

**APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA DE WAVELET PARA UBICACIÓN
DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA DE WAVELET PARA UBICACIÓN
DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**AUTOR:
LUIS RUBÉN CRUZ ANDALUZ**

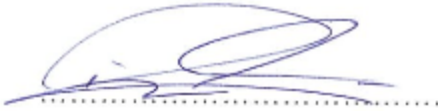
**DIRECTOR:
DIEGO CARRIÓN**

Quito, Julio 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Diego Carrión declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Aplicación de la transformada de wavelet para ubicación de fallas en sistemas eléctricos de potencia* realizado por Luis Rubén Cruz Andaluz, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio 2016



Diego Carrión

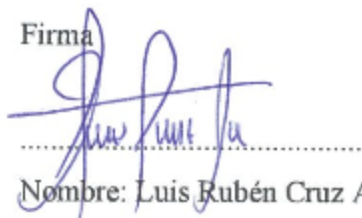
Cédula de identidad: 1713703062

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Luis Rubén Cruz Andaluz, con documento de identificación N° 1719412676, 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: “APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA DE WAVELET PARA UBICACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA”, 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: Luis Rubén Cruz Andaluz

Cédula: 1719412676

Fecha: Quito, julio 2016

ÍNDICE GENERAL

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	3
2.	<i>TRANSFORMADA DE WAVELE</i>	3
2.1	Wavelet Haar.....	4
2.2	Wavelet Morlet.....	4
2.3	Wavelet Sombrero Mexicano.....	4
2.4	Tipos de Transformada Wavelet.....	5
2.4.1	Transformada Wavelet Continua (CWT).....	5
2.4.2	Transformada Wavelet Discreta (DWT).....	5
3.	<i>LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN</i>	5
3.1	Definición de Localización de Fallas.....	5
3.2	Localización de Fallas por Onda Viajera.....	6
3.3	Fallas Basada en Análisis de Wavelet.....	6
4.	<i>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i>	6
4.1	Modelo de localización de Fallas Propuesto.....	7
5.	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	8
5.1	Determinación del número de filtros adecuados para el uso de la función wavelet.....	8
5.2	Verificación de ubicación de fallas con el modelo propuesto a diferentes modelos de voltaje.	7
6.	<i>CONCLUSIONES</i>	9
7.	<i>REFERENCIA</i>	10
8.	<i>ANEXOS</i>	11
9.	<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	
9.1	Figura 1. Esquema de la Transformada Wavelet.....	2
9.2	Figura 2. Wavelet Haar.....	3
9.3	Figura 3. Wavelet Mortet.....	3
9.4	Figura 4. Wavelet Sombrero Mexicano.....	4
9.5	Figura 5. Circuito equivalente de una línea de transmisión.....	6
9.6	Figura 6. Ingreso de datos de la L.T en estudio.....	6
9.7	Figura 7. Resultado de simulación para el uso de la función wavelet.	7
9.8	Figura 8. Simulación Caso 1.....	8
9.9	Figura 9. Simulación Caso 2.....	8

9.10	Figura 10. Simulación Caso 3.....	8
------	-----------------------------------	---

10. *ÍNDICE DE TABLAS*

10.1	Tabla I. Datos del sistema eléctrico a ser modelado.....	7
10.2	Tabla II. Resultados simulación Caso 1.....	8
10.3	Tabla III. Resultados simulación Caso 2.....	8
10.4	Tabla IV. Resultados simulación Caso 3.....	8

APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA DE WAVELET PARA UBICACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

Resumen

De manera general, las fallas suscitadas en los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) se caracterizan por ser de corta duración y grandes variaciones de magnitud, razón por la cual de no tomar medidas oportunas pueden llevar a un colapso completo del sistema. Las fallas en líneas de transmisión se deben muchas veces a razones técnicas y ambientales.

En el presente trabajo se determina la aplicación de la transformada de wavelet para ubicación de fallas en los SEP específicamente aplicado a líneas de transmisión, utilizando el principio de onda viajera. Para ello, se ha desarrollado una aplicación que simulara la determinación de la distancia a la que se encuentra la falla. Por último, un análisis de resultados demostrando la fiabilidad del análisis realizado por la transformada de wavelet planteado en tres casos, ubicando la falla en líneas de transmisión, con el fin de mostrar los resultados de sensibilidad a los cambios en los parámetros de la línea.

Palabras Clave: capacitancia, detección de fallas, inductancia, líneas de transmisión, onda viajera, transformada de wavelet.

Abstract

Generally, faults caused in Electrical Power Systems (EPS) are characterized to be short duration and have large magnitude variations, for this reason if do not take proper corrective actions, these faults could be able to lead an entire collapse of the electrical system. The faults of the transmission lines are often produced by technical and environmental reasons. In this context, the present paper proposes a practical application for the wavelet transform with regard to locate faults in electrical systems, specially applied on transmission lines by using the principle of traveling wave. For that, an application has been developed an application that simulates the determination of the distance to the fault happened. Finally, the result analysis of the three simulations done demonstrates that the wavelet transform has a high grade of reliability to locate faults, and also the sensitivity results in front of changes in the line parameters are showed.

Keywords: capacitance, fault detection, inductance, transmission lines, traveling wave, wavelet transform.

1. Introducción.

El inconveniente en la delimitación de fallas es tan antiguo como la industria de la energía. Al comienzo, la ubicación de fallas era hecha directamente por inspección visual en la línea [1]. Al momento de inspeccionar una línea visualmente, inmediatamente sea por tierra o por aire, resulta siempre extremadamente demorosa ya que está sujeta a circunstancias del campo y a las ubicaciones medioambientales del momento. Adicionalmente, la inspección visual no siempre avala que la falla será encontrada debido a que en muchos casos, las fallas no dejan prueba física. Los sistema de transmisión mejor proyectado está sujeto a que ocurran acontecimientos impredecibles que puedan llevarlo fuera de los límites planeados [2]. Cuando uno de estos disturbios ocurren en una línea, es necesario que los sistemas de defensa y control tomen acciones que prevengan la degradación del sistema y lo restauren a un estado estable en el menor periodo posible [3].

Uno de los primeros pasos en el proceso de rectificación es la localización de la propia falla. Sin embargo, en varios de los acontecimientos es extremadamente difícil demarcar de una forma directa donde ocurrió la falla, debido a que las líneas de transmisión inevitablemente pasan por divisiones extensas o de difícil acceso, y operan bajo condiciones ambientales difíciles [4]. Por lo tanto, el plazo requerido para una inspección física es demasiado largo. Investigaciones sobre técnicas de delimitación de fallas demuestran que un método preciso y rápido es de gran utilidad y valor práctico [5].

Este artículo busca cubrir las necesidades de localización de fallas en líneas de transmisión existentes en los sistemas eléctricos modernos. Para esto, el artículo se compone de dos partes, una

teórica y otra de simulación. En la parte teórica se presenta una definición general de la ubicación de fallas mediante la transformada de wavelet y se hace un análisis crítico de los diferentes métodos existentes; mostrando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos con sus respectivas aplicaciones [6].

En la parte práctica, se hace un análisis comparativo entre dos de los métodos más ampliamente utilizados, empleando fallas simuladas para probar la sensibilidad de los resultados ante cambios en la frecuencia de muestreo de los registros [7].

2. Transformada de Wavelet.

La transformada tiene esta noción elemental para transitorios que encontramos en la redes [8]. Esta norma fue desarrollada como opción para pasar los problemas de resolución de la Transformada de Fourier en tiempo reducido (STFT), haciendo una buena imagen de una señal tanto en tiempo y frecuencia de manera simultánea por lo que el estudio wavelet representa el subsiguiente paso a la STFT que es una regla a través de ventanas con demarcaciones de tamaño variable [9].



Figura 1. Esquema de la Transformada Wavelet.

Las funciones de la Transformada son generadas a partir de una representación wavelet básica como indica en el esquema de la Figura 1, por medio de traslaciones y ampliaciones. Estas funciones son centrales para la reconstrucción de la función original por medio de la transformada inversa [9]. De la siguiente manera es bastante general

la representación de la transformada, la descomposición de $f(t)$ en un conjunto de interpretaciones $\psi_{s,\tau}(t)$, que forman una base y son llamadas “wavelets” como indica en (1), definida como:

$$W_{f(s,\tau)} = \int f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt \quad (1)$$

Las wavelets son generadas a partir de la traslación y cambio de tabla de una misma representación wavelet $\psi(t)$, llamada “wavelet madre” [10]. Este renombre deriva de dos importantes propiedades del estudio wavelet y se define en (2) como:

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

En (2) el factor de escala es s y τ es el factor de traslación como se indica a continuación:

Traslación:

$$\psi(t-b) \quad (3)$$

Cambio de escala:

$$\frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t}{a}\right) \quad (4)$$

Traslación y cambio de escala:

$$\frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (5)$$

Existe también la familia denominada biortonormales, es utilizada para la reconstrucción de señales por disponer de una propiedad de fase lineal, se usa una $\psi(t)$ para la descomposición y otra para la reconstrucción de cualquier señal propuesta [11].

2.1 Wavelet Haar.

Haar expresa en (6) que existen wavelets definidas por la función:

$$S_t = \begin{cases} 1, & 0 < t < 0,5 \\ -1, & 0,5 < t < 1 \\ 1, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (6)$$

La función (6) es representada en la Figura 2.

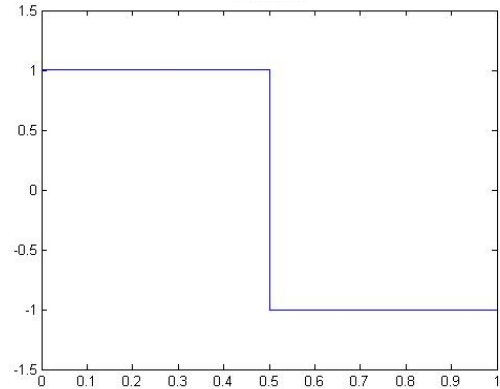


Figura 2. Wavelet Haar.

2.2 Wavelet Morlet.

También existe la ecuación dada por Morlet que se expresa como una onda compuesta por una exponencial:

$$S_t = \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) \cos(5t) \quad (7)$$

La Figura 3 muestra la ecuación (7), graficada en el software MATLAB.

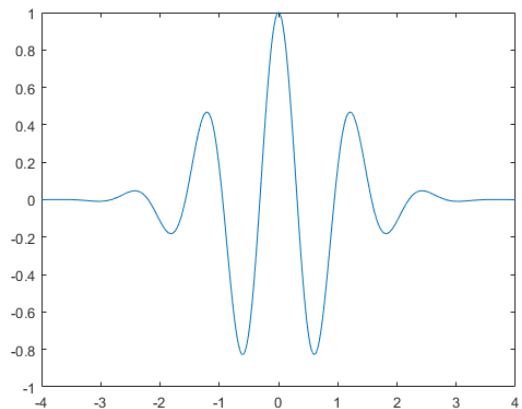


Figura 3. Wavelet Morlet.

2.3 Wavelet Sombrero Mexicano.

También la wavelet sombrero mexicano es la segunda derivada de la función de distribución Gaussiana definida como:

$$S_t = \frac{2}{\sqrt{3\pi^4}} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) (1-t^2) \quad (8)$$

Representada gráficamente en la Figura 4.

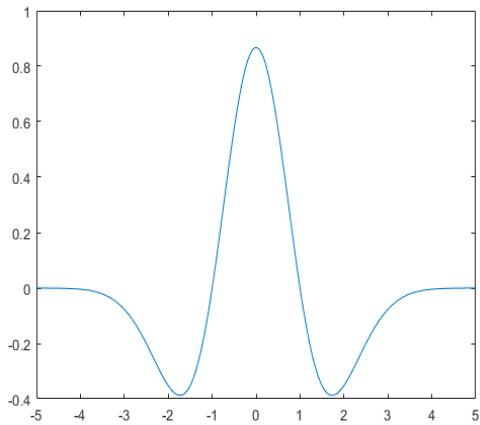


Figura 4. Wavelet Sombrero Mexicano

2.4 Tipos de Transformada Wavelet.

Se encuentran definidos dos tipos de transformadas que se denominan: Transformada Wavelet Discreta (DWT) y la transformada Wavelet Continua (CWT), que a continuación las nombraremos para identificar cada una de ellas [12].

2.4.1 Transformada Wavelet Continua (CWT).

La Transformada CWT está definida para una señal $S(x)$ en la siguiente ecuación:

$$CWT = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int w\left(\frac{x-b}{a}\right) s(x) dx; \quad (9)$$

$$a, b \in R \neq 0$$

En la ecuación (9) se muestra que a es la escala y b es la traslación en ambos números reales y $S(x)$ es la función a analizar [13].

En (9) puede apreciarse que si el coeficiente de escalamiento se hace cero, la wavelet no existiría y el análisis sea indeterminada [14].

2.4.2 Transformada Wavelet Discreta (DWT).

Sea la señal a analizar $f[n]$ una función discreta, para este caso de esta señal la

transformada wavelet está dada por la siguiente ecuación:

$$C_{[j,k]} = \sum_{n \in \mathbb{Z}} f[n] \psi_{j,k}[n] \quad (10)$$

Donde $\psi_{j,k}$ es una nueva Wavelet discreta definida en la siguiente ecuación[13].

$$\psi_{j,k}[n] = 2^{-j/2} \psi[2^{-j}n - k] \quad (11)$$

3. Ubicación de fallas en líneas de transmisión.

La delimitación rápida de una falla en una línea de emisión con una precisión aceptable permite proceder las acciones necesarias para restituir el suministro de energía, disminuyendo de esta forma el periodo de indisponibilidad y mejorando la confiabilidad del sistema eléctrico. Existen múltiples normas de situación de descomposturas en Líneas Aéreas de Transmisión (L.T) [15].

3.1 Definición de Localización de Fallas.

Al inicio, la ubicación de fallas era realizada directamente por inspección visual de la línea en el sitio del evento. Pero la inspección visual de una línea larga, ya sea por tierra o por aire, resulta siempre demorosa y está sujeta a las condiciones del terreno y a las situaciones medioambientales del momento. Adicionalmente, la inspección visual no siempre asegura que la falla será encontrada debido a que, en muchos casos, las fallas no dejan evidencia física [16].

Los métodos de ubicación de fallas son técnicas que buscan identificar con la mayor precisión posible, todas aquellas condiciones no comunes en el sistema que desvíen la corriente de la línea de transmisión provocando fallas al sistema. Estas técnicas son usadas antes de la inspección visual, de forma de

reducir el área de trabajo a una pequeña sección de la línea [17].

Según el tipo de dato usado para el análisis, los métodos de ubicación de fallas pueden ser clasificados en dos categorías: los que se basan en cálculo de impedancia y los que se basan en onda viajera. Este artículo abordará los métodos basados en onda viajera, los cuales pueden usar análisis de transformada de wavelet.

3.2 Ubicación de Fallas por Onda Viajera.

Los métodos utilizados para la ubicación de fallas basadas en ondas viajeras que se propagan desde el punto de la línea donde ocurrió una discontinuidad hasta el punto de medición en el extremo de dicha línea, esto tienen la medición del tiempo que toma el frente de onda. Es posible determinar la distancia que alcanzada el frente de onda si se conoce la velocidad con la que viaja la onda [18]. Todos estos métodos basados en onda viajera tienen una rápida respuesta y alta precisión. Sin embargo, existen también varios problemas técnicos insuperables.

La precisión para ubicar fallas en un SEP depende de la frecuencia de muestreo que es muy importante para determinar el lugar exacto del incidente. Debido a que la velocidad a que viaja la onda sobre la línea es casi la velocidad de la luz, para alcanzar una alta precisión es necesario una frecuencia de muestreo realmente alta. Por lo que se necesita de equipos complejos y costosos. Se encuentran varias dificultades para fallas ocurridas cerca del ángulo cero de la señal de voltaje debido a que si el voltaje es cero cuando la falla comienza, entonces no existirá un cambio abrupto en la continuidad del medio de propagación y será muy difícil su detección.

Los métodos de detección de fallas por onda viajera son muchos, sin embargo el

método para ubicación de fallas en SEP presenta una mejor eficiencia y son aplicable a casos como el que presenta el estudio.

3.3 Fallas Basada en Análisis de Wavelet.

La transformada de wavelet ha encontrado aplicaciones diferentes en el área de la ingeniería debido a su gran capacidad de analizar discontinuidades locales en las ondas. La transformada de wavelet fue aprovechada inicialmente en el campo de los sistemas de potencia para el descomposiciones de transitorios electromagnéticos [19].

La aplicación ideal en SEP para la transformada wavelet es detectar cuando llega el frente de onda al factor de proporción. Comparando dos de estos lapsos de llegada, es posible apreciar cuanto tiempo ha viajado el frente de onda, con lo que se puede saber la etapa a la falla [20].

4. Formulación del problema.

Al momento de suscitarse una falla en las líneas de transmisión de un SEP el comportamiento de las ondas de voltaje y corriente sufren variaciones abruptas caracterizadas por la presencia de picos crecientes o decrecientes a lo largo de toda su extensión. Estas variaciones se llevan a cabo en tiempos muy cortos, generalmente del orden de los microsegundos o milisegundos [10].

Por lo que su análisis se complica y obliga a la utilización de herramientas de gran exactitud para poder determinar los puntos exactos de variación. Como ya se detalló en el apartado anterior del presente trabajo, la transformada de wavelet puede ser utilizada para el tratamiento exhaustivo de señales hasta llegar a conocer sus componentes fundamentales. En el campo específico del análisis de fallas, esta información resulta útil para la determinación exacta del tiempo de suceso de la falla y por ende de la distancia aproximada en

donde se pudo haber presentado la misma. Tomando como base esto, se ha desarrollado un modelo de aplicación de fallas basado en la transformada de wavelet que incluye una interface gráfica para la detección de fallas aleatorias en MATLAB, el cual va ser descrito con detalle a continuación.

4.1 Modelo de localización de Fallas Propuesto.

A fin de facilitar la comprensión del modelo de ubicación de fallas propuesto, se ha dividido la explicación de las acciones que realiza en los pasos del algoritmo que se detalla a continuación:

Paso 1: en esta sección, buscamos parametrizar la línea de transmisión (L.T) a ser estudiado, para esto es importante considerar los parámetros buscados en la Figura 5, y que corresponde al circuito equivalente a un de una L.T.

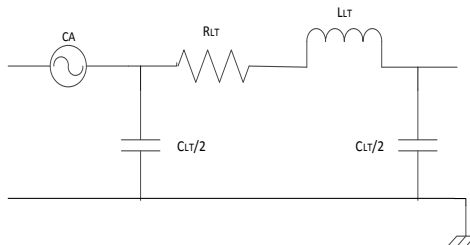


Figura 5. Circuito equivalente de una línea de transmisión.

Donde R_{LT} es la resistencia de la L.T, misma que se vuelve despreciable longitudes largas como aquellas que va ser analizadas a continuación, L_{LT} corresponde a la inductancia y C_{LT} la capacitancia.

Los valores de capacitancia e inductancia son propios y característicos del tipo de línea a ser analizada, adicional a estos es necesario también considerar los valores de voltaje y frecuencia del SEP en el cual trabaja la línea a ser analizada.

Por esta razón, estos valores deben ser ingresados por teclado en la interfaz

gráfica desarrollada para este modelo. La Figura 6 muestra cómo se realiza el ingreso de datos en la interfaz gráfica desarrollada.

Figura 6. Ingreso de datos de la L.T en estudio

Paso 2: en esta parte del modelo propuesto, se genera una falla aleatoria, es decir, sin importar su origen (técnico o ambiental), y que afectara a nuestro SEP a fin de poder realizar las simulaciones detalladas en el siguiente apartado de este análisis. Para la simulación de fallas aleatorias se considerado según lo expuesto en [21], que la frecuencia de muestreo debe ser de 1 [MHz] y esta es inyectada a la señal parametrizada mediante la generación de un valor aleatorio en el orden de los milisegundos y con una magnitud de ± 100 [V] del voltaje nominal del sistema eléctrico en cuestión.

Paso 3: una vez incorporada la falla en la L.T, utilizamos la transformada de wavelet para la ubicación de la falla, en base al cálculo de los tiempos de llegada de los frentes de onda según (12) [21].

$$d = \frac{1}{2}(T_2 - T_1) \left(\frac{1}{\sqrt{LC}} \right) \quad (12)$$

Donde d es la distancia a la falla, L y C son inductancia y capacitancia respectivamente del SEP, T_2 y T_1 son los tiempos de llegada de los dos primeros frentes de onda consecutivos dados para el mismo terminal de línea. también se calcula la velocidad de propagación de la onda (V) durante el evento de falla mediante la expresión (13) [22].

$$V = \left(\frac{1}{\sqrt{LC}} \right) \quad (13)$$

En esta aplicación se utilizó el comando wavedec, mismo que permite un análisis unidimensional multinivel mediante la descomposición de la señal a través del uso de filtros pasa bajos y altos [23].

Paso 4: finalmente la interfaz gráfica muestra los resultados obtenidos, así como también las gráficas de señal de voltaje con la falla aleatoria generada para el SEP y otra con el detalle de la magnitud en la falla y el tiempo total en el cual ocurre, entre los extremos de la línea en análisis en el siguiente algoritmo.

Algoritmo para ubicación de fallas con transformada de wavelet

Paso 1: Parametrización de la L.T. a ser analizada.

Paso 2: Datos de entrada para L.T y sistema eléctrico:

l_{LT} =Longitud de L.T. [km]	V_{sis} =Voltaje del Sistema [V]
l_{LT} =Inductancia de L.T. [H/km]	f_{sis} =Frecuencia del Sistema [Hz]
C_{LT} =Capacitancia de L.T. [F/km]	

Paso 3: Salidas:

Señal= Señal del sistema	fo2= frente de onda 2
tiempo_falla=	v= Vel.
Tiempo de falla	Propagación
senal(tiempo_falla)=	onda
Señal de falla	tdon= Tiempo de
fo1= frente de onda 1	propagación

Paso 4: Generación e inyección de una falla aleatoria.

```
senal=Vsis*sen(w*t)
tiempo_falla=round(rand(1)*1e5)
senal(tiempo_falla)=200
```

Paso 5: Ubicación de falla con transformada de wavelet.

```
[c,l]=wavedec(senal,2,'db4')
fo1=wrcoef('d',c,l,'db4',1)
fo2=wrcoef('d',c,l,'db4',2)
```

Paso 6: Detección del tiempo de falla.

```
[valor,t1]= max(fo1)
[valor,t2]= max(fo2)
```

Paso 7: Calculo de la velocidad de falla.

```
v=1/(ILT * CLT).^(1/2)
tdon= ILT /v
```

Paso 8: Gráfica de resultados.

Terminar

5. Análisis de resultados.

Para las simulaciones que serán presentadas a continuación se han utilizados datos descritos en la Tabla I que corresponden a una L.T de un SEP.

Tabla I. Datos del sistema eléctrico a ser modelado.

Datos	Valores
Frecuencia [Hz]	60
Inductancia [H/km]	0.93e-3
Capacitancia [F/km]	12.74e-4
Longitud [km]	200

A continuación se ha dividido esta sección en dos partes:

5.1 Determinación de la transformada adecuada para el uso de la función wavelet.

Para determinar la función adecuada se discriminó entre las wavelet Mortet y Haar para garantizar una mayor fiabilidad tanto en tiempo de ubicación de la falla como en precisión para la ubicación de incidente, se simularon dos casos aplicados a un alineamiento de transmisión de 500 [kV], el primero con wavelet Mortet y el otro con wavelet Haar. Para la primera simulación realizada el modelo propuesto calculó una distancia de falla 120 [km], mientras para el segundo caso de simulación se obtuvo 119.98 [km] ambas tuvieron tiempos de respuesta mayores respecto a la rapidez y precisión de wavelet de cuatro filtros. En la Figura 8 se muestra la falla simulada y el comportamiento de la misma para ambos casos de simulación.

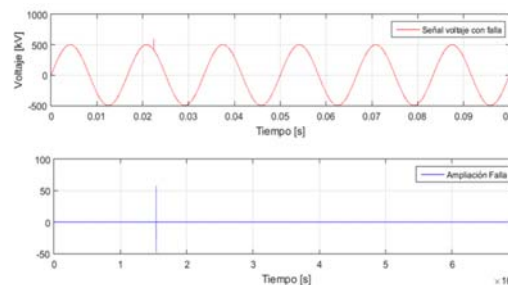


Figura 7. Resultado de simulación para el uso de la función wavelet.

5.2 Verificación de ubicación de fallas con el modelo propuesto a diferentes modelos de voltaje.

Para determinar la validez del modelo propuesto se han realizado tres simulaciones para líneas de transmisión con diferentes niveles de voltaje 138, 230 y 500 [kV]. Se ha conservado los valores de la Tabla I.

Caso 1: se generación de un falla transitoria para un línea de transmisión de 138 [kV], obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 9 y en la Tabla II.

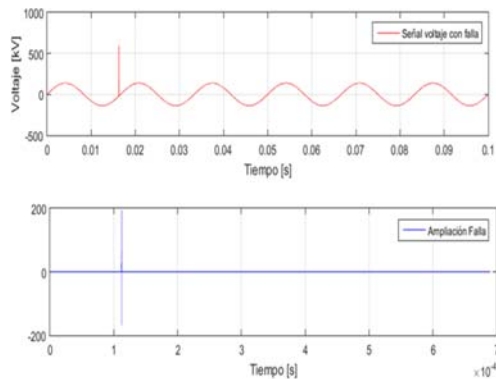


Figura 8. Simulación Caso 1.

En la parte superior de la Figura 9 se muestra el comportamiento de la señal de voltaje incluida la falla inyectada, mientras que en la parte inferior de la figura se aprecia una ampliación del detalle de la falla en relación con el tiempo total en el cual es transmitida

Tabla II. Resultados simulación Caso 1.

Datos	Valores
Velocidad onda viajera [km/s]	289942
Tiempo de falla [s]	0.00011216
Distancia detección de falla [km]	33.52

Caso 2: generación de un falla transitoria para un línea de transmisión de 230 [kV], obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 10 y en la Tabla III.

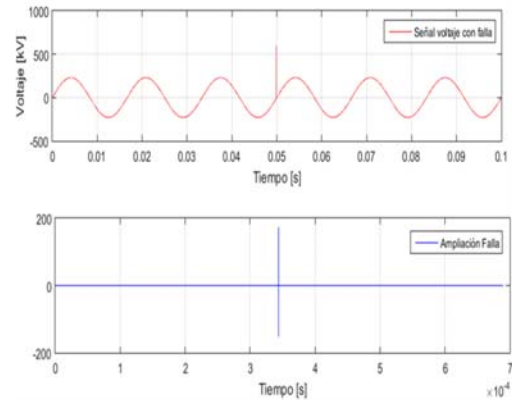


Figura 9. Simulación Caso 2.

Tabla III. Resultados simulación Caso 2.

Datos	Valores
Velocidad onda viajera [km/s]	289942
Tiempo de falla [s]	0.000343758
Distancia detección de falla [km]	99.67

Caso 3: generación de un falla transitoria para un línea de transmisión de 500 [kV], obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 10 y en la Tabla VI.

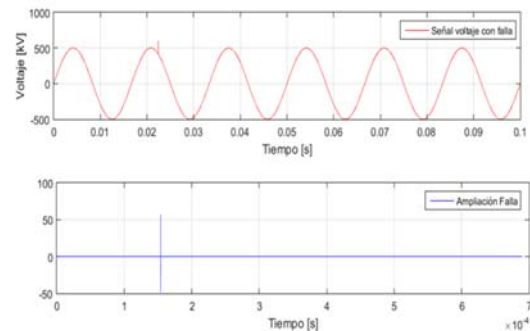


Figura 10. Simulación Caso 3.

Tabla IV. Resultados simulación Caso 3.

Datos	Valores
Velocidad onda viajera [km/s]	289942
Tiempo de falla [s]	0.000154376
Distancia detección de falla [km]	44.76

6. Conclusiones.

Se realizó las pruebas utilizando usando uno y cuatro filtros pasa bajos y pasa altos donde se logró determinar que a partir del uso de cuatro filtros en los resultados obtenidos no se tiene variaciones significativas para la determinación de la ubicación de la falla. Para futuros estudios se debería usar un número mínimo de cuatro filtros para tener una mejor precisión de la ubicación de fallas en sistemas eléctricos de potencia para líneas de transmisión.

En todos los casos simulados, se verifico que la velocidad de la propagación de la onda de falla alcanza valores muy cercanos al de la velocidad de la luz. Desarrollar trabajos que utilicen modelos como el propuesto para la toma de decisiones y mitigación de los efectos de fallas en líneas de transmisión y en general de estabilidad de un SEP. La transformada de wavelet, permite una reconstrucción efectiva de señales con mucha presencia de ruido o variaciones, y se perfila como una gran ayuda de aplicaciones en tiempo real.

Modelos propuestos como el presentado en este artículo nos brinda una herramienta con un grado de precisión para la ubicación de fallas. Sin embargo las distancias obtenida no pueden ser tomadas como definitivas, es importante que con los datos obtenidos en las líneas de transmisión sean complementadas con inspecciones físicas en campo de las SEP para determinar el punto exacto de la fallas y las causales produjera el incidente.

7. Referencias.

[1] Y. Wang, L. Xue, M. Pedram, and C. Naehyuck, "Online Fault Detection and Fault Tolerance in Electrical Energy Storage Systems," *PES Gen. Meet.* /

- Conf. Expo. 2014 IEEE*, pp. 1–5, 2014.
- [2] R. A. Keswani, "Identification of fault in HVDC converters using wavelet based multi-resolution analysis," *Proc. - 1st Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol. ICETET 2008*, vol. 16, no. 4, pp. 954–959, 2008.
- [3] P. F. Gale, J. Stokoe, and P. A. Crossley, "Practical Experience With Travelling Wave Fault Locators on Scottish power's 275 & 400 kv transmission system," pp. 192–196, 1993.
- [4] J. Da Silva, F. Costa, and E. Santos, "High Impedance Fault Location – Case Study Using Wavelet Transform And Artificial Neural Networks," *22nd Int. Conf. Electr. Distrib.*, vol. 5, no. 0663, pp. 10–13, 2013.
- [5] L. J. Lewis, "Traveing Wave Relations Power-System Fault Locators," *IEEE Journals Mag.*, vol. 70, no. 2, pp. 1671–1680, 1951.
- [6] W. Gao and J. Ning, "Wavelet-Based Disturbance Analysis For Power System Wide-Area Monitoring," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 121–130, 2011.
- [7] H. Livani, S. Member, and C. Y. Evrenosoglu, "A Traveling Wave Based Single-Ended Fault Location Algorithm using DWT for Overhead Lines Combined with Underground Cables," *IEEE PES Gen. Meet.*, pp. 4–9, 2010.
- [8] G. Bousaleh, F. Hassoun, and T. Ibrahim, "Application of Wavelet Transform in the Field of Electromagnetic Compatibility and power quality of Industrial Systems," *Adv. Comput. Tools Eng. Appl. 2009. ACTEA '09. Int. Conf.*, pp. 284–

- 289, 2009.
- [9] F. B. Costa, B. A. Souza, S. Member, and N. S. D. Brito, "Real-Time Classification of Transmission Line Faults Based on Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform," pp. 1–8, 2012.
- [10] E. Bashier, M. T. Orner, and A. I. Aziz, "Transmission Line Faults Detection, Classification and Location using Artificial Neural Network," pp. 1–5, 2012.
- [11] N. Moslemi and D. JALALI, "Fault Location for Radial Distribution Systems Using Fault Generated High-Frequency Transients and Wavelet Analysis," *18th Int. Conf. Electr. Distrib.*, no. June, pp. 1–4, 2005.
- [12] T. Patcharoen, A. Ngaopitakkul, and A. Kunakorn, "Identification of fault types for a three-bus transmission network using discrete Wavelet Transform and Probabilistic Neural Networks," pp. 1579–1584, 2007.
- [13] X. Gu, "Wavelet Transform Based Approach to Harmonic Analysis," 2011.
- [14] S. Yunhui and R. Qiuqi, "Continuous Wavelet Transforms," *Proc. 7th Int. Conf. Signal Process. 2004. Proceedings. ICSP '04. 2004.*, vol. 1, pp. 207–210, 2005.
- [15] Y. Liu, G. Sheng, Y. Hu, X. Jiang, Y. Sun, and S. Wang, "Identification of back flash and shielding failure on transmission line based on time domain characteristics of traveling wave," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, vol. 2014-October, no. October, 2014.
- [16] P. Jun, S. Wenxia, T. Jun, and Z. Jun, "Fault location for traveling waves using correlation analysis method," *2008 Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, pp. 681–684, 2008.
- [17] M. B. Dewe, S. Sankar, and J. Arrillaga, "Application of satellite time references to HVDC fault location," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 8, no. 3, pp. 1295–1302, 1993.
- [18] L. Zewen, H. Huanhuan, D. Feng, Z. Xiangjun, and Y. Kun, "Power grid fault traveling wave network location method," *Conf. Rec. - IAS Annu. Meet. (IEEE Ind. Appl. Soc.)*, pp. 1–6, 2013.
- [19] O. I. Camps, J. S. Mayer, and W. B. Gish, "Wavelets And Electromagnetic Power System Transients," vol. 11, no. 2, pp. 1050–1058, 1996.
- [20] P. K. Murthy, J. Amarnath, S. Kamakshiah, and B. P. Singh, "Wavelet Transform Approach for Detection and Location of Faults in HVDC System," *IEEE Reg. 10 Colloq. 3rd Int. Conf. Ind. Inf. Syst. ICIS 2008*, pp. 6–11, 2008.
- [21] L. De Andrade and T. P. De Leão, "Fault Location for Transmission Lines Using Wavelet," vol. 12, no. 6, pp. 1043–1048, 2014.
- [22] V. K. Gupta and D. N. Vishwakarma, "Transmission Line Fault Location using Traveling Wave," *Int. J. Invent. Research, Eng. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 24–28, 2014.
- [23] S. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 11, no. 7, pp. 674–693, 1989.