taday-231
L_CUEN_MOLI_1_1	T6	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	T5		Cuenca-183
L_CUEN_MOLI_1_2	2	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	T8		Cuenca-183

T_PAUT_U1	3	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	B_Paute_U1-138		Paute_U1-138
T_PAUT_U2	4	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	B_Paute_U2-138		Paute_U2-138
T_PAUT_U3	5	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	B_Paute_U3-139		Paute_U3-138
T_PAUT_U4	6	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	B_Paute_U4-140		Paute_U4-138
T_PAUT_U5	7	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	B_Paute_U5-141		Paute_U5-138
T_MOLI_AT1	T24	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	T18	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230
T_MOLI_AT2	T28	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_138	T14	Área Eléctrica 1	Paute_Molino_230

Los espacios en blanco corresponden a las subestaciones que no forman parte del procesamiento de topología ya que son datos correspondientes a otras subestaciones del Sistema Nacional Interconectado y se da validación a las interconexiones entre los nodos de salida y nodos de llegada.

- **Santa Rosa**

Con el procesamiento de datos de las líneas de transmisión que se pueden observar en el Anexo 6: Datos de líneas de transmisión de la subestación Santa Rosa, se obtuvieron los resultados de la siguiente tabla:

**Tabla 3.10** Resultados del procesamiento de datos de líneas de transmisión subestación Santa Rosa.

Línea	From	From Área Eléctrica	SE	To	To Área Eléctrica	SE_2
T_SROS_ATU	T6	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T14	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138
L_SDOM_SROS_2_1	T10	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T6		Santo Domingo-230
L_SDOM_SROS_2_2	T14	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T18		Santo Domingo-230
L_POMA_SROS_2_1	T18	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T10		Pomasqui-230
L_POMA_SROS_2_2	T22	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T14		Pomasqui-230
T_SROS_ATT	T26	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T17	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138
L_SROS_TOTO_2_2	T30	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T10		Totoras-230
L_SROS_TOTO_2_1	T34	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T14		Totoras-230
L_INGA_SROS_2_1	T38	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T18		Inga-230
L_INGA_SROS_2_2	T42	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230	T22		inga-230
L_SROS_CGSR_1_1	T5	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	T11		CGSR-138
L_CONO_SROS_1_1	T8	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	B-Conocoto		B-Conocoto(SE23)
It_Cap_SRos	T11	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	4		Cap-Santa Rosa-138
T_SROS_ATU	T14	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	T6	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230
T_SROS_ATT	T17	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	T26	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_230
T_SROS_TRP	T20	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	B-Santa-Rosa TRP		B-Santa-Rosa (SE37) TRP
T_SROS_TRN	T23	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	B-Santa-Rosa TRN		B-Santa-Rosa (SE37) TRN
L_E042_SROS_1_1	T26	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	B-Estructura 42-1EE		B-Estructura 42-1EE
L_SROS_SRO2_1_1	T29	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	B-Santa Rosa 2		B-Santa Rosa 2
L_CHIL_SROS_1_1	T32	Área Eléctrica 1	Santa_Rosa_138	BP-Santa Rosa-138		BP-Santa Rosa-138



## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Comentado [NVGG12]: Conclusiones y Recomendaciones pasan a capítulo 4

### 4.1 Conclusiones

Se implementa un algoritmo para el procesamiento de topología que, a partir del modelo nodo – interruptor de un sistema eléctrico de potencia, permite determinar el modelo barra – línea basándose en el estado de los interruptores y la conectividad de la red eléctrica. Los resultados son fundamentales para el posterior análisis y simulación del sistema eléctrico empleando programas convencionales que emplean modelos barra – línea como Matpower, PandaPower, PowerWorld Simulator, PSS/E, etc.

La revisión bibliográfica realizada permitió obtener un conocimiento sólido sobre los algoritmos propuestos y existentes para el procesamiento y consolidación de la topología en sistemas eléctricos de potencia. Esto facilitó la selección de las mejores prácticas y enfoques para implementar el algoritmo.

La herramienta computacional fue desarrollada en lenguaje Python, y presenta una interfaz amigable que permite a los usuarios cargar los datos de la topología del sistema eléctrico y obtener de manera eficiente los resultados del modelo barra – línea. Además, la conexión con DigSILENT PowerFactory brinda la posibilidad de obtener datos precisos y actualizados del sistema en tiempo real.

### 4.2 Recomendaciones

Se sugiere continuar investigando e implementar otros algoritmos de procesamiento de topología, considerando nuevos avances y técnicas en el campo de la ingeniería eléctrica. La incorporación de nuevas funcionalidades y mejoras ayudará a mantener la herramienta relevante y competitiva en el futuro.

Es importante realizar pruebas exhaustivas y validar la herramienta con una variedad de sistemas eléctricos de diferentes tamaños y características. Esto permitirá verificar la robustez y confiabilidad de la herramienta en diferentes escenarios y asegurarse de que pueda adaptarse a sistemas eléctricos complejos y extensos.

Se recomienda realizar un análisis de rendimiento y optimización de la herramienta para mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de procesamiento, especialmente en sistemas eléctricos de gran escala.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F.M.B Ramirez, «Procesador de Información Generalizado para la supervisión en tiempo real de Sistemas de potencia débiles,» 1993.
- [2] "DigSILENT PowerFactory , «"DigSILENT PowerFactory - Power System Simulation and Analysis Software," ,» "DigSILENT PowerFactory - Power System Simulation and Analysis Software,".
- [3] J R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, and R. J. Thomas, «MATPOWER,» *IEEE*, pp. 12-19, 2011.
- [4] «PowerFactory,» "DigSILENT PowerFactory - Power System Simulation and Analysis Software.
- [5] «Python Software,» *Python Language Reference, version 3.9. Available*, 2021.
- [6] Python Software Foundation. , «Python Software Foundation.,» *Python Language Reference, version 3.9. Available:* , 2021.
- [7] IEEE, « "IEEE Standard for Inter-Exchange of Power System Model and Data via a Common Format," ,» *IEEE Task Force on Formulating Standard Definitions for the Power System*, 2011.
- [8] T. Sutikno, M. Marsadek, R. Nugroho, and R. Agustian, « A Comprehensive Review of Power System Topology Processing Techniques,» *5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2018.
- [9] L. H. F. Machado and G. S. Machado, , «PandaPower,» *PandaPower An Open-Source Python Tool for Data-Driven Power System Analysis,*, 2020.

**Comentado [NVGG13]:** Las referencias deben ser escritas siguiendo el formato IEEE.  
Usar algún gestor de referencias.

Los números de referencia NO coinciden con el texto escrito.  
Debe CORREGIRSE

## **6. ANEXOS**

ANEXO 1. Resultados sistema de 14 barras.

ANEXO 2. Datos subestación Paute Molino 230 kV y 138 kV

ANEXO 3. Datos subestación Santa Rosa 230 kV y 138 kV.

ANEXO 4. Datos líneas de transmisión IEEE 14 Barras.

ANEXO 5 : Datos líneas de transmisión Paute Molino.

ANEXO 6: Datos de líneas de transmisión de la subestación Santa Rosa

## ANEXO 1

Resultado subestación 1.

<b>Subestacion1:</b>	
<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	Breaker 1
Terminal 1	ISa.1
Ta.1	Cba
Ta.2	ISa.2
2	Breaker 2
Terminal 2	Is2.1
T2.1	Cb2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	Isb.1
Tb.1	CBb
Tb.2	ISb.2
4	IS4.1
T4.1	CB4

Resultado subestación 2.

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1

T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	Isb.1
Tb.1	IS1.2.1
T1.2.1	CB1.1
1.1	CB2.1
<b>Área Eléctrica 2</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
Tb.2	ISb.2
4	IS4.1
T4.1	CB4

Resultado subestación 3.

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4

Resultado subestación 4

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1

T1.1	IS1.1
1	ISa.1
Ta.1	Cba
Ta.2	ISa.2
2	IS2.1
T2.1	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	Isb.1
Tb.1	CBb
Tb.2	ISb.2
4	IS4.1
T4.1	CB4
T4.2	IS1.2.1
T5.2	CB1.1
T5.1	IS1.1.1
5	ISa.1.1
<b>Área Eléctrica 2</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
Tc.2	ISa.2.1
6	IS2.1.1
T6.1	CB2.1

Resultado subestación 5

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	IS1.2.1
T1.2.1	CB1.1
T1.1.1	IS1.1.1
1.1	IS2.1.1
T2.1.1	CB2.1
T2.2.1	IS3.2.1
T3.2.1	IS1.2
T1.2.2	CB1.2

T1.1.2	IS1.1
1.2	IS2.1
T2.1.2	CB2
T2.2.2	IS3.2
T3.2.2	CB3
T3.1.2	IS3.1
3.2	IS4.1
T4.1.2	CB4
<b>Área Eléctrica 2</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
T3.1.1	IS3.1.1
3.1	IS4.1.1
T4.1.1	CB4.1

Resultado subestación 6

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4
T4.2	IS1.2.1
T1.2.1	CB1.1
T1.1.1	IS1.1.1
1.1	IS2.1.1
T2.1.1	CB2.1
T2.2.1	IS3.2.1
T3.2.1	CB3.1
T3.1.1	IS3.1.1
3.1	IS4.1.1
T4.1.1	CB4.1
T4.2.1	IS1.2.2
T1.2.2	CB1.2
T1.1.2	IS1.1.2

1.2	IS2.1.2
T2.1.2	CB2.2
T2.2.2	IS3.2.2
T3.2.2	CB3.2
T3.1.2	IS3.1.2
3.2	IS4.1.2
T4.1.2	CB4.2

Resultado subestación 9

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	ISa.1
Ta.1	CBa
Ta.2	ISa.2
2	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	ISb.1
Tb.1	CBb
Tb.2	ISb.2
4	IS4.1
T4.1	CB4
T4.2	IS1.2.1
T1.2.1	CB1.1
T1.1.1	IS1.1.1
1.1	IS2.1.1
T2.1.1	CB2.1

Resultado subestación 10

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1



T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4

Resultado subestación 11

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4

Resultado subestación 13

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2
T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4

Resultado subestación 14

<b>Área Eléctrica 1</b>	
<b>Nodos</b>	<b>Breakers</b>
BB1	IS1.2

T1.2	CB1
T1.1	IS1.1
1	IS2.1
T2.1	CB2
T2.2	IS3.2
T3.2	CB3
T3.1	IS3.1
3	IS4.1
T4.1	CB4

## ANEXO 2

### Paute Molino 230 kV

Breaker	From	To	Estado	Bahía
289-7BT	BB1	T2	Cerrado	1
252-2BT	T2	T1	Cerrado	1
289-9BT	T1	BB2	Cerrado	1
289-7L4	BB1	T3	Cerrado	2
289-1L4	T3	T4	Cerrado	2
252-2L4	T4	T5	Cerrado	2
289-3L4	T5	1	Cerrado	2
Zho1	1	T6	Cerrado	2
289-5L4	1	3	Cerrado	2
289-9L4	3	BB2	Cerrado	2
289-7L3	BB1	T7	Cerrado	3
289-1L3	T7	T8	Cerrado	3
252-2L3	T8	T9	Cerrado	3
289-3L3	T9	2	Cerrado	3
Zho2	2	T10	Cerrado	3
289-5L3	2	T7	Cerrado	3
289-9L3	T7	BB2	Cerrado	3
289-7AT2	BB1	T11	Cerrado	4
289-1AT2	T11	T12	Cerrado	4
252-2AT2	T12	T13	Cerrado	4
289-3AT2	T13	3	Cerrado	4
AT2	3	T14	Cerrado	4
289-5AT2	3	T11	Cerrado	4
289-9AT2	T11	BB2	Cerrado	4
289-7AT1	BB1	T15	Cerrado	5
289-1AT1	T15	T16	Cerrado	5
252-2AT1	T16	T17	Cerrado	5

289-3AT1	T17	4	Cerrado	5
AT1	4	T18	Cerrado	5
289-5AT1	4	T15	Cerrado	5
289-9AT1	T15	BB2	Cerrado	5
289-7L1	BB1	T19	Cerrado	6
289-1L1	T19	T20	Cerrado	6
252-2L1	T20	T21	Cerrado	6
289-3L1	T21	5	Cerrado	6
Pas2	5	T22	Cerrado	6
289-5L1	5	T19	Cerrado	6
289-9L1	T19	BB2	Cerrado	6
289-7L2	BB1	T23	Cerrado	7
289-1L2	T23	T24	Cerrado	7
252-2L2	T24	T25	Cerrado	7
289-3L2	T25	6	Cerrado	7
Pas1	6	T26	Cerrado	7
289-5L2	6	T23	Cerrado	7
289-9L2	T23	BB2	Cerrado	7
289-7U8	BB1.1	T27	Cerrado	1.1
252-2U8	T27	T28	Cerrado	1.1
289-8U8	T28	T29	Cerrado	1.1
U8	T29	T30	Cerrado	1.1
289-9U8	T27	BB2.1	Cerrado	1.1
289-7U9	BB1.1	T31	Cerrado	1.2
252-2U9	T31	T32	Cerrado	1.2
289-8U9	T32	T33	Cerrado	1.2
U9	T33	T34	Cerrado	1.2
289-9U9	T31	BB2.1	Cerrado	1.2
289-7U6	BB1.1	T39	Cerrado	1.3
252-2U6	T39	T40	Cerrado	1.3
289-8U6	T40	T41	Cerrado	1.3
U6	T41	T42	Cerrado	1.3
289-9U6	T39	BB2.1	Cerrado	1.3
289-7U7	BB1.1	T43	Cerrado	1.4
252-2U7	T43	T44	Cerrado	1.4
289-8U7	T44	T45	Cerrado	1.4
U7	T45	T46	Cerrado	1.4
U7	T46	T45	Cerrado	1.4
289-9U7	T43	BB2.1	Cerrado	1.4
289-7L5	BB1.1	T47	Cerrado	1.5
252-2L5	T47	T48	Cerrado	1.5
289-3L5	T48	T49	Cerrado	1.5
Tad1	T49	T50	Cerrado	1.5
289-9L5	T47	BB2.1	Cerrado	1.5
289-7L6	BB1.1	T51	Cerrado	1.6

252-2L6	T51	T52	Cerrado	1.6
289-3L6	T52	T53	Cerrado	1.6
Tad2	T53	T54	Cerrado	1.6
289-9L6	T51	BB2.1	Cerrado	1.6
289-6B1	BB1	BB1.1	Cerrado	Breakers
289-6B2	BB2	BB2.1	Cerrado	Breakers

**Paute- Molino 138 kV.**

<b>Breaker</b>	<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Estado</b>	<b>Bahía</b>
189-7BT	BB1	T2	Cerrado	1
152-2BT	T2	T1	Cerrado	1
189-9BT	T1	BB2	Cerrado	1
189-9L1	BB1	T3	Cerrado	1
189-1L1	T3	T4	Cerrado	2
152-2L1	T4	T5	Cerrado	2
189-3L1	T5	1	Cerrado	2
Cue1	1	T6	Cerrado	2
189-5L1	1	T3	Cerrado	2
189-7L1	T3	BB2	Cerrado	2
189-9L2	BB1	T7	Cerrado	3
189-1L2	T7	T8	Cerrado	3
152-2L2	T8	T9	Cerrado	3
189-3L2	T9	2	Cerrado	3
Cue2	2	T10	Cerrado	3
189-5L2	2	T7	Cerrado	3
189-7L2	T7	BB2	Cerrado	3
189-7U1	BB1	T11	Cerrado	4
152-2U1	T11	3	Cerrado	4
U1	3	T12	Cerrado	4
189-9U1	T11	BB2	Cerrado	4
189-7U2	BB1	T13	Cerrado	5
152-2U2	T13	4	Cerrado	5
U2	4	T14	Cerrado	5
189-9U2	T13	BB2	Cerrado	5
189-9U3	BB1	T15	Cerrado	6
152-2U3	T15	5	Cerrado	6
U3	5	T16	Cerrado	6
189-7U3	T15	BB2	Cerrado	6
189-9U4	BB1	T17	Cerrado	7
152-2U4	T17	6	Cerrado	7
U4	6	T18	Cerrado	7
189-7U4	T17	BB2	Cerrado	7

189-9U5	BB1	T19	Cerrado	8
152-2U5	T19	7	Cerrado	8
U5	7	T20	Cerrado	8
189-7U5	T19	BB2	Cerrado	8
189-7AT1	BB1	T21	Cerrado	9
189-1AT1	T21	T22	Cerrado	9
152-2AT1	T22	T23	Cerrado	9
189-3AT1	T23	8	Cerrado	9
AT1	8	T24	Cerrado	9
189-5AT1	8	T21	Cerrado	9
189-9AT1	T21	BB2	Cerrado	9
189-7AT2	BB1	T25	Cerrado	10
189-1AT2	T25	T26	Cerrado	10
152-2AT2	T26	T27	Cerrado	10
189-3AT2	T27	9	Cerrado	10
AT2	9	T28	Cerrado	10
189-5AT2	9	T25	Cerrado	10
189-9AT2	T25	BB2	Cerrado	10

### ANEXO 3

#### Datos subestación Santa Rosa 230 kV

	Breaker	From	To	Estado
	89-103	BT	T2	Cerrado
	52-102	T2	T1	Cerrado
	89-101	T1	BP	Cerrado
	89-165	BT	1	Cerrado
	CGSR	1	T5	Cerrado
	CGSR	T5	1.1	Cerrado
	89-163	1.1	T4	Cerrado
	52-162	T4	T3	Cerrado
	89-161	T3	BP	Cerrado
	89-135	BT	2	Cerrado
	Con1	2	T8	Cerrado
	Con1	T8	2.1	Cerrado
	89-133	2.1	T7	Cerrado
	52-132	T7	T6	Cerrado
	89-131	T6	BP	Cerrado
	89-125	BT	3	Cerrado
	Cap	3	T11	Cerrado

SUBESTACION	Cap	T11	3.1	Cerrado
SANTA ROSA 230 kV	89-123	3.1	T10	Cerrado
	52-122	T10	T9	Cerrado
	89-121	T9	BP	Cerrado
	89-1U5	BT	4	Cerrado
	ATU	4	T14	Cerrado
	ATU	T14	4.1	Cerrado
	89-1U3	4.1	T13	Cerrado
	52-1U2	T13	T12	Cerrado
	89-1U1	T12	BP	Cerrado
	89-1T5	BT	5	Cerrado
	ATT	5	T17	Cerrado
	ATT	T17	5.1	Cerrado
	89-1T3	5.1	T16	Cerrado
	52-1T2	T16	T15	Cerrado
	89-1T1	T15	BP	Cerrado
	89-1P5	BT	6	Cerrado
	TRP	6	T20	Cerrado
	TRP	T20	6.1	Cerrado
	89-1P3	6.1	T19	Cerrado
	52-1P2	T19	T18	Cerrado
	89-1P1	T18	BP	Cerrado
	89-1N5	BT	7	Cerrado
	TRN	7	T23	Cerrado
	TRN	T23	7.1	Cerrado
	89-1N3	7.1	T22	Cerrado
	52-1N2	T22	T21	Cerrado
	89-1N1	T21	BP	Cerrado
	89-115	BT	8	Cerrado
	E042	8	T26	Cerrado
	E042	T26	8.1	Cerrado
	89-113	8.1	T25	Cerrado
	52-112	T25	T24	Cerrado
	89-111	T24	BP	Cerrado
	89-145	BT	9	Cerrado
	Ros2	9	T29	Cerrado
	Ros2	T29	9.1	Cerrado
	89-143	9.1	T28	Cerrado
	52-142	T28	T27	Cerrado
	89-141	T27	BP	Cerrado
	89-155	BT	10	Cerrado
Chil	10	T32	Cerrado	
Chil	T32	10.1	Cerrado	
89-153	10.1	T31	Cerrado	
52-152	T31	T30	Cerrado	

	89-151	T30	BP	Cerrado
--	--------	-----	----	---------

#### ANEXO 4

	Línea	From	SE	To	SE
Barras 14	LT-1-2	3	1	1.1	2
	LT-1-5	4	1	1	5
	LT-2-4	3	2	3	4
	LT-2-5	4	2	1.1	4
	LT-2-3	1	3	1.2	2
	LT-3-4	3	3	5	4
	TR-4-9	4	4	3	9
	LT-5-4	3.1	5	1	4
	TRF-5-6	3	5	3.1	6
	LT-6-11	3.2	6	1	11
	LT-6-13	1.2	6	1.1	13
	LT-6-12	1.1	6	BB2	12
	TRF-4-9	2	4	1	9
	LT-9-14	2	9	3	9
	TRF-4-8-9	4	4	3	9
	LT-9-10	4	9	3	10
	LT-10-11	1	10	3	11
	LT-12-13	BB2.1	12	1	13
	LT-13-14	3	13	1	14

#### ANEXO 5

	Línea	From	SE	To	SE
Molino 230 kV	L_MOLI_ZHOR_2_1	T6	Paute_Molino_230	T14	Zhoray-230
	L_MOLI_ZHOR_2_2	T10	Paute_Molino_230	T18	Zhoray-230
	T_MOLI_AT2	T14	Paute_Molino_230	T28	Paute_Molino_138
	T_MOLI_AT1	T18	Paute_Molino_230	T24	Paute_Molino_138
	L_MOLI_PASC_2_2	T22	Paute_Molino_230	T26	Pascuales-230
	L_MOLI_PASC_2_1	T26	Paute_Molino_230	T30	Pascuales-230
	T_PAUT_U8	T29	Paute_Molino_230	B_Paute_U8-13.8	Paute_U8-13.8

Molino 138 kV	T_PAUT_U10	T33	Paute_Molino_230	B_Paute_U10-13.9	Paute_U10-13.9
	T_PAUT_U9	T37	Paute_Molino_230	B_Paute_U9-13.10	Paute_U9-13.10
	T_PAUT_U6	T41	Paute_Molino_230	B_Paute_U6-13.11	Paute_U6-13.11
	T_PAUT_U7	T45	Paute_Molino_230	B_Paute_U7-13.12	Paute_U7-13.12
	L_MOLI_TADA_2_1	T49	Paute_Molino_230	T14	Taday-230
	L_MOLI_TADA_2_2	T53	Paute_Molino_230	T18	Taday-231
	L_CUEN_MOLI_1_1	T6	Paute_Molino_138	T5	Cuenca-183
	L_CUEN_MOLI_1_2	2	Paute_Molino_138	T8	Cuenca-183
	T_PAUT_U1	3	Paute_Molino_138	B_Paute_U1-138	Paute_U1-138
	T_PAUT_U2	4	Paute_Molino_138	B_Paute_U2-138	Paute_U2-138
	T_PAUT_U3	5	Paute_Molino_138	B_Paute_U3-139	Paute_U3-138
	T_PAUT_U4	6	Paute_Molino_138	B_Paute_U4-140	Paute_U4-138
	T_PAUT_U5	7	Paute_Molino_138	B_Paute_U5-141	Paute_U5-138
	T_MOLI_AT1	T24	Paute_Molino_138	T18	Paute_Molino_230
T_MOLI_AT2	T28	Paute_Molino_138	T14	Paute_Molino_230	

## ANEXO 6

Datos de líneas de transmisión de la subestación Santa Rosa.

	Líneas	From	SE	To	SE
Santa Rosa 230 kV	T_SROS_ATU	T6	Santa_Rosa_230	T14	Santa_Rosa_138
	L_SDOM_SROS_2_1	T10	Santa_Rosa_230	T6	Santo Domingo-230
	L_SDOM_SROS_2_2	T14	Santa_Rosa_230	T18	Santo Domingo-230
	L_POMA_SROS_2_1	T18	Santa_Rosa_230	T10	Pomasqui-230
	L_POMA_SROS_2_2	T22	Santa_Rosa_230	T14	Pomasqui-230
	T_SROS_ATT	T26	Santa_Rosa_230	T17	Santa_Rosa_138
	L_SROS_TOTO_2_2	T30	Santa_Rosa_230	T10	Totoras-230
	L_SROS_TOTO_2_1	T34	Santa_Rosa_230	T14	Totoras-230
	L_INGA_SROS_2_1	T38	Santa_Rosa_230	T18	Inga-230



	L_INGA_SROS_2_2	T42	Santa_Rosa_230	T22	inga-230
Santa Rosa 138 kV	L_SROS_CGSR_1_1	T5	Santa_Rosa_138	T11	CGSR-138
	L_CONO_SROS_1_1	T8	Santa_Rosa_138	B-Conocoto	B- Conocoto(SE23)
	It_Cap_SRos	T11	Santa_Rosa_138	4	Cap-Santa Rosa- 138
	T_SROS_ATU	T14	Santa_Rosa_138	T6	Santa_Rosa_230
	T_SROS_ATT	T17	Santa_Rosa_138	T26	Santa_Rosa_230
	T_SROS_TRP	T20	Santa_Rosa_138	B-Santa- Rosa TRP	B-Santa-Rosa (SE37) TRP
	T_SROS_TRN	T23	Santa_Rosa_138	B-Santa Rosa TRN	B-Santa-Rosa (SE37) TRN
	L_E042_SROS_1_1	T26	Santa_Rosa_138	B-Estructura 42-1EE	B-Estructura 42- 1EE
	L_SROS_SRO2_1_1	T29	Santa_Rosa_138	B-Santa Rosa 2	B-Santa Rosa 2
	L_CHIL_SROS_1_1	T32	Santa_Rosa_138	BP-Santa Rosa-138	BP-Santa Rosa- 138