



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
CENTENARIO**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**“ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE EN REDES DE TRANSMISION DE LA
ZONA COSTA NORTE DEL SNI DEL ECUADOR”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: FERNANDO GEOVANNY CARPIO MARCILLO -
ARMANDO WLADIMIR ROMERO PAUCAR

TUTOR: ING. JULIO MANUEL SILVA BECHERAN

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024

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

Nosotros, Fernando Geovanny Carpio Marcillo con documento de identificación N° 0941316374 y Armando Wladimir Romero Paucar con documento de identificación N° 0930267992; manifestamos que:

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

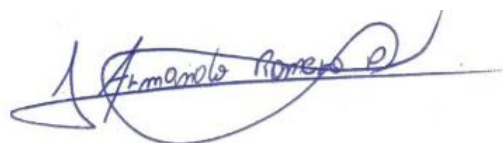
Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



Fernando Geovanny Carpio Marcillo

0941316374



Armando Wladimir Romero Paucar

0930267992

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

Nosotros, Fernando Geovanny Carpio Marcillo con documento de identificación No.0941316374 y Armando Wladimir Romero Paucar con documento de identificación No.0930267992, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico “ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE EN REDES DE TRANSMISION DE LA ZONA COSTA NORTE DEL SNI DEL ECUADOR”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

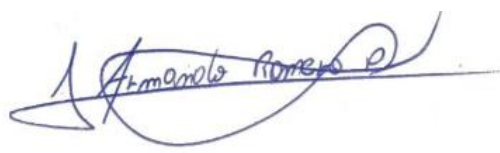
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



Fernando Geovanny Carpio Marcillo
0941316374



Armando Wladimir Romero Paucar
0930267992

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio Manuel Silva Becherán con documento de identificación N° 0959623422, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE EN REDES DE TRANSMISION DE LA ZONA COSTA NORTE DEL SNI DEL ECUADOR, realizado por Fernando Geovanny Carpio Marcillo con documento de identificación N°0941316374 y Armando Wladimir Romero Paucar con documento de identificación N°0930267992, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



Julio Manuel Silva Becherán

DEDICATORIA

A mis queridos padres Sandra y Geovanny, quienes con su amor, paciencia y sacrificio me han permitido cumplir un sueño más, gracias por inculcarme el valor del esfuerzo y perseverancia, el apoyo brindado ha sido incondicional a lo largo de esta nueva etapa de mi vida.

A mi pequeña y amada hija Fernanda Aynneth, quien ha sido mi mayor motivación para no rendirme y seguir adelante para convertirme en un ejemplo para su vida.

Fernando Geovanny Carpio Marcillo

Dedico esta tesis a mis padres Walter y Martha quienes fueron un gran apoyo moral, por su amor incondicional y por creer en mí desde el primer día que empecé mi carrera agradezco sus sacrificios constantes que han sido la clave de mi éxito.

A mi hermana Claribel quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir y finalmente a mi esposa Denisse y mi hija Amelia quienes han sido mis pilares y mi razón para seguir adelante.

Armando Wladimir Romero Paucar

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida, ha sido mi soporte, mi fortaleza en momentos de dificultad y me ha permitido llegar al final de esta carrera.

Un agradecimiento incondicional a mis padres y hermanos por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título. Agradezco a mi docente, Ing. Ervin Solano por su dedicación y paciencia en este proyecto y a cada docente, por su trabajo y su valiosa gestión.

Finalmente, a mis compañeros, muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, las anécdotas y las experiencias vividas.

Fernando Geovanny Carpio Marcillo

Gracias a Dios por su amor y su bondad, hoy me permites sonreír ante este logro que es el resultado de tu ayuda, jamás dude que solo en tus manos podemos lograr nuestras metas. Gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento.

Quiero agradecer de manera especial al Ing. Ervin solano, por confiar en nosotros, para realizar este proyecto ya que con sus directrices pudo explicarnos aquellos detalles para culminar nuestra tesis., finalmente Me siento bendecido y agradecido por cada uno de mis docentes por ser muy pacientes y grandes seres humano que me inculcaron sus conocimientos durante todos estos años que Dios los Bendiga inmensamente.

Armando Wladimir Romero Paucar

RESUMEN

La estabilidad de un sistema eléctrico es crucial para asegurar un funcionamiento confiable y seguro de la red eléctrica, especialmente en áreas críticas como la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Ecuador. Este concepto se refiere a la capacidad del sistema para regresar a un estado de equilibrio después de haber sido sometido a una perturbación transitoria, tales como cortocircuitos, la desconexión de líneas de transmisión o fluctuaciones significativas en la demanda de carga. Para abordar la necesidad crítica de estabilidad en esta región, se llevó a cabo un proyecto utilizando DIgSILENT PowerFactory. El proyecto inició con un análisis de contingencias que permitió identificar puntos de vulnerabilidad, destacando las barras B_Esmeraldas_AA1_13.8 y B_Esmeraldas_AA2_13.8 como particularmente susceptibles a perturbaciones. Siguiendo esta identificación, se realizó una evaluación más profunda mediante la construcción de curvas PV y QV para estas barras críticas, permitiendo evaluar la respuesta del voltaje ante incrementos de carga y la capacidad de los generadores para manejar la potencia reactiva necesaria para mantener la estabilidad de voltaje frente a variaciones de carga. Inicialmente, se había contemplado realizar una comparativa entre los resultados obtenidos con DIgSILENT PowerFactory y ETAP para validar y enriquecer el análisis. Sin embargo, la universidad no disponía de la licencia del software ETAP, lo que llevó a la decisión de no realizar la comparativa y concentrar los esfuerzos de simulación exclusivamente en DIgSILENT PowerFactory. Los resultados obtenidos son fundamentales para el desarrollo de estrategias que fortalezcan la estabilidad de voltaje y la capacidad de respuesta del sistema ante cargas dinámicas. Estos análisis permitirán formular recomendaciones para la implementación de medidas correctivas y preventivas, como la instalación de equipos de compensación reactiva, mejoras en la infraestructura de transmisión, y la aplicación de programas avanzados de gestión de carga, marcando un paso esencial hacia la mejora de la robustez y fiabilidad del suministro eléctrico en esta área crítica del sistema energético ecuatoriano.

Palabras Claves: Curva PV, Curva QV, Contingencias, Sistema eléctrico de potencia.

ABSTRACT

The stability of an electrical system is crucial to ensure reliable and safe operation of the electrical grid, especially in critical areas such as the northern coastal zone of the National Interconnected System (SNI) of Ecuador. This concept refers to the system's ability to return to an equilibrium state after being subjected to a transient disturbance, such as short circuits, the disconnection of transmission lines or significant fluctuations in load demand. To address the critical need for stability in this region, a project was carried out using DIgSILENT PowerFactory. The project began with a contingency analysis that made it possible to identify points of vulnerability, highlighting the bars B_Esmeraldas_AA1_13.8 and B_Esmeraldas_AA2_13.8 as particularly susceptible to disturbances. Following this identification, a more in-depth evaluation was carried out by constructing PV and QV curves for these critical buses, allowing the evaluation of the voltage response to load increases and the capacity of the generators to handle the reactive power necessary to maintain the stability of voltage versus load variations. Initially, it had been contemplated to make a comparison between the results obtained with DIgSILENT PowerFactory and ETAP to validate and enrich the analysis. However, the university did not have the ETAP software license, which led to the decision not to perform the comparison and to concentrate the simulation efforts exclusively on DIgSILENT PowerFactory. The results obtained are fundamental for the development of strategies that strengthen the voltage stability and the system's responsiveness to dynamic loads. These analyzes will make it possible to formulate recommendations for the implementation of corrective and preventive measures, such as the installation of reactive compensation equipment, improvements in transmission infrastructure, and the application of advanced load management programs, marking an essential step towards improving the robustness and reliability of the electricity supply in this critical area of the Ecuadorian energy system.

Keywords: PV curve, QV curve, Contingencies, Electrical power system.

ÍNDICE GENERAL

CARATULA.....	I
TEMA.....	I
AUTORES.....	I
TUTOR.....	I
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
1. CAPITULO 1.....	1
1.1. TÍTULO.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Problema de Estudio.....	4
1.4. Justificación.....	6

1.5.	Delimitación.....	6
1.6.	Beneficiarios	8
1.7.	Objetivos	8
1.7.1.	Objetivo General	8
1.7.2.	Objetivos Específicos	8
1.8.	MARCO METODOLÓGICO	9
1.8.1	Análisis de Contingencias	9
1.8.2.	Evaluación de Barras Críticas	9
CAPITULO 2		10
MARCO TEÓRICO.....		10
2.1	CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE	10
2.1.1	Voltaje en Sistemas Eléctricos	10
2.1.2	Potencia Reactiva	10
2.1.3	Estabilidad Transitoria y a Largo Plazo	11
2.2	Problemas de estabilidad de voltaje	12
2.3	Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador.....	14
2.4	Diagramas Unifilares en Sistemas Eléctricos.....	15
2.5	Software de DigSILENT Power Factory.....	17
2.6	Software de ETAP.....	19
2.7	Curvas PV	21
2.8	Curvas QV.....	23
CAPITULO 3.....		26
METODOLOGÍA		26
3.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	26
3.1.1	Datos de Generadores	29
3.1.2	Datos de Cargas	31
3.1.3	Datos de Transformadores	33
3.1.4	Datos de Líneas de Transmisión	38
3.2	ANÁLISIS DE CONTENGENCIAS.....	44

3.3	Curvas PV	48
3.4	Curvas QV.....	52
CAPITULO 4.....		56
ANÁLISIS DE RESULTADOS		56
4.1	Simulación en Condiciones Iniciales.....	56
	Resultados de las barras del sistema.....	56
4.2	Análisis de contingencias	62
4.3	Curvas PV	62
4.4	Curvas QV.....	70
CAPÍTULO 5.....		74
	5.1. CONCLUSIONES.....	74
	5.2 RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....		76
4.	ANEXOS	80
4.1	Anexo 1. Análisis de contingencia.....	80
4.2	Anexo 2. Cronograma del Proyecto	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sistema nacional interconectado	7
Ilustración 2. Logo del software DigSILENT Power Factory	19
Ilustración 3. Logo del software ETAP	21
Ilustración 4. Curva PV	23
Ilustración 5. Curva QV	25
Ilustración 6. SNI costa norte del Ecuador	28
Ilustración 7. Verificación de flujo de potencia	45
Ilustración 8. Definición de la contingencia.....	46
Ilustración 9. Configuración de la contingencia.....	47
Ilustración 10. Resultados del análisis de contingencias.....	48
Ilustración 11. Elección de la barra de análisis PV.	49
Ilustración 12. Ejecución del análisis PV	49
Ilustración 13. Curva PV de la barra B_Esmeraldas_AA1_13.8.	50
Ilustración 14. Curva PV 230kV	50
Ilustración 15. Curva PV 138kV	51
Ilustración 16 Curva PV 69kV.	51
Ilustración 17 Elección de la barra de análisis QV.....	53
Ilustración 18 Ejecución del análisis QV.	53
Ilustración 19 Curva QV de la barra B_Esmeraldas_AA1_13.8.....	54
Ilustración 20. Curva QV sistema simulado.....	55
Ilustración 21. Curva PV de las barras con sobretensión	63
Ilustración 22. Curva QV de las barras con sobretensión.....	71
Ilustración 23. Análisis de contingencia.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de los generadores del SEP	29
Tabla 2. Datos de las cargas del SEP	31
Tabla 3. Datos de los transformadores del SEP	33
Tabla 4. Datos de las líneas de transmisión del SEP	38
Tabla 5. Resultados en condiciones iniciales de las barras del SEP.....	56
Tabla 6. Resultados del análisis de contingencias del SEP	62
Tabla 7. Datos de la curva PV de las barras con sobretensión	64
Tabla 8. Datos de la curva QV de las barras con sobretensión	72

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de voltaje es un factor crucial en la respuesta confiable y segura de los sistemas eléctricos. La variación indeseable en los niveles de voltaje puede generar problemas significativos, como interrupciones en el suministro de energía, daños en equipos eléctricos y, en casos extremos, incluso apagones masivos [1]. Por lo tanto, el estudio de la estabilidad de voltaje se vuelve imprescindible para evaluar la capacidad del sistema eléctrico de mantener los perfiles de voltaje dentro de rangos aceptables, tanto en condiciones naturales como en situaciones de contingencia [2].

Los estudios de estabilidad de voltaje permiten identificar y prevenir posibles problemas, como la inestabilidad en la generación, la incapacidad del sistema para mantener el voltaje dentro de los perfiles idóneos y la respuesta del sistema ante cambios repentinos en las condiciones de carga [3]. Al comprender el comportamiento del sistema eléctrico frente a perturbaciones, se pueden implementar estrategias y medidas correctivas adecuadas, como ajustes en la generación y en los dispositivos de control, para mantener un suministro de energía eléctrica estable y confiable [1].

En el contexto del sistema eléctrico de la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador, es vital realizar un análisis exhaustivo de la estabilidad de voltaje para garantizar la confiabilidad de electricidad en esta región.

Se enfoca en llevar a cabo un análisis detallado de la estabilidad del sistema eléctrico mediante la simulación de las curvas PV (Potencia-Voltaje) y QV (Potencia-Carga), herramientas esenciales para identificar posibles problemas de estabilidad de voltaje y optimizar el sistema para un suministro eléctrico eficiente y seguro. Para realizar este análisis,

se planificó utilizar los programas DigSILENT Power Factory y ETAP, reconocidos por su capacidad para simular y analizar redes eléctricas complejas. Sin embargo, se enfrentó un obstáculo significativo en la etapa de planificación del proyecto: la universidad no disponía de la licencia del software ETAP. Esta limitación impidió realizar una comparativa entre los resultados obtenidos con ambos programas, lo que habría enriquecido el análisis al ofrecer perspectivas complementarias y validar la consistencia de los resultados. A pesar de este contratiempo, el proyecto no se detuvo; se tomó la decisión de proceder con las simulaciones utilizando exclusivamente DigSILENT Power Factory. La elección de continuar con DigSILENT Power Factory se basó en su amplia aceptación en la industria para el análisis de la estabilidad de sistemas eléctricos, así como en su capacidad para generar curvas PV y QV, fundamentales en el estudio de la respuesta del sistema ante variaciones de carga y potencia. A través de este enfoque, el proyecto logró llevar a cabo un análisis profundo de las condiciones de estabilidad de voltaje en el sistema, identificando barras críticas y evaluando la capacidad del sistema para manejar variaciones de carga sin comprometer la seguridad o la fiabilidad del suministro eléctrico. Este ajuste en el plan de trabajo subraya la importancia de la flexibilidad en la investigación y la capacidad para adaptarse a las limitaciones de recursos, manteniendo al mismo tiempo el objetivo de mejorar la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. Aunque la comparativa entre DigSILENT Power Factory y ETAP no se realizó, el proyecto sigue siendo un valioso aporte para identificar y abordar los desafíos de la estabilidad eléctrica, especialmente en zonas críticas del sistema energético.

Las curvas PV (Potencia-Voltaje) y QV (Potencia-Carga) son herramientas esenciales en el análisis de la estabilidad de voltaje en los sistemas eléctricos. Estas curvas representan las relaciones entre la potencia eléctrica generada y las variables de voltaje y carga dentro del sistema [2].

La curva PV ilustra cómo la generación de energía afecta los niveles de voltaje en diferentes puntos del sistema. Al variar la potencia generada y registrar los voltajes correspondientes, es posible determinar los límites operativos del sistema

en términos de generación y voltaje, así como identificar la capacidad máxima de generación para mantener los voltajes dentro de rangos aceptables. Por otro lado, la curva QV muestra cómo la potencia generada se relaciona con la carga del sistema. Al variar la demanda de energía y registrar la potencia correspondiente, se evalúa la capacidad del sistema para suministrar la energía requerida por las cargas en diversas condiciones de demanda. Esto permite identificar los límites de carga del sistema y determinar la estabilidad de voltaje en función de la capacidad de generación y la demanda de energía [2].

La simulación de estas curvas PV y QV utilizando programas especializados, como DigSILENT Power Factory y ETAP, permite obtener resultados precisos sobre la estabilidad de voltaje en el sistema eléctrico de la zona costa norte del SNI del Ecuador. Estas herramientas de simulación facilitan el modelado y análisis del sistema considerando la interacción de los componentes, como generadores, transformadores, líneas de transmisión y cargas. Además, permiten realizar análisis de contingencias y evaluar diversos escenarios de operación para identificar posibles problemas y tomar las medidas correctivas necesarias, con el objetivo de asegurar una operación estable y confiable del sistema eléctrico en la región mencionada.

1. CAPITULO 1

1.1. TÍTULO

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE EN REDES DE TRANSMISION DE LA ZONA COSTA NORTE DEL SNI DEL ECUADOR.

1.2. ANTECEDENTES

La estabilidad de voltaje siempre ha sido un pilar crítico en el campo de la ingeniería eléctrica, fundamental para asegurar un suministro de energía seguro y confiable. A lo largo de las últimas décadas, con el aumento exponencial en la demanda de energía y la incorporación de fuentes renovables, la necesidad de mantener un voltaje estable en los sistemas de transmisión se ha vuelto aún más crucial. Estudios en este ámbito han centrado su atención en cómo las fluctuaciones en la carga y la generación pueden influir en la calidad del voltaje, afectando así la eficiencia y la seguridad de los sistemas eléctricos [2].

Los avances tecnológicos han traído consigo herramientas de simulación avanzadas como DigSILENT Power Factory y ETAP, ofreciendo una perspectiva más precisa del comportamiento de las redes eléctricas. Estas herramientas han sido clave para realizar análisis complejos, como la simulación de curvas PV y QV, cruciales para estudiar la relación entre la generación, la carga y el voltaje. La habilidad para predecir y mitigar problemas de estabilidad de voltaje mediante estas simulaciones marca un hito en la ingeniería eléctrica [1].

La estabilidad de voltaje en la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador es particularmente importante. Esta región, con su dinámica poblacional y económica, enfrenta retos únicos en cuanto a demanda energética y distribución de carga. La interacción entre fuentes de energía locales,

la infraestructura de transmisión y las variaciones en el consumo energético hace que el estudio de estabilidad de voltaje sea no solo necesario sino también complejo [4].

Actualmente, el enfoque del estudio de la estabilidad de voltaje en esta región se dirige hacia análisis detallados y simulaciones avanzadas para identificar y prevenir problemas potenciales. Esta metodología permite a los ingenieros y planificadores energéticos diseñar sistemas más robustos y flexibles, adaptándose a las fluctuaciones en la generación y demanda de energía. Estas prácticas avanzadas son fundamentales para asegurar que el suministro de energía en la zona costa norte del SNI del Ecuador se mantenga estable, eficiente y confiable, beneficiando a la comunidad en su conjunto [5].

En [6], se investiga cómo la creciente integración de fuentes de energía renovable, como la eólica y la solar, está afectando la estabilidad de voltaje en las redes de transmisión europeas. El estudio realiza un análisis detallado de las fluctuaciones de voltaje causadas por la variabilidad en la generación de energía renovable.

Propone soluciones innovadoras, como la implementación de sistemas de almacenamiento de energía y mejoras en el control de la red, para contrarrestar estos efectos y mantener un suministro de energía estable y eficiente.

En [7], se exploran tecnologías de vanguardia en los Estados Unidos que contribuyen a la estabilidad de voltaje en redes eléctricas de gran escala. El estudio se centra en el desarrollo y la implementación de sistemas de almacenamiento de energía y estrategias de control automático. Se evalúan casos prácticos donde estas tecnologías han permitido manejar eficientemente las variaciones de carga y generación, destacando su importancia en el mantenimiento de la estabilidad de la red y la prevención de apagones.

En [8], se aborda la complejidad de mantener la estabilidad de voltaje en la India,

un país que enfrenta un rápido desarrollo económico y una rápida expansión de su red eléctrica. El estudio se enfoca en estrategias para gestionar la demanda energética creciente y en la modernización de la infraestructura de transmisión. Se analiza cómo la implementación de tecnologías avanzadas y la adopción de prácticas de gestión eficiente pueden mejorar la estabilidad del sistema eléctrico en un entorno de rápido crecimiento y cambio.

En [5], se examina la estabilidad de voltaje específicamente en las regiones costeras del Ecuador, dentro del marco del Sistema Nacional Interconectado. El estudio analiza cómo las condiciones climáticas únicas y la demanda estacional de estas regiones influyen en la estabilidad de la red eléctrica. Se evalúan los desafíos específicos de estas áreas, como la alta humedad y la salinidad, y su impacto en los equipos de transmisión y distribución, proponiendo medidas de mitigación y mejora.

En [4], se investiga cómo las principales plantas hidroeléctricas del Ecuador afectan la estabilidad de voltaje en el sistema eléctrico nacional. El estudio se centra en las variaciones en la generación hidroeléctrica y cómo estas influyen en la estabilidad general del sistema, teniendo en cuenta factores como las variaciones estacionales en los caudales de agua. Se proponen estrategias para optimizar la generación hidroeléctrica y mantener un equilibrio eficiente entre la oferta y la demanda de energía, contribuyendo a la estabilidad de voltaje en el país.

En [9], se realiza un análisis exhaustivo de las políticas y estrategias implementadas en Ecuador para fortalecer la estabilidad de voltaje en su red eléctrica. El estudio aborda cómo las inversiones en infraestructura y la adopción de tecnologías renovables han impactado la estabilidad del sistema eléctrico. Se evalúa la eficacia de las medidas actuales y se sugieren mejoras basadas en comparaciones con prácticas internacionales, buscando optimizar la resiliencia y eficiencia del sistema eléctrico ecuatoriano.

El presente estudio de la estabilidad de voltaje en la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Ecuador responde a la necesidad imperativa de asegurar un suministro de energía constante y de calidad en una región crucial para el desarrollo socioeconómico del país. Esta área, con su creciente demanda energética y su infraestructura única, requiere una comprensión profunda de cómo los cambios en la generación y en la carga afectan la estabilidad del sistema eléctrico.

El motivo específico de este estudio es abordar y resolver los desafíos particulares que presenta la red eléctrica de esta región. Estos desafíos incluyen la variabilidad en la generación de energía, especialmente con la integración de fuentes renovables, y las fluctuaciones en la demanda de energía debido a los patrones de consumo específicos de la zona. La investigación tiene como objetivo proporcionar soluciones concretas y efectivas para mantener el voltaje dentro de límites seguros y operativos, minimizando así el riesgo de interrupciones y maximizando la eficiencia del sistema.

El estudio pretende aportar de manera significativa al conocimiento y la gestión de la red eléctrica de la zona costa norte del SNI del Ecuador. Entre los aportes específicos se encuentra, el desarrollo de modelos predictivos, la optimización de la infraestructura existente y la implementación de estrategias de mitigación.

1.3. PROBLEMA DE ESTUDIO

La zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador enfrenta desafíos significativos en cuanto a la estabilidad de voltaje en su sistema eléctrico. La demanda de energía eléctrica en esta región ha ido en constante crecimiento debido al desarrollo industrial y poblacional, lo que ha llevado a un aumento en la carga y a una mayor complejidad en la operación del sistema.

La inestabilidad de voltaje en la zona costa norte puede provocar problemas como fluctuaciones en los niveles de voltaje, oscilación en la generación y dificultades

para mantener los parámetros eléctricos dentro de los límites establecidos. Estas situaciones pueden resultar en interrupciones en el suministro de energía, daños en equipos eléctricos sensibles y afectar la calidad del servicio eléctrico para los usuarios.

Además, la falta de herramientas y estudios adecuados ha dificultado la identificación y mitigación temprana de problemas de estabilidad de voltaje en el sistema. La carencia de simulaciones precisas y detalladas ha limitado la capacidad de los operadores del sistema eléctrico para anticipar y tomar medidas preventivas en situaciones de contingencia.

Por lo tanto, es crucial abordar esta problemática y realizar un análisis integral de la estabilidad de voltaje en la zona costa norte del SNI del Ecuador. Mediante el uso de programas especializados como DigSILENT Power Factory y ETAP, se podrá simular y evaluar de manera precisa y detallada la estabilidad del sistema eléctrico propuesto, permitiendo la identificación temprana de posibles problemas y la implementación de medidas correctivas para garantizar un suministro eléctrico confiable y de calidad en esta región.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El estudio de estabilidad de voltaje en la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador se justifica debido al crecimiento industrial, comercial y residencial que ha generado una demanda creciente de energía eléctrica. Esta situación ha llevado a fluctuaciones en los niveles de voltaje, dificultades para mantener parámetros eléctricos óptimos y baja calidad del servicio eléctrico. Además, las características geográficas, climáticas y la interconexión con otras zonas del país requieren un análisis detallado para evaluar la capacidad del sistema eléctrico, proponer medidas correctivas y asegurar un suministro estable y confiable en esta región estratégica del Ecuador.

1.5. DELIMITACIÓN

El progreso del presente proyecto de titulación se desarrollará en el lapso de 5 meses, lo que conforman el mes de noviembre de 2023 a febrero del 2024.

Conllevando desde la recopilación, investigación, simulación, las diversas pruebas, aplicaciones, correcciones de informe, entre otros. El presente proyecto se centra exclusivamente en el análisis de estabilidad de voltaje en la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador, esta zona está conformada por los siguientes cantones:

Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Jaramijó - Provincia de Manabí

Montecristi - Provincia de Manabí

Manta - Provincia de Manabí

San Gregorio - Provincia de Esmeraldas

Quinindé - Provincia de Esmeraldas

Portoviejo - Provincia de Manabí

Santo Domingo - Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas

Baba - Provincia de Los Ríos

Manduriacu - Provincia de Imbabura

Quevedo - Provincia de Los Ríos

Chone - Provincia de Manabí

En la siguiente figura se aprecia el sistema eléctrico de potencia que será analizado.

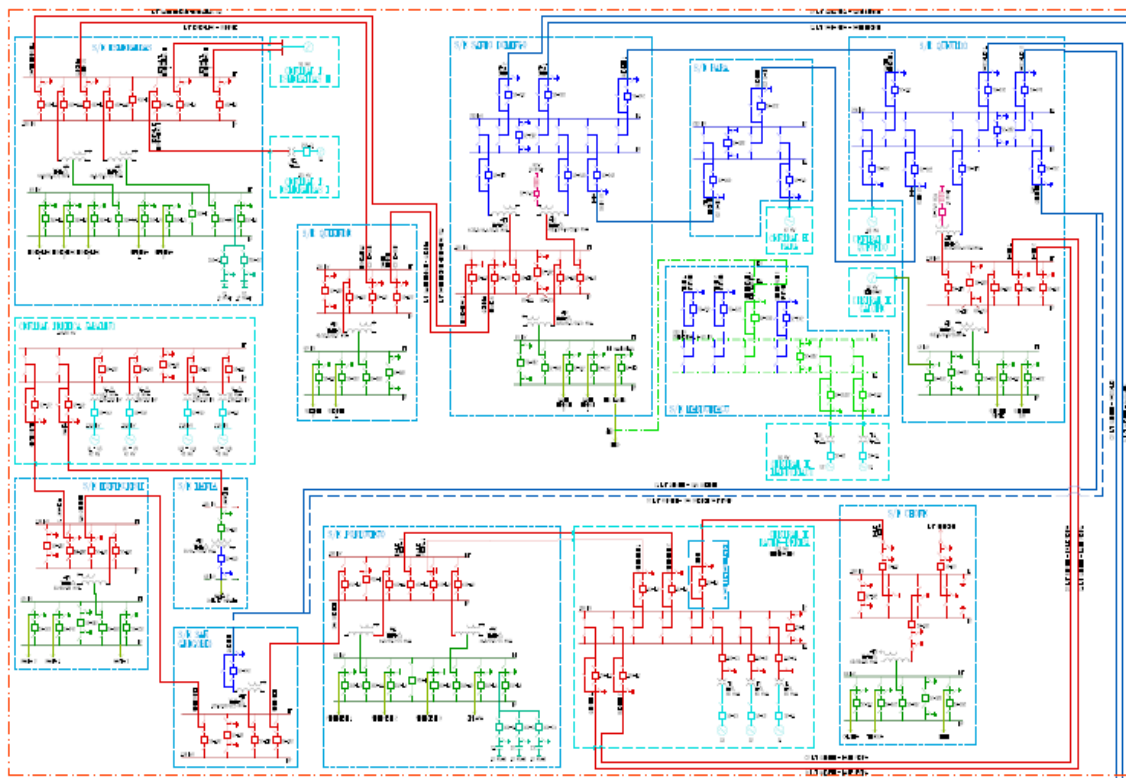


Ilustración 1. Sistema nacional interconectado

Fuente: [10]

1.6. BENEFICIARIOS

Son los usuarios finales y los operadores del sistema eléctrico en la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador. Los usuarios se beneficiarán al contar con un suministro eléctrico más estable y confiable, mejorando la calidad de vida en hogares, comercios e industrias. Por su parte, los operadores del sistema se beneficiarán al tener información detallada y recomendaciones para optimizar la operación y reducir costos, además de promover el desarrollo económico y sostenible en la región. En conjunto, el proyecto busca mejorar la confiabilidad y calidad del suministro eléctrico, generando impactos positivos tanto a nivel individual como en el desarrollo regional.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la estabilidad de voltaje del sistema eléctrico de la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador mediante simulación de curvas PV y QV en los softwares DigSILENT Power Factory y ETAP para garantizar la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular el diagrama unifilar del sistema eléctrico de la zona costa norte del sistema nacional interconectado (SNI) del Ecuador mediante los softwares DigSILENT Power Factory y ETAP.
- Analizar la estabilidad del sistema eléctrico en estudio, mediante las curvas PV y QV.
- Comparar los resultados de estabilidad obtenidos mediante el uso de los dos softwares.

1.8. MARCO METODOLÓGICO

1.8.1 Análisis de Contingencias

Descripción: Utilización de DIgSILENT PowerFactory para simular escenarios de contingencia N-1, en líneas de transmisión.

Pasos:

- Modelado del sistema eléctrico en DIgSILENT PowerFactory.
- Identificación de escenarios de contingencia relevantes.
- Simulación de escenarios y análisis de resultados para identificar puntos de vulnerabilidad.

1.8.2. Evaluación de Barras Críticas

Descripción: Construcción de curvas PV y QV para barras críticas identificadas, permitiendo evaluar la estabilidad de voltaje y la capacidad de manejo de potencia reactiva.

Pasos:

- Selección de barras críticas B_Esmeraldas_AA1_13.8 y B_Esmeraldas_AA2_13.8.
- Realización de simulaciones para construir curvas PV y QV.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO.

2.1 Conceptos Fundamentales de Estabilidad de Voltaje

La estabilidad de voltaje en sistemas eléctricos es un aspecto crítico para garantizar un suministro eléctrico confiable. Este subtema se enfoca en explorar los conceptos clave relacionados con la estabilidad de voltaje en sistemas de transmisión eléctrica, que son esenciales para comprender el estudio de la estabilidad de voltaje en la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador [11]. A continuación, se presentan los conceptos fundamentales a considerar:

2.1.1 Voltaje en Sistemas Eléctricos

El voltaje es una medida de la diferencia de potencial eléctrico en un sistema eléctrico. En el contexto de la estabilidad de voltaje, es importante comprender cómo se genera, se mantiene y se regula el voltaje en las redes de transmisión eléctrica. Esto incluye la definición de voltaje nominal y las unidades de medida asociadas, como el voltio (V) [12].

2.1.2 Potencia Reactiva

La potencia reactiva es una componente fundamental en la estabilidad de voltaje. Se relaciona con la capacidad de un sistema eléctrico para mantener un voltaje estable a pesar de las variaciones en la demanda de energía. Exploraremos cómo se genera la potencia reactiva, su relación con la potencia activa y cómo influye en la estabilidad de voltaje [13].

2.1.3 Estabilidad Transitoria y a Largo Plazo

La estabilidad de voltaje se divide en dos aspectos principales: la estabilidad transitoria y la estabilidad a largo plazo. La estabilidad transitoria se refiere a la capacidad del sistema para recuperar su voltaje nominal después de una perturbación, como un cortocircuito. La estabilidad a largo plazo implica mantener un voltaje estable durante condiciones normales de operación y es esencial para la confiabilidad a largo plazo de la red eléctrica. La estabilidad de voltaje en sistemas eléctricos es un concepto fundamental que se desglosa en dos aspectos cruciales: la estabilidad transitoria y la estabilidad a largo plazo. Estos dos aspectos son vitales para garantizar un suministro eléctrico confiable y seguro en una red de transmisión eléctrica [14]. A continuación, se profundizará en estos dos conceptos:

Estabilidad Transitoria:

La estabilidad transitoria se refiere a la capacidad del sistema eléctrico para recuperar su voltaje nominal después de una perturbación temporal. Estas perturbaciones pueden incluir eventos como cortocircuitos, desconexiones de generadores o variaciones repentinas en la demanda de energía. Durante tales eventos, el sistema eléctrico experimenta fluctuaciones de voltaje que pueden ser significativas y momentáneas. La estabilidad transitoria se asegura cuando el sistema puede restaurar el voltaje a su valor nominal dentro de un tiempo aceptable después de una perturbación, evitando así daños a los equipos y garantizando la continuidad del suministro eléctrico. La estabilidad transitoria se logra mediante la implementación de sistemas de control y protección que responden rápidamente a las perturbaciones para restablecer el voltaje a niveles seguros y estables. Estos sistemas pueden incluir dispositivos como interruptores automáticos, relés de protección y reguladores de voltaje [15].

Estabilidad a Largo Plazo:

La estabilidad a largo plazo es igualmente crucial y se relaciona con la capacidad del sistema eléctrico para mantener un voltaje estable durante condiciones normales de operación y bajo cargas variables. En situaciones cotidianas, las redes de transmisión eléctrica experimentan fluctuaciones en la demanda de energía, cambios en la generación y otras variaciones en la carga. La estabilidad a largo plazo garantiza que el voltaje se mantenga dentro de los límites aceptables durante estas condiciones, lo que es esencial para evitar apagones y mantener la integridad de la red eléctrica. Para lograr la estabilidad a largo plazo, se utilizan dispositivos de regulación de voltaje, generadores de reserva y sistemas de control avanzados que monitorean y ajustan continuamente el voltaje en la red. Además, la planificación adecuada de la infraestructura de transmisión eléctrica y la gestión de la demanda son elementos esenciales para garantizar la estabilidad a largo plazo y el suministro confiable de electricidad a los usuarios finales [15].

En síntesis, la estabilidad transitoria y a largo plazo son conceptos fundamentales en la gestión de la calidad del voltaje en sistemas eléctricos, y su comprensión y control son esenciales para mantener un suministro eléctrico seguro y confiable en la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador.

2. 2 Problemas de estabilidad de voltaje

La estabilidad de voltaje es un aspecto crítico en la operación de sistemas eléctricos y se relaciona directamente con la calidad y confiabilidad del suministro de energía eléctrica. Los problemas de estabilidad de voltaje pueden dar lugar a interrupciones del servicio eléctrico, daños en equipos eléctricos y costos significativos para las empresas y los usuarios finales [2]. Este subtema se centra en explorar los diversos problemas que pueden surgir en un sistema eléctrico en relación con la estabilidad de voltaje.

Una de las preocupaciones más comunes en la estabilidad de voltaje es la presencia de variaciones de voltaje, que incluyen fluctuaciones de voltaje y caídas momentáneas de voltaje. Las fluctuaciones de voltaje se refieren a oscilaciones temporales en el voltaje que pueden deberse a cambios en la demanda de energía, conexiones o desconexiones de cargas y operaciones de interruptores automáticos. Estas fluctuaciones pueden afectar la calidad de la energía suministrada y causar problemas en equipos sensibles [16]. Por otro lado, las caídas momentáneas de voltaje, también conocidas como "sags" o "dips" en inglés, se producen cuando el voltaje cae por debajo de su valor nominal durante un breve período. Estas caídas pueden ser causadas por eventos como arranques de motores grandes o cortocircuitos transitorios. Las caídas de voltaje pueden ser especialmente perjudiciales para equipos sensibles y sistemas electrónicos críticos [16].

La inestabilidad de voltaje es un problema más grave que puede llevar a apagones y daños significativos en la red eléctrica. Ocurre cuando el voltaje en el sistema se vuelve incontrolable y oscila de manera descontrolada. Esto puede deberse a una variedad de factores, como la falta de capacidad de regulación de voltaje, la operación incorrecta de dispositivos de protección, o la respuesta inadecuada de generadores y reguladores de voltaje. La inestabilidad de voltaje puede provocar daños graves en equipos y sistemas de control, así como interrupciones prolongadas en el suministro eléctrico [17].

En conclusión, los problemas de estabilidad de voltaje son desafíos críticos que deben abordarse para garantizar un suministro eléctrico confiable y de alta calidad en sistemas eléctricos. Comprender y resolver estas cuestiones es esencial para mantener la operación continua de la red eléctrica y minimizar los impactos negativos en los usuarios finales. En la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador, es fundamental abordar estos problemas de estabilidad de voltaje para garantizar un suministro eléctrico eficiente y seguro.

2.3 Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador

El Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador representa una pieza fundamental en la infraestructura eléctrica del país, siendo esencial para la generación, transmisión y distribución eficiente de energía eléctrica en todo el territorio ecuatoriano [18]. A continuación, se proporciona una descripción detallada de la estructura y operación del SNI en Ecuador, destacando su importancia para la distribución de energía eléctrica y su papel en la economía del país:

El SNI de Ecuador es un sistema eléctrico interconectado que consta de una amplia red de generación, transmisión y distribución de electricidad. Se compone de múltiples centrales eléctricas que incluyen plantas hidroeléctricas, térmicas, eólicas y solares, que generan electricidad a partir de diversas fuentes energéticas. Estas centrales se encuentran distribuidas en todo el país para aprovechar la diversidad geográfica y de recursos naturales de Ecuador. La red de transmisión eléctrica del SNI conecta estas centrales con las subestaciones de distribución y, finalmente, con los usuarios finales, asegurando que la energía generada llegue de manera confiable a los hogares, industrias y comercios de todo el Ecuador [19].

El SNI en Ecuador opera de manera coordinada y controlada para garantizar la confiabilidad y estabilidad del suministro eléctrico. La operación se basa en sistemas avanzados de supervisión, control y protección que monitorean constantemente la demanda de energía, el estado de las instalaciones y la calidad del voltaje. La operación del SNI incluye la regulación y el ajuste continuo de la generación de electricidad para satisfacer las variaciones en la demanda. Esto implica la coordinación de múltiples generadores y la utilización de sistemas de control de voltaje para mantener el equilibrio entre la generación y el consumo [20].

El SNI de Ecuador es esencial para garantizar una distribución eficiente de energía eléctrica en todo el país. Permite el suministro confiable de electricidad

a hogares, empresas e industrias, lo que contribuye al desarrollo económico y social de Ecuador. Además, la interconexión de diversas fuentes de generación facilita la diversificación de la matriz energética, promoviendo la sostenibilidad y la resiliencia del sistema eléctrico.

El SNI desempeña un papel crucial en la economía de Ecuador. Proporciona la energía necesaria para impulsar la industria, el comercio y el crecimiento económico en general. La disponibilidad de electricidad confiable y asequible es un factor clave para atraer inversiones y fomentar el desarrollo de sectores como la manufactura, la tecnología y la agricultura [21].

En resumen, el Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador es una infraestructura eléctrica esencial que desempeña un papel fundamental en la distribución de energía eléctrica y en la economía del país. Su estructura y operación coordinadas garantizan un suministro eléctrico confiable y sostenible, impulsando el crecimiento y el bienestar de la nación ecuatoriana.

2.4 Diagramas Unifilares en Sistemas Eléctricos

Los diagramas unifilares son herramientas gráficas fundamentales en la representación y comprensión de sistemas eléctricos, ya que proporcionan una visión simplificada y clara de la topología de una red eléctrica. Este subtema explorará en detalle los conceptos relacionados con los diagramas unifilares en sistemas eléctricos, su utilidad y su importancia en la planificación, operación y mantenimiento de sistemas de energía [22]. A continuación, se describen estos aspectos:

Un diagrama unifilar es una representación esquemática de un sistema eléctrico que utiliza símbolos y líneas para mostrar la disposición y la interconexión de los componentes eléctricos. Estos diagramas son bidimensionales y simplifican la complejidad de una red eléctrica al mostrar componentes como generadores, transformadores, interruptores, líneas de transmisión, subestaciones y cargas. Los

diagramas unifilares emplean símbolos estandarizados para representar los distintos elementos del sistema eléctrico. Estos símbolos permiten una comunicación universal y efectiva entre ingenieros, técnicos y otros profesionales del sector eléctrico. Algunos ejemplos de símbolos comunes incluyen triángulos para transformadores, rectángulos para interruptores y líneas para cables eléctricos [23].

Los diagramas unifilares desempeñan varios roles esenciales en la gestión de sistemas eléctricos [24]:

- **Planificación y Diseño:** Se utilizan en la etapa de planificación para diseñar y dimensionar la infraestructura eléctrica de una manera eficiente y segura.
- **Operación:** Ayudan a los operadores a supervisar y controlar la red eléctrica en tiempo real, facilitando la detección de fallas y la restauración del servicio.
- **Mantenimiento:** Son herramientas valiosas para el mantenimiento preventivo y correctivo, ya que permiten identificar problemas potenciales y evaluar el estado de los componentes eléctricos.
- **Documentación:** Proporcionan una documentación clara y completa de la red eléctrica, lo que facilita la capacitación del personal y el cumplimiento de las normativas.

La utilización de diagramas unifilares contribuye a mejorar la seguridad en la operación de sistemas eléctricos al proporcionar una representación visual que ayuda a prevenir errores humanos. Además, facilita la toma de decisiones informadas en situaciones de emergencia y contribuye a la eficiencia al agilizar la identificación y resolución de problemas [24].

En síntesis, los diagramas unifilares son una herramienta esencial en la gestión de sistemas eléctricos, proporcionando una representación visual clara y estandarizada de la topología de la red eléctrica. Su utilización es fundamental en

la planificación, operación y mantenimiento de sistemas de energía, contribuyendo a la eficiencia, seguridad y confiabilidad en la distribución de energía eléctrica.

2.5 Software de DigSILENT Power Factory

El software DigSILENT Power Factory es una herramienta avanzada y ampliamente utilizada en la industria eléctrica para el análisis, diseño y simulación de sistemas eléctricos de potencia. Este subtema explora en detalle este software, su funcionalidad y su importancia en la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas de energía [25].

DigSILENT Power Factory es un entorno de software integral diseñado para abordar una amplia gama de tareas relacionadas con sistemas eléctricos de potencia. Entre sus características y funcionalidades más destacadas se incluyen [26]:

- **Análisis de Flujo de Potencia:** El software permite realizar cálculos de flujo de potencia, que son esenciales para determinar las condiciones de voltaje y flujo de energía en una red eléctrica en estado estacionario.
- **Análisis de Cortocircuito:** Facilita la evaluación de las corrientes de cortocircuito y la selección de dispositivos de protección adecuados para garantizar la seguridad de la red eléctrica.
- **Estabilidad Transitoria y a Largo Plazo:** Permite realizar simulaciones de estabilidad transitoria y a largo plazo, ayudando a evaluar la respuesta del sistema a perturbaciones y garantizar su estabilidad.
- **Coordinación de Protecciones:** Ayuda en la coordinación y ajuste de dispositivos de protección, como relés, para garantizar una respuesta adecuada en caso de fallas.
- **Análisis de Armónicos:** Permite analizar y mitigar los efectos de armónicos en la red eléctrica, que pueden ser perjudiciales para equipos y sistemas sensibles.

- **Integración de Energías Renovables:** Facilita la integración y modelado de fuentes de energía renovable, como parques eólicos y plantas solares, en la red eléctrica.

El uso de DigSILENT Power Factory es fundamental en la ingeniería eléctrica y en la gestión de sistemas de energía por varias razones [27]:

- **Diseño Eficiente:** Permite diseñar sistemas eléctricos de manera eficiente, dimensionando equipos y componentes de acuerdo con las necesidades y normativas.
- **Evaluación de Riesgos:** Ayuda a identificar y mitigar riesgos en la red eléctrica, como problemas de estabilidad y sobrecargas.
- **Optimización de la Operación:** Facilita la optimización de la operación de la red eléctrica, mejorando la confiabilidad y la eficiencia.
- **Cumplimiento Normativo:** Permite cumplir con regulaciones y estándares de la industria eléctrica.
- **Apoyo en la Toma de Decisiones:** Proporciona datos y análisis precisos que respaldan la toma de decisiones informadas en la gestión de sistemas de energía.

En conclusión, el software DigSILENT Power Factory es una herramienta esencial en la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas de energía, ya que ofrece funcionalidades avanzadas para el análisis y diseño de sistemas eléctricos de potencia, mejorando la confiabilidad y eficiencia de la operación eléctrica, en la Ilustración 2 se aprecia el logo del software.



Ilustración 2. Logo del software DigSILENT Power Factory

Fuente: [28]

2.6 Software de ETAP

El software ETAP (Electrical Transient and Analysis Program) es una aplicación de ingeniería eléctrica ampliamente reconocida y utilizada en la industria para el análisis, diseño y simulación de sistemas de energía eléctrica. Este subtema se enfocará en explorar el software ETAP, su funcionalidad y su relevancia en la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas eléctricos. ETAP es una herramienta integral que abarca diversas áreas de análisis y diseño en sistemas eléctricos [29]:

- **Análisis de Flujo de Carga:** Permite realizar cálculos de flujo de carga para evaluar la distribución de voltaje y corriente en una red eléctrica en estado estacionario, lo que es esencial para la planificación y operación de sistemas eléctricos.
- **Análisis de Cortocircuito:** Facilita la evaluación de las corrientes de cortocircuito y la selección de dispositivos de protección adecuados para garantizar la seguridad y confiabilidad de la red.
- **Estabilidad Transitoria:** Permite simular la respuesta del sistema eléctrico a perturbaciones transitorias, como arranques de motores grandes o desconexiones de carga.
- **Distribución de Energía:** Ayuda en el diseño y análisis de sistemas de distribución de energía eléctrica, incluyendo la planificación de alimentadores y centros de carga.

- **Estudio Armónico:** Facilita el análisis y la mitigación de problemas de armónicos en la red eléctrica, lo que es importante para prevenir daños en equipos sensibles.
- **Gestión de Activos:** Permite llevar un seguimiento y gestionar los activos eléctricos, como transformadores y generadores, para optimizar su rendimiento y mantenimiento.

El software ETAP juega un papel esencial en la ingeniería eléctrica y en la gestión de sistemas de energía por varias razones [30]:

- **Diseño Eficiente:** Facilita el diseño eficiente de sistemas eléctricos, permitiendo la planificación precisa de infraestructuras y equipos.
- **Análisis de Riesgos:** Ayuda a identificar y mitigar riesgos eléctricos, como sobrecargas y problemas de calidad de energía.
- **Optimización de Operaciones:** Contribuye a la optimización de la operación de sistemas eléctricos, mejorando la confiabilidad y eficiencia.
- **Cumplimiento Normativo:** Ayuda a cumplir con las normativas y estándares de la industria eléctrica.
- **Toma de Decisiones Informadas:** Proporciona datos y análisis precisos que respaldan la toma de decisiones informadas en la gestión de sistemas de energía.

En síntesis, el software ETAP es una herramienta fundamental en la ingeniería eléctrica y en la gestión de sistemas eléctricos, ya que ofrece un conjunto completo de funcionalidades para el análisis, diseño y simulación de sistemas de energía eléctrica, mejorando la eficiencia, seguridad y confiabilidad en la operación eléctrica, en la Ilustración 3 se aprecia el logo del software.



Ilustración 3. Logo del software ETAP

Fuente: [31]

2.7 Curvas PV

Las Curvas PV (Potencia-Voltaje) son herramientas fundamentales en la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas de energía, utilizadas para analizar el comportamiento de componentes eléctricos, especialmente paneles solares o módulos fotovoltaicos, bajo diversas condiciones operativas. Este subtema se centrará en explorar las Curvas PV, su significado y su importancia en la evaluación de la eficiencia y el rendimiento de sistemas fotovoltaicos [32].

Las Curvas PV representan gráficamente la relación entre la potencia generada por un módulo fotovoltaico y el voltaje en sus terminales en función de la irradiancia solar y la temperatura ambiente. Estas curvas son esenciales para comprender y analizar el comportamiento de un panel solar y determinar su rendimiento en diferentes condiciones. Las Curvas PV generalmente constan de dos componentes clave [33]:

- **Curva de Corriente-Voltaje (I-V):** Esta curva muestra la relación entre la corriente eléctrica generada por el panel solar y el voltaje en sus terminales. La forma de la curva I-V depende de la irradiancia y la temperatura, y proporciona información sobre la capacidad del panel para generar energía eléctrica en diferentes condiciones.
- **Curva de Potencia-Voltaje (P-V):** Esta curva representa la potencia eléctrica generada por el panel solar en función del voltaje. La curva P-V alcanza su punto máximo en el punto de máxima potencia (MPP), que es

el punto de operación óptimo para el panel bajo condiciones específicas de irradiancia y temperatura.

Las Curvas PV son esenciales en la evaluación y el diseño de sistemas fotovoltaicos por varias razones:

- **Optimización de Sistemas:** Permiten seleccionar y dimensionar adecuadamente los componentes del sistema fotovoltaico, como inversores y reguladores de carga, para maximizar la eficiencia y la generación de energía.
- **Análisis de Rendimiento:** Facilitan la evaluación del rendimiento real de los paneles solares en condiciones variables, lo que ayuda a prever el rendimiento del sistema en el mundo real.
- **Diagnóstico de Problemas:** Ayudan a identificar problemas y averías en paneles solares, como suciedad, sombreado o fallos en el sistema, al comparar las curvas medidas con las curvas esperadas.
- **Estimación de Producción:** Permiten estimar la producción de energía de un sistema fotovoltaico en función de las condiciones climáticas, lo que es esencial para la planificación y la toma de decisiones en proyectos solares.

En conclusión, las Curvas PV son herramientas fundamentales en la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas fotovoltaicos, proporcionando información clave sobre el comportamiento y el rendimiento de los paneles solares bajo diversas condiciones. Su análisis y uso adecuado son esenciales para maximizar la eficiencia y la generación de energía en sistemas solares y garantizar su rendimiento óptimo, en la Ilustración 4, se aprecia la curva PV.

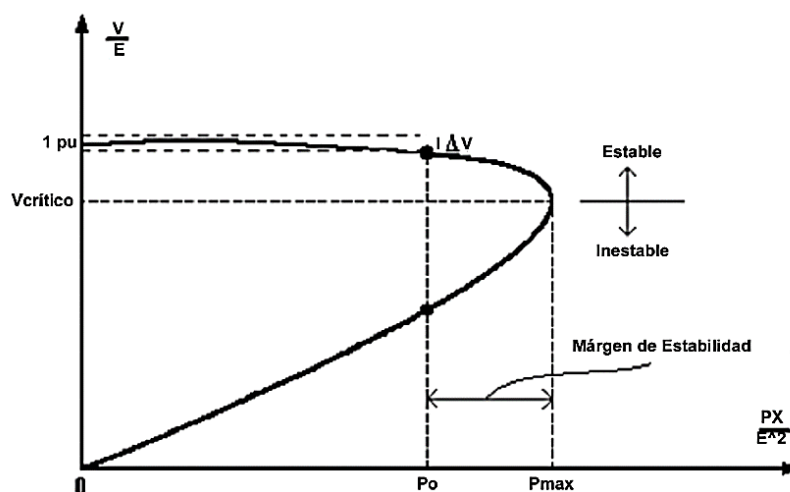


Ilustración 4. Curva PV

Fuente: [34]

2.8 Curvas QV

Las Curvas QV (Potencia-Calidad) son herramientas cruciales en la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas de energía, utilizadas para analizar y evaluar la calidad de la energía eléctrica suministrada en un sistema. Este subtema se enfoca en explorar las Curvas QV, su significado y su importancia en la monitorización y mejora de la calidad de la energía eléctrica. Las Curvas QV representan gráficamente la calidad de la energía eléctrica en un sistema en función del tiempo. Estas curvas registran las variaciones de voltaje y corriente, así como la presencia de armónicos, interrupciones y otros eventos que pueden afectar la estabilidad y confiabilidad de la energía eléctrica suministrada [2]. Las Curvas QV pueden mostrar varios elementos clave [1]:

- **Voltaje y Corriente:** Estas curvas registran las variaciones de voltaje y corriente a lo largo del tiempo, lo que permite identificar fluctuaciones, caídas de voltaje, sobretensiones y otros eventos anormales.
- **Armónicos:** Representan la presencia y magnitud de armónicos en la señal eléctrica, que pueden distorsionar la forma de onda y afectar negativamente a equipos sensibles.

- **Interrupciones:** Muestran la duración y la frecuencia de interrupciones en el suministro eléctrico, lo que es esencial para evaluar la confiabilidad del servicio.
- **Factor de Potencia:** Indican el factor de potencia del sistema, que es un indicador de la eficiencia en la utilización de la energía eléctrica.

Las Curvas QV desempeñan un papel fundamental en la gestión y mejora de la calidad de la energía eléctrica por diversas razones [35]:

- **Diagnóstico de Problemas:** Permiten identificar y diagnosticar problemas en el suministro eléctrico, como fluctuaciones de voltaje, armónicos excesivos o interrupciones frecuentes.
- **Cumplimiento Normativo:** Ayudan a cumplir con los estándares y regulaciones de calidad de energía eléctrica establecidos por las autoridades y normativas de la industria.
- **Optimización de la Operación:** Facilitan la optimización de la operación de sistemas eléctricos, mejorando la eficiencia y la confiabilidad del servicio.
- **Prevención de Daños a Equipos:** La monitorización constante de las Curvas QV puede ayudar a prevenir daños en equipos sensibles y reducir costos de mantenimiento.
- **Resolución de Disputas:** Sirven como evidencia objetiva en disputas relacionadas con problemas de calidad de energía entre proveedores de servicios eléctricos y consumidores.

En síntesis, las Curvas QV son herramientas esenciales en la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas de energía, permitiendo la monitorización y evaluación de la calidad de la energía eléctrica suministrada. Su análisis y uso adecuado son cruciales para garantizar un suministro eléctrico confiable y de alta calidad, así como para la resolución de problemas y la optimización de sistemas eléctricos, en Ilustración 5 , se aprecia la curva QV.

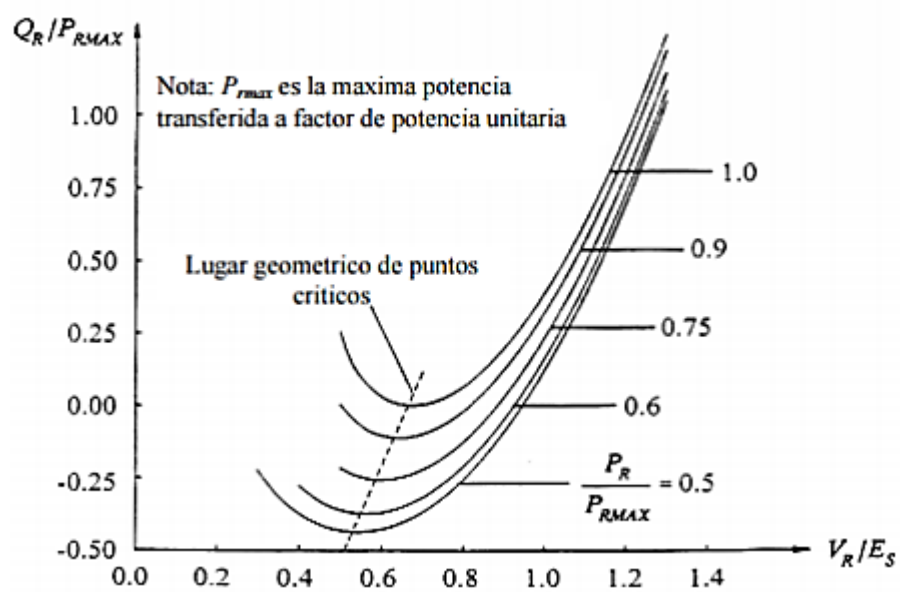


Ilustración 5. Curva QV

Fuente: [36]

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

En la Ilustración 6 se aprecia el Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Ecuador que es una red compleja de transmisión de energía eléctrica que abarca diversas regiones, incluyendo la costa norte del país. En esta región, el SNI integra infraestructuras eléctricas en cantones de múltiples provincias. Entre ellas, se encuentra:

- Esmeraldas y San Gregorio en la Provincia de Esmeraldas;
- Jaramijó, Montecristi, Manta y Chone en la Provincia de Manabí;
- Santo Domingo en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas;
- Baba y Quevedo en la Provincia de Los Ríos;
- Manduriacu en la Provincia de Imbabura.

La infraestructura de esta zona incluye plantas de generación, subestaciones y líneas de transmisión que son fundamentales para el suministro de energía eléctrica. Los análisis de contingencias y estudios de estabilidad, como los que se llevarán a cabo en el SNI, son críticos para asegurar la confiabilidad y seguridad en el suministro de energía. Estos estudios implican evaluar cómo el sistema reaccionaría frente a una o varias interrupciones o fallos en componentes específicos, como líneas de transmisión o generadores.

Las curvas PV (Potencia-Voltaje) y QV (Reactiva-Voltaje) son herramientas de análisis que se utilizan para evaluar la estabilidad de voltaje del sistema y su

capacidad para mantener el voltaje dentro de límites aceptables después de perturbaciones como un incremento de carga o la pérdida de una línea de transmisión. Las curvas PV muestran la relación entre la potencia activa y el voltaje en un punto específico del sistema, mientras que las curvas QV relacionan la potencia reactiva con el voltaje.

Este tipo de análisis es crucial para la planificación operativa y de emergencia, ayudando a los operadores del sistema a tomar decisiones informadas y a implementar medidas de mitigación que aseguren la continuidad y calidad del servicio eléctrico a los usuarios finales.

El SNI de Ecuador, como en muchos otros países, es un elemento vital para el desarrollo económico y social, y su mantenimiento y estudio continuo son fundamentales para adaptarse a las demandas cambiantes y para integrar nuevas fuentes de generación renovable, promoviendo así un sistema energético más sostenible y resiliente.

Fuente: El autor.

3.1.1 Datos de generadores

En la

Tabla 1, se aprecia los datos de generación, se tiene en total 36 generadores.

Tabla 1. Datos de los generadores del SEP

N°	Nombre	Potencia aparente [MVA]	Voltaje nominal [kV]	Factor de potencia
1	G_HEMB_BABA_U1	23,4	13,8	0,9
2	G_HEMB_BABA_U2	23,4	13,8	0,9
3	G_HEMB_DPER_U1	79	13,8	0,9
4	G_HEMB_DPER_U2	79	13,8	0,9
5	G_HEMB_DPER_U3	79	13,8	0,9
6	G_HPAS_ANGA_MARCA_SINDE_U1	17,8	13,8	0,9
7	G_HPAS_ANGA_MARCA_SINDE_U2	17,8	13,8	0,9
8	G_HPAS_Alluriquin_U1	80	13,8	0,85
9	G_HPAS_Alluriquin_U2	80	13,8	0,85
10	G_HPAS_Alluriquin_U3	80	13,8	0,85
11	G_HPAS_CALO_	10,33333	6,9	0,9

	U1_U2			
12	G_HPAS_DUDAS	7,8	13,8	0,9
13	G_HPAS_LESP_U1_U2	3,4	4,16	0,95
14	G_HPAS_MAND_U1	37	13,8	0,9
15	G_HPAS_MAND_U2	37	13,8	0,9
16	G_HPAS_PHON_U1_U2	1,65	4,16	0,95
17	G_HPAS_Palmira	16,6	69	0,8
18	G_HPAS_Sarapullo_U1	19	13,8	0,85
19	G_HPAS_Sarapullo_U2	19	13,8	0,85
20	G_HPAS_Sarapullo_U3	19	13,8	0,85
21	G_H_Ocaña_II_U1	23	13,8	0,85
22	G_H_Ocaña_II_U2	23	13,8	0,85
23	G_TMCI_CES2_U1_U6	9,823	13,8	0,85
24	G_TMCI_CES2_U7_U12	9,823	13,8	0,85
25	G_TMCI_JARA_U10_U14	9,757	13,8	0,85
26	G_TMCI_JARA_U15_U18	9,757	13,8	0,85
27	G_TMCI_JARA_U1_U5	9,757	13,8	0,85
28	G_TMCI_JARA_U6_U9	9,757	13,8	0,85
29	G_TMCI_MAN2_	2,13	13,8	0,8

	U1_U12			
30	G_TMCI_MIRA_ U11_U12	6	13,8	0,85
31	G_TMCI_MIRA_ U1_U6	2,12	13,8	0,95
32	G_TMCI_PEDE_ U10_U15	2,4	4,16	0,95
33	G_TMCI_PROP_ U1_U3	4,9	69	0,8
34	G_TMCI_QUEV_ U1	2,127	34,5	0,8
35	G_TTGA_MIRA_ TG1	23,6	13,8	0,85
36	G_TTVA_CESM_ U1	155,882	13,8	0,85

3.1.2 Datos de cargas

En la Tabla 2, se aprecia los datos de cargas, se tiene en total 63 cargas.

Tabla 2. Datos de las cargas del SEP

N°	Nombre	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [Mvar]
1	C_Chon_Calceta	7,210	2,103
2	C_Chon_Chone	9,760	2,847
3	C_Chon_Severino	10,000	2,917
4	C_Chon_Tosagua	25,350	7,394
5	C_EEQ_Gualo	5,500	1,788
6	C_EEQ_LosBancos	3,450	1,140
7	C_Elep_LaMana	5,630	1,642
8	C_Esme_L1	25,140	7,333
9	C_Esme_L2	14,220	4,148
10	C_Esme_L3	14,310	4,174

11	C_Esme_Refineria_L4	9,290	2,710
12	C_Esme_Refineria_L5	2,150	-0,627
13	C_Esme_Refineria_L6	45,000	13,125
14	C_Esmeraldas_Pedernales	3,940	1,149
15	C_MIL_Alamo	0,000	0,000
16	C_MIL_Aquamar	0,000	0,000
17	C_MIL_Bucay	7,200	2,100
18	C_MIL_Diesel	13,380	3,903
19	C_MIL_Ecoelectric	4,300	1,254
20	C_MIL_Ecudos	1,000	0,292
21	C_MIL_El Triunfo	7,380	2,153
22	C_MIL_Garaicoa	2,170	0,633
23	C_MIL_Ibalnor	2,500	0,729
24	C_MIL_La Troncal	8,670	1,761
25	C_MIL_Marcelino	4,204	1,226
26	C_MIL_Montero 1	3,740	1,091
27	C_MIL_Montero 2	4,550	1,327
28	C_MIL_Naranjal	3,360	0,980
29	C_MIL_Naranjal(1)	2,000	0,583
30	C_MIL_PRINC	8,780	2,561
31	C_MIL_P_Sur	12,280	3,582
32	C_MIL_Papelera	11,400	3,325
33	C_MIL_Petro	5,000	1,280
34	C_MIL_Pto Inca	3,750	1,094
35	C_MIL_R Astudillo	5,000	1,458
36	C_MIL_San Carlos Ingenios	1,000	0,292
37	C_MIL_Sur	12,280	3,582
38	C_MIL_Yaguachi	4,300	1,254
39	C_Manabi_Pedernales	8,000	2,333
40	C_Mant_Manta2	24,970	7,283
41	C_Mont_Manta1	12,930	3,771
42	C_Mont_Manta2	11,050	3,223
43	C_Mont_Manta3	13,110	3,824
44	C_NBab_Palestina	17,270	5,037

45	C_Palestina	51,540	15,033
46	C_Port_Portoviejo1	8,810	2,570
47	C_Port_Portoviejo2	17,140	4,999
48	C_Port_Portoviejo3	17,140	4,999
49	C_Port_Portoviejo4(Jipijapa)	5,970	1,741
50	C_Quev_QuevedoNorte	22,960	6,697
51	C_Quev_QuevedoSur	28,260	8,242
52	C_Quin_Quininde_1	0,000	0,000
53	C_Quin_Quininde_2	7,810	2,278
54	C_SDom_SantoDomingo1	31,410	9,161
55	C_SDom_SantoDomingo2	66,560	19,413
56	C_SSAA_CTESM	7,000	2,042
57	C_SSAA_G1_DPER	0,120	0,035
58	C_SSAA_G2_DPER	0,120	0,035
59	C_SSAA_G3_DPER	0,120	0,035
60	C_S_J_Manta	57,040	16,637
61	C_San_Gregorio	53,050	15,473
62	C_Senagua_Pedro_Carbo	31,700	9,246
63	C_XFICTI_POMA	0,000	0,000

3.1.3 Datos de transformadores

En la Tabla 3, se aprecia los datos de transformadores, se tiene en total 49 transformadores.

Tabla 3. Datos de los transformadores del SEP

N°	Nombre	Potencia aparente [MVA]	r [p.u.]	x [p.u.]	b [p.u.]
1	T Aquamar	7,000 0	0,0 00 0	0,8 57 1	0,0 00 0
2	T Bucay	12,50 00	0,0 00 0	0,5 94 4	0,0 00 0

3	T El Triunfo	20,00 00	0,0 00 0	0,4 09 0	0,0 00 0
4	T Garaicoa	12,00 00	0,0 00 0	0,5 63 3	0,0 00 0
5	T Marcelino	12,50 00	0,0 00 0	0,5 94 4	0,0 00 0
6	T Montero 1	12,50 00	0,0 00 0	0,7 46 4	0,0 00 0
7	T Montero 2	16,00 00	0,0 00 0	0,4 30 6	0,0 00 0
8	T Naranjal	5,250 0	0,0 00 0	1,3 20 0	0,0 00 0
9	T Naranjal(1)	5,250 0	0,0 00 0	1,3 20 0	0,0 00 0
1 0	T Norte	20,00 00	0,0 00 0	0,4 09 0	0,0 00 0
1 1	T Princ_Sur	20,00 00	0,0 00 0	0,4 09 0	0,0 00 0
1 2	T Pto. Inca	20,00 00	0,0 00 0	0,4 09 0	0,0 00 0
1 3	T Sur	20,00 00	0,0 00 0	0,4 09 0	0,0 00 0
1 4	T Yaguachi	16,00 00	0,0 00	0,4 30	0,0 00

			0	6	0
1 5	T_ANGA_SIND E_U1	18,00 00	0,0 00 0	0,4 44 4	0,0 00 0
1 6	T_ANGA_SIND E_U2	18,00 00	0,0 00 0	0,4 44 4	0,0 00 0
1 7	T_Ayuriquin_U1	85,00 00	0,0 03 3	0,1 41 1	- 0,0 03 3
1 8	T_Ayuriquin_U2	85,00 00	0,0 03 3	0,1 41 1	- 0,0 03 3
1 9	T_Ayuriquin_U3	85,00 00	0,0 03 3	0,1 41 1	- 0,0 03 3
2 0	T_BABA_U1	51,00 00	0,0 10 7	0,2 15 4	0,0 00 0
2 1	T_BABA_U2	51,00 00	0,0 10 7	0,2 15 4	0,0 00 0
2 2	T_CALO_U1_U 2	20,80 00	0,0 00 0	0,3 26 0	0,0 00 0
2 3	T_CESMII_U1_ U6	63,00 00	0,0 05 5	0,1 98 3	- 0,0 01 9
2 4	T_CESMII_U7_ U12	63,00 00	0,0 05 5	0,1 98 3	- 0,0 01

					9
2 5	T_CESM_U1	160,0 000	0,0 01 4	0,0 70 2	0,0 00 0
2	T_DPER_U1	85,00	0,0	0,1	0,0
2 7	T_DPER_U2	85,00 00	0,0 03 7	0,1 44 1	0,0 00 0
2 8	T_DPER_U3	85,00 00	0,0 03 7	0,1 44 1	0,0 00 0
2 9	T_DUDA_U1	9,000 0	0,0 00 0	0,7 77 8	0,0 00 0
3 0	T_Diesel	20,00 00	0,0 00 0	0,3 94 0	0,0 00 0
3 1	T_Ibalnor	5,250 0	0,0 00 0	1,3 20 0	0,0 00 0
3 2	T_JARA_U10_U 14	62,50 00	0,0 05 6	0,1 79 1	- 0,0 01 8
3 3	T_JARA_U15_U 18	50,00 00	0,0 07 4	0,2 23 9	- 0,0 01 5
3 4	T_JARA_U1_U5	62,50 00	0,0 05 6	0,1 79 1	- 0,0 01 8
3 5	T_JARA_U6_U9	50,00 00	0,0 07 4	0,2 23 9	- 0,0 01

					5
3 6	T_LESP_U1_U2	10,00 00	0,0 00	0,3 00	0,0 00
3 7	T_MAN2_U1_U 12	26,00 00	0,0 10	0,2 70	0,0 00
3 8	T_MANDURIA CU_U1	33,00 00	0,0 09 7	0,2 70 1	- 0,0 00 6
3 9	T_MANDURIA CU_U2	33,00 00	0,0 10 0	0,2 71 3	- 0,0 00 8
4 0	T_MIRA_T1	12,50 00	0,0 27 5	0,5 67 3	0,0 00 0
4 1	T_MIRA_T2	12,50 00	0,0 27 5	0,5 67 3	0,0 00 0
4 2	T_MIRA_TG1	30,00 00	0,0 05 6	0,2 99 9	- 0,0 01 5
4 3	T_Ocaña_II_U1	0,000 0	0,0 00 0	0,0 00 0	0,0 00 0
4 4	T_Ocaña_II_U2	0,000 0	0,0 00 0	0,0 00 0	0,0 00 0
4 5	T_PEDE_U10_U 15	5,000 0	0,0 00 0	0,6 00 0	0,0 00 0
4 6	T_PHON_U1_U 2	5,000 0	0,0 00 0	0,6 00 0	0,0 00 0

4 7	T_QUEV_U1	156,0 000	0,0 11 9	0,0 86 9	- 0,0 52 9
4	T_R Astudillo	20,00	0,0	0,4	0,0
4 9	T_Sarapullo_U	60,00 00	0,0 05 3	0,1 99 9	- 0,0 02 5

3.1.4 Datos de líneas de transmisión

En la Tabla 4, se aprecia los datos de las líneas de transmisión, se tiene en total 72 líneas de transmisión.

Tabla 4. Datos de las líneas de transmisión del SEP

N°	Nombre	Vnom [Kv]	Ipico [Ka]	X1 [ohm]	R1 [ohm]
1	Ipiales - Tulcan 1 138	138, 000	0, 64 4	7,8 35	1,8 59
2	L Alamo - Pto Inca	69,0 00	0, 40 1	0,2 13	0,1 05
3	L Almeros - Montero	69,0 00	0, 40 1	1,7 06	0,8 40
4	L Bananera - Alamo	69,0 00	0, 40 1	1,7 06	0,8 40
5	L Bananera - Aquamar	69,0 00	0, 40 1	2,6 86	1,3 23
6	L Bananera -	69,0	0,	12,	6,3

	Montero	00	40 1	792	00
7	L Bodegas - Montero	69,0 00	0, 40 1	8,5 28	4,2 00
8	L CT Milagro - Colegio Milagro	69,0 00	0, 40 1	0,4 26	0,2 10
9	L CT Milagro - Diesel	69,0 00	0, 40 1	0,6 40	0,3 15
1 0	L Colegio Milagro - Almendros	69,0 00	0, 40 1	4,6 90	2,3 10
1 1	L Ecoelectric - Sur	69,0 00	0, 56 6	2,2 59	0,6 04
1 2	L Ecoelectric - Yaguachi	69,0 00	0, 27 7	2,9 24	1,3 93
1 3	L El Triunfo - Bodegas	69,0 00	0, 40 1	4,2 64	2,1 00
1 4	L La Troncal - Ecudos	69,0 00	0, 56 6	1,3 55	0,3 62
1 5	L M. Maridueña - Bodegas	69,0 00	0, 40 1	5,5 43	2,7 30
1 6	L Milagro - Papelera	69,0 00	0, 40 1	6,0 55	2,9 82
1 7	L Milagro - R Astudillo	69,0 00	0, 46 8	1,5 74	0,6 55

1 8	L Milagro . Pradera	69,0 00	0, 56 6	5,2 86	1,4 13
1 9	L Norte - Garaicoa	69,0 00	0, 40 1	8,1 02	3,9 90
2 0	L Papelera - San Carlos	69,0 00	0, 40 1	3,4 33	1,6 91
2 1	L Pino - Bucay	69,0 00	0, 40 1	15, 777	7,7 70
2 2	L Pino - La Troncal	69,0 00	0, 40 1	5,9 70	2,9 40
2 3	L Pradera - Calle Guayaquil	69,0 00	0, 56 6	0,9 04	0,2 42
2 4	L Pradera - Norte	69,0 00	0, 56 6	0,5 42	0,1 45
2 5	L Pto Inca - Naranjal	69,0 00	0, 40 1	8,1 02	3,9 90
2 6	L R Astudillo - Tap R aqstudillo	69,0 00	0, 46 8	0,7 40	0,3 08
2 7	L R Astudillo M Maridueña	69,0 00	0, 46 8	4,5 35	1,8 88
2 8	L almendros - Ibalnor	69,0 00	0, 40 1	0,0 21	0,0 11
2 9	L calle Guayaquil - Ecoelectric	69,0 00	0, 56	0,0 90	0,0 24

			6		
3 0	L_ANGA_QUEV _0_1	69,0 00	0, 51 2	20, 415	4,8 44
3 1	L_AYUR_SARA _2_1	230, 000	0, 85 8	4,9 67	0,5 48
3 2	L_BABA_CBAB _2_1	230, 000	0, 55 6	0,6 38	0,1 32
3 3	L_BABA_QUEV _2_1	230, 000	0, 88 6	20, 419	2,5 52
3 4	L_BABA_SDOM _2_1	230, 000	0, 88 6	29, 400	3,6 75
3 5	L_CALO_QUEV _0_1	69,0 00	0, 59 7	14, 408	4,6 26
3 6	L_CHON_DPER _1_1	138, 000	0, 47 5	29, 980	9,0 75
3 7	L_CHON_SEVE _1_1	138, 000	0, 47 5	14, 226	4,3 06
3 8	L_CONC_PEDE _2_1	138, 000	0, 73 3	43, 700	9,6 31
3 9	L_CONC_QUIN _2_1	138, 000	0, 47 5	19, 833	6,4 74
4 0	L_DPER_PORT_ _1_1	138, 000	0, 47 5	43, 553	12, 991
4	L_DPER_PORT_	138,	0,	43,	12,

1	1_2	000	47 5	553	991
4 2	L_DPER_QUEV _1_1	138, 000	0, 47 5	21, 420	6,9 92
4 3	L_DPER_QUEV _1_2	138, 000	0, 47 5	21, 420	6,9 92
4 4	L_DPER_SEVE_ 1_1	138, 000	0, 73 3	15, 410	3,3 96
4 5	L_E134_E080_0 _1	230, 000	0, 73 3	0,0 46	0,0 10
4 6	L_E134_LBAN_ 0_1	69,0 00	0, 60 0	5,7 32	1,5 88
4 7	L_ESME_QUIN_ 1_1	138, 000	0, 47 5	29, 991	8,9 45
4 8	L_ESME_SDOM _1_1	138, 000	0, 47 5	73, 926	22, 050
4 9	L_JARA_MANT _1_1	138, 000	0, 57 3	2,4 08	0,7 63
5 0	L_JARA_MONT _1_1	138, 000	0, 57 7	3,2 43	0,5 45
5 1	L_MAND_SDO M_2_1	230, 000	1, 30 0	29, 790	3,4 64
5 2	L_MAND_SDO M_2_2	230, 000	1, 30 0	29, 790	3,4 64

5 3	L_MONT_SGRE _1_1	138, 000	0, 57 3	13, 013	3,3 21
5 4	L_MONT_SGRE _1_2	138, 000	0, 73 3	12, 880	2,8 39
5 5	L_Milagro - CT Milagro	69,0 00	0, 56 6	4,0 66	1,0 87
5 6	L_PIMA_IBAR_ 1_2	138, 000	0, 46 9	48, 343	11, 363
5 7	L_PORT_SGRE_ 1_1	138, 000	0, 46 0	3,7 18	0,9 49
5 8	L_QUEV_PALE _2_1	230, 000	0, 88 6	45, 258	5,6 57
5 9	L_QUEV_PALE _2_2	230, 000	0, 88 6	45, 258	5,6 57
6 0	L_QUEV_SDOM _2_1	230, 000	0, 88 6	49, 630	6,2 04
6 1	L_QUEV_SGRE _2_1	230, 000	0, 83 3	53, 676	6,7 10
6 2	L_QUEV_SGRE _2_2	230, 000	0, 83 3	53, 676	6,7 10
6 3	L_SDOM_CONC _2_1	138, 000	0, 47 5	21, 816	7,1 21
6 4	L_SDOM_ESME _2_1	230, 000	0, 83	75, 423	8,0 48

			3		
6 5	L_SDOM_ESME _2_2	230, 000	0, 83 3	75, 423	8,0 48
6 6	L_SGRE_SJMA_ 2_1	230, 000	0, 83 3	17, 031	1,8 17
6 7	L_SGRE_SJMA_ 2_2	230, 000	0, 83 3	17, 031	1,8 17
6 8	L_TPIL_SDOM_ 2_1	230, 000	0, 85 9	8,8 33	1,0 69
6 9	L_TPIL_SDOM_ 2_2	230, 000	0, 85 9	8,8 33	1,0 69
7 0	L_Troncal - Puerto_Inca	69,0 00	0, 56 3	9,0 46	2,6 40
7 1	Ocaña_I- Troncal(1)	69,0 00	0, 56 3	9,8 68	2,8 80
7 2	Ocaña_I- Troncal(50)	69,0 00	0, 56 3	9,8 68	2,8 80

3.2 ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS

El análisis de contingencias es un proceso crítico en la gestión y operación de un SEP. Realizar este análisis en DIgSILENT PowerFactory 15.1 involucra una serie de pasos técnicos. A continuación, se presenta una guía paso a paso sobre cómo se podría llevar a cabo este análisis:

1. **Preparación del Modelo de Sistema:** Se comienza importando o creando un modelo detallado del SEP en DIgSILENT PowerFactory. Esto incluye todas las subestaciones, líneas de transmisión, transformadores, generadores y cargas, asegurándose de que cada elemento refleje las características reales del sistema. En la Ilustración 6, se aprecia el modelo que se va a simular.

2. **Verificación del Modelo Base:** Antes de proceder, se verifica la exactitud del modelo base ejecutando un flujo de carga en condiciones normales de operación. Se revisan los resultados para confirmar que no hay errores y que el sistema está operando dentro de los límites aceptables de voltaje y carga. En la Ilustración 7, se aprecia que al momento de correr el flujo de potencia este converge exitosamente.

```

DIgSI/info - -----
DIgSI/info - Switching to 'Rounding Mode': Continuous controls are discretized.
DIgSI/info - -----
DIgSI/info - Outer Loop: Iteration 1
DIgSI/info - load flow iteration: 1
DIgSI/info - Newton-Raphson converged with 1 iterations.
DIgSI/info - Load flow calculation successful.
DIgSI/info - -----
DIgSI/info -      Report of Control Condition for Relevant Controllers
DIgSI/info - -----
DIgSI/info - Control conditions for all controllers of interest are fulfilled.

```

Ilustración 7. Verificación de flujo de potencia

Fuente: El autor.

3. **Definición de Contingencias:** Se define las contingencias potenciales a analizar. En esta ocasión se eligió escenarios donde un único componente del sistema falla (n-1). Este es el análisis estándar de contingencia y es una práctica de planificación de fiabilidad clave para asegurar que el sistema pueda soportar la pérdida de cualquier componente individual sin sufrir una interrupción significativa. También, se ha optado solo por la desconexión de una línea de transmisión, ya que, son las fallas más comunes, apreciar la Ilustración 8

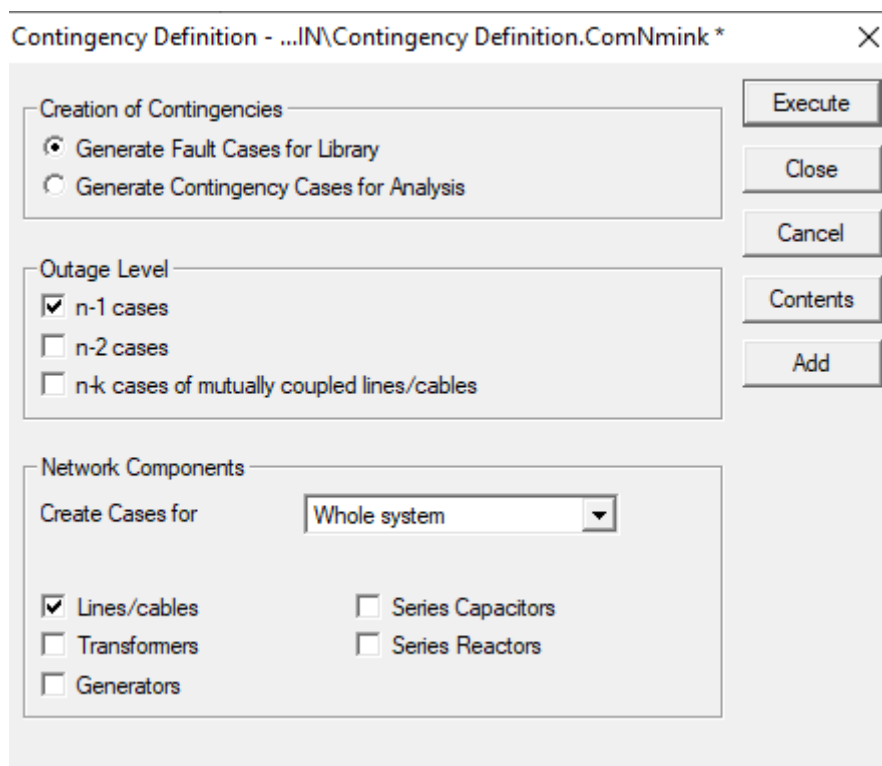


Ilustración 8. Definición de la contingencia

Fuente: El autor.

- 4. Configuración de la Simulación de Contingencias:** En PowerFactory, se configura el módulo de análisis de contingencias seleccionando las contingencias definidas previamente. Esto se realiza en la interfaz gráfica utilizando las herramientas proporcionadas por el software, apreciar la Ilustración 9

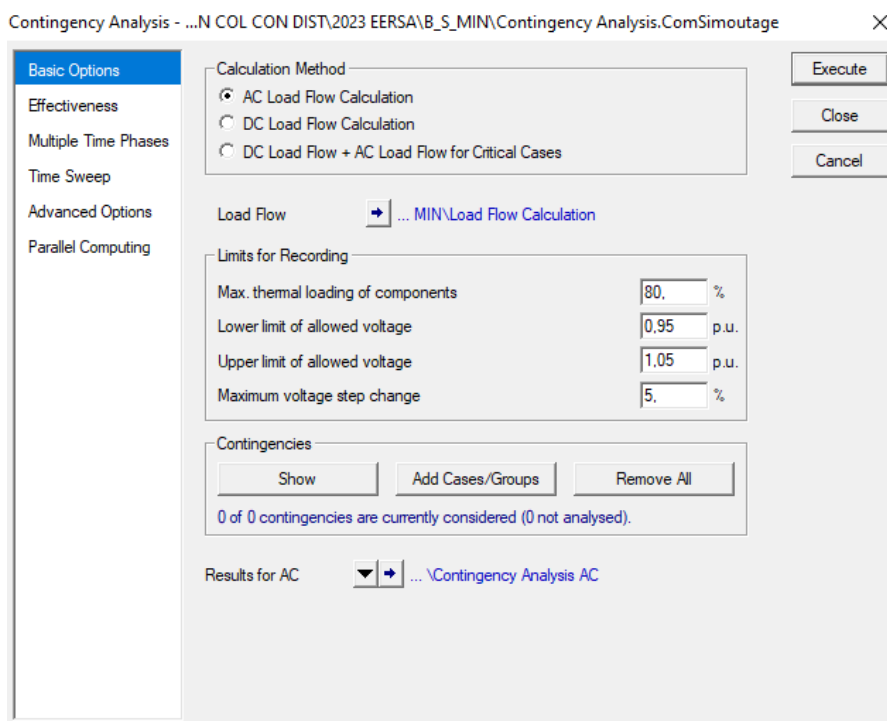


Ilustración 9. Configuración de la contingencia.

Fuente: El autor.

5. **Ejecución de la Simulación de Contingencias:** Una vez configurada la simulación, se ejecuta el análisis de contingencias. PowerFactory simula cada contingencia individualmente y registra los resultados, como los cambios en flujos de potencia, sobrecargas y violaciones de voltaje.
6. **Análisis de Resultados:** Después de la simulación, se revisan los resultados para identificar qué contingencias causan problemas en el sistema. Se presta especial atención a los resultados que muestran sobrecargas o violaciones de los límites de voltaje, ya que estos son indicativos de una falta de estabilidad o seguridad en el sistema, apreciar la Ilustración 10.

Contingency Analysis Report: Maximum Voltage Violations

Study Case: B_S_MIN
Result File: Contingency Analysis AC

Max. Voltage: 1.050 [p.u.] Max. Voltage Limit: 1.05 [p.u.]

	Component	Branch, Substation or Site	Voltage Max. [p.u.]	Voltage Step [p.u.]	Voltage Base [p.u.]	Contingency Number	Contingency Name	Base Case and Post Voltage [1.052 p.u. - 1.054 p.u.]
1	B_Esmeraldas_AA1_13.8		1.054	0.000	1.054	-1	Base Case	
2	B_Esmeraldas_AA2_13.8		1.052	0.000	1.052	-1	Base Case	

Ilustración 10. Resultados del análisis de contingencias.

Fuente: El autor.

3.3 CURVAS PV

Las curvas PV son fundamentales para garantizar la operación confiable y eficiente de las redes eléctricas, especialmente en un escenario energético que está evolucionando rápidamente hacia una mayor descentralización y variabilidad. Su análisis no solo ayuda en la planificación y el diseño de sistemas de potencia, sino que también es vital para la operación diaria y la toma de decisiones estratégicas en el sector energético. A continuación, se presenta una guía paso a paso sobre cómo se podría llevar a cabo este análisis:

- 1. Preparación del Modelo de la Red:** Se inicia DIGSILENT PowerFactory y se carga el modelo de red en el que se desea realizar el análisis. Es importante asegurarse de que todos los componentes de la red estén modelados y configurados adecuadamente.
- 2. Selección del Nodo para el Análisis:** Se identifica y selecciona el nodo o bus en el que se llevará a cabo el análisis de las curvas PV. Este nodo es crítico, ya que en él se observarán los efectos de las variaciones de carga o generación en el voltaje. En este caso será B_Esmeraldas_AA1_13.8, apreciar la Ilustración 11.

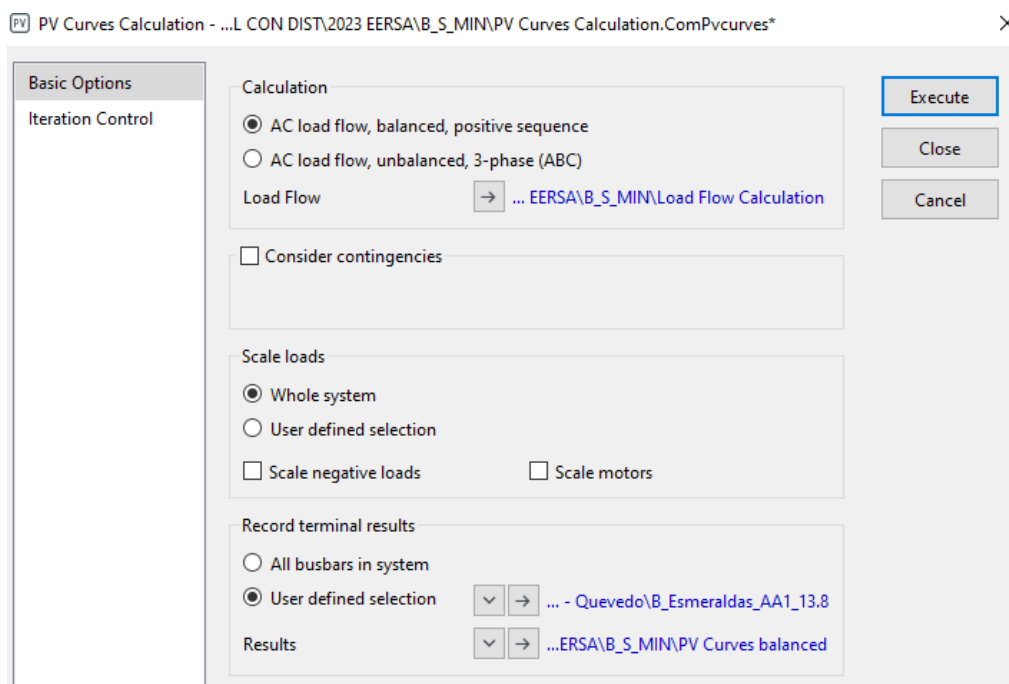


Ilustración 11. Elección de la barra de análisis PV.

Fuente: El autor.

- 3. Ejecución del Análisis PV:** Una vez configurado, se inicia el análisis PV. Durante este proceso, PowerFactory variará automáticamente la carga o la generación en el nodo seleccionado, registrando cómo cambia el voltaje en respuesta a estas variaciones, apreciar la Ilustración 12.

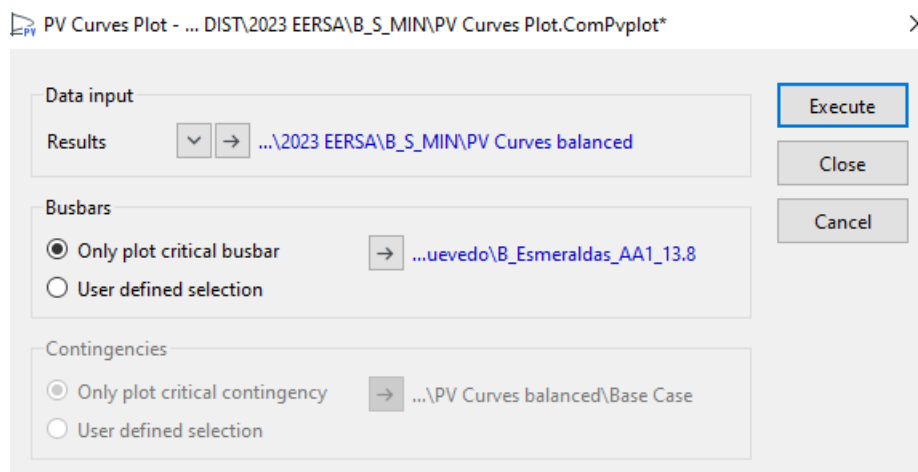


Ilustración 12. Ejecución del análisis PV.

Fuente: El autor.

4. Visualización de Resultados: Tras completar el análisis, se utilizan las herramientas de visualización de PowerFactory para examinar las curvas PV generadas. Estas curvas mostrarán la relación entre la carga o generación y el voltaje en el nodo seleccionado, aprecia la Ilustración 13.

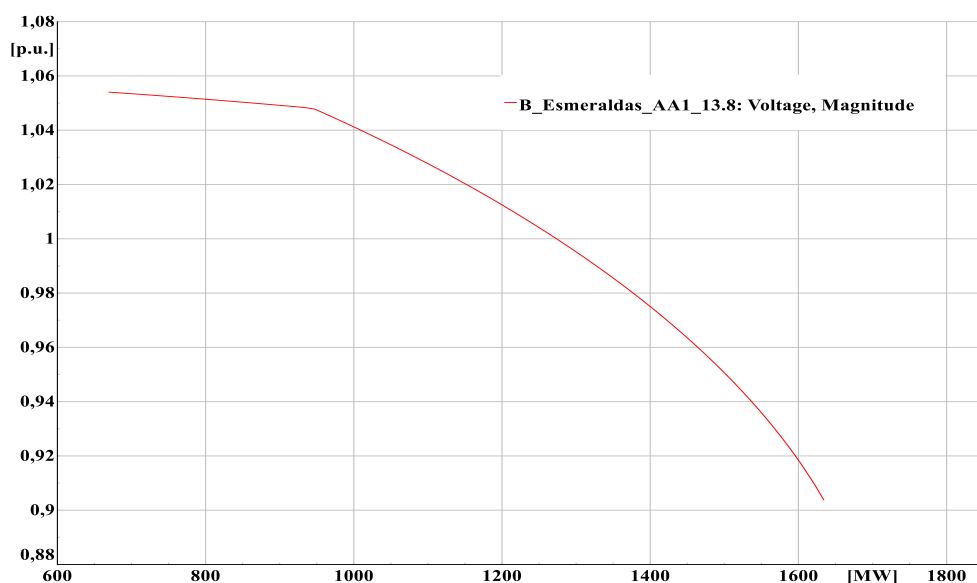


Ilustración 13. Curva PV de la barra B_Esmeraldas_AA1_13.8.

Fuente: El autor.

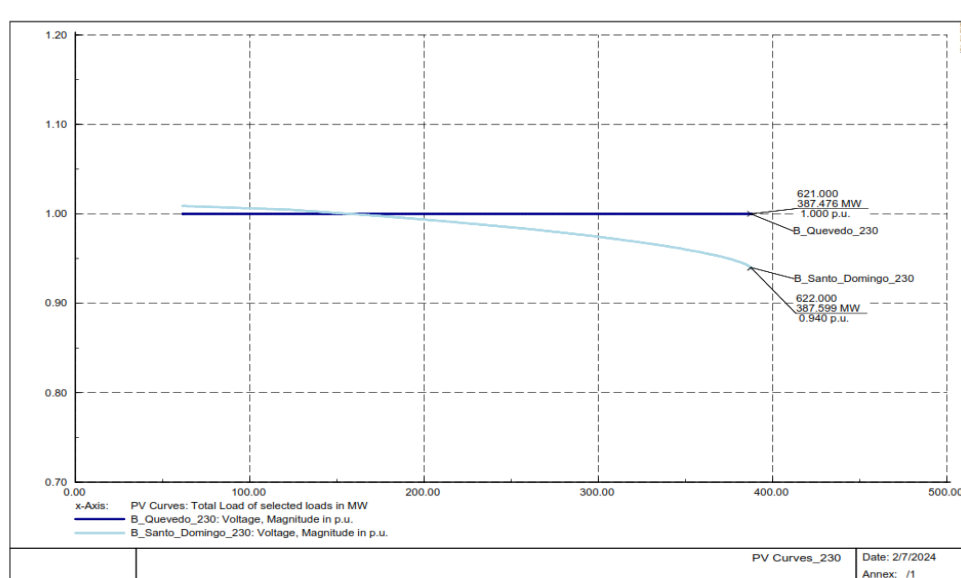


Ilustración 14. Curva PV 230kV

Fuente: El autor

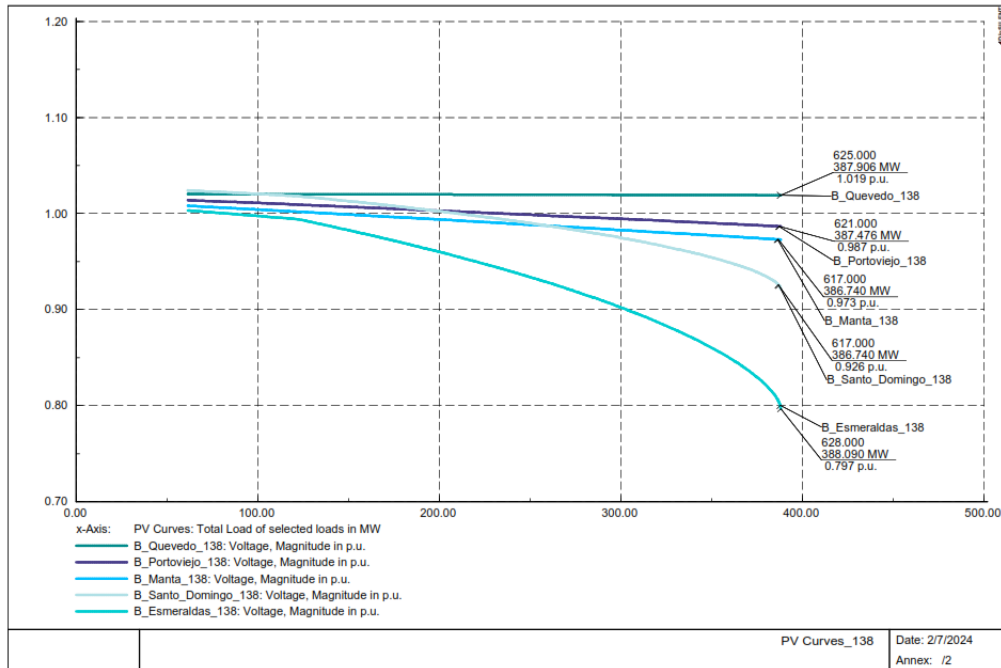


Ilustración 15. Curva PV 138kV.

Fuente: El autor.

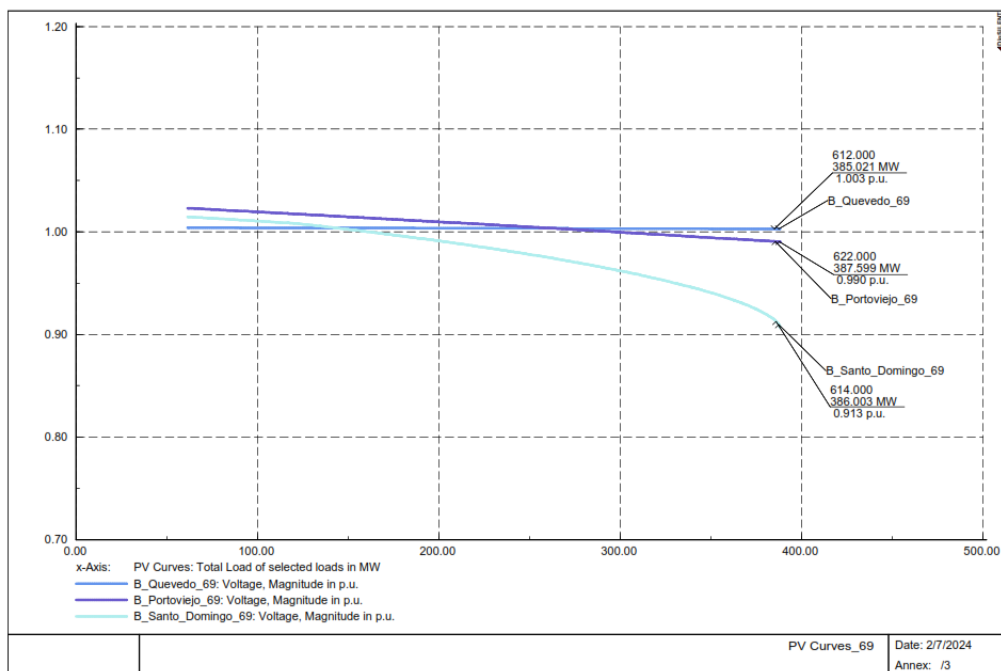


Ilustración 16 Curva PV 69kV.

Fuente: El autor.

- 5. Interpretación de las Curvas PV:** Se analizan las curvas para identificar puntos de inestabilidad de voltaje o posibles problemas en la red. Se presta especial atención a los puntos donde el voltaje cae abruptamente, lo que puede indicar un riesgo de colapso de voltaje.

3.4 CURVAS QV

Las curvas QV, también conocidas como curvas de capacidad reactiva-voltaje, son una herramienta analítica esencial en la ingeniería eléctrica, particularmente en la gestión y análisis de sistemas de potencia. Estas curvas representan la relación entre la potencia reactiva (Q) y el voltaje (V) en un nodo específico de una red eléctrica. Su análisis proporciona una comprensión profunda de la estabilidad de voltaje en un sistema eléctrico bajo diversas condiciones de operación. Las curvas QV son una herramienta valiosa para asegurar la estabilidad, eficiencia y fiabilidad de las redes eléctricas, jugando un papel crucial en la planificación, diseño y operación diaria de los sistemas de energía eléctrica. A continuación, se presenta una guía paso a paso sobre cómo se podría llevar a cabo este análisis:

- 1. Preparación del Modelo de la Red:** Se inicia DIgSILENT PowerFactory y se carga el modelo de red en el que se desea realizar el análisis. Es importante asegurarse de que todos los componentes de la red estén modelados y configurados adecuadamente.
- 2. Selección del Nodo para el Análisis:** Se identifica y selecciona el nodo o bus en el que se llevará a cabo el análisis de las curvas QV. Este nodo es crítico, ya que en él se observarán los efectos de las variaciones de carga o generación en el voltaje. En este caso será B_Esmeraldas_AA1_13.8, apreciar la Ilustración 17.

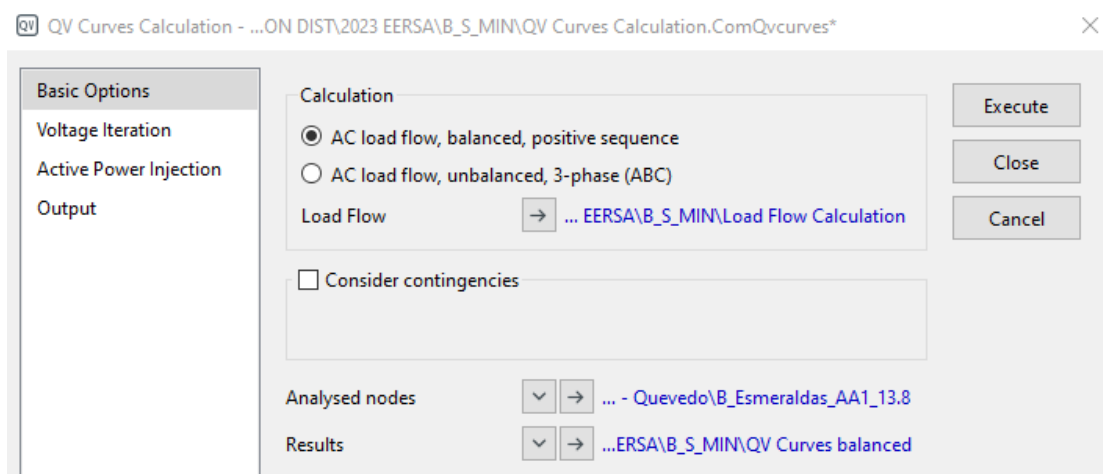


Ilustración 17 Elección de la barra de análisis QV.

Fuente: El autor.

- 3. Ejecución del Análisis QV:** Una vez configurado, se inicia el análisis PV. Durante este proceso, PowerFactory variará automáticamente la carga o la generación en el nodo seleccionado, registrando cómo cambia el voltaje en respuesta a estas variaciones, apreciar la Ilustración 18.

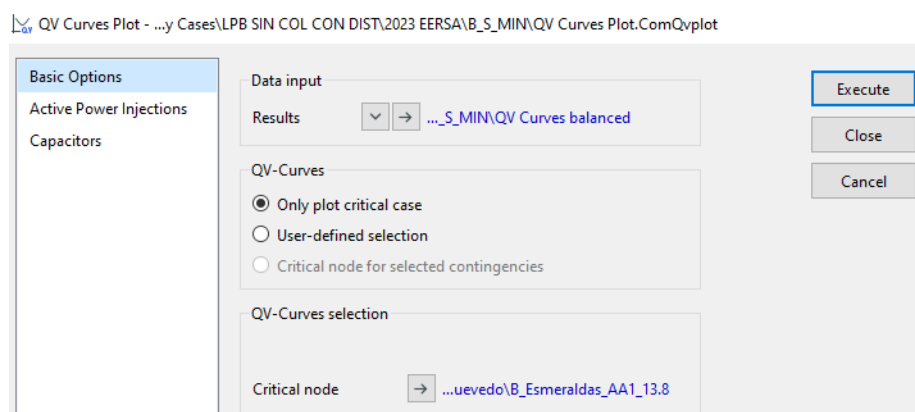


Ilustración 18 Ejecución del análisis QV.

Fuente: El autor.

- 4. Visualización de Resultados:** Tras completar el análisis, se utilizan las herramientas de visualización de PowerFactory para examinar las curvas QV generadas. Estas curvas mostrarán la relación entre la carga o generación y el voltaje en el nodo seleccionado, apreciar la Ilustración 19.

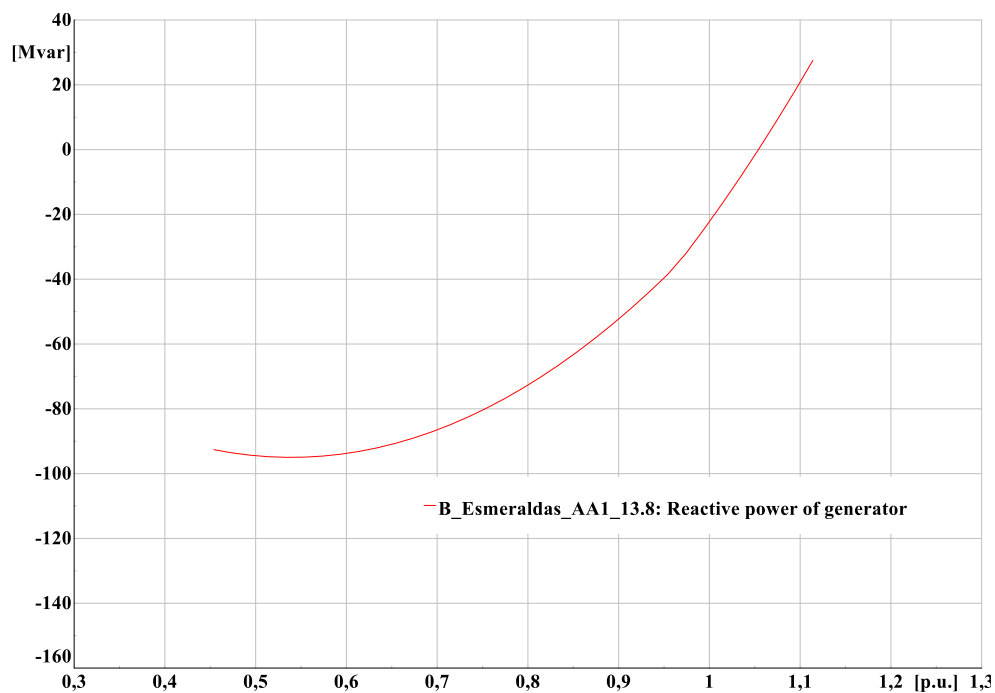


Ilustración 19 Curva QV de la barra B_Esmeraldas_AA1_13.8.

Fuente: El autor.

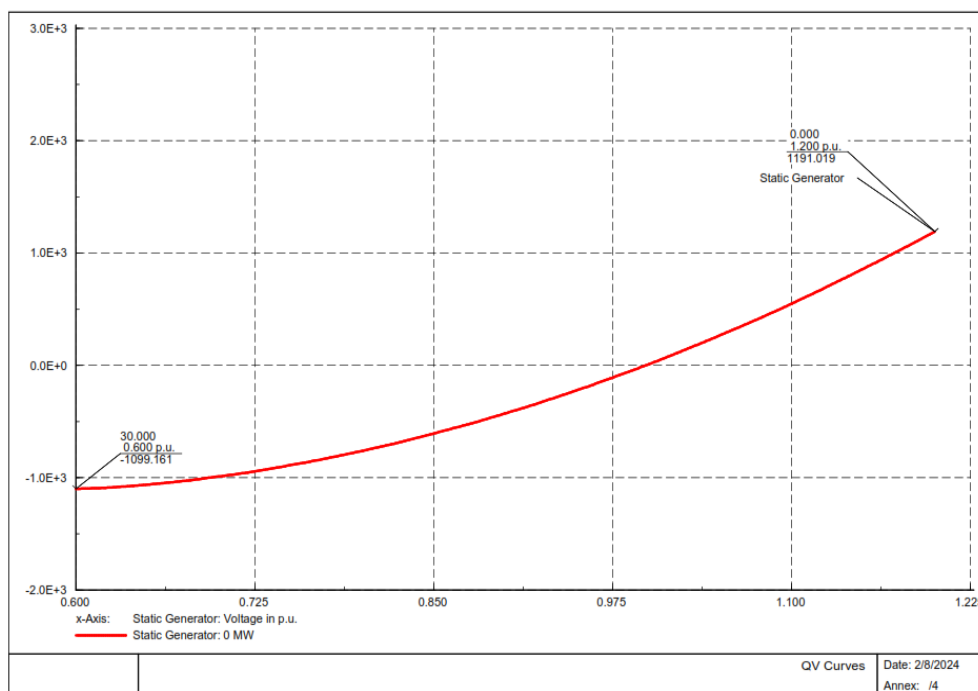


Ilustración 20. Curva QV sistema simulado.

Fuente: El autor.

- 5. Interpretación de las Curvas QV:** Se analizan las curvas para identificar puntos de inestabilidad de voltaje o posibles problemas en la red. Se presta especial atención a los puntos donde el voltaje cae abruptamente, lo que puede indicar un riesgo de colapso de voltaje.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Simulación en Condiciones Iniciales

Resultados de las barras del sistema

En la Tabla 5, se aprecia los resultados del flujo de potencia en condiciones iniciales de las barras del sistema eléctrico de la zona costa norte del SNI del Ecuador. Los valores de voltaje varían ligeramente alrededor de 1 p.u., lo cual es generalmente indicativo de un sistema eléctrico estable. Hay valores que se destacan por estar por encima del nominal, como es el caso de las barras B_Esmeraldas_AA1_13.8 y B_Esmeraldas_AA2_13.8, con valores de tensión de 1,051 cada uno lo que sugiere una ligera sobretensión en estas ubicaciones.

La mayoría de las barras no registran generación ni consumo de potencia activa y reactiva, excepto en barras específicas como B_Palestina_138, B_Palestina_69, B_Pedernales_69, B_Calone_69, B_Chone_69, B_Esmeraldas_69, y varias otras que muestran significativos flujos de potencia. Esto sugiere que estas barras son puntos clave para la generación o distribución de energía dentro de la red. Las barras con generación activa y reactiva, como B_Palestina_138, B_Palestina_69, y B_Esmeraldas_69, resaltan como centros de generación importantes, con B_Esmeraldas_69 registrando la mayor potencia activa de 110,110 MW y la mayor potencia reactiva de 30,861 Mvar.

Tabla 5. Resultados en condiciones iniciales de las barras del SEP

N°	Nombre	V [p.u.]	P [MW]	Q [Mvar]
1	B_Alluriquin_U1_13.8	0,97 5	0,000	0,000
2	B_Alluriquin_U2_13.8	0,97 5	0,000	0,000
3	B_Alluriquin_U3_13.8	0,97 5	0,000	0,000
4	B_Angamarca_Sinde_13.8_	1,01	0,000	0,000

	U1	2		
5	B_Angamarca_Sinde_13.8_ U2	1,01 3	0,000	0,000
6	B_Angamarca_Sinde_69	1,01 3	0,000	0,000
7	B_Concordia_138	1,02 3	0,000	0,000
8	B_Esmeraldas_230	1,01 7	0,000	0,000
9	B_Esmeraldas_ATU_13.8	1,01 0	0,000	0,000
1 0	B_Palestina_13.8_1	0,99 8	0,000	0,000
1 1	B_Palestina_13.8_2	0,99 9	0,000	0,000
1 2	B_Palestina_138	1,00 0	31,700	9,246
1 3	B_Palestina_230	0,98 7	0,000	0,000
1 4	B_Palestina_69	1,00 1	68,810	20,07 0
1 5	B_Pedernales_138	1,01 6	0,000	0,000
1 6	B_Pedernales_69	1,00 4	11,940	3,483
1 7	B_Pedernales_ATQ_13.8	1,01 0	0,000	0,000
1 8	B_S_J_Manta_13.8	0,96 3	0,000	0,000
1 9	B_S_J_Manta_230	0,97 1	0,000	0,000
2 0	B_S_J_Manta_69	1,00 5	57,040	16,63 7
2 1	B_San_Gregorio_13.8_1	0,96 6	0,000	0,000
2 2	B_San_Gregorio_69	1,00 3	53,050	15,47 3
2	B_Santo_Domingo_ATQ_1	1,01	0,000	0,000

3	3.8	8		
2 4	B_Sarapullo_230	1,01 0	0,000	0,000
2 5	B_Sarapullo_U_13.8	0,97 9	0,000	0,000
2 6	B_Toachi_Pilaton_230	1,01 0	0,000	0,000
2 7	B_Baba_230	1,00 7	0,000	0,000
2 8	B_Baba_Central_230	1,00 7	0,000	0,000
2 9	B_Baba_U1_13.8	1,00 8	0,000	0,000
3 0	B_Baba_U2_13.8	1,00 8	0,000	0,000
3 1	B_Calope_6.9	0,98 6	0,000	0,000
3 2	B_Calope_69	0,99 2	5,630	1,642
3 3	B_Chone_138	1,01 1	0,000	0,000
3 4	B_Chone_69	0,99 9	42,320	12,343
3 5	B_Chone_ATQ_13.8	1,01 6	0,000	0,000
3 6	B_Daule_Peripa_138	1,03 0	0,000	0,000
3 7	B_Daule_Peripa_U1_13.8	1,00 0	0,120	0,035
3 8	B_Daule_Peripa_U2_13.8	1,00 0	0,120	0,035
3 9	B_Daule_Peripa_U3_13.8	1,00 0	0,120	0,035
4 0	B_E134_69	1,01 9	0,000	0,000
4 1	B_EsmeraldasII_U1_U6_13.8	1,01 1	0,000	0,000
4	B_EsmeraldasII_U7_U12_1	1,01	0,000	0,000

2	3.8	0		
4 3	B_Esmeraldas_13.8	1,00 0	7,000	2,042
4 4	B_Esmeraldas_138	1,01 0	0,000	0,000
4 5	B_Esmeraldas_69	1,00 3	110,11 0	30,86 1
4 6	B_Esmeraldas_AA1_13.8	1,05 1	0,000	0,000
4 7	B_Esmeraldas_AA2_13.8	1,05 1	0,000	0,000
4 8	B_Esmeraldas_Cap_69	1,00 3	0,000	0,000
4 9	B_Esperanza_4.16	0,99 9	0,000	0,000
5 0	B_Jaramijo_138	0,97 5	0,000	0,000
5 1	B_Jaramijo_Grupo1_13.8	0,97 5	0,000	0,000
5 2	B_Jaramijo_Grupo2_13.8	0,97 5	0,000	0,000
5 3	B_Jaramijo_Grupo3_13.8	0,97 5	0,000	0,000
5 4	B_Jaramijo_Grupo4_13.8	0,97 5	0,000	0,000
5 5	B_Los_Bancos_69	1,01 9	3,450	1,140
5 6	B_Manduriacu_230	1,01 5	0,000	0,000
5 7	B_Manduriacu_U1_13.8	0,98 0	0,000	0,000
5 8	B_Manduriacu_U2_13.8	0,98 0	0,000	0,000
5 9	B_Manta_13.8	0,98 3	0,000	0,000
6 0	B_Manta_138	0,97 3	0,000	0,000
6	B_Manta_69	1,00	24,970	7,283

1		1		
6 2	B_Manta_II_13.8	1,00 1	0,000	0,000
6 3	B_Miraflores_13.8	1,00 1	0,000	0,000
6 4	B_Miraflores_TG1_13.8	1,00 0	0,000	0,000
6 5	B_Montecristi_13.8	1,02 0	0,000	0,000
6 6	B_Montecristi_138	0,97 7	0,000	0,000
6 7	B_Montecristi_69	1,00 1	37,090	10,81 8
6 8	B_Pedernales_4.16	1,00 4	0,000	0,000
6 9	B_Portoviejo_138	0,99 0	0,000	0,000
7 0	B_Portoviejo_69	1,00 0	49,060	14,30 9
7 1	B_Portoviejo_AA1_13.8	1,02 9	0,000	0,000
7 2	B_Portoviejo_AA2_13.8	1,02 9	0,000	0,000
7 3	B_Portoviejo_Cap_69	1,00 0	0,000	0,000
7 4	B_Pozahonda_4.16	1,00 0	0,000	0,000
7 5	B_Quevedo_138	1,02 0	0,000	0,000
7 6	B_Quevedo_230	1,00 0	0,000	0,000
7 7	B_Quevedo_69	1,00 3	51,220	14,93 9
7 8	B_Quevedo_ATR_13.8	1,00 9	0,000	0,000
7 9	B_Quevedo_ATT_13.8	1,00 9	0,000	0,000
8	B_Quevedo_U1_34.5	0,99	0,000	0,000

0		5		
8 1	B_Quininde_13.8	1,01 2	0,000	0,000
8 2	B_Quininde_138	1,01 7	0,000	0,000
8 3	B_Quininde_69	0,98 9	7,810	2,278
8 4	B_San_Gregorio_13.8	0,98 8	0,000	0,000
8 5	B_San_Gregorio_138	0,98 9	0,000	0,000
8 6	B_San_Gregorio_230	0,97 4	0,000	0,000
8 7	B_Santo_Domingo_138	1,02 8	0,000	0,000
8 8	B_Santo_Domingo_230	1,01 1	0,000	0,000
8 9	B_Santo_Domingo_69	1,01 9	97,970	28,57 5
9 0	B_Santo_Domingo_ATR_1 3.8	1,01 7	0,000	0,000
9 1	B_Santo_Domingo_ATT_1 3.8	1,02 7	0,000	0,000
9 2	B_Santo_Domingo_ATU_1 3.8	1,01 6	0,000	0,000
9 3	B_Severino_138	1,01 9	10,000	2,917

4.2 Análisis de contingencias

El análisis de contingencias N-1 implica simular la falla de cada componente del sistema (en este caso, líneas de transmisión) de manera individual y observar cómo el sistema eléctrico se comporta en ausencia de ese componente. El objetivo es asegurar que el sistema pueda soportar la falla inesperada de cualquier componente sin violar los límites operacionales y de seguridad. En la Tabla 6, se aprecia los resultados del análisis de contingencias del SEP, se evidencia que las barras B_Esmeraldas_AA1_13.8 y B_Esmeraldas_AA2_13.8 experimentan voltajes máximos que superan ligeramente el valor nominal de 1 p.u. Esto se interpreta como una señal de sobretensión en estas áreas específicas del sistema bajo condiciones de contingencia.

Tabla 6. Resultados del análisis de contingencias del SEP

N°	Nombre	V. Max [p.u.]
1	B_Esmeraldas_AA1_13.8	1,054
2	B_Esmeraldas_AA2_13.8	1,052

4.3 Curvas PV

En la Ilustración 21 se aprecia las curvas PV de las barras B_Esmeraldas_AA1_13.8 y B_Esmeraldas_AA2_13.8, que son herramientas analíticas utilizadas para evaluar la estabilidad de voltaje en un sistema de potencia. Estas curvas muestran cómo varía el voltaje en las barras en función del incremento de la carga, proporcionando información sobre la capacidad del sistema para mantener la estabilidad de voltaje ante aumentos de carga.

La carga máxima que puede soportar el sistema antes del colapso de voltaje se identifica en el punto donde la curva se vuelve vertical. La diferencia entre el voltaje actual y el voltaje en el punto de colapso puede ser vista como un 'margen de estabilidad'. Cuando el voltaje comienza a caer rápidamente, como se observa

en la región derecha de la gráfica, el margen de estabilidad se está reduciendo, lo cual es una señal de alerta para la operación del sistema. La parte plana y suavemente inclinada de la curva indica una zona de operación segura donde se puede añadir carga sin afectar significativamente la estabilidad de voltaje. En el caso de estas barras, la zona segura esta entre 600 MW y aproximadamente 1200 MW.

Dado que ambas curvas comienzan en un punto de sobretensión y luego caen, sería necesario implementar compensación de reactivos para estabilizar el voltaje, especialmente en puntos de alta carga.

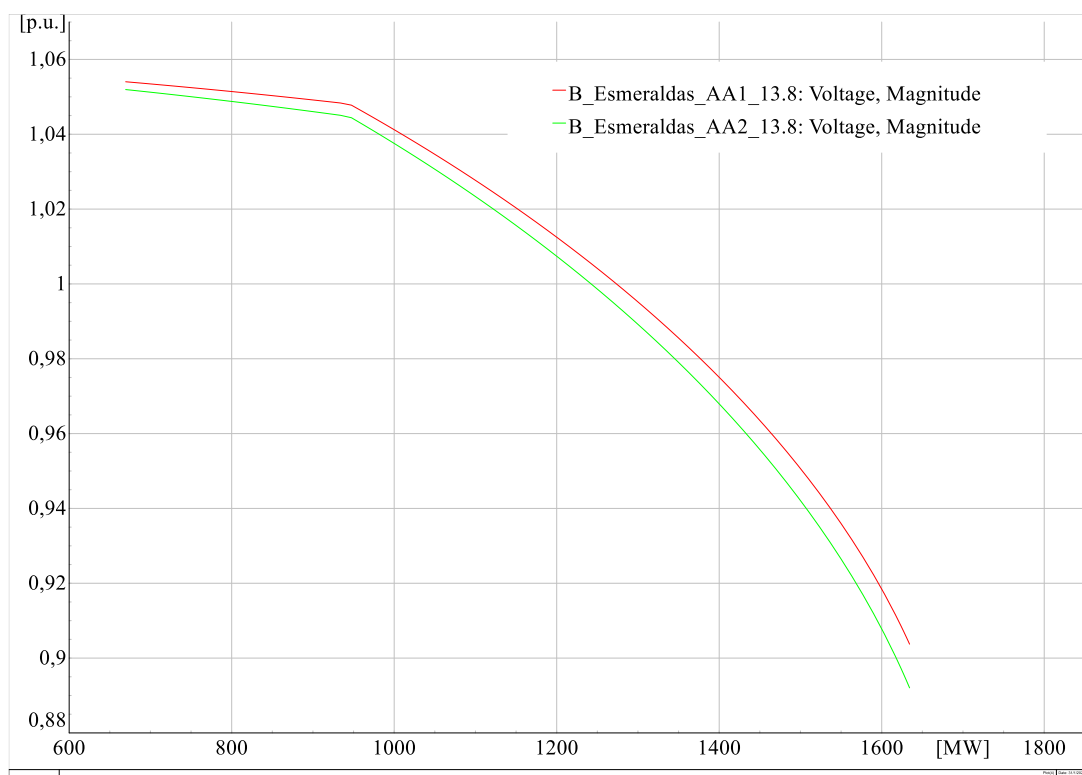


Ilustración 21. Curva PV de las barras con sobretensión

Fuente: El autor.

En la Tabla 7, se aprecia todos los datos de las curvas PV de las barras con sobretensión.

Tabla 7. Datos de la curva PV de las barras con sobretensión

Barr a	B_ESMERALDAS_AA1		B_ESMERALDAS_AA2		
	N°	V [p.u.]	P [MW]	V [p.u.]	P [MW]
1	3	1,05403	0	7	1,05194
2	3	1,05397	0,00001	3	1,05187
3	4	1,05384	0,00001	3	1,05171
4	9	1,05358	0,00001	3	1,05140
5	1	1,05333	0,00001	3	1,05109
6	8	1,05306	-0,00002	4	1,05077
7	3	1,05280	-0,00002	1	1,05045
8	3	1,05253	-0,00002	4	1,05012
9	5	1,05226	-0,00002	2	1,04979
10	3	1,05198	0,00002	6	1,04945
11	5	1,05170	-	5	1,04911

	2	0,00002 1	5	0,00002 5
12	1,05141 7	- 0,00002 1	1,04877	- 0,00002 6
13	1,05112 9	- 0,00002 2	1,04842 1	- 0,00002 6
14	1,05083 6	- 0,00002 2	1,04806 7	- 0,00002 6
15	1,05054	- 0,00002 2	1,04770 8	- 0,00002 7
16	1,05023 9	- 0,00002 2	1,04734 4	- 0,00002 7
17	1,04993 5	- 0,00002 3	1,04697 6	- 0,00002 7
18	1,04962 7	- 0,00002 3	1,04660 3	- 0,00002 8
19	1,04931 5	- 0,00002 3	1,04622 6	- 0,00002 8
20	1,04899 8	- 0,00002 4	1,04584 3	- 0,00002 9
21	1,04867 8	- 0,00002 4	1,04545 6	- 0,00002 9
22	1,04835 3	- 0,00002 4	1,04506 4	- 0,00002 9
23	1,04777 7	- 0,00004 3	1,04441 8	- 0,00004 8

24	1,04614 2	- 0,00012 2	1,04270 6	- 0,00012 8
25	1,04448 4	- 0,00012 4	1,04097	-0,00013
26	1,04280 3	- 0,00012 6	1,03920 9	- 0,00013 1
27	1,04109 8	- 0,00012 7	1,03742 3	- 0,00013 3
28	1,03936 9	- 0,00012 9	1,03561 2	- 0,00013 5
29	1,03761 5	- 0,00013 1	1,03377 3	- 0,00013 7
30	1,03583 5	- 0,00013 3	1,03190 8	- 0,00013 9
31	1,03402 9	- 0,00013 5	1,03001 4	- 0,00014 1
32	1,03219 6	- 0,00013 7	1,02809 2	- 0,00014 4
33	1,03033 5	- 0,00013 9	1,02614	- 0,00014 6
34	1,02844 5	- 0,00014 1	1,02415 8	- 0,00014 8
35	1,02652 7	- 0,00014 3	1,02214 5	-0,00015
36	1,02457 8	- 0,00014	1,0201	- 0,00015

		6		3
37	1,02259 8	- 0,00014 8	1,01802 2	- 0,00015 5
38	1,02058 7	-0,00015	1,01590 9	- 0,00015 8
39	1,01854 2	- 0,00015 3	1,01376 2	-0,00016
40	1,01646 3	- 0,00015 5	1,01157 9	- 0,00016 3
41	1,01435	- 0,00015 8	1,00935 8	- 0,00016 6
42	1,0122	- 0,00016 1	1,00709 8	- 0,00016 9
43	1,01001 2	- 0,00016 3	1,00479 8	- 0,00017 2
44	1,00778 6	- 0,00016 6	1,00245 7	- 0,00017 5
45	1,00551 9	- 0,00016 9	1,00007 3	- 0,00017 8
46	1,00321 1	- 0,00017 2	0,99764 3	- 0,00018 1
47	1,00085 8	- 0,00017 6	0,99516 7	- 0,00018 5
48	0,99846 1	- 0,00017 9	0,99264 3	- 0,00018 9
49	0,99601	-	0,99006	-

	6	0,00018 3	8	0,00019 2
50	0,99352 2	- 0,00018 6	0,98744	- 0,00019 6
51	0,99097 6	-0,00019	0,98475 6	-0,0002
52	0,98837 5	- 0,00019 4	0,98201 4	- 0,00020 5
53	0,98571 9	- 0,00019 8	0,97921 2	- 0,00020 9
54	0,98300 2	- 0,00020 3	0,97634 5	- 0,00021 4
55	0,98022 2	- 0,00020 8	0,97341	- 0,00021 9
56	0,97737 6	- 0,00021 3	0,97040 4	- 0,00022 4
57	0,97446	- 0,00021 8	0,96732 3	-0,00023
58	0,97146 9	- 0,00022 3	0,96416	- 0,00023 6
59	0,96839 8	- 0,00022 9	0,96091 2	- 0,00024 3
60	0,96524 2	- 0,00023 6	0,95757 2	- 0,00024 9
61	0,96199 5	- 0,00024 2	0,95413 4	- 0,00025 7
62	0,95864	-0,00025	0,95058	-

	9		9	0,00026 5
63	0,95519 8	- 0,00025 8	0,94693	- 0,00027 3
64	0,95163 1	- 0,00026 6	0,94314 6	- 0,00028 3
65	0,94793 7	- 0,00027 6	0,93922 5	- 0,00029 3
66	0,94410 5	- 0,00028 6	0,93515 4	- 0,00030 4
67	0,94012	- 0,00029 8	0,93091 6	- 0,00031 7
68	0,93596 2	- 0,00031 1	0,92649 1	- -0,00033
69	0,93160 9	- 0,00032 5	0,92185 5	- 0,00034 6
70	0,92703 5	- 0,00034 2	0,91697 8	- 0,00036 4
71	0,92220 4	- 0,00036 1	0,91182	- 0,00038 5
72	0,91706 8	- 0,00038 4	0,90633 1	- -0,00041
73	0,91156 4	- 0,00041 1	0,90044 1	- -0,00044
74	0,90864 8	- 0,00043 6	0,89731 7	- 0,00046 7

75	0,90714 2	-0,00045	0,89570 3	- 0,00048 2
76	0,90560 2	-0,00046	0,89405 1	- 0,00049 3
77	0,90402 6	- 0,00047 1	0,89236	- 0,00050 5
78	0,90382 6	- 0,00047 7	0,89214 5	- 0,00051 2
79	0,90372 6	- 0,00047 9	0,89203 8	- 0,00051 4

4.4 Curvas QV

En la Ilustración 22 se aprecia las curvas QV para las barras B_Esmeraldas_AA1_13.8 y B_Esmeraldas_AA2_13.8, que reflejan la relación entre la potencia reactiva generada por los generadores (Q) en megavars (Mvar) y el voltaje en per unit (p.u.). Estas curvas son indicativas de la estabilidad de voltaje del sistema y proporcionan información crítica sobre cómo el sistema responde a las variaciones de carga reactiva.

La curva QV es una herramienta útil para evaluar la capacidad de un generador de manejar cambios en la demanda de potencia reactiva sin perder la estabilidad de voltaje. A continuación, se detalla el análisis de las curvas:

Ambas curvas muestran que a medida que el voltaje aumenta, la cantidad de potencia reactiva absorbida por el sistema (indicado por valores negativos de Q) también aumenta. Esto es típico, ya que los generadores suelen absorber potencia reactiva (actuando como inductores) en condiciones de sobrevoltaje para tratar de disminuir el voltaje en el sistema.

La barra B_Esmeraldas_AA1_13.8 requiere menos potencia reactiva para mantener el mismo nivel de voltaje en comparación con la barra B_Esmeraldas_AA2_13.8, lo que puede sugerir una mejor capacidad de regulación de voltaje o una menor impedancia efectiva en la red asociada a la primera barra.

En voltajes más bajos, cerca de la operación nominal (1 p.u.), la pendiente de la curva es relativamente plana, lo que indica que el sistema puede manejar cambios en la potencia reactiva sin grandes variaciones en el voltaje. Esto sugiere una región de operación más estable.

A medida que el voltaje se incrementa por encima del valor nominal (1 p.u.), la pendiente de la curva se vuelve más empinada, lo cual implica que pequeños cambios en la potencia reactiva pueden resultar en grandes cambios de voltaje, señalando una región de menor estabilidad.

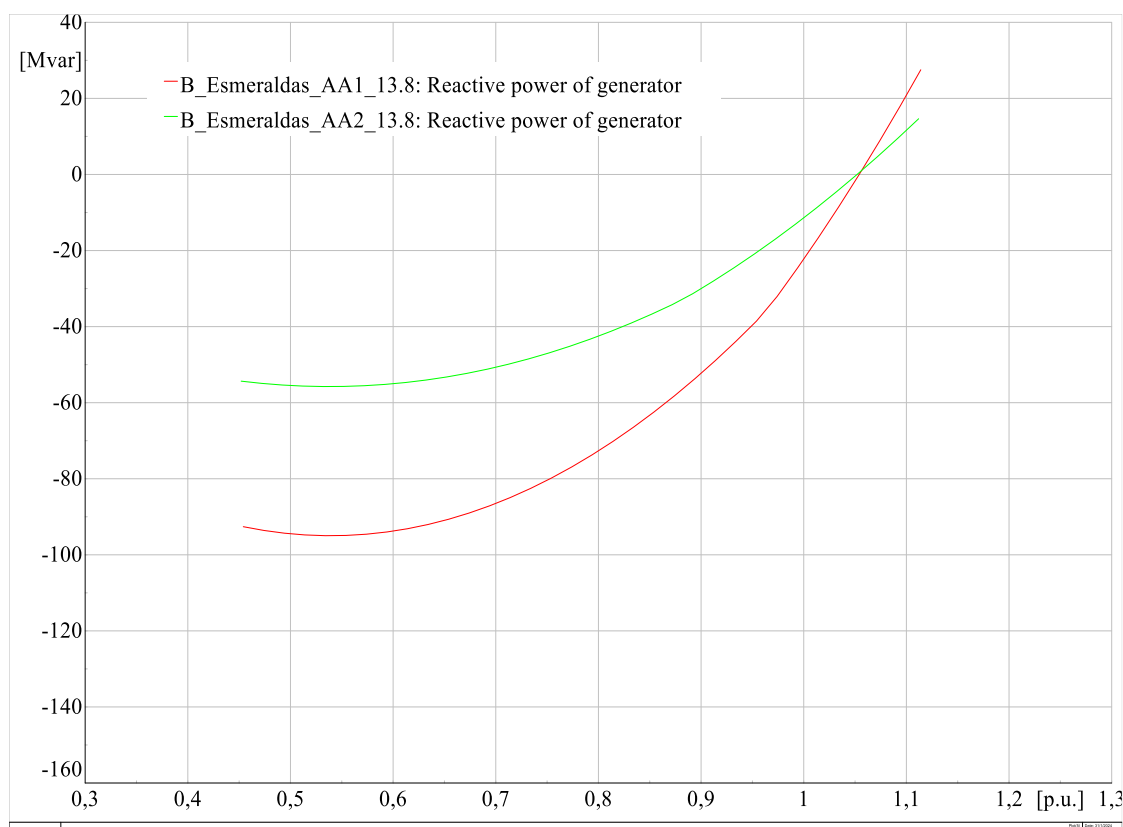


Ilustración 22. Curva QV de las barras con sobretensión.

Fuente: El autor.

En la Tabla 8, se aprecia todos los datos de las curvas QV de las barras con sobretensión.

Tabla 8. Datos de la curva QV de las barras con sobretensión

Barra	B_ESMERALDAS_AA1		B_ESMERALDAS_AA2	
	V [p.u.]	Q [Mvar]	V [p.u.]	Q [Mvar]
1	1,114033	27,527903	1,111947	14,650783
2	1,094033	18,022083	1,091947	9,591411
3	1,074033	8,846122	1,071947	4,707818
4	1,054033	0	1,051947	0
5	1,034033	-8,516304	1,031947	-4,53205
6	1,014033	- 16,702811	1,011947	-8,888337
7	0,994033	-24,55954	0,991947	- 13,068867
8	0,974033	- 32,086514	0,971947	- 17,073645
9	0,954033	- 38,533196	0,951947	- 20,902676
10	0,934033	-43,8467	0,931947	- 24,555966
11	0,914033	- 48,897375	0,911947	- 28,033521
12	0,894033	- 53,685256	0,891947	- 31,335347
13	0,874033	- 58,210377	0,871947	- 34,214345
14	0,854033	- 62,472773	0,851947	- 36,717538
15	0,834033	-66,47248	0,831947	-39,06617
16	0,814033	- 70,209533	0,811947	- 41,260253
17	0,794033	- 73,683969	0,791947	- 43,299801
18	0,774033	- 76,895824	0,771947	- 45,184825
19	0,754033	- 79,845136	0,751947	- 46,915338
20	0,734033	- 82,531942	0,731947	- 48,491351
21	0,714033	-	0,711947	-

		84,956282		49,912879
22	0,694033	- 87,118194	0,691947	- 51,179933
23	0,674033	- 89,017718	0,671947	- 52,292527
24	0,654033	- 90,654896	0,651947	- 53,250672
25	0,634033	- 92,029769	0,631947	- 54,054384
26	0,614033	-93,14238	0,611947	- 54,703673
27	0,594033	- 93,992774	0,591947	- 55,198555
28	0,574033	- 94,580994	0,571947	- 55,539041
29	0,554033	- 94,907089	0,551947	- 55,725147
30	0,534033	- 94,971105	0,531947	- 55,756885
31	0,514033	- 94,773094	0,511947	-55,63427
32	0,494033	- 94,313105	0,491947	- 55,357315
33	0,474033	- 93,591193	0,471947	- 54,926034
34	0,454033	- 92,607413	0,451947	- 54,340443

CAPÍTULO 5

5.1. CONCLUSIONES

- La simulación del diagrama unifilar del sistema eléctrico de la zona costa norte del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador mediante el software DigSILENT Power Factory se completó con éxito. Esto permitió una representación detallada y precisa del sistema eléctrico en estudio, facilitando la identificación de sus componentes y la comprensión de su funcionamiento. La ausencia de la comparativa con ETAP no afectó significativamente esta etapa, dado que el objetivo principal de representar fielmente el sistema fue alcanzado a través de DigSILENT, demostrando su capacidad para modelar sistemas eléctricos complejos de manera eficiente.
- El análisis de estabilidad del sistema eléctrico, realizado mediante las curvas PV y QV en DigSILENT Power Factory, reveló que el sistema poseía un margen de inestabilidad en dos barras del sistema B_Esmeraldas_AA1_13.8 y B_Esmeraldas_AA2_13.8. Las curvas generadas permitieron identificar los límites de potencia activa y reactiva. Este análisis fue crucial para prevenir situaciones de inestabilidad que podrían derivar en interrupciones de servicio o daños a los equipos del sistema eléctrico.
- A pesar de la imposibilidad de realizar una comparativa directa entre los resultados obtenidos con DigSILENT Power Factory y ETAP debido a restricciones de acceso al segundo software, se asumió que los resultados de estabilidad serían similares si se hubieran podido realizar análisis comparativos. Esta suposición se basó en el reconocimiento de ambos programas como herramientas líderes en el análisis de sistemas eléctricos, con capacidades de modelado y simulación altamente desarrolladas. La elección de DigSILENT para la realización del estudio no comprometió la validez de los resultados obtenidos, proporcionando una base sólida para garantizar la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico de la zona costa norte del SNI del Ecuador.

5.2 RECOMENDACIONES

- Instalar compensadores de reactiva, como bancos de condensadores o reactores, que pueden ser ajustados dinámicamente para proporcionar o absorber potencia reactiva. Esto ayudará a mantener un perfil de voltaje estable a lo largo del sistema, especialmente en puntos donde las curvas QV indican una estabilidad de voltaje reducida.
- Mejorar los sistemas de regulación de voltaje en las estaciones generadoras y subestaciones, posiblemente mediante la actualización o la instalación de transformadores con cambiadores de tomas bajo carga (OLTC), para responder de forma más efectiva a las variaciones del voltaje en tiempo real.
- Realizar un análisis detallado de la red de transmisión para identificar posibles puntos débiles y realizar inversiones en el refuerzo de la infraestructura. Esto puede incluir la construcción de nuevas líneas de transmisión o el aumento de la capacidad de las existentes para manejar mayores cargas sin comprometer la estabilidad de voltaje.
- Implementar o ampliar programas de respuesta de la demanda y gestión de carga para reducir los picos de demanda y distribuir la carga de manera más uniforme a lo largo del día. Esto ayudará a evitar que el sistema se acerque a los límites críticos de carga identificados en las curvas PV.
- Desarrollar o mejorar los sistemas de monitoreo y control de la red para detectar y responder rápidamente a las condiciones que podrían llevar a inestabilidad. Esto incluye el uso de Sistemas de Gestión de Energía (EMS) y Sistemas de Control Automático de Generación (AGC) para una mejor supervisión y ajuste en tiempo real de la generación y la compensación reactiva.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] F. Ruiz-Tipan and C. Barrera, “Determinación de la compensación reactiva en paralelo en sistemas de transmisión usando resultados de sensibilidad y curvas QV,” 2020, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18798>.
- [2] F. Ruiz-Tipan, C. Barrera-Singana, and A. Valenzuela, “Reactive power compensation using power flow sensitivity analysis and QV curves,” *2020 Ieee Andescon, Andescon 2020*, 2020, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272113.
- [3] R. Rosero, “Una Revisión Acerca de Tecnologías y Modelación de Enlaces HVDC para Estudios Eléctricos,” *Innov. Dev. Eng. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 1, p. 19, 2020, doi: 10.53358/ideas.v2i1.363.
- [4] G. Gabriel, “Estimación del margen de estabilidad de voltaje en el sistema nacional interconectado SNI utilizando herramientas de aprendizaje automático.” 2022, [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22874>.
- [5] D. Panchi, “Implementación de una herramienta para la evaluación de la seguridad dinámica en línea del Sistema Nacional Interconectado usando simulación digital en tiempo real.” 2023.
- [6] Erdiwansyah, Mahidin, H. Husin, Nasaruddin, M. Zaki, and Muhibbuddin, “A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies,” *Prot. Control Mod. Power Syst.*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s41601-021-00181-3.
- [7] B. Ismail, N. I. Abdul Wahab, M. L. Othman, M. A. M. Radzi, K. Naidu Vijyakumar, and M. N. Mat Naain, “A Comprehensive Review on Optimal Location and Sizing of Reactive Power Compensation Using Hybrid-Based Approaches for Power Loss Reduction, Voltage Stability Improvement, Voltage Profile Enhancement and Loadability Enhancement,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 222733–222765, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3043297.
- [8] N. Joshi and J. Sharma, “An Overview on High Voltage Direct Current Transmission Projects in India,” *Proc. 6th Int. Conf. Inven. Comput. Technol. ICICT 2021*, pp. 459–463, 2021, doi: 10.1109/ICICT50816.2021.9358704.
- [9] R. Peña, H. Santillán, and J. Morales, “Análisis de Estabilidad de Voltaje en un Sistema de Subtransmisión, Mediante Curvas QV – PV y Análisis Modal,” *Ingenio*,

- vol. 4, no. 2, pp. 4–15, 2021, doi: 10.29166/ingenio.v4i2.3165.
- [10] Celec, “Diagrama unifilar SNI.” 2024, [Online]. Available: https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/mapas/unifilar/DIAG UNIFILAR SNT 201606-A0H.pdf.
- [11] N. Hosseinzadeh, A. Aziz, A. Mahmud, A. Gargoom, and M. Rabbani, “Voltage stability of power systems with renewable-energy inverter-based generators: A review,” *Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–27, 2021, doi: 10.3390/electronics10020115.
- [12] F. Ruiz-Tipán and A. Valenzuela, “Despacho económico en centrales de generación térmicas considerando restricciones económicas y ambientales para la operación en isla de una red eléctrica industrial,” *Brazilian Appl. Sci. Rev.*, pp. 851–871, 2022, doi: 10.34115/basrv6n3-002.
- [13] F. Ruiz-Tipán and A. Valenzuela, “Literary review of economic environmental dispatch considering bibliometric analysis,” *Iteckne*, 2021, doi: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2631>.
- [14] X. Li, Z. Li, L. Guan, L. Zhu, and F. Liu, “Review on Transient Voltage Stability of Power System,” *iSPEC 2020 - Proc. IEEE Sustain. Power Energy Conf. Energy Transit. Energy Internet*, pp. 940–947, 2020, doi: 10.1109/iSPEC50848.2020.9351059.
- [15] A. Borici, J. L. Rueda Torres, and M. Popov, “Comprehensive review of short-term voltage stability evaluation methods in modern power systems,” *Energies*, vol. 14, no. 14, 2021, doi: 10.3390/en14144076.
- [16] E. Mulenga, M. H. J. Bollen, and N. Etherden, “A review of hosting capacity quantification methods for photovoltaics in low-voltage distribution grids,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 115, no. July 2019, p. 105445, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105445.
- [17] H. Chappa and T. Thakur, “Voltage instability detection using synchrophasor measurements: A review,” *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 30, no. 6, pp. 1–34, 2020, doi: 10.1002/2050-7038.12343.
- [18] J. Tamayo, “Estimación de estado empleando mediciones convencionales y fasoriales aplicado al sistema nacional interconectado del Ecuador,” p. 282, 2021, [Online]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21548/1/CD_11047.pdf.
- [19] J. Calle, “Análisis de sobretensiones en la línea de extra alta tensión a 500 kV del sistema nacional interconectado de Ecuador mediante la herramienta de simulación

- ATP DRAW,” 2022, [Online]. Available:
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9270/1/PI-002133.pdf>.
- [20] M. Santacruz, “Análisis económico de la implementación de almacenamiento en baterías a gran escala en el sistema nacional interconectado,” 2022, [Online]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23294/1/CD_12710.pdf.
- [21] F. Vargas, “Análisis de cargabilidad y pérdida de vida útil de los transformadores de 500/230kv, instalados en el sistema nacional interconectado,” 2023, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24846/1/TTS1303.pdf>.
- [22] H. Bhanbhro, Y. Kwang Hooi, W. Kusakunniran, and Z. H. Amur, “A Symbol Recognition System for Single-Line Diagrams Developed Using a Deep-Learning Approach,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 15, 2023, doi: 10.3390/app13158816.
- [23] J. Chicaiza and B. Vilcasana, “Análisis energético de una edificación mediante la herramienta de código abierto OPENSTUDIO,” p. 104, 2022, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>.
- [24] E. A. Panova, A. V. Varganova, O. E. Kushmil, and N. S. Sorokin, “The Algorithm for Automated Development of Design Drawings of One-Line Diagrams of Distribution Devices for 6-10 kV of Substations,” *2019 Int. Multi-Conference Ind. Eng. Mod. Technol. FarEastCon 2019*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934363.
- [25] J. Barco-Jiménez, A. Córdoba, E. Escobar Rosero, A. Pantoja, and E. F. Caicedo Bravo, “Optimal sizing of a grid-connected microgrid and operation validation using HOMER Pro and DIgSILENT,” *Sci. Tech.*, vol. 27, no. 1, pp. 28–34, 2022, doi: 10.22517/23447214.24965.
- [26] D. L. Bernal-Romero, O. D. Montoya, and A. Arias-Londoño, “Solution of the optimal reactive power flow problem using a discrete-continuous cbga implemented in the digsilent programming language,” *Computers*, vol. 10, no. 11, 2021, doi: 10.3390/computers10110151.
- [27] R. Villena-Ruiz, A. Honrubia-Escribano, J. Fortmann, and E. Gómez-Lázaro, “Field validation of a standard Type 3 wind turbine model implemented in DIgSILENT-PowerFactory following IEC 61400-27-1 guidelines,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 116, no. June 2019, p. 105553, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105553.
- [28] Digsilentiberica, “Logo de digsilent,” 2024, [Online]. Available: <http://www.digsilentiberica.es/>.

- [29] D. Abakar, A. A. Abouelsoud, S. J. Michael, and S. S. Sitati, “Transient Stability Analysis of the Multimachine Power System Using Etap-Software,” *Int. J. Electr. Electron. Eng. Stud.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–12, 2020.
- [30] G. A. Gómez-Ramírez, G. Mora-Jiménez, and C. Meza, “Simulación del sistema de interconexión eléctrica de los países de América Central usando ETAP,” *Rev. Technol. en Marcha*, vol. 36, pp. 50–58, 2023, doi: 10.18845/tm.v36i2.6007.
- [31] Etap, “Logo de ETAP,” 2024, [Online]. Available: <https://etap.com/es/partner-overview/solution-partners>.
- [32] B. Ombuki, R. Orange, and A. Mutegi, “Voltage Stability Analysis in Renewable Energy Dominated Power Systems: A Review,” *2022 Sustain. Res. Innov. Conf.*, pp. 142–150, 2022.
- [33] B. B. Adetokun and C. M. Muriithi, “Application and control of flexible alternating current transmission system devices for voltage stability enhancement of renewable-integrated power grid: A comprehensive review,” *Heliyon*, vol. 7, no. 3, p. e06461, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06461.
- [34] J. Quiroz, “Incremento del margen de cargabilidad del SNI,” 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Forma-tipica-de-una-curva-P-V-normalizada_fig2_280897335.
- [35] H. A. Alhaiz, A. S. Alsafran, and A. H. Almarhoon, “Single-Phase Microgrid Power Quality Enhancement Strategies: A Comprehensive Review,” *Energies*, vol. 16, no. 14, 2023, doi: 10.3390/en16145576.
- [36] J. Paternina and J. Montoya, “Estudio De Estabilidad De Tensión En Una Red De Distribución Alimentada Por Un Sistema Ieee 9 Nodos a Través De Una Dvpp (Planta Virtual De Potencia De Distribución),” 2016, [Online]. Available: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frepository.udistrital.edu.co%2Fbitstream%2F11349%2F4605%2F1%2FPaterninaDuranJoseLuis2016.pdf&psig=AOvVaw3xj5TFDwbl_Y-gPZlcD98V&ust=1708180895835000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCID35u2LsIQDFQAAAAAdAAAAABAE.

4. ANEXOS

4.1 Anexo 1. Análisis de contingencia

Reports - Contingency Analysis Report: Worst voltage violations (Max. voltage) (all cases)

Study Case: B_S_MIN
Result File: Contingency Analysis AC

Max. voltage threshold: 1,050 [p.u.]
Max. Voltage Limit: 1,05 [p.u.]

Component	Branch, Substation or Site	Voltage Max. [p.u.]	Voltage Step [p.u.]	Voltage Base [p.u.]	Contingency Nu...	Contingency Name	Base Case and Post Voltag... [1,052 p.u. - 1,054 p.u.]
1	B_Esmeraldas_AA1_13.8	1,054	0,000	1,054	-1	Base Case	
2	B_Esmeraldas_AA2_13.8	1,052	0,000	1,052	-1	Base Case	

Ilustración 23. Análisis de contingencia

Fuente: El autor.

4.2 Anexo 2. Cronograma del Proyecto

ACTIVIDAD	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Revisión literaria de estabilidad de volaje					
Realizar el levantamiento del sistema eléctrico propuesto e implementación del mismo en DigSILENT y ETAP					
Simulación de estabilidad del sistema eléctrico propuesto verificando la curva PV y QV					
Analizar el estado del sistema					