

**MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN  
MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO  
ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES.**





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN  
MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO  
ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES.**

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

AUTOR: MARCO ISRAEL ZÚÑIGA VILLARREAL  
TUTOR: MANUEL DARIO JARAMILLO MONGE

Quito -Ecuador  
2022

Marco Israel Zúñiga Villarreal

**MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN  
MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO  
ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Marco Israel Zúñiga Villarreal** (Y' 1999). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio de Bachillerato “Beatriz Cueva de Ayora” de la ciudad de Loja. Actualmente se encuentra cursando el décimo semestre de la carrera de Electricidad en la Universidad Politécnica Salesiana. [mzuniga@est.ups.edu.ec](mailto:mzuniga@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Manuel Dario Jaramillo Monge** (Y'1990). Realizó sus estudios superiores en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de Quito, donde se graduó de Ingeniero Electrónico en Automatización y Control en el 2014. Además, cursó estudios de posgrado en la Universidad de Newcastle, Reino Unido, donde obtuvo el título en Máster en Electrical Power. Actualmente es profesor ocasional a tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. [mjaramillo@ups.edu.ec](mailto:mjaramillo@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marco Israel Zúñiga Villarreal con documento de identificación N° 1150552667 manifiesto que:

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

Quito, 08 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Marco Israel Zúñiga Villarreal  
1150552667

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

Yo, Marco Israel Zúñiga Villarreal con documento de identificación No. 1150552667, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo académico: “Mejora del perfil de voltaje en sistemas de transmisión mediante óptima ubicación de compensador en serie sincrónico estático (SSSC) a través de redes neuronales artificiales”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 08 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Marco Israel Zúñiga Villarreal

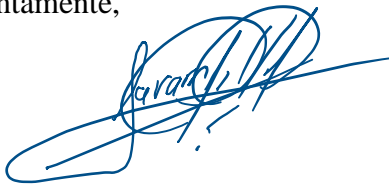
1150552667

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Manuel Dario Jaramillo Monge con documento de identificación N° 1714298005, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES, realizado por Marco Israel Zúñiga Villarreal con documento de identificación N° 1150552667, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Manuel Dario Jaramillo Monge, MSc  
1714298005

## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	2
2	Marco teórico.....	3
2.1	Sistemas de transmisión Eléctrica .....	3
2.1.1	Pérdidas .....	3
2.1.2	Clasificación .....	4
2.2	Confiabilidad del sistema eléctrico de potencia (SEP) .....	4
2.2.1	Configuración en serie .....	5
2.2.2	Configuración en paralelo .....	5
2.3	Compensación.....	5
2.3.1	Compensador serie .....	6
2.3.2	Compensador serie estático síncrono.....	6
2.4	Redes neuronales.....	6
2.4.1	Topología .....	6
2.4.2	Funciones de activación .....	7
2.4.3	Ventajas de las redes neuronales .....	7
2.4.4	Redes neuronales artificiales.....	7
2.4.5	Aprendizaje supervisado .....	7
2.4.6	Aprendizaje no supervisado.....	8
3	Metodología.....	8
3.1	Sistema de prueba.....	8
3.2	Modificación del sistema original. ....	8
3.3	Inclusión de cargas.....	9
3.4	Red neuronal. ....	9
3.4.1	Características de la red. ....	9
3.4.2	Datos de Lectura y Salida .....	9
3.4.3	Diagrama.....	10
3.5	Casos de estudio .....	10
3.5.1	Inclusión de SSSC.....	10
3.5.2	Búsqueda exhaustiva para implementar SSSC .....	10
3.5.3	Implementación de la red neuronal como función objetivo .....	11
3.5.4	Validación y pruebas de red neuronal.....	11
4	Análisis de resultados .....	11
4.1	Sistema modificado IEEE .....	11
4.2	Inclusión del SSSC en la línea de transmisión 13-14.....	12



4.3	Búsqueda exhaustiva para implementar SSSC.....	12
4.4	Implementación de la red neuronal con la función objetivo.....	13
4.5	Comprobación .....	14
4.5.1	Análisis bajo 6 datos (Línea de transmisión 13-14).....	14
4.5.2	Análisis bajo 54 datos (Todas las líneas) .....	15
4.6	Validación de otros parámetros eléctricos.....	15
5	Conclusiones.....	16
5.1	Trabajos futuros .....	17
6	Referencias.....	17
6.1	Matriz de Estado del Arte .....	20
6.2	Resumen de Indicadores.....	23
7	Anexos.....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo de potencia .....	5
Figura 2. Conexión de un compensador en serie. ....	6
Figura 3. Modelado de un compensador SSSC.....	6
Figura 4. Esquema de red neuronal.....	7
Figura 5. Modelo de prueba IEEE de 14 barras. ....	8
Figura 6. Diagrama de la red neuronal, aplicado al sistema de 14 barras IEEE. ....	10
Figura 7. Perfil de voltaje del sistema de 14 barras en condiciones iniciales. ....	11
Figura 8. Perfil de voltaje del sistema de 14 barras en su nuevo caso base. ....	12
Figura 9. Perfil de voltaje del sistema de 14 barras con la implementación de un compensador SSSC de 10 MVA en la línea de transmisión 13-14. ....	12
Figura 10. Flujo de potencia en líneas de transmisión. ....	12
Figura 11. Perfil de voltaje en la barra 14 con la implementación de un compensador SSSC de 10 MVA.....	13
Figura 12. Búsqueda exhaustiva e implementación de la desviación objetivo. ....	13
Figura 13. Búsqueda exhaustiva e implementación de la desviación objetivo en el software Matlab.....	13
Figura 14. Momento de actuación de la red neuronal. ....	14
Figura 15. Gradiente resultante de la red neuronal. ....	14
Figura 16. Histograma de error de la red neuronal. ....	14
Figura 17. Variación de resultado de datos iniciales vs datos desconocidos, en la línea de transmisión 13-14.....	15
Figura 18. Desviación existente con la red neuronal, expresada en valor porcentual, reducido. ....	15
Figura 19. Variación de resultado de datos iniciales vs datos desconocidos, en todas las líneas de transmisión. ....	15
Figura 20. Desviación existente con la red neuronal, expresada en valor porcentual, para el análisis global.....	15
Figura 21. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte. ....	23
Figura 22. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	23
Figura 23. Indicador de solución - Estado del arte.....	23

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de voltaje en subtransmisión y transmisión en Ecuador. ....	3
Tabla 2. Clasificación de las líneas de transmisión según su distancia.....	4
Tabla 3. Métodos probabilísticos para el cálculo de índices de confiabilidad. ....	5
Tabla 4. Comparativa de valores eléctricos entre caso base y caso compensado. ....	16
Tabla 5. Matriz de estado del arte. ....	20
Tabla 6. Datos de las barras del modelo original de 14 barras.....	24
Tabla 7. Nuevos datos para trabajar, del modelo de 14 barras.....	24

# MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## Resumen

El presente artículo tiene como objetivo implementar de manera óptima un compensador en serie síncrono estático (SSSC), para el cual se utiliza un algoritmo basado en redes neuronales artificiales. Se busca mejorar el perfil de voltaje, obteniendo así confiabilidad de energía eléctrica emitida en cualquier sistema de barras IEEE. El entrenamiento de la red neuronal se lleva a cabo en el software Matlab, en el cual se realiza un algoritmo capaz de brindar soluciones ante variaciones futuras en el modelo de 14 barras IEEE. Los datos de ingreso de la red neuronal se obtienen mediante la inclusión de cargas, en todas sus barras de transmisión, las cuales se encuentran en un rango de 10 a 50. Cada variación proporciona datos de: perfil de voltaje, flujo de potencia en las líneas de transmisión, potencia activa y reactiva en las barras, al igual que su correspondiente factor de potencia. Los datos de salida de la red neuronal se derivan de la implementación de una búsqueda exhaustiva, en la cual se incorpora un compensador SSSC de 10 MVA a cada variación de carga, en las líneas de transmisión. Al implementar el compensador SSSC de 10 MVA a la línea de transmisión 13-14 se redistribuye el flujo de potencia presente en la línea de transmisión 9-14 y 13-14, mejorando el perfil de voltaje en 3 barras del sistema, dicha ubicación proporciona la red neuronal artificial. El porcentaje de error presentado por el análisis del algoritmo se encuentra en el rango de -4% a 4%, lo cual determina, la eficiencia y exactitud de la red, ante datos desconocidos.

**Palabras Clave:** Mediciones de líneas de transmisión, Compensadores estáticos de var, Red Neuronal.

## Abstract

The objective of this paper is to optimally implement a static synchronous series compensator (SSSC), for which an algorithm based on artificial neural networks is used. The aim is to improve the voltage profile, thus obtaining reliability of electrical energy emitted in any IEEE busbar system. The training of the neural network is carried out in Matlab software, in which an algorithm capable of providing solutions to future variations in the model of 14 IEEE busbars is performed. The input data of the neural network is obtained by including loads, in all its transmission bars, which are in a range of 10 to 50. Each variation provides data of voltage profile, power flow in the transmission lines, active and reactive power in the busbars, as well as its corresponding power factor. The output data of the neural network is derived from the implementation of an exhaustive search, in which a 10 MVA SSSC compensator is incorporated to each load variation in the transmission lines. By implementing the 10 MVA SSSC compensator to the transmission line 13-14, the power flow present in the transmission line 9-14 and 13-14 is redistributed, improving the voltage profile in 3 bars of the system, such location provides the artificial neural network. The percentage of error presented by the analysis of the algorithm is in the range of -4% to 4%, which determines the efficiency and accuracy of the network, in the face of unknown data.

**Keywords:** Transmission line measurements, Static var compensators, Neural Network.

# 1 Introducción

El continuo crecimiento de la demanda eléctrica genera inestabilidad en el sistema eléctrico de potencia “SEP”, por ende, es necesario plantear métodos que ayuden a mejorar la estabilidad, confiabilidad y calidad del sistema eléctrico. Para disminuir las pérdidas existentes al momento de transmitir la energía eléctrica es necesario incrementar el voltaje en el orden de los kV. El Ecuador consta de 3 niveles de voltaje al momento de transmitir la energía eléctrica, los cuales son: 138 kV, 230 kV y 500 kV [1], [2].

Todo SEP debe estar en las condiciones de suministrar energía eléctrica a los usuarios finales sin interrupciones, por ende, es indispensable obtener una buena confiabilidad del SEP [2]. No obstante, los parámetros de calidad, estabilidad y confiabilidad van de la mano, ya que, un sistema no tiene que ser netamente confiable, ni netamente eficaz, siempre se busca obtener una relación entre estos parámetros.

Las líneas de transmisión son las encargadas de llevar la energía eléctrica desde un punto A hasta un punto B, en sus diferentes niveles de voltaje [2]. A pesar del continuo esfuerzo del ser humano para incrementar el voltaje en las líneas de transmisión, los sistemas eléctricos presentan disminución de voltaje en sus barras, ya sea por: aumento de la demanda eléctrica, distancia existente entre barras, mal dimensionamiento de conductores, perturbaciones y la conexión o desconexión de grandes cargas [2], [3].

En el amplio mundo de los sistemas eléctricos de potencia, cada subestación es considerada como una barra para su diseño global del SEP. Para considerar confiable el perfil de voltaje existente en las barras, se busca el 1 en (p.u), sin embargo, existen un límite de rango en el cual se puede encontrar el perfil y voltaje, dicho rango es de 0.95 a 1.05 (p.u) [2], [4].

Con el avance de los años, siempre se ha buscado obtener confiabilidad utilizando diversos equipos eléctricos, los cuales buscan una manera de facilitar su incorporación al SEP. Un método muy utilizado para obtener mejoras es la incorporación de un compensador, el cual permite mejorar el perfil de voltaje en el sistema eléctrico, buscando diversas maneras de aportar energía al sistema. Sin embargo, es necesario saber el lugar óptimo para implementar el compensador [5].

Con el pasar de los años las tecnologías evolucionan y generan nuevos elementos eléctricos para proporcionar un buen confort a los usuarios, los compensadores no son la excepción [5]. El compensador en serie síncrono estático (SSSC) es una tecnología innovadora, la cual realiza un análisis exhaustivo de la línea de transmisión a la cual fue implementado y permite inyectar potencia reactiva o potencia activa al sistema [6].

Tal y como su nombre lo indica, el compensador SSSC varía ante los demás compensadores en su forma de conexión, ya que, la conexión más común a implementar en los compensadores es la configuración en paralelo, no obstante, el compensador SSSC es incorporado al sistema de manera serial en las líneas de transmisión [6]. Y presenta una característica propia de redistribuir el flujo potencia circulante por la línea de transmisión en la que fue implementado.

La correcta ubicación de un elemento eléctrico es indispensable en cualquier sistema, hoy en día existen múltiples formas de identificar una óptima ubicación. Múltiples softwares permiten realizar diversos algoritmos, los cuales son utilizados para realizar un análisis profundo de cualquier sistema y encontrar una solución óptima [7].

Sin embargo, las redes neuronales presentan un comportamiento similar a las neuronas cerebrales del ser humano. Lo cual permite codificar la información de

manera distribuida [8]. Estando en la capacidad de aprender y tomar decisiones en base al ingreso y salida de datos.

Al igual que cada algoritmo de ubicación, las redes neuronales constan de funciones de activación, las cuales permiten activar de una manera correcta los datos ingresados. Cada función de activación cumple un propósito específico y una configuración específica en el cual se pueda aplicar. Con el paso del tiempo, las personas buscan implementar las diversas formas de compensación a un algoritmo o modelo matemático, que se encuentre en la capacidad de brindar soluciones a una óptima ubicación. El presente artículo muestra el comportamiento de una red neuronal artificial, ante el ingreso de un compensador SSSC [9], [10].

La implementación de una red neuronal a un software computacional se lo designa como: red neuronal artificial [9]. El software Matlab implementa una función general, la cual es capaz de reconocer la función de activación necesaria para el problema propuesto [10]. Convirtiendo así al análisis de ubicación en una forma iterativa y comprensiva ante la gente. Sin embargo, existe un limitante al momento de implementar este software. Siendo la especificación de la red un de los limitantes. Al trabajar con valores numéricos, solo se podrá alimentar a la red en dos dimensiones X y Y, en cambio al trabajar con datos de imágenes (valores entre 0 y 1), la red puede ser alimentada en tres dimensiones X, Y y Z [10].

## 2 Marco teórico

Previo al planteamiento y resolución del problema, es indispensable revisar algunos conceptos básicos sobre la transmisión de energía eléctrica, confiabilidad de un sistema eléctrico de potencia, elementos de compensación eléctrica y algoritmo basado en redes neuronales artificiales. Para ello se presenta a continuación una breve consulta de cada tema.

### 2.1 Sistemas de transmisión Eléctrica

Dentro del amplio mundo del sistema eléctrico de potencia existe un subconjunto de elementos eléctricos, los cuales sirven para poder transmitir la energía eléctrica desde el punto de generación hasta el punto de distribución, esto se denomina, sistema de transmisión eléctrica [1].

El sistema de transmisión eléctrica es implementado cuando, los centros de generación de energía eléctrica están ubicados demasiado lejos de los centros de consumo. También se implementan para evitar daños al medio ambiente [1].

Un sistema de transmisión eléctrica debe ser confiable, eficiente, continuo y seguro. Para poder cumplir con estos lineamientos, es necesario realizar un estudio minucioso del crecimiento de la demanda y expansión de la generación [2].

Un parámetro fundamental para analizar es el nivel de voltaje al cual trabajan los sistemas de transmisión. El Ecuador actualmente consta de 3 niveles de voltaje, para la transmisión. Los cuales se muestran en la tabla 1 [2].

Tabla 1. Niveles de voltaje en subtransmisión y transmisión en Ecuador.

Niveles de voltaje			
<b>Transmisión</b>	500 kV	230 kV	138 kV
<b>Subtransmisión</b>	69kV	46kV	-----

En la actualidad Ecuador consta de dos niveles de subtransmisión, estos niveles de voltaje se utilizan para realizar la conexión entre subtransmisiones eléctricas [2].

#### 2.1.1 Pérdidas

Los niveles de voltaje rondan en el orden de los kV (kilo-voltios), esto se debe a que, a mayor voltaje menor será la corriente que circula en el sistema, para ello es necesario analizar la ecuación de pérdidas [3]:

$$\Delta P = I^2 * Z \quad (1)$$

Donde:

$\Delta P$  representa las pérdidas del sistema.  
 $I$  representa la circulación de corriente.  
 $Z$  representa la impedancia del sistema.

Mediante la ecuación 1 se tiene que: si la corriente disminuye por aumentar el voltaje, las pérdidas tendrán una reducción cuadrática, debido a que la corriente se encuentra elevado al cuadrado [3].

### 2.1.2 Clasificación

Las líneas de transmisión se pueden clasificar según su tamaño en: costas, medias y largas [4].

Tabla 2. Clasificación de las líneas de transmisión según su distancia.

Tipos de líneas de transmisión	
Largas	$L/T > 240$ Km
Medianas	$80 \text{ Km} < L/T < 240$ Km
Cortas	$L/T < 80$ Km

La distancia es un parámetro fundamental para el análisis de los componentes resistivos, inductivos y capacitivos de las líneas de transmisión [11].

Las líneas con una distancia corta solo presentan componente resistivo e inductivo. Las líneas con una distancia mediana o larga presentan los componentes capacitivos, inductivos y resistivos [11].

Ecuación correspondiente a la resistencia en relación con una unidad de longitud [4]:

$$R = p \frac{l}{A} \quad (2)$$

Donde:

$R$  representa la resistencia del conductor.

$p$  representa la resistividad volumétrica del material.

$l$  representa la longitud del conductor.

$A$  representa la sección transversal del conductor.

La inductancia presenta la siguiente ecuación por unidad de longitud [4]:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{D_{eq}}{RMG} \right) \quad (3)$$

Donde:

$L$  representa la inductancia del conductor.

$\mu_0$  representa la permeabilidad en el sistema.

$D_{eq}$  representa la distancia media geométrica.

$RMG$  representa el radio medio geométrico.

Por último, la capacitancia analizada por unidad de longitud [4], [11]:

$$C = \frac{2\pi E_0}{\ln \left( \frac{D_{eq}}{RMG} \right)} \quad (4)$$

Donde:

$C$  representa la capacitancia del conductor.

$E_0$  representa una constante con un valor de  $8.85 \times 10^{-12}$ .

## 2.2 Confiabilidad del sistema eléctrico de potencia (SEP)

La confiabilidad del sistema eléctrico de potencia está asociada a, la capacidad de mantener la circulación de energía eléctrica ante una perturbación deseada o indeseada en el sistema [5].

Debido a que la confiabilidad del sistema eléctrico de potencia es un mundo muy amplio, se tiende a dividir las zonas de trabajo, dando como resultado: confiabilidad en la generación, confiabilidad en el sistema de transmisión y confiabilidad en el sistema de distribución [12].

Para que un sistema eléctrico sea confiable debe constar de 3 cuales, las cuales son: calidad, seguridad y suficiencia. Si el sistema presenta un déficit de alguna cualidad, no se puede considerar un sistema confiable [12].

Debido a que la confiabilidad no es un dato certero, se utiliza métodos de probabilidad para poder calcular el índice de confiabilidad de algún elemento eléctrico [5].

Los métodos probabilísticos más utilizados se detallan en la tabla 3 [6].

Tabla 3. Métodos probabilísticos para el cálculo de índices de confiabilidad.

Métodos probabilísticos		
<b>Continuas</b>	Exponencial	Normal
<b>Discretas</b>	Binomial	Poisson

Los sistemas eléctricos pueden ser: sistemas en serie, paralelo o mixto (serie-paralelo) debido a esto, existen formas de cuantificar la confiabilidad con relación a su configuración [13].

### 2.2.1 Configuración en serie

Como su nombre lo indica, la configuración en serie está compuesta por la unión de varios elementos eléctrico se forma secuencial. Posiblemente se trate de la configuración más sencilla y fácil de analizar [13], [15].

Debido a su forma secuencial que presentan los elementos, es muy propensa a tener bajos índices de confiabilidad [13].

Su análisis de confiabilidad esta dado por:

$$R_s = \prod_{j=1}^n R_j \quad (5)$$

Donde:

**$R_s$**  representa la confiabilidad del sistema en serie.

**$R_j$**  representa la confiabilidad del sistema en el j-ésimo componente.

**$n$**  representa el número de componentes existentes en el sistema.

Una característica fundamental de analizar es: la configuración en serie depende directamente del funcionamiento del elemento previo [14], [15].

### 2.2.2 Configuración en paralelo

La división de varios ramales, provenientes de un troncal principal de energía eléctrica, se la conoce como: configuración en paralelo [13], [15].

Debido a su peculiar configuración, presenta un alto índice de confiabilidad, volviéndolo el sistema más utilizado para obtener un alto nivel de confiabilidad [13].

Su análisis de confiabilidad esta dado por:

$$R_p = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j * Pr_j)}{\sum_{j=1}^n Pr_j} \quad (6)$$

Donde:

**$R_p$**  representa la confiabilidad del sistema en paralelo.

**$R_j$**  representa la confiabilidad del sistema en el j-ésimo componente.

**$Pr_j$**  representa los participantes de cada uno de los equipos en la producción del sistema.

La característica principal de la configuración en paralelo es: no depender del funcionamiento del elemento previo [16].

### 2.3 Compensación

El principal objetivo de los compensadores es, disminuir el consumo de potencia reactiva presente en el sistema eléctrico. Mientras menor sea la potencia reactiva, más eficiente será el sistema eléctrico [16].

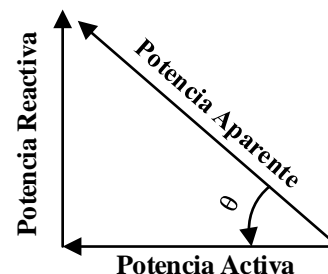


Figura 1. Triángulo de potencia

Con el triángulo de potencia se logra observar la relación que existe entre las potencias de un sistema. Para que un

sistema eléctrico mejore su eficiencia, se plantea que la potencia activa y potencia aparente, sean lo más similar posible [16].

La regulación de la potencia reactiva genera un impacto positivo en el voltaje, es decir, con la correcta compensación de una potencia reactiva se mejora el perfil de voltaje en los sistemas eléctricos [16].

### 2.3.1 Compensador serie

Para poder formar una configuración en serie se aplica la siguiente lógica; conectar el compensador de forma secuencial al sistema [16].

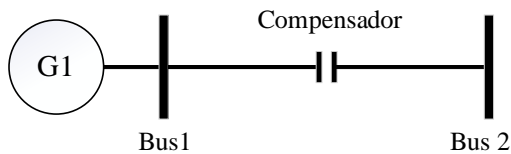


Figura 2. Conexión de un compensador en serie.

En el mundo de la electricidad existen un amplio catálogo de compensadores que se encargan de hacer un control en base a convertidores, entre los más comunes: compensador síncrono estático (SVC), compensador en serie estático síncrono (SSSC) y compensador en serie controlado por tiristores (TCSC) [17].

### 2.3.2 Compensador serie estático síncrono

El compensador en serie estático síncrono pertenece a la nueva generación de FACTS. Un FACTS, por sus siglas en inglés (Flexible AC Transmission System), es un elemento que optimiza su diseño, con el avance de la electrónica de potencia, volviéndose más eficiente en su uso.

Un SSSC está compuesto por una fuente de voltaje, en corriente alterna AC y en corriente continua DC, la cual le permite inyectar voltaje al sistema. Y poder simular una reactancia capacitiva o inductiva, ya que el voltaje inyectado interactúa con la corriente presente en el sistema [18][19].

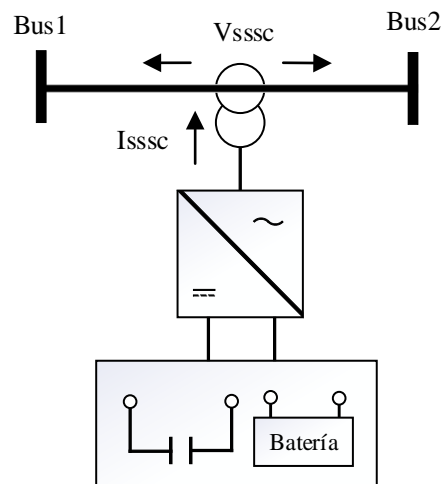


Figura 3. Modelado de un compensador SSSC

El SSSC no solo permite regular la potencia reactiva presente en las líneas de transmisión, también es implementado para: mejorar el voltaje en las barras, controlar la impedancia y controlar la potencia activa [19].

Una facultad que tiene el SSSC, al estar implementado en una línea de transmisión, es el poder regular la caída de tensión presente en la línea [19].

## 2.4 Redes neuronales

El algoritmo de ubicación cumple un papel fundamental dentro de cualquier sistema eléctrico de potencia, con el correcto manejo y uso se logra obtener ubicaciones óptimas de equipos o elementos eléctricos, volviendo al sistema, más eficiente y confiable [8].

Con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología han surgido métodos más eficientes para la detección de una posición óptima, como lo es el caso de las redes neuronales artificiales [8].

### 2.4.1 Topología

Las redes neuronales están basadas en el comportamiento del cerebro humano, obteniendo un almacenamiento de datos y toma de decisiones óptimas ante cualquier circunstancia analizada [9].



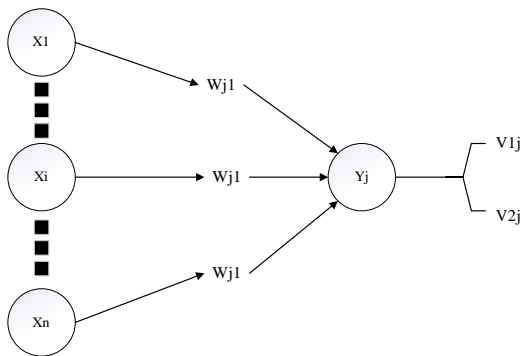


Figura 4. Esquema de red neuronal

A pesar de su compleja comprensión, las redes neuronales son capaces de modelar, almacenar y organizar sistemas matemáticos complejos, los cuales pueden ser pasados a un modelo computacional para obtener información en un lapso mucho más corto [9].

Las redes neuronales convencionales, generan una suma ponderada en la neurona  $Y_j$ . Esta sumatoria viene dada por los pesos  $W_{j1}$ , existentes en las conexiones de cada entrada  $X_i$ . Con lo cual las redes neuronales se dividirán en capas de entrada, capas ocultas y capas de salida [18].

Las capas ocultas representan a cada neurona en la cual se realiza la suma ponderada, estas capas varían en relación con la información que se desee obtener. Mientras mayor sea la información de ingreso y más específico sea la información de salida, mayor número de capas ocultas existirá en la red neuronal [18].

#### 2.4.2 Funciones de activación

Debido a los múltiples de análisis que puede realizar una red neuronal, existen funciones de activación que permiten ser más selectivo con la toma de datos, estas pueden ser [20]:

- Función de salto binaria
- Unidad rectificadora uniforme
- Función SoftMax
- Función Sigmoide
- Tangente hiperbólica

#### 2.4.3 Ventajas de las redes neuronales

Las redes neuronales presentan una variedad de ventajas, tales como [9]:

- Aprendizaje o Entrenamiento
- Autoorganización.
- Tolerancia a fallas.
- Operación en tiempo real
- Fácil inserción.

Una ventaja característica de las redes neuronales es, el uso de capas. Las cuales permiten ordenar los elementos o variables que tengan un comportamiento similar. Cada capa ordenada se convierte en un vector de neurona [21].

#### 2.4.4 Redes neuronales artificiales

La adaptación de las redes neuronales a un modelo artificial consiste en la implantar el modelo de una red neuronal a un esquema computacional. El esquema computacional está basado en el sistema nervioso del ser humano [21], [18].

Una red neuronal artificial o también denominada ANN, por sus siglas en inglés (Artificial Neural Networks), se caracteriza por: tener un conjunto de elementos, una densa estructura interconectada y un alto grado de paralelismo [18].

El aspecto más importante que se presenta en una red neuronal es su capacidad de adquirir datos en un entorno de patrones complejos, volviéndolo un mecanismo capaz de ajustar datos en cualquier ambiente [18].

#### 2.4.5 Aprendizaje supervisado

Es un tipo de aprendizaje diseñado para las redes neuronales artificiales, el cual consiste en; entrenar la red en base a patrones de entrada y salida. Se la conoce como supervisado ya que la red trata de encontrar una respuesta al modelo en base a un proceso desconocido de salida [22], [23].

El objetivo del aprendizaje supervisado es lograr ajustar las variables y pesos de la red, para obtener de respuesta una salida lo

más parecida posible a la salida verdadera dada por la entrada [9], [23].

### 2.4.6 Aprendizaje no supervisado

Se presenta cuando solo se expone una salida de patrones. Tiene como objetivo, ajustar las variables y pesos para obtener alguna estructura o salida que presente datos verdaderos [22], [23].

## 3 Metodología

Todo sistema eléctrico con el paso de los años incrementa su demanda de energía eléctrica, por ende, es indispensable buscar métodos para solventar dichas adversidades. El acople de un compensador eléctrico y una óptima ubicación, puede mejorar notablemente al sistema, buscando siempre la solución más factible y favorable.

Para lograr obtener dichos resultados, es indispensable el planteamiento de la problemática, en la cual se analizará: el sistema de prueba, inyección de cargas, alimentación de la red neuronal y diversos casos de estudios, los cuales tienen como objetivo brindar un análisis exhaustivo del sistema a trabajar.

### 3.1 Sistema de prueba.

Los sistemas de potencia existentes por la IEEE, brindan un amplio catálogo de características propias en cada sistema, tomando en consideración estas características, se puede realizar simulación de los sistemas existentes. Siendo en este caso el sistema de 14 barras de la IEEE.

El sistema de 14 barras representa una porción del medio oeste de Estados Unidos. Sus niveles de voltaje en transmisión se encuentran en el borde de los 230 kV y la potencia existente en el sistema se encuentra expresada en MVA, MW o Mvar.

Los valores de voltaje y potencia existentes en el sistema se encuentran adjuntados en la tabla 6, la cual se puede encontrar en el apartado final del artículo.

El sistema consta de: 11 cargas, 9 barras de transmisión eléctrica, 3 transformadores de potencia y 5 generadores. No obstante, en el sistema original la barra 7 y 8 se encuentran desconectadas, con la finalidad de poder agregar potencia al sistema, en el caso de que exista una expansión a futuro.

La figura 5 Presenta el sistema de 14 barras en su forma más sencilla, en el cual se logra visualizar los generadores, barras, líneas de transmisión y cargas.

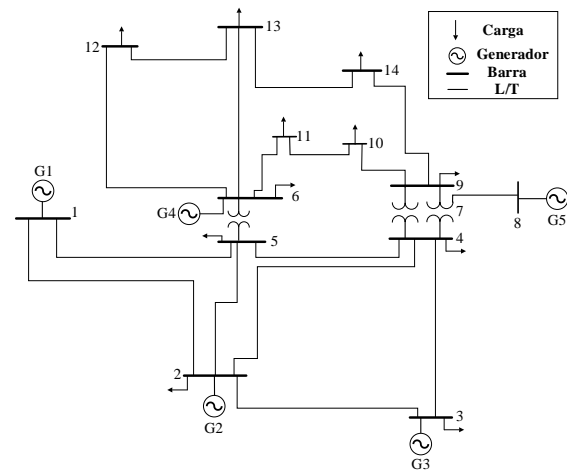


Figura 5. Modelo de prueba IEEE de 14 barras.

### 3.2 Modificación del sistema original.

Debido a que el sistema de 14 barras en condiciones iniciales presenta un perfil de voltaje superior al 1 p.u en todas sus barras, es necesario realizar una modificación previa a la resolución del algoritmo, para así poder obtener valores menor al 1.pu.

Para lograr un desbalance de voltaje en las barrar se procedió a incrementar todas las cargas, principalmente duplicando el valor inicial de cada carga. En vista de que el resultado obtenido al momento de duplicar las cargas no fue satisfactorio, se procedió a incrementar el 20 % adicional al valor obtenido. La tabla 7 muestra los nuevos valores de voltaje, ángulo, potencia activa y reactiva, en todas las barras, obteniendo así el nuevo escenario base a trabajar, adjunta en los anexos.

### 3.3 Inclusión de cargas.

La inclusión de cargas es indispensable para obtener un análisis múltiple de datos. Para realizar la obtención de dichos datos, se varió las cargas existentes en el apartado de las barras de transmisión eléctrica, es decir, se modificó las cargas existentes en las barras: 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13 y 14. Una vez realizado el flujo de potencia eléctrica en condiciones normales, se procedió a modificar las cargas existentes en las barras mencionadas anteriormente. La variación de cargas se realizó en pasos de 10 hasta 50, modificando tanto el apartado de potencia activa y de potencia reactiva, buscando así no desestabilizar al sistema.

La inclusión de carga ayuda a visualizar el comportamiento del sistema ante diferentes variaciones, no obstante, el incremento debe ser de manera moderada, si se realiza un incremento de carga excesiva, el sistema deja de converger, es decir, no es capaz de solventar la demanda con la generación existente.

### 3.4 Red neuronal.

Mediante el uso del software Matlab se implementó la red neuronal para el sistema de 14 barras, con sus respectivas variaciones. El software Matlab brinda un amplio catálogo para analizar redes neuronales, desde: redes en dos dimensiones, las cuales se utilizan para obtener resultados en el rango de 0 y 1 o verdadero y falso. Y las redes convolucionales, las cuales permiten hacer análisis de 3 dimensiones, tal y como puede ser el análisis de imágenes.

El entrenamiento de la red neuronal es primordial, mientras mayor sea el número de datos de entrenamiento, mayor será la exactitud en la valoración de los nuevos elementos ingresados.

El algoritmo explicado a continuación es utilizado para la obtención de la óptima ubicación del compensador SSSC. Para lo cual se implementó un total de 15 capas ocultas.

#### 3.4.1 Características de la red.

Toda red neuronal artificial consta de: datos de entrenamiento, datos de capas, datos de salida y datos de comprobación. Los datos de voltaje obtenidos previamente en la implementación de las cargas ayudarán a la red a poder obtener sus datos de entrada o entrenamiento, la cual consta de una matriz de  $14 \times 54$ , donde: 14 es el número de barras existentes en el modelo y 54 es el número total de variaciones de cargas.

Los datos de salida se forman a raíz de implementar el compensador serie estático síncrono, para lo cual se obtuvo una matriz de  $2 \times 54$ , donde: (1,i) corresponde al número de barra y (2,i) corresponde a la capacidad de compensador y 54 corresponde a la cantidad de variaciones.

Una característica fundamental al momento de entrenar la red neuronal es la similitud entre la dimensión de sus matrices.

#### 3.4.2 Datos de Lectura y Salida

Los datos de lectura son los encargados de alimentar y entrenar a la red neuronal. Mediante la inclusión de las cargas no lineales al sistema de prueba se pudo obtener los datos necesarios para poder alimentar la red.

Toda red neuronal consta de datos de salida, con la finalidad de tener una perspectiva para poder analizar futuras respuestas. La matriz de salida consta de 2 parámetros fundamentales al momento de analizar ubicación de un compensador, el primer parámetro es el número de barra, el cual ayuda a determinar la línea de transmisión donde se implementará el compensador y el segundo es la capacidad de dicho compensador. Estos parámetros se obtuvieron una búsqueda exhaustiva del comportamiento del sistema ante la implementación del compensador.

Los datos obtenidos se importaron desde un Excel, denominado "Df", en el cual constan los diversos valores de voltaje,

ángulo, factor de potencia, potencia activa y reactiva, ante las diferentes variaciones de carga y la inclusión del compensador.

### 3.4.3 Diagrama

Para obtener una mejor interpretación del comportamiento de la red neuronal, se implementó un diagrama visual, tal y como se muestra en la figura 6, en el cual se logra observar las entradas existentes en el sistema, la unión entre las entradas y las capas ocultas, el aprendizaje para la salida y la salida resultante.

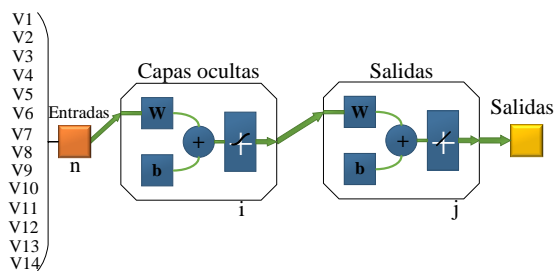


Figura 6. Diagrama de la red neuronal, aplicado al sistema de 14 barras IEEE.

En la figura 6 se logra visualizar parámetros fundamentales e importantes de la red neuronal, en el cual podemos encontrar incógnitas como:  $n$ ,  $i$ ,  $j$  y  $w$ .

Donde:

$n$  representa el número de entradas al sistema.

$i$  representa el número de capas existentes en el sistema.

$j$  representa el número de salidas en el sistema.

$W$  es el peso de las conexiones existentes.

### 3.5 Casos de estudio

Para poder llevar a cabo los diversos casos de estudio, es indispensable trabajar en el nuevo caso base del sistema IEEE de 14 barras. Para ello se plantea la inclusión del compensador serie síncrono estático (SSSC) en una sola línea de transmisión, al igual que en múltiples líneas de transmisión, generando así una búsqueda exhaustiva. Se implementa un caso de

estudio en relación con la desviación objetivo existente en la red neuronal y una validación de resultados.

#### 3.5.1 Inclusión de SSSC

El compensador en serie síncrono estático realiza un análisis global de la línea de transmisión a la que fue implementado y determina la cantidad de potencia activa y reactiva a inyectar. Al incorporar el compensador a cualquier línea de transmisión, se obtiene datos de voltaje, ángulo y un flujo de potencia que circula por la línea implementado.

El compensador a implementar tiene un valor de 10 MVA, esto se debe a la característica del sistema, teniendo como restricción los valores de potencia activa y reactiva iniciales del sistema. Incorporar un compensador superior los valores de potencia existentes puede generar incertidumbre con los valores resultantes, tal como, la deformación del factor de potencia existente en las barras o el valor del ángulo analizado.

#### 3.5.2 Búsqueda exhaustiva para implementar SSSC

Una vez realizado el análisis del comportamiento del compensador ante una línea de transmisión, es indispensable una búsqueda mayor de resultados, para lo cual se incorporará el compensador SSSC de 10 MVA a todas las líneas de transmisión del sistema, tomando en consideración su variación de cargas, teniendo un total de 6 escenarios por cada variación. Un buen manejo de la búsqueda exhaustiva puede llevar al entendimiento físico de las variables analizadas.

Cada resultado es organizado de manera matricial, en la cual se encuentran sus valores más representativos: voltaje, ángulo, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia. Cada variación resultante de la implementación del compensador brinda adicional un flujo de potencia eléctrico.

### 3.5.3 Implementación de la red neuronal como función objetivo

Mediante la aplicación de la desviación objetivo se logra visualizar la eficacia de implementar el compensador SSSC. La característica de la desviación objetivo es la variación que existe entre 1 y 0. Siendo 0 el mejor valor esperado, es decir, mientras el resultado de la desviación objetivo tienda a cero en determinada barra, mejor será la implementación del compensador SSSC en dicha barra.

Si la desviación objetivo resulta ir incrementado o acercándose al 1, el resultado de implementar el compensador SSSC en dicha será erróneo o innecesario.

Para poder calcular la desviación objetivo es necesario hacer un análisis matemático general en el sistema, el cual se aplica de la siguiente manera:

$$Do = \sqrt{\sum_{i=1}^i (1 - fpi)^2} \quad (7)$$

Donde:

**Do** representa la desviación objetivo.

**fpi** representa el factor de potencia.

**i** representa el número de barras existentes.

### 3.5.4 Validación y pruebas de red neuronal

La validación de los resultados se obtuvo implementando una nueva entrada de datos desconocidos al sistema, después de que la red haya sido entrenada.

Las nuevas cargas se implementaron a la variación de cargas existentes, con una diferencia de 5 Mvar. Con la nueva implementación, se extrajeron valores importantes para ingresar a la comprobación de la red neuronal, dichos valores son: voltaje, potencia reactiva, potencia activa y factor de potencia.

## 4 Análisis de resultados

Cuando se habla de confiabilidad en el sistema eléctrico de potencia, se habla de la capacidad de mantener circulando energía eléctrica ante diversas perturbaciones. El apartado de resultados brinda la solución de implementar un compensador SSSC de 10 MVA en una determinada línea de transmisión, ante las diversas variaciones de carga, las cuales se puede identificar como perturbaciones.

### 4.1 Sistema modificado IEEE

El sistema original de 14 barras IEEE presentaba un perfil de voltaje elevado en sus barras, determinando así que el sistema se encuentra con sobre voltajes. La figura 7 muestra el perfil de voltaje en condiciones normales.

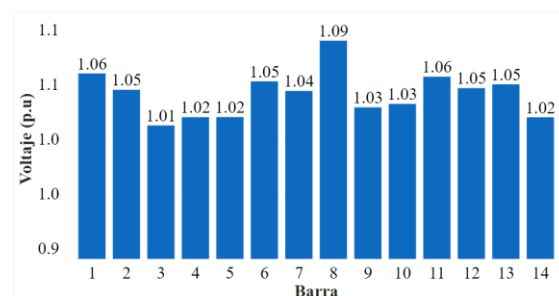


Figura 7. Perfil de voltaje del sistema de 14 barras en condiciones iniciales.

Con el breve ajuste de cargas se obtiene un nuevo perfil de voltaje, el cual permite realizar una búsqueda exhaustiva e implementar un algoritmo de ubicación para determinar el lugar óptimo. Debido a que sus valores de voltaje en algunas barras se encuentran por debajo del 1 en p.u. La figura 8 muestra el nuevo perfil de voltaje a utilizar como caso base.

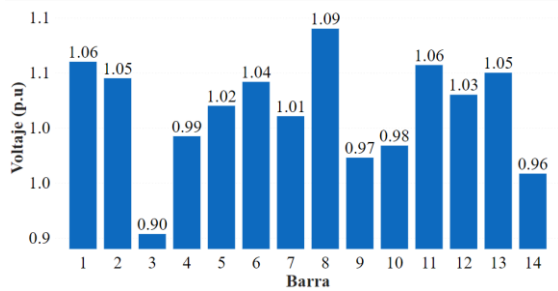


Figura 8. Perfil de voltaje del sistema de 14 barras en su nuevo caso base.

En la figura 8 se logra observar claramente voltaje por debajo del 1 en p.u, siendo la de la barra 3 la más afectada. No obstante, la barra 3 queda fuera del análisis para implementar el compensador, debido a que en esta barra se encuentra un generador, el cual es capaz de realizar configuraciones internas para elevar su perfil de voltaje o adecuarse a una configuración PV (potencia-voltaje).

#### 4.2 Inclusión del SSSC en la línea de transmisión 13-14

La incorporación de compensador SSSC no solo genera cambios en los voltajes de las barras adyacentes a la línea de transmisión conectada, también genera modificaciones en la potencia activa y reactiva que circula por esa línea. Para implementar el compensador en la línea de transmisión 13-14 se realizó un flujo de potencia, el cual busca determinar cuál es la línea que mantiene mayor valor de potencia activa y reactiva, debido a que el compensador es capaz de redistribuir el flujo de potencia circulante por esa línea.

La figura 9 muestra el perfil de voltaje en el sistema, con la implementación de un compensador de 10 MVA en la línea de transmisión 13-14.

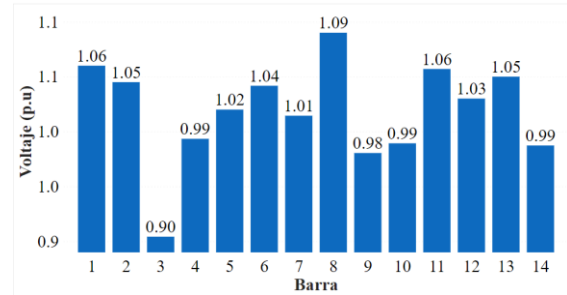


Figura 9. Perfil de voltaje del sistema de 14 barras con la implementación de un compensador SSSC de 10 MVA en la línea de transmisión 13-14.

La implementación de un compensador SSSC varía el flujo de potencia existente en la línea conectado, tal y como se puede observar en la figura 10.

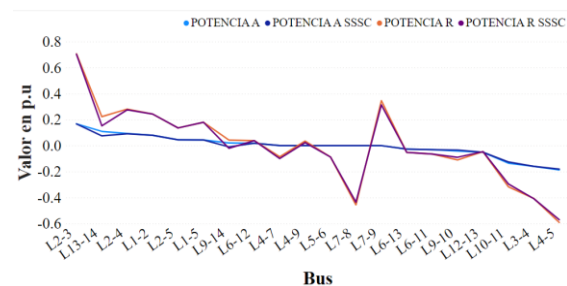


Figura 10. Flujo de potencia en líneas de transmisión.

Al implementar el compensador SSSC en la línea de transmisión 13-14, se logra visualizar que los flujos de potencia se distribuyen de mejor manera, obteniendo así una mejora en las líneas y descartando una sobrecarga en las mismas.

#### 4.3 Búsqueda exhaustiva para implementar SSSC.

Con la implementación del compensador de 10 MVA y un análisis de búsqueda exhaustiva se busca obtener diversos parámetros de voltaje, ángulo, potencia activa y reactiva del sistema, con la finalidad de obtener múltiples datos y poder entrenar de mejor manera a red neuronal. A pesar de obtener múltiples datos, provenientes de las variaciones de cargas y la implementación del compensador, la figura 11 muestra el comportamiento del voltaje en la barra 14, ante la implementación del compensador en la línea de transmisión 13-14, para cada caso de variación de carga.



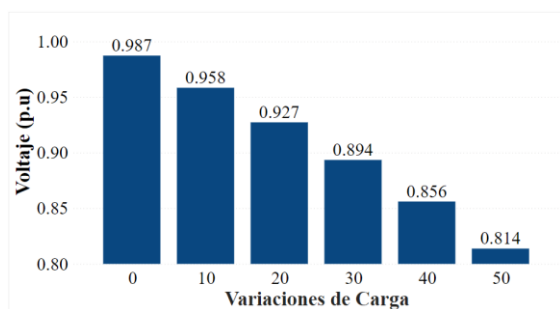


Figura 11. Perfil de voltaje en la barra 14 con la implementación de un compensador SSSC de 10 MVA.

Mediante el análisis de la desviación objetivo se logra determinar cuál es la barra que presenta una mayor factibilidad al momento de colocar el compensador, en sus correspondientes líneas de transmisión. La desviación objetivo de cada variación se encuentra en el rango de 0.025 a 0.044, la figura 12 permite visualizar el comportamiento de los valores resultantes de la desviación objetivo en la búsqueda exhaustiva.

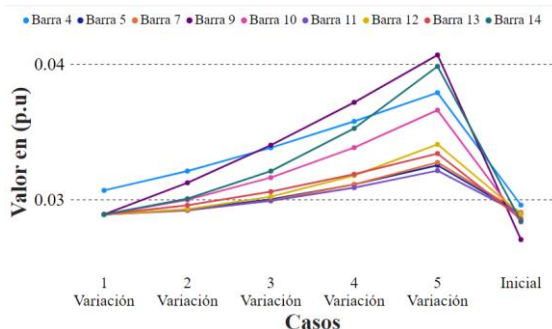


Figura 12. Búsqueda exhaustiva e implementación de la desviación objetivo.

Pese a que el análisis de la desviación objetivo brinda un resultado favorable, en el cual el compensador debe ser aplicado para el caso inicial. Es importante realizar un análisis amplio para obtener mayor veracidad al momento de seleccionar la respuesta. Para ello se plantea el análisis mediante un BOXPLOT en el software Matlab.

El BOXPLOT permite obtener un análisis exhaustivo entre los datos obtenidos, generando una media entre los datos de desviación objetivo encontrados. La figura 13 permite visualizar el

comportamiento de BOXPLOT y verificar cual es el valor más eficiente para ser implementado.

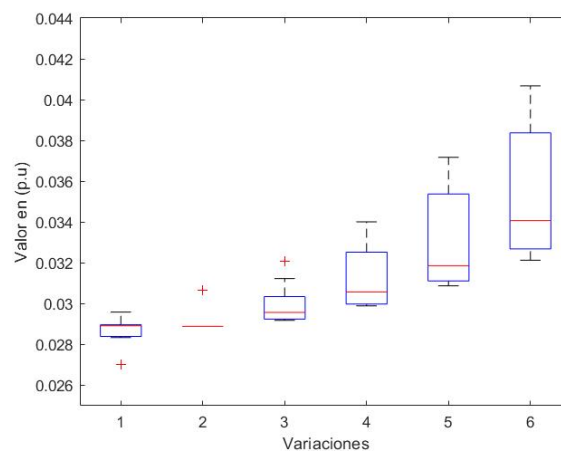


Figura 13. Búsqueda exhaustiva e implementación de la desviación objetivo en el software Matlab.

La primera variación siendo el caso inicial, presenta datos muy cercanos al cero, no obstante, muestra una variación existente entre sus datos, lo cual genera un dato de desviación media. La segunda variación presenta 0 desviación, por lo cual solo se muestra como una línea continua, en comparación con las demás variaciones aplicadas, las cuales muestran un valor de desviación, con límites inferiores y superiores.

Pese a que la segunda variación no muestra una desviación, el caso inicial presenta un valor más cercano a 0, el cual será implementado para realizar la incorporación de compensador en su línea de transmisión, este caso es en la barra 14, siendo su línea de transmisión desde la barra 13 hasta la barra 14.

#### 4.4 Implementación de la red neuronal con la función objetivo.

La desviación objetivo brinda un claro vistazo a cuál es el lugar más factible para implementar el compensador, no obstante, los datos analizados se ingresan a la red neuronal, al igual que los datos de salida existente. Cada red neuronal presenta una pequeña desviación o un pequeño error, propios de la red, dichas desviaciones

pueden ser graficadas con la intervención del software Matlab, teniendo como resultado tres gráficas indispensables: performance, gradiente e histograma de error. Estas graficas varían con relación a las veces que se corra el algoritmo, debido a que es un proceso estocástico.

Con la implementación de la figura 14 se logra obtener una forma gráfica de como fue el entrenamiento de la red neuronal, con lo cual se obtiene que el mejor valor de entrenamiento fue la época 10.

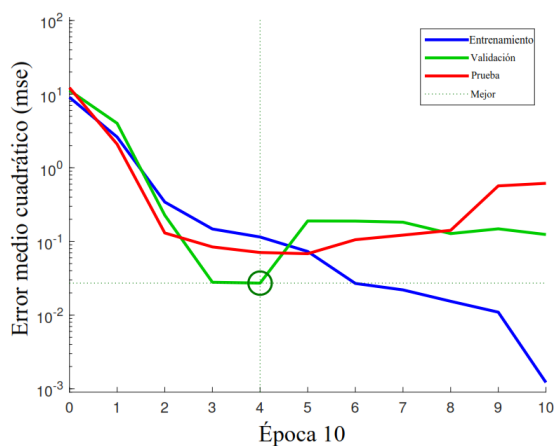


Figura 14. Momento de actuación de la red neuronal.

El cálculo de la gradiente es indispensable para cualquier problema, mediante la gradiente se logra determinar las variaciones existentes en el sistema, la figura 15 nos muestra la gradiente existente en la época 10.

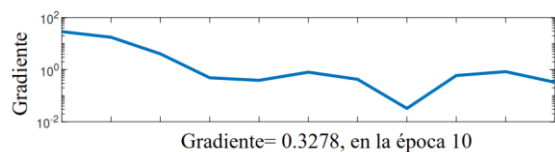


Figura 15. Gradiente resultante de la red neuronal.

Toda red neuronal consta de un error al momento de analizar datos, esto se denomina histograma de error, en el cual se logra considerar si el sistema presenta una optimización o no. Si el valor resultante del histograma de error es cercano a 0, se define que el resultado es óptimo, mientras el valor resultante se aleje más del 0, el dato obtenido no será óptimo.

La figura 16 nos muestra el histograma de error de la red neuronal analizada, para lo cual, el resultado de este error es de 0.05805 alrededor de 120 datos analizados

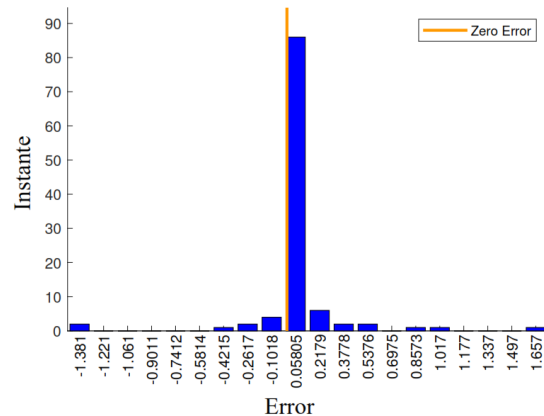


Figura 16. Histograma de error de la red neuronal.

## 4.5 Comprobación

Para proceder a verificar si la red neuronal funciona, es necesario plantear una comprobación, en la cual se ingresan nuevos datos totalmente diferentes a los datos de ingreso originales, es decir se ingresa datos desconocidos. Y así lograr realizar una desviación de los datos existentes y los datos ingresados y comprobar el aprendizaje de la red.

### 4.5.1 Análisis bajo 6 datos (Línea de transmisión 13-14)

Al ingresar datos desconocidos al sistema, la red neuronal brinda nuevos resultados en base a los resultados ingresados inicialmente, los nuevos resultados presentan variaciones en sus decimales, los cuales pueden ser representados en un diagrama. La figura 17 muestra la desviación de los nuevos datos de salida ante un caso resumido, es decir, línea de transmisión 13-14.



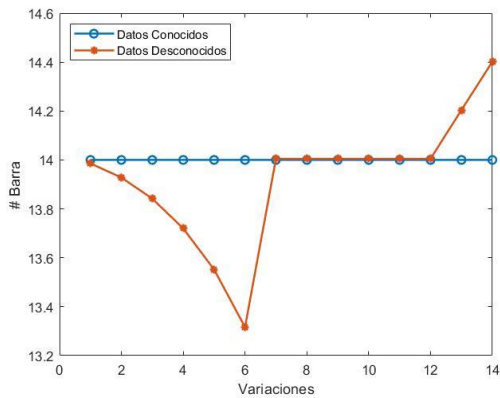


Figura 17. Variación de resultado de datos iniciales vs datos desconocidos, en la línea de transmisión 13-14.

Cada resultado brindado por la red neuronal consta de una pequeña variación, en relación con los datos originales de ingreso. Mientras menor sea la desviación existente, más verídica será la respuesta resultante. La figura 18 muestra una gráfica porcentual de la desviación existente en los nuevos resultados brindados por la red. En la cual, la escala de la desviación de la red se encuentra en el rango de 0.5% a -0.2 %.

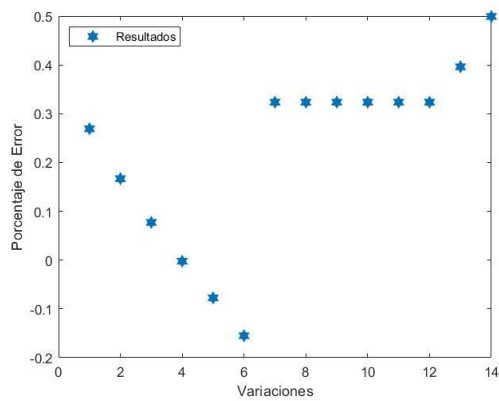


Figura 18. Desviación existente con la red neuronal, expresada en valor porcentual, reducido.

#### 4.5.2 Análisis bajo 54 datos (Todas las líneas)

Es indispensable realizar un análisis amplio ante los resultados de los nuevos datos desconocidos. Para lo cual se realiza una representación gráfica de los datos de salida existente (54 datos de salida) ante los datos desconocidos (54 datos desconocidos).

Existe una pequeña variación con relación a la respuesta del algoritmo, tal y

como se muestra en la figura 19 no obstante, la variación ayuda a determinar cuál es la línea de transmisión óptima para implementar el compensador.

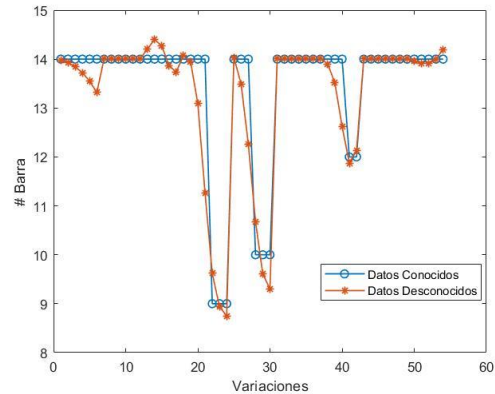


Figura 19. Variación de resultado de datos iniciales vs datos desconocidos, en todas las líneas de transmisión.

Si la respuesta se encuentra en el orden de los decimales, se escoge el máximo o mínimo para seleccionar la barra. Si el decimal existente es mayor a punto 5, se realiza el máximo superior, por ende, se escoge el número superior (barra superior).

El análisis porcentual de los 54 datos desconocidos ingresados, ronda en el rango de -4 % hasta el 4 %. La figura 20 muestra el análisis porcentual mencionado.

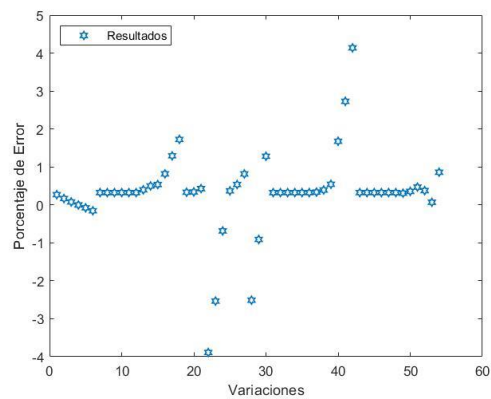


Figura 20. Desviación existente con la red neuronal, expresada en valor porcentual, para el análisis global.

#### 4.6 Validación de otros parámetros eléctricos

Es indispensable realizar un análisis amplio de diversos parámetros eléctricos al momento de implementar un compensador serie síncrono estático SSSC,

independientemente de la capacidad de este. Los parámetros adicionales por analizar son: ángulo del voltaje y factor de potencia, correspondientes a cada barra.

Para verificar que la solución planteada sea coherente, se plantea una comparativa entre los valores originales del sistema y los valores resultantes a la implementación del compensador.

La tabla 4 muestra los valores iniciales de ángulo y factor de potencia versus los valores obtenidos en la implementación del compensador.

Tabla 4. Comparativa de valores eléctricos entre caso base y caso compensado.

Caso Base		# Barra	Caso Compensado	
CosØ	Ángulo (°)		Ángulo (°)	CosØ
1.000	0.001	<b>1</b>	0.001	1.000
0.995	-4.980	<b>2</b>	-4.980	0.995
0.980	-21.811	<b>3</b>	-21.788	0.980
0.999	-12.732	<b>4</b>	-12.717	0.999
1.000	-8.780	<b>5</b>	-8.780	1.000
0.998	-14.401	<b>6</b>	-14.401	0.998
1.000	-15.478	<b>7</b>	-15.360	1.000
1.000	-13.360	<b>8</b>	-13.360	1.000
0.989	-18.435	<b>9</b>	-18.156	0.989
0.999	-17.780	<b>10</b>	-17.594	0.999
1.000	-14.790	<b>11</b>	-14.790	1.000
1.000	-15.475	<b>12</b>	-15.475	1.000
0.999	-15.160	<b>13</b>	-15.160	0.999
0.999	-19.645	<b>14</b>	-18.954	1.000

Los parámetros de factor de potencia y ángulo de voltaje nos ayudan a visualizar si existe alguna deformación en el sistema, al momento de implementar el compensador SSSC de 10 MVA. Mediante la tabla 8 se determina que el sistema no presenta afectaciones, debido a que los valores de factor de potencia se encuentran casi idéales

y los valores de ángulo, en su mayoría, mantienen sus características iniciales.

## 5 Conclusiones

El sistema de 14 barras IEEE consta de 9 barras en el rango de transmisión, las cuales son: barra 4, barra 5, barra 7, barra 9, barra 10, barra 11, barra 12, barra 13 y barra 14. Estas barras presentan un perfil de voltaje de: 1.019, 1.02, 1.044, 1.028, 1.032, 1.057, 1.046, 1.05 y 1.019, correspondientemente. No obstante, para realizar el presente trabajo, fue necesario adecuar el sistema con la implementación de nuevas cargas, logrando así reducir el perfil de voltaje original. Con la finalidad de que el sistema no muestre sobre voltajes y sea tentativo la implementación de un compensador.

Para poder modelar el compensador SSSC existe una característica propia a considerar, siendo este una simulación fasorial, para la cual debe estar aplicada a un sistema de barras IEEE que sea capaz de ser simulado de forma fasorial, sin presentar ningún inconveniente en su flujo de potencia. El compensador SSSC debe ser aplicado de forma serial en la línea de transmisión, tomando en consideración la barra más afectada ante un bajo perfil de voltaje.

La variación de carga permite obtener una alta cantidad de datos, los cuales sirvieron para poder alimentar y entrenar a la red neuronal. Para poder obtener los datos de salida de la red neuronal se aplicó la desviación objetivo, extraída de una búsqueda exhaustiva, lo cual brindo valores matemáticos óptimos donde se podrá implementar el compensador SSSC de 10 MVA. La desviación objetivo resultante de la variación 2 en todas las barras, presento el valor más cercano a cero "0", el cual es: 0.029.

A pesar de obtener resultados considerables con el análisis de la desviación objetivo, la red neuronal artificial presenta un resultado óptimo para el ingreso de los 54 datos desconocidos, teniendo una desviación de error en el rango

de -4% hasta 4%. Una característica fundamental de la red artificial neuronal es su autoeducación, esta característica es el motivo principal por el cual se considera efectivo el valor resultante de la red neuronal y no el valor resultante matemático de la desviación objetivo. No obstante, dichos valores tienden a ser semejantes.

El flujo de potencia circulante por las líneas de transmisión es un valor indispensable para colocar el compensador SSSC, debido a que el compensador se encuentra en la capacidad de redistribuir el flujo de potencia, por ende, se implementa el compensador en la línea de transmisión 13-14 y no en la 9-14, ya que, los valores de flujos de potencia existentes en la línea de transmisión 13-14 son superiores a los valores de flujo de potencia de la línea de transmisión 9-14.

### 5.1 Trabajos futuros

A pesar de que los resultados obtenidos son muy efectivos para analizar una óptima ubicación de un compensador, es necesario realizar un estudio a profundidad de la red neuronal, esto se debe a que la red neuronal trabaja en dos dimensiones. Para un análisis de datos más completo es necesario mejorar el algoritmo de la red neuronal, en la cual se pueda entrenar la red con múltiples datos de ingreso y múltiples datos de salida.

## 6 Referencias

- [1] A. A. Kusuma, P. Agus Aditya Pramana, B. B. S. D. A. Harsono, and B. Sofiaro Munir, "Effect of Line Splitting by New Substation on 500kV Transmission Line Compensated at One End," *2019 1st Int. Conf. Cybern. Intell. Syst. ICORIS 2019*, no. August, pp. 62–67, 2019, doi: 10.1109/ICORIS.2019.8874913.
- [2] MERNNR, "Plan Maestro de Electricidad 2019-2027," *MERNNR Minist. Energía y Recur. No Renov. Energía y Recur. No Renov.*, no. Normativa, p. 390, 2019, [Online]. Available: <https://www.recursoyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>.
- [3] A. A. Kusuma, P. A. Aditya Pramana, and B. S. Munir, "Protection system failure on 150kV transmission line in java-bali grid due to fault current residual," *2019 Asia Pacific Conf. Res. Ind. Syst. Eng. APCoRISE 2019*, vol. 6, 2019, doi: 10.1109/APCoRISE46197.2019.9318875.
- [4] N. L. E. Cerinza, "Determinación de un modelo para líneas aéreas de transmisión de e.pdf," *Fac. Ing. Eléctrica*, no. Trabajo de Grado, 2019.
- [5] A. M. Khoiutanov and G. I. Davydov, "Reliability and Efficiency Increasing of the Half-Wave Power Transmission Lines," *2018 Int. Multi-Conference Ind. Eng. Mod. Technol. FarEastCon 2018*, pp. 21–24, 2018, doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602843.
- [6] J. Carrión, D. Orellana, M. Carrión, A. Vega, J. Tinitana, and R. Carvajal, "Fiabilidad de Redes Eléctricas," *Universdiad Nac. Loja*, vol. 0, no. Tesis, 2019.
- [7] Y. Liu, B. Wang, X. Zheng, D. Lu, M. Fu, and N. Tai, "Fault Location Algorithm for Non-Homogeneous Transmission Lines Considering Line Asymmetry," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 35, no. 5, pp. 2425–2437, 2020, doi: 10.1109/TPWRD.2020.2968191.
- [8] C. A. MORENO PÉREZ, "Ubicación óptima de svcs en sistemas eléctricos de transmisión para la compensación de potencia reactiva basada en programación no lineal entera mixta," *Trab. titulacion*, vol. 0, p. 37, 2018.

- [9] R. Resmi, V. Vanitha, E. Aravind, B. R. Sundaram, C. A. Raj, and S. Harithaa, "Detection, Classification and Zone Location of Fault in Transmission Line using Artificial Neural Network," *Proc. 2019 3rd IEEE Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Technol. ICECCT 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICECCT.2019.8868990.
- [10] E. Lasarte, "Entrenamiento de una red neuronal hardware desde MATLAB (Hardware in the loop)," no. Trabajo de Grado, p. 82, 2017, [Online]. Available: [http://oa.upm.es/45516/1/TFG\\_EDUARDO\\_LASARTE\\_ZAPATA.pdf](http://oa.upm.es/45516/1/TFG_EDUARDO_LASARTE_ZAPATA.pdf).
- [11] L. Pumisacho and C. Barrera, "Modelación y simulación de líneas de transmisión considerando múltiples fases y el efecto de retorno por tierra," *Univ. Politécnica Sales.*, no. Trabajo de Grado, p. 31, 2019, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18030>.
- [12] N. Sanguano and C. Barrera, "Evaluación de la confiabilidad del sistema de generación y transmisión considerando fallas de causa común en líneas y el método monte carlo," *Trab. titulación*, vol. 0, p. 54, 2021.
- [13] M. P. Flores, J. G. Torres, J. H. Rodríguez, and A. M. Alcaraz, "Confiabilidad operativa de sistemas para compresión de gas y generación eléctrica en complejos petroleros," *Inf. Tecnol.*, vol. 21, no. 3, pp. 13–25, 2020, doi: 10.1612/inf.tecnol.4366aybit.09.
- [14] Andres Seastian Ganan Gainza, "Operación resiliente en redes de distribución eléctrica soterrada ante contingencias n-1 considerando criterios de calidad y confiabilidad," *Univ. Politec. Sales. sede Quito*, p. 57, 2019.
- [15] G. A. Gómez-Ramírez, "Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia TT - Evolution and Trends of Indexes of Reliability in Electrical Systems of Power," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 29, no. 2, pp. 3–13, 2017, [Online]. Available: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822016000200003&lang=es%0Ahttp://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n2/0379-3982-tem-29-02-00003.pdf](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822016000200003&lang=es%0Ahttp://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n2/0379-3982-tem-29-02-00003.pdf).
- [16] D. Lauria and S. Quaia, "Transmission Line Loadability Increase through Series Compensation," *2018 Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion*, pp. 1019–1024, 2018.
- [17] P. A. Achig and D. Carrión, "Compensación óptima de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión mediante búsqueda armónica," *Univ. Politec. Sales. sede Quito*, vol. 1, no. Trab. titulación, pp. 1–37, 2019.
- [18] J. Dong, W. Chen, and C. Xu, "Transmission line detection using deep convolutional neural network," *Proc. 2019 IEEE 8th Jt. Int. Inf. Technol. Artif. Intell. Conf. ITAIC 2019*, no. Itaic, pp. 977–980, 2019, doi: 10.1109/ITAIC.2019.8785845.
- [19] J. Toctaquiza and D. Arias, "Control Flujo de Potencia del SNI de Ecuador en base a FACTS y Sistemas WAMS," *Univ. Politec. Sales. sede Quito*, no. Tesis, p. 80, 2019.
- [20] U. Complutense, D. E. Madrid, J. Miguel, S. Ramos, and A. L. Montes, "Introducción a las redes neuronales artificiales Trabajo n de grado," *Tesis*, 2022.
- [21] S. K. Padhy, B. K. Panigrahi, P. K. Ray, A. K. Satpathy, R. P. Nanda, and A. Nayak, "Classification of Faults in a Transmission Line using

- Artificial Neural Network,” *Proc. - 2018 Int. Conf. Inf. Technol. ICIT 2018*, pp. 239–243, 2018, doi: 10.1109/ICIT.2018.00056.
- [22] M. Shahubi, M. Elsherif, and A. Elzowawi, “Investigation of Mutual Coupling Effect on Fault Location Using Fault Locator and Artificial Neural Network,” *2021 IEEE 1st Int. Maghreb Meet. Conf. Sci. Tech. Autom. Control Comput. Eng. MI-STA 2021 - Proc.*, no. May, pp. 452–457, 2021, doi: 10.1109/MI-STA52233.2021.9464459.
- [23] N. K. Singh and S. S. Badge, “A novel fault detection and classification technique for double circuit transmission line using Artificial Neural Network,” *2017 Int. Conf. Intell. Comput. Instrum. Control Technol. ICICICT 2017*, vol. 2018-January, pp. 1338–1342, 2018, doi: 10.1109/ICICICT1.2017.8342764.

## 6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 5. Matriz de estado del arte.

<b>MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES</b>																				
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTICULO	CITAS	Sistemas de transmisión eléctrica	Confabilidad del sistema eléctrico de potencia (SEP)	Compensación	Algoritmo de ubicación	Dimensionar compensador SSSC	Óptima ubicación	Mejora del perfil de voltaje	Valores de generación	Topología de la red	Líneas de transmisión	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo de rees neuronales	Incorporar SSSC	Búsqueda exhaustiva	Mejora del perfil de voltaje en las líneas de transmisión	Creación de una red neuronal	Óptima ubicación del compensador SSSC
1	2019	Effect of Line Splitting by New Substation on 500kV Transmission Line Compensated at One End	160	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
2	2019	Plan Maestro de Electricidad 2019-2017	0	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2019	Protection system failure on 150kV transmission line in java-bali grid due to fault current residual	112	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2019	Determinación de un modelo para líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica	281	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X
5	2018	Reliability and Efficiency Increasing of the Half-Wave Power Transmission Lines,	195	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	X	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>	X	X
6	2019	Fiabilidad de Redes Eléctricas	103	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2020	Fault Location Algorithm for Non-Homogeneous Transmission Lines Considering Line Asymmetry	205	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>
8	2018	Ubicación óptima de svcs en sistemas eléctricos de transmisión para la compensación de potencia reactiva basada en programación no lineal entera mixta	58	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	2019	Detection, Classification and Zone Location of Fault in Transmission Line using Artificial Neural Network	101	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X

**MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTICULO	CITAS	Sistemas de transmisión eléctrica	Confiabilidad del sistema eléctrico de potencia (SEEP)	Compensación	Algoritmo de ubicación	Dimensionar compensador SSSC	Óptima ubicación	Mejora del perfil de voltaje	Valores de generación	Topología de la red	líneas de transmisión	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo de rees neuronales	Incorporar SSSC	Búsqueda exhaustiva	Mejora del perfil de voltaje en las líneas de transmisión	Creación de una red neuronal	Óptima ubicación del compensador SSSC
10	2017	Entrenamiento de una red neuronal hardware desde MATLAB (Hardware in the loop)	138	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2019	Modelación y simulación de líneas de transmisión considerando múltiples fases y el efecto de retorno por tierra	37	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2021	Evaluación de la confiabilidad del sistema de generación y transmisión considerando fallas de causa común en líneas y el método monte carlo	200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	2020	Confiabilidad operativa de sistemas para compresión de gas y generación eléctrica en complejos petroleros	102	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	2019	Operación resiliente en redes de distribución eléctrica soterrada ante contingencias n-1 considerando criterios de calidad y confiabilidad	393	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	2017	Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia TT - Evolution and Trends of Indexes of Reliability in Electrical Systems of Poder	90	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	2018	Transmission Line Loadability Increase through Series Compensation	215	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	2019	Compensación óptima de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión mediante búsqueda armónica	325	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	2019	Transmission line detection using deep convolutional neural network	459	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2019	Control Flujo de Potencia del SNI de Ecuador en base a FACTS y Sistemas WAMS	111	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ÓPTIMA UBICACIÓN DE COMPENSADOR EN SERIE SINCRÓNICO ESTÁTICO (SSSC) A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTICULO	CITAS	Sistemas de transmisión eléctrica	Confiabilidad del sistema eléctrico de potencia (SEP)	Compensación	Algoritmo de ubicación	Dimensionar compensador SSSC	Óptima ubicación	Mejora del perfil de voltaje	Valores de generación	Topología de la red	líneas de transmisión	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo de rees neuronales	Incorporar SSSC	Búsqueda exhaustiva	Mejora del perfil de voltaje en las líneas de transmisión	Creación de una red neuronal	Óptima ubicación del compensador SSSC
20	2022	Introducción a las redes neuronales artificiales	87	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	2018	Classification of Faults in a Transmission Line using Artificial Neural Network	157	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2021	Investigation of Mutual Coupling Effect on Fault Location Using Fault Locator and Artificial Neural Network	103	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	2017	A novel fault detection and classification technique for double circuit transmission line using Artificial Neural Network	95	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>CANTIDAD:</b>				6	7	6	8	6	8	12	7	6	7	15	6	8	9	11	12	11



## 6.2 Resumen de Indicadores

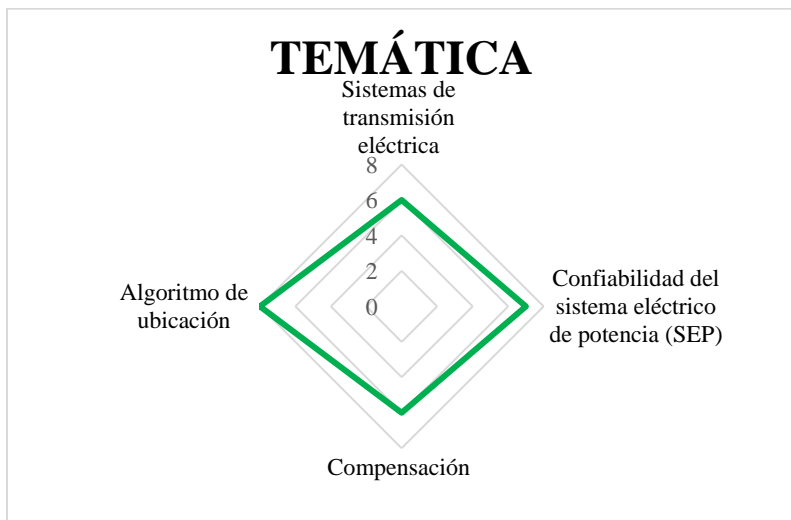


Figura 21. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

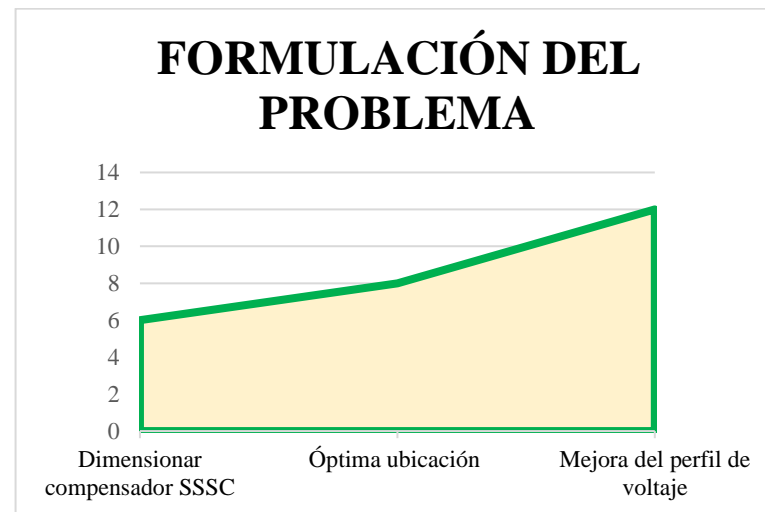


Figura 22. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

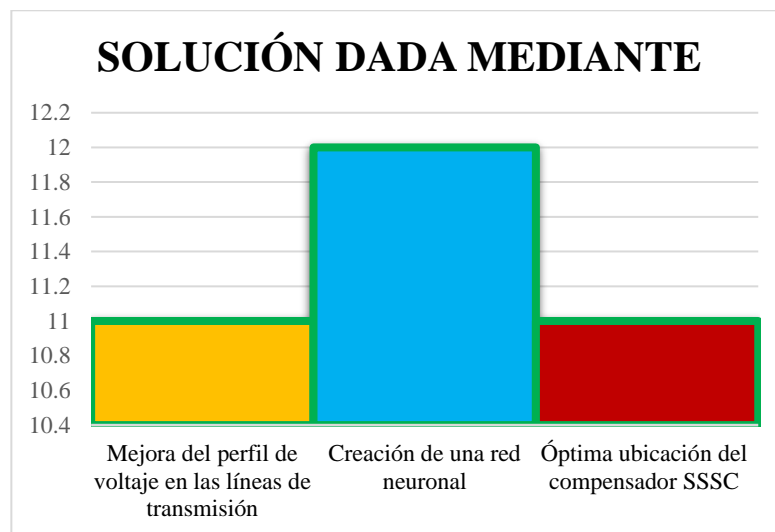


Figura 23. Indicador de solución - Estado del arte.

## 7 Anexos

Tabla 6. Datos de las barras del modelo original de 14 barras.

# Barra	Voltaje en (p.u)	Potencia Activa (MW)	Potencia Reactiva (Mvar)
1	1.060	232	-17
2	1.045	21.7	12.7
3	1.010	94.2	19
4	1.019	47.8	-3.9
5	1.020	7.6	1.6
6	1.070	11.2	7.5
7	1.062	0	0
8	1.090	0	0
9	1.056	30	16.6
10	1.051	9	5.8
11	1.057	3.5	1.8
12	1.055	6.1	1.6
13	1.050	13.5	5.8
14	1.036	14.9	5

9	0.973	-18.435	74.799	-42.090
10	0.984	-17.780	22.316	-14.381
11	1.057	-14.790	7.518	-3.867
12	1.030	-15.475	13.798	-3.619
13	1.050	-15.160	29.388	-12.626
14	0.958	-19.645	38.931	-13.064

Tabla 7. Nuevos datos para trabajar, del modelo de 14 barras.

# Barra	Voltaje en (p.u)	Ángulo ( $\alpha$ )	Potencia Activa (MW)	Potencia Reactiva (Mvar)
1	1.060	0.001	232	-17
2	1.045	-4.980	47.691	-27.911
3	0.904	-21.811	276.887	-55.848
4	0.992	-12.732	116.490	9.504
5	1.020	-8.780	17.532	-3.691
6	1.042	-14.401	24.770	-16.587
7	1.011	-15.478	0.000	0.000
8	1.090	-13.360	0.000	0.000