

## Análisis de estabilidad transitoria con fuentes de energía renovable aplicado a un sistema eléctrico de potencia de nueve barras, mediante el software digilent power factory

Silvia Virginia Taipe Quilligana

[staipeq@uteq.edu.ec](mailto:staipeq@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-5010-5466>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Darwin Vinicio Paredes Moran

[darwinparedes@itscv.edu.ec](mailto:darwinparedes@itscv.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-0872-8680>

Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia

### RESUMEN

La investigación que se presenta a continuación tiene como objetivo estudiar el transitorio electromagnético en el sistema de suministro de energía de nueve barras IEEE, en el cual se reemplazará la generación de energía hidráulica por generación de energía eólica y generación de energía fotovoltaica, para realizar el análisis se propone un estudio. A través de cuatro escenarios donde cada uno producirá un clon único. El presente trabajo de investigación tiene como finalidad implementar la generación de energías renovables no convencionales y estudiar el comportamiento de la red al entrar irregularmente en la generación de energías renovables y su incidencia en la estabilidad de la electricidad, su voltaje y ángulo con la estabilidad de la frecuencia eléctrica en cada uno de los campos de estudio. escenarios y el flujo de energía eléctrica. Para realizar el siguiente estudio se utiliza el programa DlgSILENT PowerFactory, y el estudio se basa en la implementación de generación eólica en el primer y segundo escenario, así como la implementación de generación fotovoltaica en el tercer y cuarto escenario. En cada escenario de estudio se toma una corriente eléctrica, la cual se utilizará para determinar la estabilidad del sistema a medida que aumenta la potencia regenerativa. producción hidráulica. Además, se analizará la viabilidad de utilizar los mismos criterios de coordinación de protecciones eléctricas para todos los escenarios de estudio. La coordinación de protección eléctrica se implementa en las líneas eléctricas del sistema de prueba eléctrica, y el relé utilizado para la coordinación es SEL 421-1A, que tiene las funciones de ANSI 21, ANSI 50 y ANSI 51.

**Palabras clave:** *generación eólica; generación fotovoltaica; estabilidad transitoria; protecciones eléctricas; funciones ANSI 21, ANSI 50 y ANSI 51.*

Correspondencia: [staipeq@uteq.edu.ec](mailto:staipeq@uteq.edu.ec)

Artículo recibido: 23 junio 2022. Aceptado para publicación: 10 julio 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Como citar: Taipe Quilligana, S.V., & Paredes Moran, D. V. (2022) Análisis de estabilidad transitoria con fuentes de energía renovable aplicado a un sistema eléctrico de potencia de nueve barras, mediante el software digilent power factory. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(4) 1569-1590. DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i4.2680](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2680)

## Electrical demand prediction using artificial neural networks for an electrical energy distribution system

### ABSTRACT

The research presented below aims to study the electromagnetic transient in the IEEE nine-bar power supply system, in which hydraulic power generation will be replaced by wind power generation and photovoltaic power generation, to perform the analysis a study is proposed. Through four scenarios where each one will produce a unique clone. The purpose of this research work is to implement the generation of non-conventional renewable energies and to study the behavior of the network when irregularly entering the generation of renewable energies and its impact on the stability of electricity, its voltage and angle with the stability of electrical frequency in each of the fields of study. scenarios and the flow of electrical energy. To carry out the following study, the DigSILENT PowerFactory program is used, and the study is based on the implementation of wind generation in the first and second scenarios, as well as the implementation of photovoltaic generation in the third and fourth scenarios. In each study scenario, an electrical current is taken, which will be used to determine the stability of the system as the regenerative power increases. hydraulic production. In addition, the feasibility of using the same electrical protection coordination criteria for all the study scenarios will be analyzed. Electrical protection coordination is implemented on the power lines of the electrical test system, and the relay used for coordination is SEL 421-1A, which has the functions of ANSI 21, ANSI 50, and ANSI 51.

**Keywords:** *wind generation; photovoltaic generation; transient stability; electrical protections; ANSI 21; ANSI 50 and ANSI 51 functions.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo se tuvo que desarrollar el campo de la electricidad y una de las formas es aprovechar las fuentes de energía disponibles en la naturaleza, y así poder brindar energía eléctrica continua y confiable a las cargas conectadas al sistema eléctrico. (EPS), la potencia suministrada al usuario final deberá cumplir con el Reglamento de Calidad de Energía emitido por ARCONEL (Núñez, 2019). El suministro de energía eléctrica a un sistema eléctrico provoca cambios en la frecuencia, el voltaje y el ángulo, así como cambios en la capacidad de carga de los componentes eléctricos del sistema. Dependiendo del tipo de generación conectada al SEP, este mostrará un comportamiento diferente en caso de falla, ajustando así el tiempo máximo de falla, lo que hará que el sistema pierda la sincronización (Brokering, Palma 2018). Un sistema de suministro de energía (SEP) incluye unidades de producción, líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, las cuales deben ser entregadas a los consumidores lejos del lugar de producción, por lo que el SEP debe mantener su estabilidad ante accidentes, proporcionando energía de alta calidad a cada usuario conectado al sistema (Rosés, et al, 2019). En un proyecto de investigación de seguimiento, se propone importar energía eólica y solar a un sistema de prueba de 9 barras IEEE, y se implementará un sistema inicial que consta de un generador hidroeléctrico, entradas de generadores eólicos y solares a través de escenarios donde serán (Echeverría, Cepeda, 2018). Equipado con generadores hidráulicos conectados a SEP por generadores renovables, el objetivo de este estudio permitirá conocer el funcionamiento del sistema, el sistema cuando hubo un alto nivel de energía renovable en la prueba del sistema a 9 bar, utilizando el DlgSILENT PowerFactory software (Lara, 2018).

Mediante el uso del programa es posible estudiar el comportamiento del sistema al introducir energía eólica o solar, además de conocer cómo se comporta el sistema ante los eventos de fallas y los cambios que se producen en dicho sistema antes y después de la implementación de fuentes de energía renovables (Pinzón, Colomé, 2017). El software se utiliza para la investigación de análisis de sistemas utilizando el método de simulación de valor instantáneo y el método de valor RMS, que son los métodos que proporcionan un gráfico para el estudio del sistema (Hatzargyriou, et al., 2020). De acuerdo con la encuesta, SEP debe soportar una gran cantidad de perturbaciones durante su operación, y el sistema debe operar con la frecuencia más frecuente,

evitando así interrupciones de carga, manteniendo la estabilidad del sistema y el suministro ininterrumpido de energía. (Payán, 2018). Como se ha dicho, la estabilidad de la SEP implica el mantenimiento de las operaciones y el retorno a las condiciones normales de operación después de que ocurra una situación anormal, y es parte de los planes operativos de corto y largo plazo de la SEP. Para los siguientes estudios se optó por el sistema estándar IEEE de nueve barras, ya que contiene varios puntos de generación, lo que permite analizar el proceso de generación y la estabilidad transitoria del grupo electrógeno (Carrión, González 2019). SEP, cuando la producción de energía solar entra en el sistema de prueba, la generación de energía fotovoltaica y eólica. Gracias a la encuesta, es posible conocer el comportamiento de los flujos de energía en el sistema de prueba cuando la generación renovable ingresa al SEP en comparación con la generación convencional actual, y obtener los niveles de tensión, estabilidad angular y capacidad de carga capacitiva de los equipos eléctricos. Además, la investigación ayudará a comprender el comportamiento de SEP cuando ocurre una falla, ya sea monofásica o trifásica, que es uno de los eventos más comunes en la red de transmisión. La generación regenerativa en este sistema permitirá monitorear los niveles de potencia de cortocircuito y corriente de cortocircuito presentes en el sitio de falla, obteniendo resultados diferentes con generación eólica y solar (Palacios, 2020). Después de conocer los niveles de corriente de cortocircuito en el sistema, es posible ver cómo funciona la protección de líneas eléctricas con diferentes tipos de generación, lo que permite recalibrar si es necesario, hacer los ajustes necesarios y también generar conclusiones para cada sistema (Carroll, 2017). Finalmente, la presente investigación identificará las ventajas y desventajas de introducir renovables no estándar en la SEP, así como las consideraciones a realizar en cada caso de estudio, la configuración y limitaciones requeridas para cada sistema de producción de energía renovable. en el sistema de prueba (Andrade, Pozo & Gallardo, 2020).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Mediante la investigación bibliográfica se obtiene información sobre estudios sobre efectos de la energía renovable a un sistema eléctrico además de obtener una guía bibliográfica para la obtención de los casos de estudio que se realizarán para el cumplimiento de los objetivos planteados en el siguiente proyecto de investigación contiene un método descriptiva mediante este tipo de investigación se puede generar

datos que se obtienen en el transcurso de la investigación los cuales servirán para la generación posterior de análisis, además permite la obtención de los datos aplicados para la formulación del modelamiento del sistema el cual permitirá conocer el comportamiento de un SEP ante la inserción de generación solar y generación fotovoltaica en un sistema de pruebas normalizado IEEE de 9 Barras (Zambrano, et al, 2017) . Además, el método deductivo, inductivo, analítico que partiendo de la información bibliográfica recopilada y de estudios previos en SEP se empieza a formular conclusiones propias sobre el comportamiento del estudio seleccionado además de eso sirve para obtener conocimiento a partir de estudios realizados con anterioridad los cuales servirán como antecedentes para el caso de estudio seleccionado (Bermúdez, 2017). Es necesario conocer las normativas eléctricas con las que se realiza el estudio, este método se realizan simulaciones del ingreso en el sistema de pruebas de generación fotovoltaica y generación eólica en el software de simulación, esta acción permite conocer los límites de generación que presenta el sistema con los métodos de generación renovable antes mencionado (Pabón, Pérez, 2016). Mediante este método es posible realizar el análisis de la información obtenida en el estudio, permite realizar las comparaciones entre los dos tipos de generación ingresada el sistema de pruebas además de permitir la generación de conclusiones del caso de estudio realizado en el SEP.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Flujos de Potencia sistema IEEE de 9 Barras.

Para el siguiente análisis actual, el sistema IEEE 9-Bar se modela según lo que se puede ver en la figura. En el sistema de estudio se realizan escenarios de investigación en los que se incluyen generadores de energía renovable fotovoltaica y eólica (Cortez, Pérez, 2017). Las barras donde se registrarán los regeneradores antes mencionados son las barras 2 y 3, como se puede observar en la tabla que contiene los escenarios propuestos para el siguiente estudio.

**Tabla 1.** Escenarios de estudio del SEP.

Escenario	Barra 1		Barra 2		Barra 3		
	Hidráulica	Hidráulica	Eólica	Solar	Hidráulica	Eólica	Solar
0	•	•			•		
1	•	•				•	
2	•		•			•	
3	•	•					•
4	•			•			•

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

En el Escenario 0 se puede observar que el sistema hidroeléctrico está conectado a rieles generadores, para el primer escenario se conecta un aerogenerador de la misma capacidad que el hidro generador con tres rieles y los generadores hidroeléctricos del proceso se mantienen en uno. y dos rieles. En el segundo escenario, el generador hidráulico de los dos brazos se reemplaza por una turbina neumática, y solo el brazo genera la hidráulica (Burbano, 2018). Para implementar el Escenario 3, el generador hidráulico se conecta a la biela 1 y 2, mientras que el generador fotovoltaico se instala en la biela 3. Finalmente, el escenario 4 se implementa solo en la biela 1, y se genera hidráulicamente mientras que los otros dos son eléctricamente luminosos como se muestra en la tabla. Cabe señalar que los generadores renovables proporcionan una potencia similar a las cargas que los generadores conectados hidráulicamente en el escenario SEP cero.

#### SEP sin generación renovable en el escenario cero

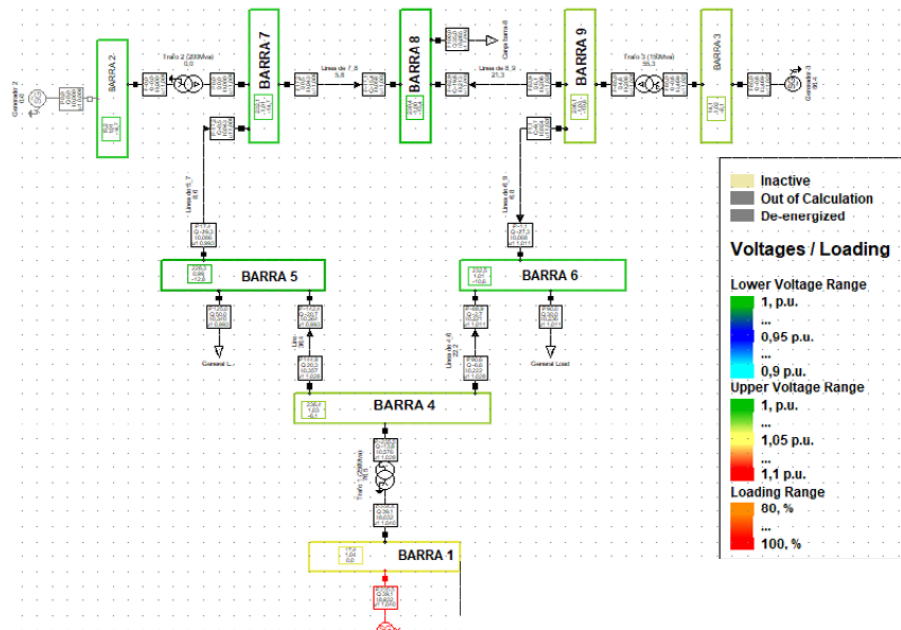
Tabla 2. Flujos de Potencia y Tensiones escenario cero.

	FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW	FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar	TENSIÓN L-L (kV)	TENSIÓN EN p.u.	ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS
<b>BARRA 1</b>	71,963	74,722	17,160	1,040	0,000
<b>BARRA 2</b>	163,000	42,828	18,450	1,025	9,131
<b>BARRA 3</b>	85,000	31,849	14,145	1,025	4,527
<b>BARRA 4</b>	71,963	68,991	236,071	1,026	-2,286
<b>BARRA 5</b>	125,000	50,000	226,278	0,984	-4,002
<b>BARRA 6</b>	90,000	30,000	229,943	1,000	-3,639
<b>BARRA 7</b>	163,000	26,600	235,742	1,025	3,678
<b>BARRA 8</b>	100,000	35,000	232,120	1,009	0,702
<b>BARRA 9</b>	85,000	27,471	237,710	1,034	1,897

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

La tabla siguiente, presenta los valores obtenidos de flujos de potencia en el sistema eléctrico sin generación renovable como se menciona en el inciso (a) del punto 3.5, donde se indica que el estudio cuenta con dos casos de estudio el primer caso cuando el sistema está sin generación renovable y el segundo caso cuando el sistema cuenta con generación renovable.

**Gráfico 1.** *Flujos de Potencia escenario cero*



Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

El programa DlgSILENT PowerFactory permite monitorear la gráfica de actividad de voltaje en cada barra del sistema como se muestra en la figura, mostrando que cuando tienen un voltaje de 0.95 p.u. En azul, cuando el voltaje es igual a 1 p.u. Las columnas se resaltarán en verde, cuando haya un voltaje igual a 1,05 pu. Será de color amarillo, y este color varía de un caso a otro cuando se aplica corriente en el SEP.

**SEP con generación renovable en el escenario uno.**

La información de la siguiente tabla se relaciona con el primer escenario donde se reemplazan los generadores hidroeléctricos por aerogeneradores en el bus número tres, con una capacidad operativa de 85 MW por bus, y este podría ser del tipo 1.025 PV. Usando el software DlgSILENT PowerFactory, corriente, voltaje en p.u. y el ángulo finito de EPS en el primer escenario.

**Tabla 3.** *Flujos de Potencia y Tensiones escenario uno.*

<b>BARRA 1</b>	72,053	77,863	17,160	1,040	0,000
<b>BARRA 2</b>	163,000	46,547	18,450	1,025	9,189
<b>BARRA 3</b>	84,949	25,703	13,990	1,014	4,675
<b>BARRA 4</b>	72,053	71,870	235,661	1,025	-2,292
<b>BARRA 5</b>	125,000	50,000	225,804	0,982	-4,006
<b>BARRA 6</b>	90,000	30,000	228,973	0,996	-3,641
<b>BARRA 7</b>	163,000	30,129	235,233	1,023	3,724
<b>BARRA 8</b>	100,000	35,000	231,012	1,004	0,752
<b>BARRA 9</b>	84,949	21,424	235,821	1,025	1,996

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

**Comparación escenario cero versus escenario uno**

Luego de obtener el flujo de energía para el primer escenario, se hace una comparación con el escenario 0 y se obtienen los resultados que se muestran en la tabla, donde se puede observar el cambio en el flujo de energía activa y reactiva, y se anotan las resistencias y voltajes a excepción de la primera y segunda banda. Su valor es relativo al punto cero, así como al ángulo (Piñeros, et al, 2019).. Se puede observar que la potencia activa en la barra 5 y la barra 6 no cambia en este escenario, ya que el aerogenerador está conectado a la barra, ya que se puede ver que la potencia activa no presenta un cambio de 51 kW en este escenario. mientras que la potencia reactiva se reduce en 6.146 Mvar.

**Tabla 4.** Comparación de flujos de potencia entre el escenario cero y uno

	<b>FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW</b>	<b>FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar</b>	<b>TENSIÓN L-L (kV)</b>	<b>TENSIÓN EN p.u.</b>	<b>ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS</b>
<b>BARRA 1</b>	-0,090	-3,142	0,000	0,000	0,000
<b>BARRA 2</b>	0,000	-3,719	0,000	0,000	-0,059
<b>BARRA 3</b>	0,051	6,146	0,155	0,011	-0,148
<b>BARRA 4</b>	-0,090	-2,879	0,410	0,002	0,007
<b>BARRA 5</b>	0,000	0,000	0,474	0,002	0,005
<b>BARRA 6</b>	0,000	0,000	0,970	0,004	0,003
<b>BARRA 7</b>	0,000	-3,529	0,509	0,002	-0,047
<b>BARRA 8</b>	0,000	0,000	1,108	0,005	-0,050
<b>BARRA 9</b>	0,051	6,047	1,890	0,008	-0,099

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

**SEP con generación renovable escenario dos.**

Para lograr el flujo de potencia en el segundo escenario, es necesario reemplazar los dos generadores hidroeléctricos de biela por un generador eólico de 163 MW, y el segundo de tipo fotovoltaico, accionado por una tensión de 1025 p.u. En este escenario, los buses 2 y 3 son capaces de generar viento mientras que el bus 1 mantiene el generador hidroeléctrico. Investigación de software. Tomado directamente de las cintas SEP.



**Tabla 5.** *Flujos de potencia y tensiones escenario dos.*

	<b>FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW</b>	<b>FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar</b>	<b>TENSIÓN L-L (kV)</b>	<b>TENSIÓN EN p.u.</b>	<b>ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS</b>
<b>BARRA 1</b>	72,275	82,233	17,160	1,040	0,000
<b>BARRA 2</b>	162,863	39,863	18,202	1,011	9,451
<b>BARRA 3</b>	84,947	29,427	13,969	1,012	4,731
<b>BARRA 4</b>	72,275	75,850	235,091	1,022	-2,305
<b>BARRA 5</b>	125,000	50,000	224,545	0,976	-4,027
<b>BARRA 6</b>	90,000	30,000	228,281	0,993	-3,653
<b>BARRA 7</b>	162,863	23,362	232,886	1,013	3,860
<b>BARRA 8</b>	100,000	35,000	229,250	0,997	0,812
<b>BARRA 9</b>	84,947	25,024	234,983	1,022	2,039

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

#### Comparación escenario cero versus escenario dos.

Debido a la entrada de los aerogeneradores, en la tabla se observan los siguientes datos obtenidos, se muestra la comparación entre el escenario 0 y el escenario dos, se puede apreciar que la potencia activa y reactiva en el segundo y tercer carril es mayor que en el escenario 0, y las turbinas eólicas están relacionadas con estos rieles. El monoplaza que conecta el generador hidráulico aumentó la potencia activa a 312 kW mientras que la potencia reactiva aumentó en 7,51 MV, estos valores se toman contra el escenario cero.

**Tabla 6.** *Comparación de flujos de potencia entre el escenario cero y dos*

	<b>FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW</b>	<b>FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar</b>	<b>TENSIÓN L-L (kV)</b>	<b>TENSIÓN EN p.u.</b>	<b>ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS</b>
<b>BARRA 1</b>	-0,313	-7,511	0,000	0,000	0,000
<b>BARRA 2</b>	0,137	2,964	0,248	0,014	-0,321
<b>BARRA 3</b>	0,053	2,422	0,176	0,013	-0,204
<b>BARRA 4</b>	-0,313	-6,859	0,980	0,004	0,020
<b>BARRA 5</b>	0,000	0,000	1,733	0,008	0,025
<b>BARRA 6</b>	0,000	0,000	1,663	0,007	0,014
<b>BARRA 7</b>	0,137	3,239	2,855	0,012	-0,183
<b>BARRA 8</b>	0,000	0,000	2,869	0,012	-0,110
<b>BARRA 9</b>	0,053	2,447	2,727	0,012	-0,142

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

#### SEP con generación renovable escenario tres.

En este escenario, se toma como base el escenario 0, donde los tres rieles contienen generadores hidroeléctricos. Ahora en este escenario, estos generadores de 85 MW son

sustituidos por un generador fotovoltaico de características especiales. Vale 10h25 p.u. Los valores que se muestran en la Tabla 8 se obtienen realizando las líneas eléctricas.

**Tabla 7.** *Flujos de potencia y tensiones escenario tres*

	<b>FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW</b>	<b>FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar</b>	<b>TENSIÓN L-L (kV)</b>	<b>TENSIÓN EN p.u.</b>	<b>ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS</b>
<b>BARRA 1</b>	72,053	77,863	17,160	1,040	0,000
<b>BARRA 2</b>	163,000	46,547	18,450	1,025	9,189
<b>BARRA 3</b>	84,949	25,703	13,990	1,014	4,675
<b>BARRA 4</b>	72,053	71,870	235,661	1,025	-2,292
<b>BARRA 5</b>	125,000	50,000	225,804	0,982	-4,006
<b>BARRA 6</b>	90,000	30,000	228,973	0,996	-3,641
<b>BARRA 7</b>	163,000	30,129	235,233	1,023	3,724
<b>BARRA 8</b>	100,000	35,000	231,012	1,004	0,752
<b>BARRA 9</b>	84,949	21,424	235,821	1,025	1,996

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

**Comparación escenario cero versus escenario tres.**

En este caso esto se realiza insertando un generador fotovoltaico en la varilla de transmisión triple, los datos obtenidos en la línea de potencia se presentan en la tabla, los datos muestran una caída de tensión en la varilla de transmisión, así como en la barra 3. Donde se ubica el generador fotovoltaico, la reducción de potencia activa es de 51 kW y la potencia reactiva se reduce en 6,15 megavars. Por otro lado, la primera prohibición en este escenario aumenta el valor presente de la energía en comparación con el escenario cero.

**Tabla 8.** *Comparación de flujos de potencia entre el escenario cero y tres.*

	<b>FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW</b>	<b>FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar</b>	<b>TENSIÓN L-L (kV)</b>	<b>TENSIÓN EN p.u.</b>	<b>ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS</b>
<b>BARRA 1</b>	-0,090	-3,142	0,000	0,000	0,000
<b>BARRA 2</b>	0,000	-3,719	0,000	0,000	-0,059
<b>BARRA 3</b>	0,051	6,146	0,155	0,011	-0,148
<b>BARRA 4</b>	-0,090	-2,879	0,410	0,002	0,007
<b>BARRA 5</b>	0,000	0,000	0,474	0,002	0,005
<b>BARRA 6</b>	0,000	0,000	0,970	0,004	0,003
<b>BARRA 7</b>	0,000	-3,529	0,509	0,002	-0,047
<b>BARRA 8</b>	0,000	0,000	1,108	0,005	-0,050
<b>BARRA 9</b>	0,051	6,047	1,890	0,008	-0,099

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

### SEP con generación renovable escenario cuatro.

Los valores de corriente de potencia mostrados en la Tabla 10 se obtienen reemplazando el segundo y tercer generadores hidráulicos por aerogeneradores, además, los generadores reemplazados tienen la misma capacidad operativa que los generadores FV. Instalación, la información se presenta con potencia activa y reactiva. También se muestran los valores y valores de voltaje y su ángulo en cada franja de SEP.

Tabla 9. Flujos de potencia y tensiones escenario cuatro.

	FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW	FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar	TENSIÓN L-L (kV)	TENSIÓN EN p.u.	ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS
<b>BARRA 1</b>	72,271	82,215	17,160	1,040	0,000
<b>BARRA 2</b>	162,863	39,863	18,202	1,011	9,447
<b>BARRA 3</b>	84,947	29,426	13,969	1,012	4,729
<b>BARRA 4</b>	72,271	75,834	235,093	1,022	-2,305
<b>BARRA 5</b>	125,000	50,000	224,553	0,976	-4,026
<b>BARRA 6</b>	90,000	30,000	228,282	0,993	-3,653
<b>BARRA 7</b>	162,863	23,361	232,887	1,013	3,857
<b>BARRA 8</b>	100,000	35,000	229,252	0,997	0,810
<b>BARRA 9</b>	84,947	25,023	234,983	1,022	2,036

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

### Comparación escenario cero versus escenario cuatro.

Los valores de la tabla muestran la caída de tensión de la biela debido a la generación de energía fotovoltaica instalada en la segunda y tercera varilla, con excepción de donde se instala el generador hidráulico, manteniendo su tensión como en el guion No. En las barras donde se encuentran instalados los generadores regenerativos para este escenario, se observa que la potencia activa y reactiva disminuyen y el ángulo de tensión aumenta levemente como se muestra en la tabla comparativa entre los escenarios 0 y 4.

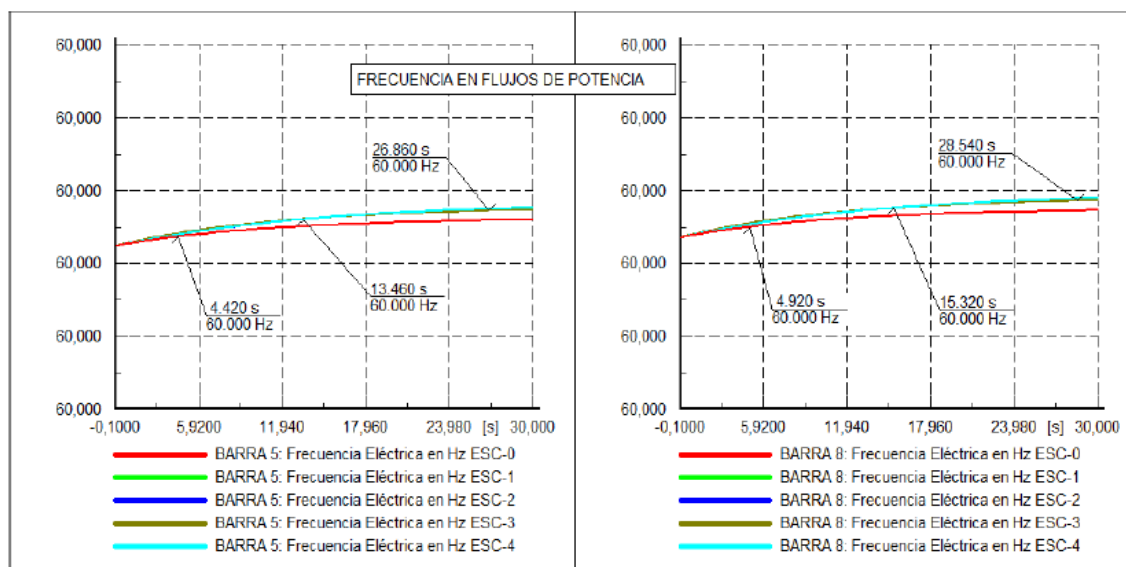
**Tabla 10.** Comparación de flujos de potencia entre el escenario cero y cuatro.

	FLUJO DE POTENCIA ACTIVA MW	FLUJO DE POTENCIA REACTIVA Mvar	TENSIÓN L-L (kV)	TENSIÓN EN p.u.	ANGULO DE TENSIÓN EN GRADOS
<b>BARRA 1</b>	-0,308	-7,494	0,000	0,000	0,000
<b>BARRA 2</b>	0,137	2,964	0,248	0,014	-0,317
<b>BARRA 3</b>	0,053	2,423	0,176	0,013	-0,202
<b>BARRA 4</b>	-0,308	-6,844	0,978	0,004	0,019
<b>BARRA 5</b>	0,000	0,000	1,725	0,007	0,024
<b>BARRA 6</b>	0,000	0,000	1,661	0,007	0,015
<b>BARRA 7</b>	0,137	3,239	2,855	0,012	-0,179
<b>BARRA 8</b>	0,000	0,000	2,868	0,012	-0,108
<b>BARRA 9</b>	0,053	2,448	2,727	0,012	-0,140

Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

La diferencia en la simulación es de  $\mu\text{Hz}$ , por lo que en la simulación no se estima en cada punto de medición, en las variaciones de la simulación notamos que en el escenario cero cuando la sincronización de la producción es proporcionada en su totalidad por generadores hidráulicos con menor diferencia de frecuencia, se notará que las diferencias mostradas en la simulación corresponden a los parámetros correctos para el funcionamiento del sistema.

**Gráfico 2.** Frecuencia en la Barra 5 y Barra 6 en cada escenario de simulación.



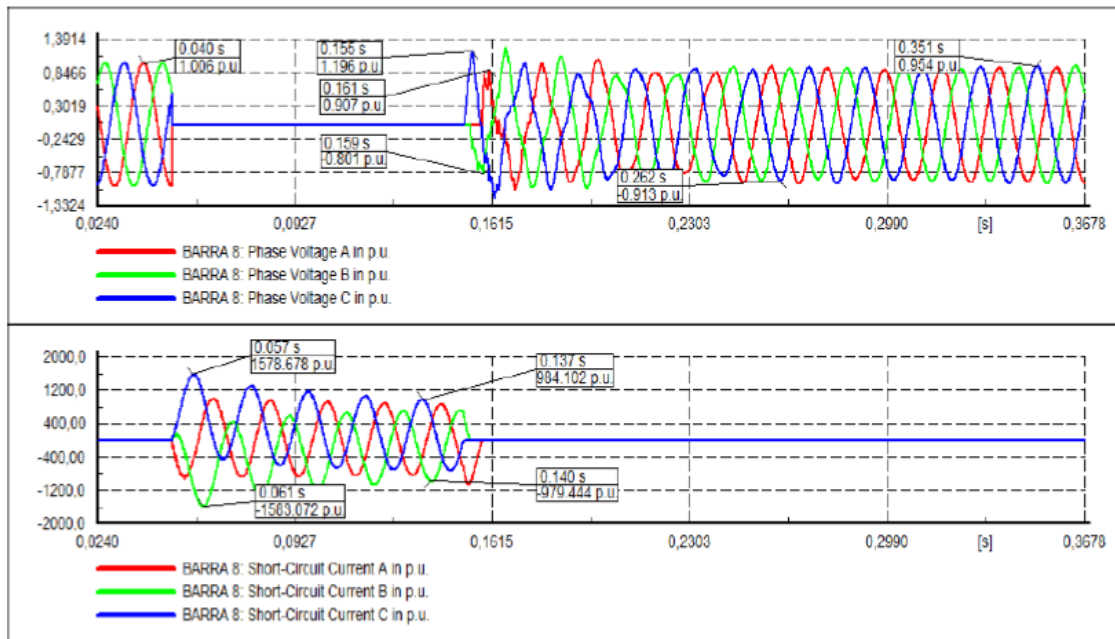
Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

### Falla Trifásica.

Cuando ocurre una falla trifásica, el voltaje en el punto de falla cae a cero mientras que al mismo tiempo la corriente tiende a elevarse por encima de los valores normales de operación del sistema. Tres fases ocurrieron en la octava banda de SEP en el escenario

0, en este escenario el sistema generó energía hidroeléctrica en las tres bandas de generación (Quiñónez, at al, 2020). Cuando han transcurrido siete milisegundos desde el evento de falla, la corriente observada alcanza un valor máximo de 6,4 kA, expresado como 1,1578678 PoE. Después de la resolución de problemas, el voltaje vuelve a su valor original, que tiende a estabilizarse durante unos pocos milisegundos después de que se supera la falla.

**Gráfico 3.** Curvas de Tensión y Corriente, falla trifásica escenario cero

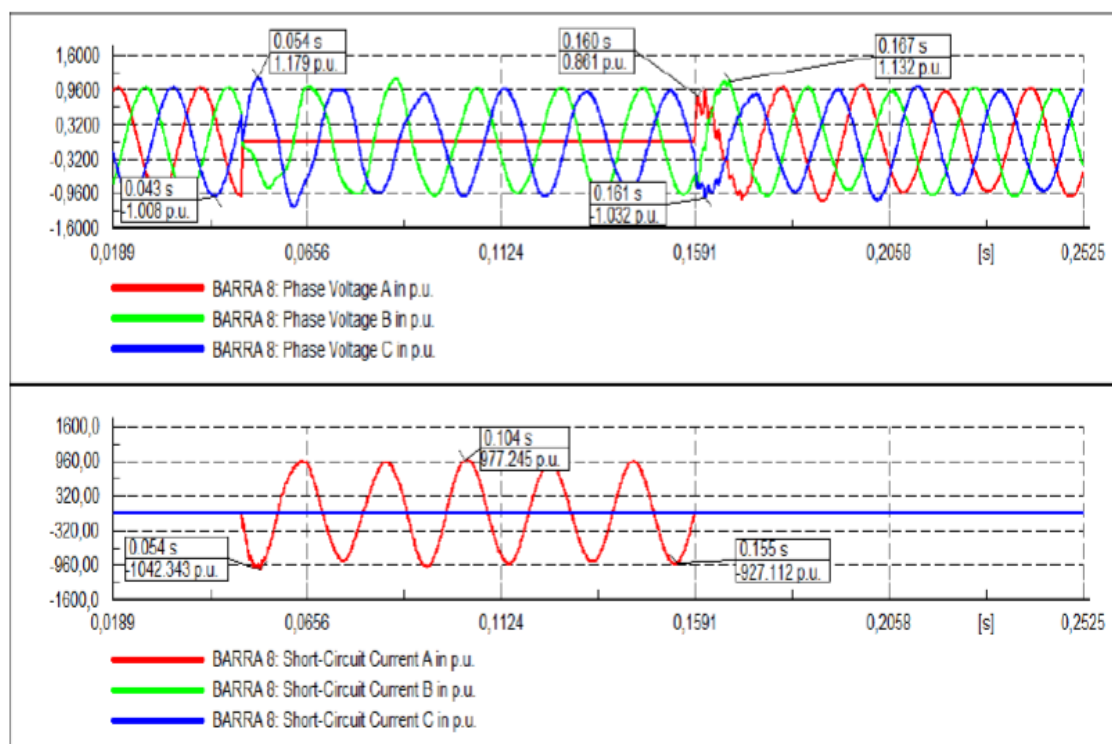


Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

### Falla Monofásica.

Entonces, el error en la etapa A de la octava barra se ilustra en el escenario 0, donde la figura muestra como el voltaje de la etapa A cae a 0, mientras que la etapa B aumenta su voltaje a 1179 pu. Cuando el evento de falla pasa 4 ms y la fase C muestra diferencias en el valor de voltaje a -0.857 p.u. 6 ms después del inicio de una falla monofásica, cuando el evento de falla es evidente, vemos ruido en la primera conmutación de la onda de tensión de la fase A. Cuando hay una falta monofásica, solo la corriente de fase durante la falta aumenta hasta 2,61 kA, mientras que las demás fases mantienen sus valores nominales como se observa durante una falta de 100 ms y cuando se supera la falta, continúa en el valor operativo nominal de SEP.

**Gráfico 4.** Curvas de Tensión y Corriente, falla en la fase A, escenario cero



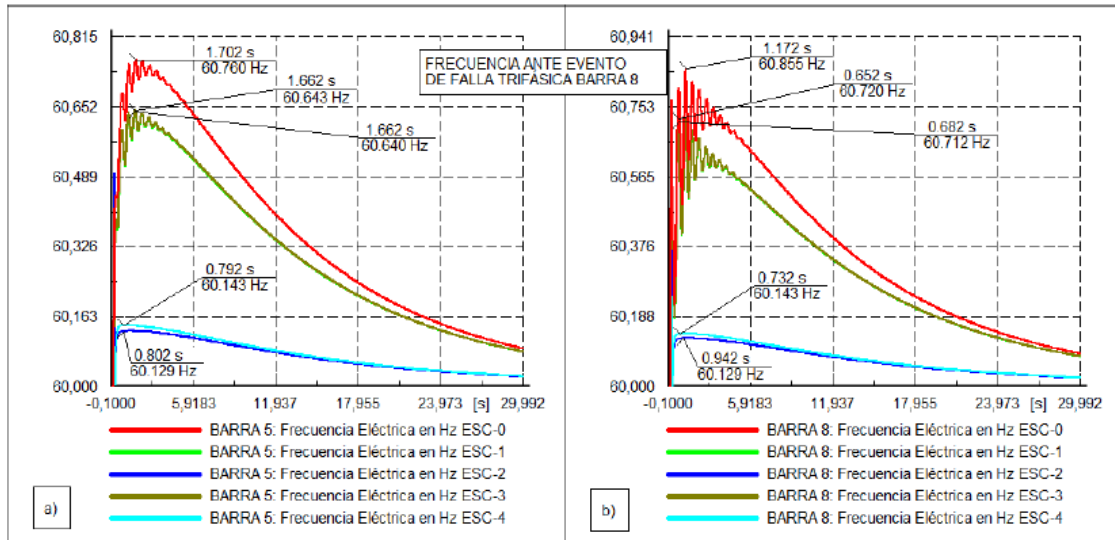
Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

#### Comportamiento de la frecuencia entre los eventos de falla

Una parte importante de la estabilidad en los sistemas de potencia es la estabilidad de frecuencia, como se puede ver en la figura, donde ocurre un error en la barra 8 y el mismo error se refleja en la barra 6, que representa la corriente. muestra los escenarios de operación para el estudio propuesto del sistema de nueve barras. En el gráfico se puede observar que existe un mayor desplazamiento de frecuencia (0.855 Hz) en la octava banda, cuando el sistema tiene mayor generación síncrona de potencia obtenida de los generadores hidráulicos para el escenario 0, cuando en la misma banda el sistema tiene un menor desplazamiento de frecuencia que en el cuarto y segundo escenario (0,143 Hz y 0,129 Hz), en estos escenarios. Se observa que cuanto más lejos del error disminuye la variación de frecuencia provocada por un error trifásico.



**Gráfico 5.** Frecuencia ante falla trifásicas por escenario en la Barra 8



Elaborado Por: Grupo investigador, (2021)

Tabla que muestra los niveles de cortocircuito actuales para cada escenario vs escenario 0, uno con una generación componentes hidráulicos en su totalidad, y también muestra un porcentaje reducido de la corriente en fallas monofásicas y trifásicas que se realizan en los sitios de estudio.

**Tabla 11.** Comparación de los niveles de corriente de cortocircuito

ESCENARIOS DE ESTUDIO	CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO BARRA 8		CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO BARRA 8	
	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO INICIAL EN kA ( $I_{kss}$ )	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO PICO EN kA ( $I_p$ )	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO INICIAL EN kA ( $I_{kss}$ )	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO PICO EN kA ( $I_p$ )
ESERARIO 0	2,539	6,454	2,61	6,64
ESERARIO 1	1,878	4,728	2,1	5,3
ESERARIO 2	0,912	2,225	1,17	2,85
ESERARIO 3	1,878	4,728	2,1	5,3
ESERARIO 4	0,912	2,225	1,17	2,86
<b>PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO</b>				
ESERARIO 1	26%	27%	20%	20%
ESERARIO 2	64%	66%	55%	57%
ESERARIO 3	26%	27%	20%	20%
ESERARIO 4	64%	66%	55%	57%

Ventajas de implementar generación renovable no convencional a un sistema eléctrico de potencia.

### Ventajas de la generación eólica

El software DigSILENT PowerFactory, que permite, en simulación, la instalación de un aerogenerador, debe suministrarse en el modelo característico de fábrica, con controladores de potencia activa y reactiva, así como controladores de corriente y

eléctricos. Tensión, que es el modelo estándar utilizado en el software de simulación de aerogeneradores y el modelo de la planta de energía pueden variar, Así como la unidad de control dependiendo del tipo de aerogenerador utilizado en el estudio. En los casos de estudio, los aerogeneradores operan de manera continua e ininterrumpida, por lo que es posible estudiar las diversas alternativas propuestas en el primer y segundo escenario (Anchundia, 2019).

#### **Ventajas de la generación fotovoltaica**

La forma simple del sistema fotovoltaico proporcionada por el software de simulación junto con el modelo de planta de energía y los controladores correspondientes hace posible obtener y operar el sistema en casos de estudio. El estudio se realizó en el tercer y cuarto escenario (Castillo, Pérez, 2018). Sistema fotovoltaico con software DlgSILENT PowerFactory fácil de usar, que permite una operación simple, configuraciones del controlador y rango mínimo de operación, para este método de investigación, la salida de energía eléctrica es una configuración constante para cada caso de estudio.

#### **Ventajas de implementar generación renovable no convencional a un sistema eléctrico de potencia.**

##### **Desventajas de la generación eólica**

Los aerogeneradores utilizados en la simulación no tienen la capacidad de ajustar la velocidad del viento que recibe cada aerogenerador para que se pueda realizar el proceso de captura de energía eléctrica (Zambrano, Bayas, 2017). La generación eólica depende de la velocidad del viento y debido a que las velocidades anteriores son variables y el software no brinda la capacidad de implementar los cambios de velocidad anteriores en los casos de estudio, tiene un sistema que no cambia de manera ideal para ver cómo funcionará el sistema. bajo estas condiciones.

##### **Desventajas de la generación fotovoltaica**

El inconveniente más notable de los sistemas fotovoltaicos utilizados en los casos de simulación es que estos sistemas no pueden entrar en la curva de radiación solar, información que ayudará con las simulaciones en la vida real. Los sistemas fotovoltaicos porque la radiación solar no es una producción de energía constante que no se puede arreglar. Tiempo (Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC), 2017). El sistema fotovoltaico proporcionado en el software de simulación no permite seleccionar los



tipos de paneles solares utilizados en la simulación, ni la tecnología que cada uno de ellos utiliza en el proceso de fabricación. Utilizando los escenarios elevados a este objeto de investigación, la capacidad de usar energía renovable única para producir electricidad al referirse a la generación de fotovoltaicos, la promoción necesaria para obtener electricidad y reducir (Pérez, et al, 2019). Este recurso afecta las estimaciones de producción que se ha implementado la planificación de la generación diaria. Debe enfatizarse que, para usar energía renovable, los dispositivos electrónicos son necesarios e interfieren con el ciclo de conversión tal como se ha demostrado, donde cada persona ha sido descrita y compuesta además del modo operativo para mantener la estabilidad de algo, además, además, además de eso, además de, además, es un esquema típico para el ciclo de conversión con las unidades de control correspondientes según IEEE. El presente trabajo no incluye el diseño del controlador de tensión, ni el controlador de potencia utilizado en el SEP debido a que el diseño o modelo del estabilizador y controlador no forma parte del tema de investigación. Investigación (Alcalá, 2016). Para realizar la simulación del escenario, utilizaron los controladores que se encuentran en la biblioteca de software DlgSILENT PowerFactory. Cuando ocurre una falla, el sistema seleccionado para estudio se comporta de manera diferente dependiendo de la situación en la que se encuentre operando, una de ellas es el tiempo que tarda el sistema en restablecer los valores, el valor de la tensión a los valores especificados es 0,95 u.b. Este tiempo es más corto cuando hay producción hidráulica pura en el escenario 0, a diferencia de los escenarios 2 y 4 donde hay más producciones renovables no convencionales donde el tiempo de recuperación es más largo que en el escenario base (Guaman, et al, 2018). Los escenarios 2 y 4 muestran niveles de corriente de cortocircuito más bajos debido a la presencia de viento y PV más altos, respectivamente. Ejecutando estas protecciones, la relación de varianza de cada sección de protección debe escalarse de acuerdo con el escenario de estudio, y no hay cambio en la impedancia de línea en los escenarios estudiados, a diferencia de la caída de corriente de cortocircuito. El tiempo de operación de la protección de distancia, así como la protección de sobrecorriente, tiende a aumentar a medida que aumenta la producción regenerativa en la red de transporte, por lo que muchas de ellas no operan debido a la corriente. La energía de cortocircuito se genera cuando hay menos regeneración del procedimiento de calibración de salida cuando se alimenta con

generadores hidráulicos (Fuente fría, et al, 2017). El uso de fuentes de energía renovables para la obtención de energía eléctrica da solución a la dependencia de los combustibles fósiles, pero la principal desventaja de producir energía eólica y fotovoltaica es que estos recursos no tienen una curva de producción, y estas variables son constantes en el tiempo (Rodríguez, Nin, 2019) . Mediante el uso de software de simulación se pueden realizar estudios de operación de redes en diversos campos, tal como se ha realizado en este tema de investigación, tales como penetración de manufactura, regeneración, protección de transmisión con escenarios de estudio, y el correspondiente comportamiento de flujos.

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

Implementando las corrientes correspondientes en cada caso, es evidente que se puede utilizar energía renovable única en el sistema de transmisión. Para realizar este estudio se utilizó un sistema estándar de nueve rieles IEEE, el cual contiene un sistema que genera varias máquinas junto con largas líneas de transmisión. La altura de los escenarios, incluida una generación más grande de viento (segundo paso), es de 313 kW, mientras que la altura de la potencia de reacción es de 7,5 megavatios, cuando la generación del viento es menor (escenario (escenario), los valores de potencia máximos de 90 kW y el poder de reacción es de 6.1 megavatios Estos valores son el resultado de comparar el programa de script en el primer período y el período en que se observa la altura de estos valores al medir que la generación de renovación aumenta lo similar. Comportamiento del sistema Cuando la generación fotovoltaica ingresará a la tercera y tercera fases. Estas unidades de control están instaladas en los sistemas crean una renovación utilizada para la simulación de uso. La ausencia del controlador provoca inestabilidad y pérdida de sincronización en el sistema, y el voltaje aumenta significativamente. El análisis de cortocircuito permite obtener los niveles de corriente presentes en cada varilla del sistema en cada uno de los escenarios propuestos para el siguiente estudio, ya que existe un mayor aporte de producción regenerativa en el sistema de investigación. , el nivel de cortocircuito obtenido en el escenario 0 disminuye debido a la reducción de la generación síncrona en el sistema, el primer y tercer escenario reducen el nivel de corriente de cortocircuito en un 26%, mientras que el segundo y cuarto escenarios representan una disminución del 64% , en este escenario los valores se reducen respecto al escenario 0 donde la generación introducida en el

sistema es totalmente síncrona hidráulica. Del estudio presentado en los cuartos capítulos de la Sección 1.2, es posible que el sistema de nueve barras IEEE utilizado en cada generador regenerativo, un inversor electrónico, por tal motivo, demuestre la estabilidad de frecuencia, voltaje y ángulo cuando existen tres generadores simples. fallas monofásicas o monofásicas sin resistencia de falla como es el caso del estudio presentado, el cual muestra la posibilidad de utilizar energías renovables para producir energía eléctrica. Falta de estabilizadores en alternadores cada una de los, escenarios cuando estos entran en funcionamiento en los uns, dos, tres y cuatro ocasiones que el sistema de pruebas Pierda settingilidad y ante eventos de la Falla no puede ratio de restaurarse la cepa génica. La protección instalada en las líneas de transmisión del sistema IEEE Nine Bus está configurada para que el modo de operación sea en un escenario cero donde hay generación simultánea de generadores hidroeléctricos, se selecciona la protección de distancia mientras que la protección de sobrecorriente es protección redundante en el sistema. A medida que aumenta la producción de energía renovable, los niveles de corriente de cortocircuito disminuyen, lo que impide que la protección contra sobrecorriente detecte o ubique fallas con precisión, lo que da como resultado sistemas menos robustos. La protección de distancia funciona con impedancia de línea, por lo que funciona de la misma manera en el escenario 0 que en situaciones en las que se utiliza protección de sobreintensidad regenerativa, lo que provoca un cambio en el tiempo de funcionamiento y, como consecuencia, caídas de corriente que no entran en fuerza porque no alcanzan el valor mínimo de corriente de disparo y liberan completamente el tiempo para trabajar y proteger. Al analizar las ventajas y desventajas que ofrece la generación única de energías renovables, el potencial inconveniente que presenta en todos los sistemas de este tipo, las energías renovables tienen un rendimiento variable porque depende del flujo continuo del viento o, por el contrario, de la radiación. para conseguir esa energía. Se necesita una configuración de producción de emergencia para ayudar en caso de que la producción eólica y/o fotovoltaica no pueda satisfacer la demanda requerida en el curso de la maniobra de energía.

## 5. LISTA DE REFERENCIAS

Alcalá, D. (2016). "Coordinación de protecciones en redes eléctricas con generación distribuida," Tesis Doctoral, Universidad Carlos III de Madrid

- Anchundia, J. Anchundia, J. & Chere, B. (2019) "Software DigSILENT PowerFactory en el estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina," Polo del Conocimiento, vol. 4, no. 12, pp. 87–111, doi: 10.23857/pc.v4i12.1194.
- Andrade, G. Pozo, M. & Gallardo, C. (2020). "Evaluación de Estabilidad Transitoria en el Sistema de 9 Barras Considerando TCSC y Análisis de sincronismo y oscilaciones Subsíncrona," vol. 2, no. 2600–5573, p. 102
- Bermúdez, G. (2017). "Diseño del sistema eléctrico, análisis de cortocircuito y estudio de arco eléctrico para nueva planta de MATRA," Tesis de Pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Brokering, W, Palma R. (2018). Atrapando el sol en los Sistemas Eléctricos de Potencia, Primera. Santiago de Chile
- Burbano, B. (2018). "Óptimo despliegue de Generación Distribuida en base a análisis de fallas en sistemas de distribución," Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana.
- Carrión D. & González J. (2019). "Ubicación óptima de PMU considerando restricciones de contingencias N-1 en sistemas eléctricos de potencia," Enfoque UTE, vol. 10, no. 1, pp. 1–12. doi: 10.29019/enfoque ute. v10n1.437.
- Carroll, J. (2017). "Criterios Técnicos para la Conexión y Operación de los Generadores Eólicos a gran escala al Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Colombia," Tesis de Maestría, Universidad Pontificia Bolivariana
- Castillo, Y. & Pérez, F. (2018). "Estudio de Coordinación de Protecciones en el Sistema de Subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito considerando la conexión de la Línea Vicentina – Santa Rosa 138 kV," Journal of Science and Research, vol. 3, pp. 17–25.
- Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC), (2017). "Modificación de la Norma Operativa N° 17 'Protecciones' Propuesto por el Comité Nacional de Despacho de Carga," Bolivia
- Cortez, J. & Pérez, R. (2017). "Análisis de localización de fallas en sistemas eléctricos de distribución con generación distribuida," p. 23.
- Echeverría, D. Cepeda, J. (2018). "Evaluación de Estabilidad Transitoria de Sistemas de Potencia utilizando el concepto de Centro de Inercia," Revista Técnica "Energía," vol. 14, pp. 54–63.

- Fuente fría, A. & Mejuto, D. (2017) “Cálculo del límite de potencia eólica basado en la desviación de la frecuencia usando Matlab,” in IX Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética, p. 10.
- Guaman, J. Pérez, F. & Estrada, J. (2018). “Estudio de Coordinación de Protecciones del Sistema de Subtransmisión de CNEL EP Unidad de Negocios Sucumbíos ante un Nuevo Punto de Conexión al Sistema Nacional Interconectado (SNI),” Revista Técnica “energía,” no. 14, pp. 44–53
- Hatzargyriou N. et al., (2020). “Technical Report PES-TR77 Stability definitions and characterization of dynamic behavior in systems with high penetration of power electronic interfaced technologies,” Power System Dynamic Performance Committee, p. 42.
- Lara M. (2018). “Análisis de Estabilidad Transitoria de Sistemas Eléctricos con una Línea de Transmisión de Corriente Directa Basada en Convertidores de Fuente de Voltaje,” Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Núñez, F. (2019). Estudio Simplificado de Estabilidad en Sistemas Eléctricos de Potencia, Primera. República Dominicana.
- Pabón, F. & Pérez, R. (2016). “Diagnóstico de Fallas en Sistemas Eléctricos de Distribución mediante la transformada de Wavelet,” pp. 1–23.
- Palacios, J. 2020. “Estado del arte de la planeación de expansión de sistemas de transmisión,” I+D Tecnológico, vol. 16, no. 2, pp. 1–17, doi: 10.33412/idt.v16.2.2835.
- Payán, H. (2018). “Diseño e implementación de la interfaz de potencia de un sistema de generación eólico,” Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico Metropolitano
- Pérez, O. Torres, O. & Padrón, L. (2019). “La protección de distancia y las condiciones de prefalla,” Ingeniería Energética, vol. 40, no. 2, pp. 103–111.
- Pinzón, J. & Colomé, G., (2017). “Mecanismos que producen inestabilidad de tensión de corto plazo y largo plazo en sistemas eléctricos de potencia,” XVII Encuentro Regional Iberoamericano del CIGRE-ERIAC, no. September, pp. 1–8
- Piñeros, J. Agudelo, L. Gutiérrez, A. & Echeverri, D. (2019). “Coordinación de Protecciones reto y necesidades para la Seguridad del Sistema,” CIGRE, pp. 1–9

- Quiñónez, B. Martínez, A. Peralta, R. Ulloa de Souza, C. & Lucio, J. (2020). "Estudio de coordinación de Protecciones Eléctricas en CELEC-EP Termoesmeraldas II aplicando el software DlgSILENT PowerFactory," Polo del Conocimiento, vol. 5, no. 08, pp. 1264–1276, doi: 10.23857/pc.v5i8.1658.
- Red Eléctrica de España, (2017). "Criterios de Ajustes y Coordinación de Protecciones en la red peninsular de alta tensión de transporte y distribución," p. 84
- Rodríguez, J. & Nin, I. (2019). "Modelo uninodal para el análisis de la respuesta de la frecuencia en sistemas eléctricos de potencia," Tesis de Pregrado, Universidad de la República,
- Rosés, R. Balmaceda, M. & Pontoriero, D. (2019). "Límite de Generación Fotovoltaica en Sistemas Eléctricos," Journal of Chemical Information and Modeling, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699
- Zambrano, A. Ortega, I. & Velázquez, Rojas, M. & Espinosa, G. (2017). "Análisis y mejora de la estabilidad transitoria en un SMIB por medio de compensación de potencia eléctrica.," 2017, pp. 1–6,
- Zambrano, R. & Bayas, A. (2017). "Sistema de Protecciones Eléctricas a nivel de 500 kV aplicación subestación Pifo," Escuela Politécnica Nacional, pp. 1–12,