

**ÓPTIMA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN
ELÉCTRICA BASADO EN MODELOS AUTORREGRESIVOS DE MEDIA
MÓVIL**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA
ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
ÓPTIMA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN
ELÉCTRICA BASADO EN MODELOS AUTORREGRESIVOS DE MEDIA
MÓVIL**

**AUTOR:
MARJORIE ALEXANDRA ANGAMARCA GUAMÁN**

**DIRECTOR:
DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

Quito, febrero 2018

Marjorie Alexandra Angamarca Guaman

ÓPTIMA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA BASADO EN MODELOS AUTORREGRESIVOS DE MEDIA MÓVIL.

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Marjorie Alexandra Angamarca Guaman (Y'1992-M'02). Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Experimental e ISPED “Juan Montalvo” en la especialidad de Físico-Matemático. Egresada de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en localización de fallas en sistemas de transmisión eléctrica.
mangamarcag@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza (Y'1981-M'12). Se graduó de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2010 y en la actualidad está trabajando para lograr su título de doctor en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana – Medellín, Colombia. Es profesor e investigador en la Universidad Politecnica Salesiana – Quito, Ecuador. En la actualidad es miembro del grupo de investigación GIREI (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes – Smart Grid Research Group).
dcarrion@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

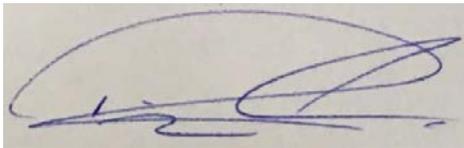
Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser 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
©2017 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo Diego Francisco Carrión Galarza declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Optima localización de fallas en sistemas de transmisión eléctrica basado en modelos autorregresivos de media móvil* realizado por Marjorie Alexandra Angamarca Guamán, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero 2018



.....

Diego Francisco Carrión Galarza
Cédula de identidad: 171370306-2

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Marjorie Alexandra Angamarca Guamán, con documento de identificación N° 172366831-3, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “Óptima localización de fallas en sistemas de transmisión eléctrica basado en modelos autorregresivos de media móvil ”, mismo que 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....

Nombre: Marjorie Alexandra Angamarca Guamán

Cédula: 172366831-3

Fecha: febrero 2018

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	1
Abstract.....	1
1. Introducción.....	2
2. Modelación.....	3
2.1 Modelos Autorregresivos (AR).....	3
2.2 Modelos de Media Móvil (MA).....	4
2.3 Modelo Autorregresivo – promedio móvil (ARMA).....	4
2.4 Modelo Autorregresivo y promedio móvil (ARIMA).....	4
3 Planteamiento del Problema.....	4
3.1 Sistemas propuestos para la localización de falla.....	5
3.2 Modelo para determinar la localización de falla.....	6
4 Análisis de Resultados.....	6
4.1 Caso de Estudio 1.....	7
4.2 Caso de Estudio 2.....	8
5 Conclusiones.....	11
6 Trabajos Futuros.....	11
Referencia.....	12
7 Estado del Arte.....	14

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de fallas en sistemas de transmisión	3
Figura 2. Sistema IEEE 14 barras	5
Figura 3. Sistema IEEE 30 barras	6
Figura 4. Señal de Onda Sin Falla.....	7
Figura 5. Modelo ARMA sin falla	7
Figura 6. Señal de Onda con falla	7
Figura 7. Modelación ARMA con falla	7
Figura 8. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 14 barras con su respectiva falla, desde la línea 1 hasta la línea 10	8
Figura 9. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 14 barras con su respectiva falla, desde la línea 11 hasta la línea 20	9
Figura 10. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 30 barras con su respectiva falla, desde la línea 1 hasta la línea 15	9
Figura 11. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 30 barras con su respectiva falla, desde la línea 16 hasta la línea 30	10
Figura 12. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 30 barras con su respectiva falla, desde la línea 31 hasta la línea 41	10
Figura 13. Tiempo en (s) respecto a la cantidad de falla en el sistema de 14 barras .	11
Figura 14. Tiempo en (s) respecto a la cantidad de falla en el sistema de 30 barras .	11

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Estado del Arte	16
Tabla 2. Resumen e indicadores del Estado del Arte.....	17

OPTIMA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA BASADO EN MODELOS AUTORREGRESIVOS DE MEDIA MÓVIL

Resumen

En el presente artículo se presenta un modelo de localización de fallas en sistemas de transmisión, que son los encargados de transportar la energía desde los centros de generación hasta el usuario final. Este documento se dirige a un método de autorregresivos de media móvil (ARMA), teniendo como preponderancia la localización de falla, el modelo ARMA se refiere a la unión de dos modelos que son los modelos autorregresivos (AR) y modelos de media móvil (MA), la conexión de estos dos modelos sirve para analizar las señales de corriente de las líneas de transmisión, permitiendo la óptima localización en el menor tiempo posible, dando la verificación en cualquier momento si la línea o las líneas del sistema sufrieron alguna falla.

Palabras Clave: falla, líneas de transmisión, localización de fallas, Modelo ARMA.

Abstract

In the present article a fault location model is presented in transmission systems, who are responsible for transporting the energy from the generation centers to the end users. This document is focused in method to autoregressive moving average (ARMA), it having as a preponderance the location of failure, the ARMA model refers to the union of two models that are autoregressive models (AR) and mobile average models (MA), the connect of these two models are used to analyze the current signals of the transmission lines, allowing the optimal location in the shortest possible time, giving verification at some time if the line or lines of the system suffered some failure.

Keywords: fault, transmission lines, fault location, ARMA model.

1. Introducción

En el sistema eléctrico de potencia (SEP), está conformado por cuatro subsistemas fundamentales: generación, transmisión, distribución eléctrica y comercialización; estos sistemas al funcionar en un nivel de tensión constante requieren la supervisión adecuada para brindar un servicio confiable, seguro y sin interrupciones[1].

Otros factores de anomalías en el SEP, son las maniobras de mantenimiento, la vegetación no adecuada hasta fenómenos naturales que llegan a provocar la salida elementos eléctricos a causa de daños o fallas incontrolables en las líneas de transmisión y así afectando la continuidad del servicio [1], [2].

Al tener demora en las restauraciones correspondientes después de una falla o pérdida de un elemento eléctrico por esta falla, es de gran ayuda las Unidades de Medición Fasorial (PMU's) ya que permiten obtener datos en tiempo online sobre el comportamiento dinámico y facilitando la toma de decisiones ante las anomalías ocurridas [3]–[5].

Es de gran importancia contar con métodos de localización de fallas confiables que permitan identificar el evento donde ocurrió la falla en el menor tiempo posible, ya que se caracterizan por tener grandes y distintas longitudes [2], [5], [6].

Existen muchos métodos que permiten la localización de la falla, mediante el principio de onda móvil y transformada wavelet (WT) el cual analiza señales locales no estacionarias, teniendo análisis local no solo de tiempo, sino también en frecuencia [7].

Existe método es basado en ondas progresivas a través de simulaciones en el Programa de Transitorios Alternativos (ATP) [8], también métodos basados en la similitud

medida de señales de voltaje, el cual se lo realiza en una terminal de la línea considerando el voltaje posterior a la falla [9], [10].

Existen algoritmos enfocados en la localización de la falla para el sistema de transmisión entre estos tenemos: el algoritmo Relief que es un método binario encarga de la estimación de atributos y también sirve para ramificar arboles de decisión; en cambio el algoritmo Prony (PA) es una combinación lineal de funciones exponenciales complejas [4], [11].

La utilización del método de búsqueda de árbol con PMU's basándose para la localización y selección de una línea de falla donde el algoritmo se basa en componentes simétricas de tensiones y corrientes [12], [13].

La medición de impedancia y de onda regresiva permite determinar la localización de falla [14], también métodos que se basan en perfiles de magnitud de voltaje en la línea de transmisión [15], por lo tanto, cada uno de estos métodos han ayudado con la localización de la falla [11].

Por otro lado se tiene el modelo ARMA es un modelo que está conformado por una parte autorregresiva (AR) y otra de media móvil (MA), es muy útil para representar una gran variedad de series utilizando pocos parámetros, siendo todo un proceso estocástico estacionario [16].

El modelo ARMA ha sido utilizada para análisis desde estimaciones de producción de un producto, análisis de series de tiempo en recursos hídricos hasta eléctricos, como determinar sistemas de alerta temprana de perturbaciones ionosféricas y la pronosticación de la velocidad del viento en ciertos países [17]–[19].

El modelo ARMA se lo utilizado para modelar el comportamiento del canal de desvanecimiento en un

sistema de comunicación inalámbrica [20].

Este artículo se ha enfocado en la localización de falla mediante la modelación ARMA, el cual permitirá la visualizar la línea de falla en los sistemas de transmisión eléctrica, para

que al final se haga una comparación entre sistemas sin falla y con falla. Para que el modelo sea más eficiente se requiere la ubicación óptima de las PMU's, permitiendo una localización más confiable de la falla en el sistema de transmisión[21], [22], [23],[24].

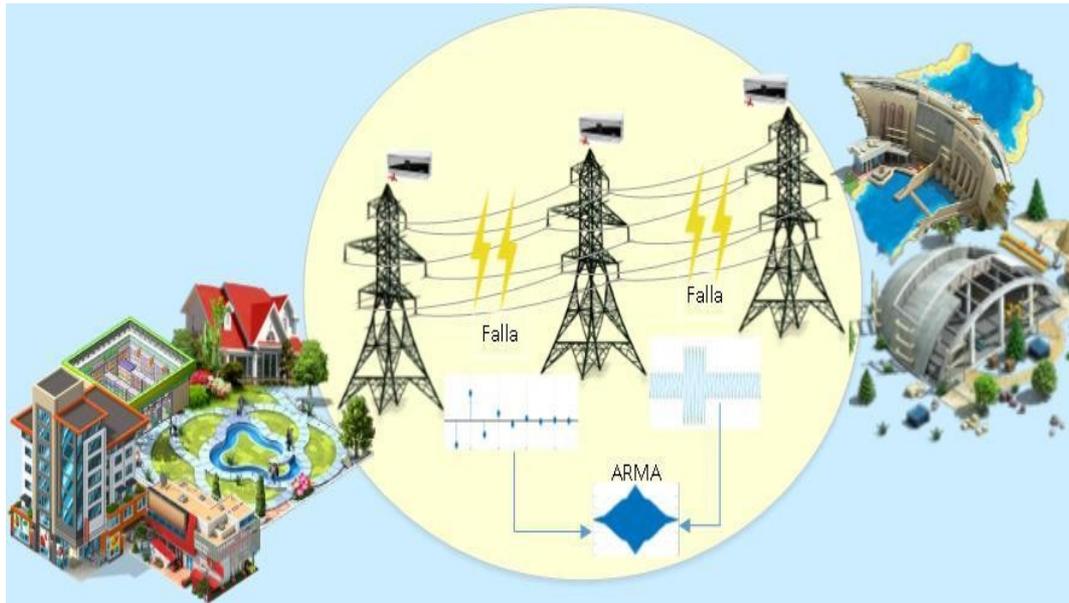


Figura 1. Localización de fallas en sistemas de transmisión

La modelación ARMA aportará al SEP una forma óptima de localización de falla en los sistemas que se analizarán de la IEEE de 14 y 30 barras; se verificará la falla que ocurre en alguna de las líneas del sistema, donde el modelo se observará con alteraciones en sus ondas sinusoidales, como se mostrará en las figuras.

A continuación, se organiza el documento de la siguiente manera: en la sección 2 se realizó la descripción del Modelo ARMA y su formulación.

En la sección 3 se expondrá el planteamiento del problema. En la sección 4 se analizan los resultados y para finalizar en la sección 5 se presentará las conclusiones de la investigación.

2. Modelación

La modelación de ARIMA, AR, MA y ARMA se rige a un estudio de métodos de predicción, series temporales que se

descomponen en dos partes: una que analiza la parte sistemática y otra parte aleatoria.

La primera parte siendo está la sistemática es el encargado de reunir la información, el cual se utilizará para la formación del modelo, es decir una serie temporal y la segunda parte siendo una parte aleatoria donde sus valores no tienen ninguna concordancia o dependan de sí mismo.

2.1. Modelo Autorregresivo (AR)

Es un modelo autorregresivo (p) integrado de media móvil, siendo una modelación estadística, es decir un proceso estocástico (ϕ_t) y es un modelo autorregresivo de orden finito p, $p \geq 1$.

No siempre va a ser estacionario teniendo una raíz unitaria cuyo coeficiente es X (t-1), como se muestra en la ecuación (1)

$$\phi_t = \phi_{t-1} + \epsilon_t \quad (1)$$

Estos modelos constan de un proceso aleatorio, tienen un orden de modelo AR (1), AR (2), ..., Etc. Este orden expresa la cantidad de observaciones retrasadas de la serie temporal analizada que intervienen en la ecuación (2)[25].

$$x_t = \phi_0 + \phi_1 x_{t-1} + \epsilon_t \quad (2)$$

2.2. Modelo de media móvil (MA)

En la modelación de media móvil (MA) es aquel que explica el valor a determinar basándose en un periodo de tiempo "t" y este en función de un término independiente y una sucesión de términos de error, este modelo se basa con la ecuación (3) [26].

$$x_t = \mu + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} \quad (3)$$

En la serie tenemos x_t es la combinación lineal de las perturbaciones recién ocurridas, donde los coeficientes θ son los parámetros del modelo que están asociados a cada cambio de x_t y μ es la media móvil, podemos decir que todo modelo de media móvil es estacionario[26].

2.3. Modelo autorregresivo y promedio móvil (ARIMA)

Los modelos de series analizados suponen que la serie de tiempo consideradas son débilmente estacionarias, es decir; que la media y la varianza de la serie de tiempo son constantes y su covarianza es invariante en el tiempo.

Al aplicar este modelo en una serie de tiempo original, es decir; es una

La utilización de modelos ARIMA como estrategia de predicción de series temporales, sólo tiene sentido si las características observadas en la serie estudiada, o más correctamente, en el proceso estocástico subyacente, perduran en el tiempo.

Esto implica que la serie sobre la que se aplica el análisis ha de cumplir necesariamente la condición de estacionariedad aunque sólo sea de forma débil [27].

2.4. Modelo Autorregresivo – promedio móvil (ARMA)

La modelación ARMA es un proceso estocástico y estacionario, estocástico por su conformación de variables aleatorias y estacionario si sus funciones de distribución conjuntas son invariantes con respecto al desplazamiento de tiempo.

Con el fin de proporcionar más flexibilidad para el modo de ajuste de los datos de hechos, se incluyen tanto las partes de autorregresión como las partes de media móvil en modo y es el modo de promedio móvil autorregresivo en la ecuación (4) [16], [26].

$$\nabla^d x_t - \phi_1 \nabla x_{t-1} - \dots - \phi_p \nabla x_{t-p} = a_t \quad (4)$$

serie de tiempo autorregresiva integrada de media móvil, donde denota el número de términos autorregresivos, el número de veces que la serie debe ser diferenciada para hacerse estacionaria y el número de términos de media móvil.

Se abrevia como ARMA (p q).
Donde p y q son el orden de las partes de autorregresión y las partes de media móvil en las ecuaciones (5)(6) [16], [26].

$$\phi_{\diamond} (\diamond = 1, 2, \dots, \diamond) \quad (5)$$

$$\theta_{\diamond} (\diamond = 1, 2, \dots, \diamond) \quad (6)$$

3. Planteamiento del Problema

Cuando ocurre una falla en las líneas de transmisión, la forma de onda de su corriente va a sufrir perturbaciones o

alteraciones, los cuales serán representados por picos altos durante el tiempo de falla que ha ocurrido en la línea de transmisión del SEP.

Estos tiempos de falla que ocurren son en tiempo muy pequeños, estos se encuentran en el rango de milisegundos.

El estudio de este método nos ayuda a observar el comportamiento del sistema, sea en su funcionamiento normal o en el caso que sucediera una falla, si fuera el caso de falla tendríamos los datos de localización de este en menor tiempo y así poder prevenir daños de equipos.

Podemos analizar estas alteraciones por motivos de falla, mediante modelos que nos ayudará a determinar la localización exacta de la falla en un sistema de transmisión.

Para la localización de la falla en las líneas de transmisión se ha realizado un modelo basado en modelos autorregresivos de media móvil (ARMA), es un modelo basado en series temporales, está conformado en dos partes una es la parte autorregresiva (AR) y otra es la media móvil (MA), el modelo "AR" es un filtro de respuesta infinita de impulsos (IIR) y el "MA" será un filtro de respuesta finita de impulsos (FIR), este modelo ARMA mediante regresión de mínimos cuadrados ayuda a encontrar los valores de los parámetros ingresados que minimicen el término de error.

Para la localización de falla hemos obtenido como referencia la ubicación óptima de PMU's en el sistema que se va a analizar, luego se tendrá las matrices de conectividad del sistema, en este tendremos el conteo de líneas de transmisión, con esta información podemos ingresar los datos a la modelación ARMA, el cual ha sido codificado en MATLAB y así obtener con esto la localización de la falla en las líneas de transmisión.

3.1. Sistemas Propuestos para la localización de falla

Para el análisis de localización de falla en las líneas de transmisión se ha tomado en cuenta el sistema de la IEEE de 14 barras que se presenta en la figura 2, en este sistema mediante la matriz de conectividad observamos que contiene 20 líneas de transmisión.

El sistema de la IEEE de 30 barras que se presenta en la figura 3, en este sistema encontramos mediante la matriz de conectividad que contiene 41 líneas de transmisión.

Todas estas líneas sean del sistema de 14 barras o el sistema de 30 barras serán analizados mediante el sistema ARMA y si al existir una falla la modelación nos permitir observar de manera inmediata la línea que obtuvo la falla en el sistema que se analizó.

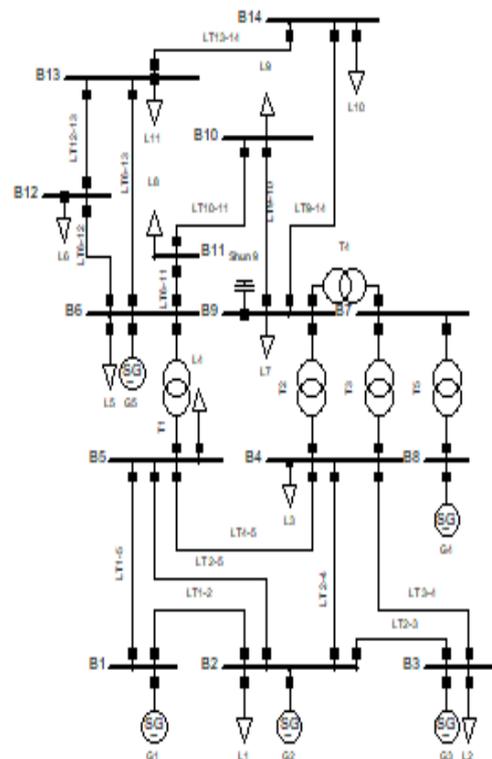


Figura 2. Sistema IEEE 14 barras

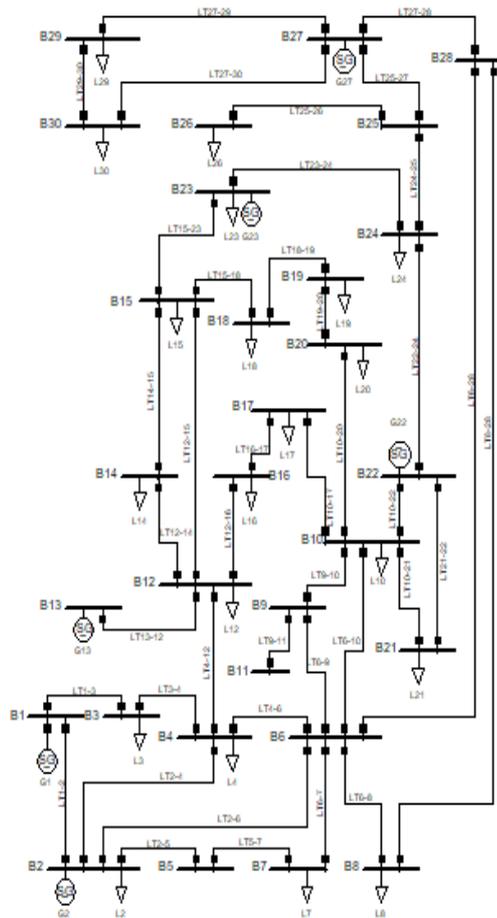


Figura 3. Sistema IEEE 30 barras

3.2. Modelo para determinar la localización de falla

Como primer análisis tenemos la ubicación óptima de PMU's como un requerimiento necesario para la localización correcta de la falla.

Ubicación óptima de PMU's

- Paso 1:** Buses: [1, 2, ..., N]
- N: cantidad de buses en el sistema
- Paso 2:** mc: [n x n] ∴ n: dimensión de la matriz de conectividad
- Paso 3:** Se realiza la conexión con GAMS para la respectiva optimización
- Paso 4:** Σ PMU's
- Paso 5:** Se visualiza la ubicación de PMU's en cada nodo.

Terminar

El modelo ARMA es un método que permite la localización de falla mediante impulsos el cual se verificará en las alteraciones de onda y mediante un filtro.

Modelo para la localización de fallas en líneas de transmisión usando modelación ARMA

- Paso 1:**
mc: [n x n]
∴ n: dimensión de la matriz de conectividad
- Paso 2:**
Cb= Σ [m]
m: elementos de la matriz triangular superior.
- Paso 3:**
normal= normal.mat
Normal: llamada de datos de sistema normal.
- Paso 4:**
For j= 1: Cb
Cb: suma de elementos de matriz menos la diagonal.
- Paso 5:**
ecal=0
ecal: error calculado
- Paso 6:**
While (1 –ecal) > 0.1
- Paso 7:**
a= [x, y]; b= [x, y, z]
a= [x, y]: coeficientes de AR
b= [x, y, z]: coeficientes de MA
- Paso 8:**
lin: # de línea
If j= lin
 Ifalla = 2:4
Else
 Ifalla=1
End
Ifalla: corriente de falla para el sistema.
- Paso 9:**
$$\sin\left(\frac{\sin(\omega t)}{\omega}\right) \sin(\omega t)$$
- ∴ t: límite de tiempo
- Paso 10:**
y = filter (b, a, e)
genera y crea impulsos de respuesta.
- Paso 11:**
Se genera y crea los impulsos de respuesta mediante un filtro con los datos de AR. MA y el paso 8 y volviendo al paso 6.
- Paso 12:**
Se procede a la gráfica de esa línea analizada y vuelve al paso 4.

Terminar

4. Análisis de Resultados

Para el análisis de resultados de la modelación ARMA, primeramente, se observará el comportamiento de una línea del sistema mediante una corriente en estado estable, en la figura (4).

Se muestra la simulación cuando su corriente de falla es nula, teniendo una sinusoidal sin alteraciones.

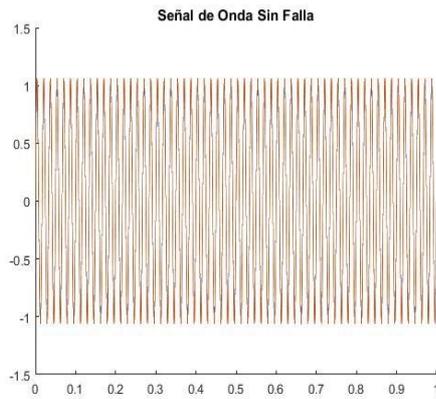


Figura 4. Señal de Onda Sin Falla

La modelación ARMA igualmente se lo observará en una línea del sistema, para poder verificar su comportamiento en este caso cuando la corriente no sufre perturbaciones y se lo mostrará en la figura (5).

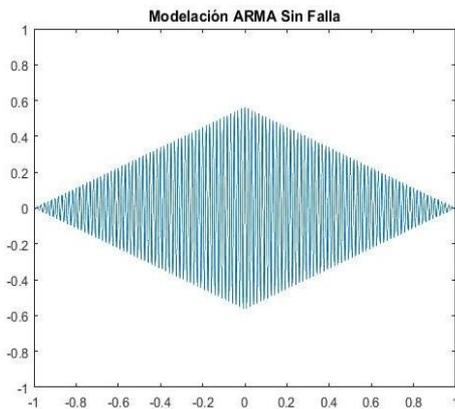


Figura 5. Modelo ARMA sin falla

Después de haber observado la sinusoidal y la modelación ARMA sin alguna alteración, a continuación, se ingresa una falla en una línea del sistema para poder verificar los cambios que se registran, como se observará en la figura (6).

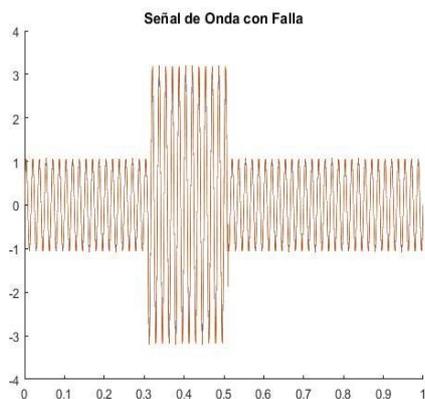


Figura 6. Señal de Onda con falla

Ya obtenida nuestra señal con falla se procederá a la implementación de la modelación ARMA en una línea del sistema cuando ocurre una falla tenemos la alteración del modelo como se muestra en la figura (7).

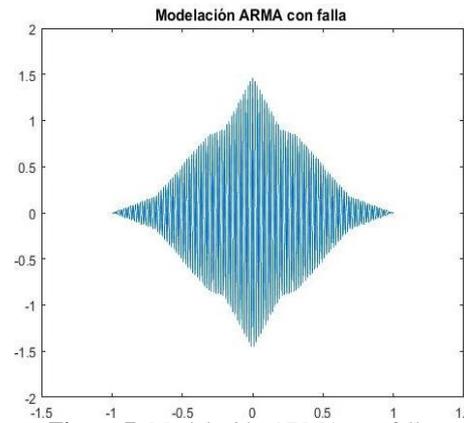


Figura 7. Modelación ARMA con falla

Así teniendo una comparación cuando la corriente se encuentra en estado estable y cuando ha sufrido una falla por mínima que sea, se verá reflejada en la modelación ARMA.

Para un análisis más completo se ha procedido a implementar la modelación ARMA en los sistemas de la IEEE de 14 y 30 barras, por lo tanto, se lo va a analizar en dos casos de prueba diferente.

4.1. Caso de estudio 1

El sistema escogido en el caso 1, es el IEEE de 14 barras, el cual nos indica línea por línea el análisis de la modelación ARMA, este método ha sido analizado para varias fallas en un mismo sistema, como se mostrará en las figuras (8) y (9), las fallas que se ha obtenido en el sistema son en las líneas 2, 8 y 17 del sistema.

Para la localización de falla tenemos en cuenta la alteración de su corriente en la línea del sistema por lo tanto se ha aplicado la modelación así permitiendo la visualización de la modificación del modelo.

4.2.Caso de estudio 2

El sistema escogido para el caso 2 es el IEEE de 30 barras, en el cual obtenemos 41 líneas de conectividad y en todas estas serán analizadas sus corrientes y la modelación, por consiguiente, en el momento que existe una alteración veremos la modificación de la corriente en un periodo de tiempo de igual manera la alteración en la modelación ARMA.

Como en el caso anterior se ha realizado de igual manera varias fallas

en distintas líneas del sistema, en el cual será presentado en tres figuras para mejor visualización de la falla, estas fallas se encuentran en las líneas 2, 20 y 38 del sistema.

Para la finalización de análisis de la modelación ARMA se ha tomado tiempos de respuesta. En el cual nos da tiempos en milisegundos, con esto se deduce que la ejecución del modelo para ayuda de localización de fallas en los sistemas es inmediata.

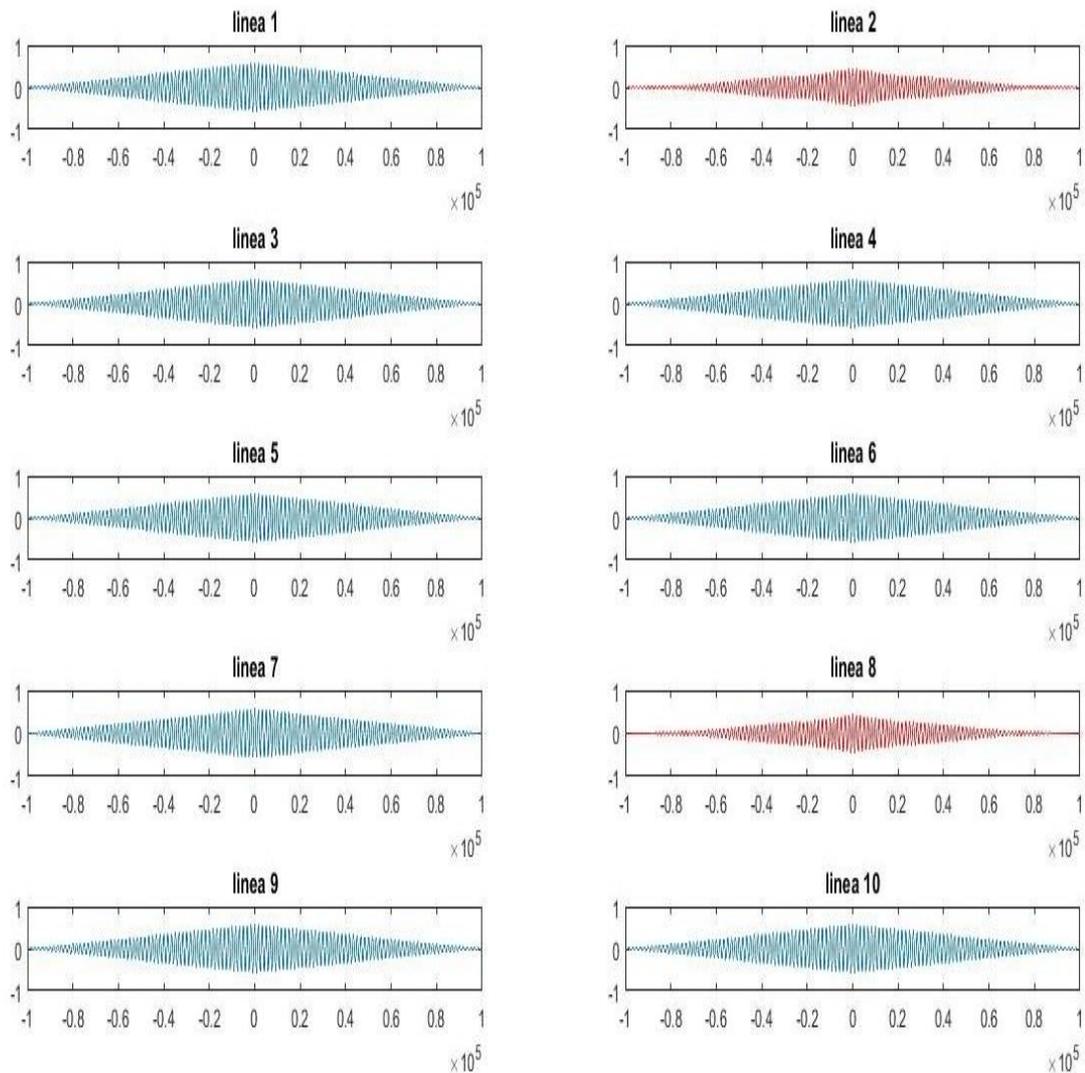


Figura 8. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 14 barras con su respectiva falla, desde la línea 1 hasta la línea 10

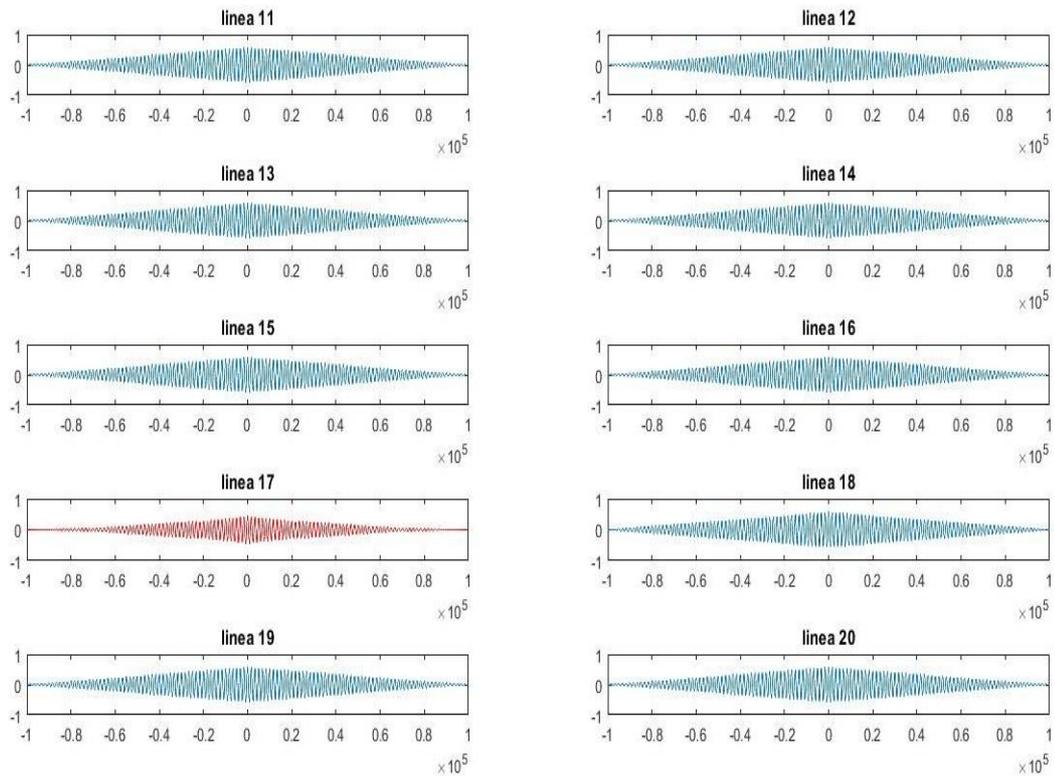


Figura 9. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 14 barras con su respectiva falla, desde la línea 11 hasta la línea 20

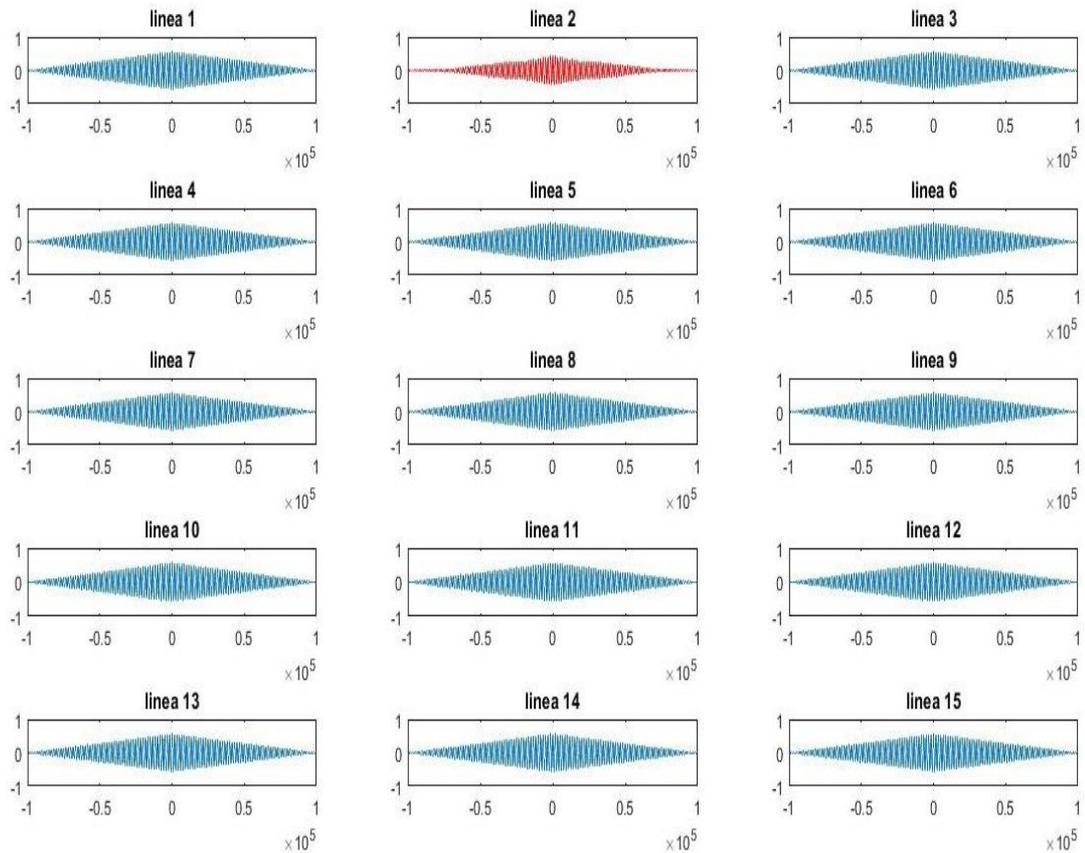


Figura 10. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 30 barras con su respectiva falla, desde la línea 1 hasta la línea 15

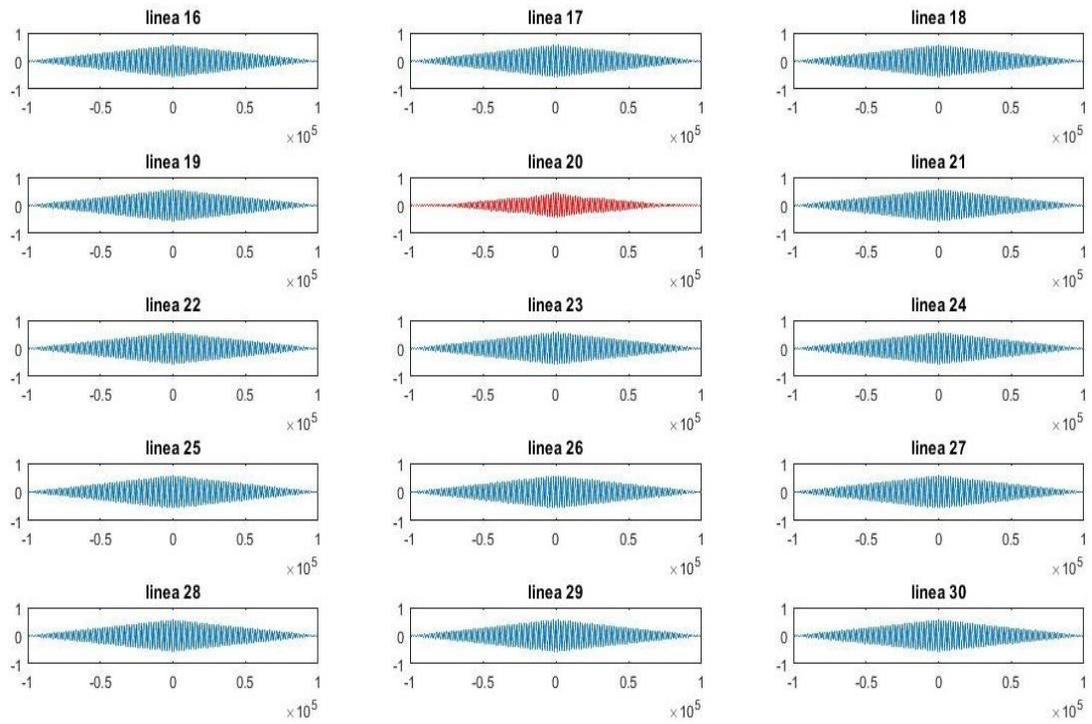


Figura 11. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 30 barras con su respectiva falla, desde la línea 16 hasta la línea 30

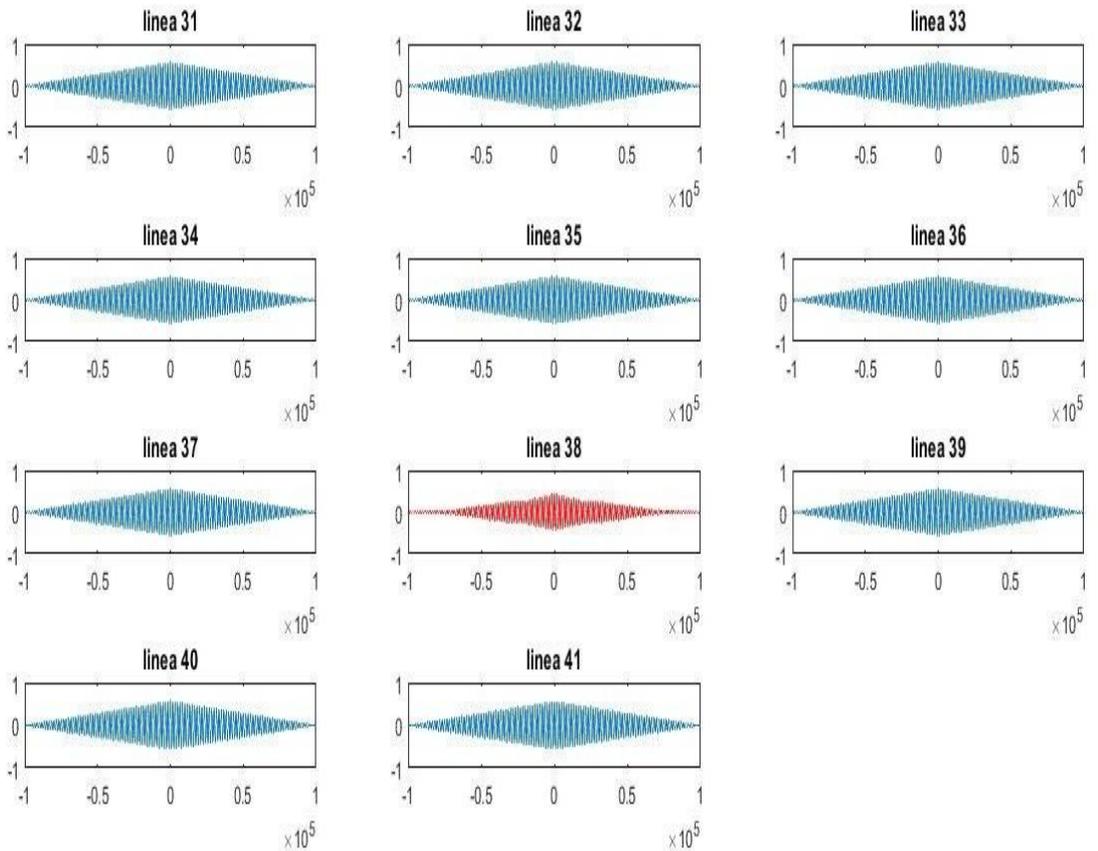


Figura 12. Modelación ARMA en el sistema IEEE de 30 barras con su respectiva falla, desde la línea 31 hasta la línea 41

Se analizó los tiempos de respuesta de acuerdo con la cantidad de fallas que se obtienen en cada sistema analizado, teniendo en cuenta que el análisis se realiza con la modelación ARMA.

Los tiempos de respuesta con respecto a la cantidad de falla en el sistema de 14 barras como se visualiza en la figura (13), se tiene que a medida que la cantidad de líneas en falla aumenta respecto al tiempo es directamente proporcional, teniendo variaciones de tiempo significativo desde que el sistema tiene 6 líneas en falla hasta que el sistema tiene 8 líneas en falla.

El sistema teniendo todas sus líneas en falla respecto con el tiempo de respuesta de acuerdo con el modelo ARMA es menor de 1 segundo.

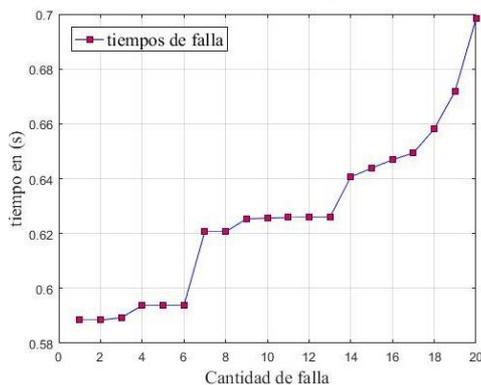


Figura 13. Tiempo en (s) respecto a la cantidad de falla en el sistema de 14 barras

Los tiempos de respuesta con respecto a la cantidad de falla en el sistema de 30 barras se visualizará en la figura (14), donde se obtiene que los tiempos de respuesta van directamente proporcional con la cantidad de líneas en falla.

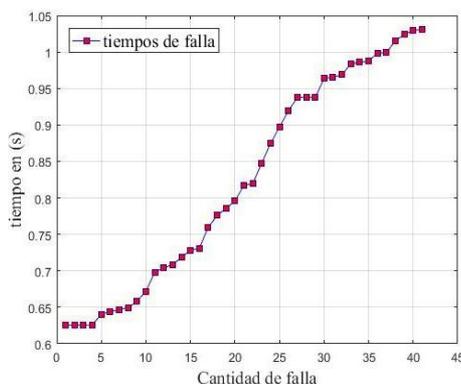


Figura 14. Tiempo en (s) respecto a la cantidad de falla en el sistema de 30 barras

5. Conclusiones

En el presente documento se muestra un modelo que permite localizar una falla basándose en los fasores de corriente, utilizando series temporales por medio de la modelación ARMA.

También se ha realizado casos de estudio en distintos sistemas de la IEEE, en cada caso de estudio se comprobó que el sistema puede tener una falla o multi fallas, siendo verificados con el modelo desarrollado. La modelación ARMA permite tener un análisis de estado dinámico más eficiente en los sistemas de transmisión.

El modelo tiene como requerimiento tener una ubicación óptima de las PMU's y tomando en cuenta la conectividad del sistema que se va a analizar, así basándose fundamentalmente en la optimización para localizar la falla en una línea mediante modelos autorregresivos de media móvil.

Una de las ventajas de este modelo es la posible integración con sistemas reales para localizar la falla de manera más óptima y en el menor tiempo; a lo igual que puede ser ocupado en cualquier tipo de falla sea monofásica, bifásica o trifásica.

La importancia del uso de herramientas computacionales y software especializado facilita el análisis de sistemas eléctricos de potencia bajo condición de falla y los tiempos de modelación a la vez son reducidos en comparación con otras metodologías y herramientas.

6. Trabajos Futuros

El presente documento da paso a futuras investigaciones tanto en la ubicación y distancia de una falla como su aplicación en sistemas de distribución.

Referencias

- [1] C. E. Cueva Inga, "Modelación para la localización de fallas en líneas de transmisión de doble circuito," Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [2] E. Benjamin Huerta Leija, "Localización de fallas en líneas de transmisión," Universidad Autónoma de Nuevo León, 2014.
- [3] P. F. Oña Oña, "Modelación de sistemas de protección para líneas de transmisión mediante el uso del algoritmo de Relief," Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [4] S. V. Gómez Albán, "Diagnóstico de fallas en sistema de transmisión por medio del algoritmo de Prony," Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [5] C. Mario and P. Hoyos, "Localización de Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia utilizando Unidades de Medición Fasorial ."
- [6] G. J. Mora J, Cortés C, "Técnica De Localización De Fallas Para Un Sistema De Potencia Radial , con cargas laterales desequilibradas y circuitos no homogéneos," *Sci. Tech. Año XI No 28 Oct. 2005 UTP*, vol. 2, no. 28, pp. 13–18, 2005.
- [7] M. Shivani and J. Suhas, "Location of Fault in Long HVDC Transmission Line Using Continuous Wavelet Transform," *Int. Conf. Signal Process. Commun. Power Embed. Syst.*, pp. 930–935, 2016.
- [8] F. V Lopes, B. F. Küsel, and K. M. Silva, "Traveling Wave-Based Fault Location on Half-Wavelength Transmission Lines," *Ieee Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 1, pp. 248–253, 2016.
- [9] M. Farshad and J. Sadeh, "A novel fault-location method for HVDC transmission lines based on similarity measure of voltage signals," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 28, no. 4, pp. 2483–2490, 2013.
- [10] L. Ji, C. Booth, A. Dysko, F. Kawano, and P. Beaumont, "Improved fault location through analysis of system parameters during autoreclose operations on transmission lines," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 6, pp. 2430–2438, 2014.
- [11] A. G. Toapanta Guamán, "Diagnóstico de fallos eléctricos en líneas de transmisión utilizando algoritmo de relief," Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [12] A. H. Al-Mohammed, M. M. Mansour, and M. A. Abido, "Application of Phasor Measurement Units (PMUs) for fault location in SEC-EOA interconnected network," *2010 IEEE Int. Energy Conf. Exhib. EnergyCon 2010*, pp. 435–439, 2010.
- [13] S. M. Brahma, "Fault location scheme for a multi-terminal transmission line using synchronized voltage measurements," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 2 II, pp. 1325–1331, 2005.
- [14] T. X. Huang, X. Z. Dong, S. X. Shi, and B. Wang, "Applicable range analysis of optimized single-terminal fault location algorithm," *APAP 2011 - Proc. 2011 Int. Conf. Adv. Power Syst. Autom. Prot.*, vol. 2, no. 2, pp. 831–835, 2011.
- [15] E. G. Silveira and C. Pereira,

- “Transmission line fault location using two-terminal data without time synchronization,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 1, pp. 498–499, 2007.
- [16] H. Kang, Y. Qi, G. Liu, J. Liu, and C. Li, “Application of the ARMA model in non-stationary vibration signals,” *Proc. 2012 Int. Conf. Qual. Reliab. Risk, Maintenance, Saf. Eng. ICQR2MSE 2012*, no. 2, pp. 751–754, 2012.
- [17] A. F. Bizrah and M. M. Almuahini, “Load reliability analysis using ARMA wind speed modeling,” *2015 IEEE 8th GCC Conf. Exhib. GCCCE 2015*, pp. 1–4, 2015.
- [18] D. V. Ratnam, M. Harshali, and M. V. G. Rao, “Forecasting of ionospheric time delays using ARMA model under Geomagnetic storm conditions,” *2nd Int. Conf. Signal Process. Integr. Networks, SPIN 2015*, no. 2, pp. 815–818, 2015.
- [19] G. D. Scheidereiter and O. R. Faure, “Aplicación de los Modelos Autorregresivos Integrados de Media Móvil (ARIMA) a las Series de Precipitaciones de Lluvia,” *Universidad Tecnológica Nacional*.
- [20] D. Mera and M. Ortigueira, “An Alternative Method for ARMA (p , q) Model Characterization of Multipath Fading Channels,” *Veh. Technol. Conf. (VTC Spring), 2015 IEEE 81st*, pp. 0–4, 2015.
- [21] E. Inga, D. Carrion, A. Aguila, E. Garcia, R. Hincapie, and J. W. González, “Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System based on MST Algorithm,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 5, pp. 2264–2270, 2016.
- [22] A. Esmailian, M. Mohseninezhad, M. Doostizadeh, and M. Khanabadi, “A precise PMU based fault location method for multi terminal transmission line using voltage and current measurement,” in *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 2011, pp. 1–4.
- [23] S. S. Geramian, H. A. Abyane, and K. Mazlumi, “Determination of optimal PMU placement for fault location using genetic algorithm,” in *2008 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, 2008, pp. 1–5.
- [24] D. Carrión, E. Inga, J. W. Gonzalez, and R. Hincapié, “Optimal Geographical Placement of Phasor Measurement Units based on Clustering Techniques,” *51st Int. Univ. Power Eng. Conf.*, 2016.

- [25] C. D. Eh and C. D. E. De, "AR Order Determination of a 2-D ARMA Model," *Proc. Eur. Control Conf. 2007*, pp. 3877–3882, 2007.
- [26] D. Gomez, "Comparacion de las metodologías Box Jenkins VS Redes Neuronales en el calculo de las perdidas comerciales en la empresa de Energia de Nariño - Cedenar S.A. E.S.P.," Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.
- [27] Escriche Fernández Santiago and Rincón Rivera David, "Predicción de tráfico en redes IP," Universidad Politécnica de Catalunya, 2011.