

MODELACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE
FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE
DOBLE CIRCUITO

MODELACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE DOBLE CIRCUITO

Christian Eduardo Cueva Inga
Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingenierías
Universidad Politécnica Salesiana

Dirigido por:
Diego Francisco Carrión Galarza
Docente de la carrera de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingenierías
Universidad Politécnica Salesiana



Quito - Ecuador

Christian Eduardo Cueva Inga

MODELACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE DOBLE CIRCUITO

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Cueva Inga Christian Eduardo (A'1985-M'02). Bachiller Técnico Industrial, especialidad Electricidad del Instituto Tecnológico Superior "Central Técnico". Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Miembro Estudiantil del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes-GIREI. Su trabajo se basa en técnicas de modelización y simulación matemática de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica. Sus intereses de investigación incluyen Líneas de Transmisión, Sistemas de Generación y modelos de optimización matemática.

crcueva@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza (A'1981-M'10). Nació en Quito, Ecuador en 1981. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana en 2010. En la actualidad se encuentra en proceso de obtención de su título de Master en Energías Renovables en la Universidad de la Fuerzas Armadas. Actualmente se desempeña como Analista Técnico del proyecto "Estudio Sobre el Menaje para Cocinas de Inducción Eléctrica y Requerimientos de la Red para Incorporación Masiva de Cocción Eficiente" en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables; y también es Docente de la Universidad Politécnica Salesiana.

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

©2015 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO – ECUADOR

DEDICATORIA.

Christian Eduardo Cueva Inga

A mi madre María Inga que ha sido mi ejemplo de vida, de lucha y de amor incondicional, por sus esfuerzos y sacrificios, por ser la guía del sendero de cada acto que realizo, hoy mañana y siempre, por entregarme desde niño la mejor formación académica y personal, simplemente lo que soy, es por usted.

A todos mis hermanos: Luis Alberto, Jenny Andrea y Karina Estefanía por su apoyo y contribución en los momentos oportunos y por ayudarme a salir adelante con este objetivo. Ustedes son el mejor recuerdo de mi pasado y la mejor motivación para el futuro.

A Tathy Mejía le dedico este trabajo de titulación con todo mi amor y cariño, por haber impulsado mi carrera y ser el pilar principal para la culminación del mismo, que con su apoyo constante y amor incondicional ha sido amiga y compañera inseparable, fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento.

AGRADECIMIENTO.

Christian Eduardo Cueva Inga

Agradezco especialmente al Ing. Diego Carrión, tutor del presente trabajo, por su valiosa orientación, aportes, colaboración, paciencia y ayuda oportuna que fueron pilares fundamentales para lograr, no solo cumplir los objetivos de este proyecto, sino también para lograr cimentar valores formativos y humanos en todos los estudiantes que conformamos la carrera de Ingeniería eléctrica. De igual manera, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, institución que abrió sus puertas para prepararme de forma humana, personal y académica y sobre todo a sus docentes que a lo largo de estos años han logrado transmitir sus conocimientos, experiencias y criterios para desenvolverse de manera oportuna y adecuada en la vida profesional. Es necesario reconocer la colaboración del Ing. Víctor Hugo Orejuela quien con esfuerzo y empeño aportó de manera significativa en la elaboración del presente trabajo. Al Grupo de Investigación GIREI del cual forme parte, por lograr transmitir una cultura de investigación en la carrera, logrando hasta el momento buenos resultados.

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 *MODELACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE DOBLE CIRCUITO* realizado por Christian Eduardo Cueva Inga, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, noviembre de 2015

.....

Ing. Diego Francisco Carrión Galarza

Cédula de identidad: 171370306-2

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Christian Eduardo Cueva Inga, con documento de identificación N° 172028669-7, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “MODELACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE DOBLE CIRCUITO”, 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: Christian Eduardo Cueva Inga

Cédula: 172028669-7

Fecha: noviembre de 2015

1. GLOSARIO

C

CAPACITANCIA EN PARALELO: Para las líneas de transmisión de larga longitud (mayores 240 kilómetros), la línea se considera que tiene una capacitancia en paralelo en lugar de parámetros concentrados para el cálculo de la ubicación exacta de las fallas. Si se utilizan parámetros concentrados, entonces, se producirán errores.

D

DOBLE CIRCUITO: Es una línea de transmisión conformada por tres conductores, en cada lado, es decir, cuenta con seis conductores en total, los cuales se apoyan en las estructuras que forman parte de la línea de transmisión.

I

IMPEDANCIA DE ACOPLAMIENTO MUTUO: Las impedancias mutuas de secuencia positiva y las impedancias mutuas de secuencia negativa son alrededor del 3-5% de sus propias impedancias. Las impedancias mutuas de secuencia cero son 50-55% de los valores de secuencia cero de las impedancias propias. Por lo tanto, se produce el error si en el cálculo de la ubicación de la falla sólo se considera las auto-impedancias.

L

LÍNEA DE TRANSMISIÓN - L/T: Es un elemento que forma parte del Sistema Nacional de Transmisión, opera a un voltaje superior a 90 kV, permite transmitir o transportar energía eléctrica de un punto a otro. La línea de transmisión es un enlace físico entre dos subestaciones y está formado por un conjunto de estructuras metálicas, conductores, aisladores y accesorios.

M

MODELO LINEAL DE PARÁMETROS DISTRIBUÍDOS: Cuando la longitud de onda del campo electromagnético es grande comparada con las dimensiones transversales, de la L/T, los campos eléctrico y magnético en la L/T son perpendiculares entre sí y transversales a la dirección de propagación (Modos transversales electromagnéticos o TEM). Para estos modos las magnitudes escalares V e I están relacionadas con los campos E y H de la línea de transmisión. Por tanto, es posible hacer una extensión de la teoría de circuitos en términos de voltaje e intensidad de corriente introduciendo los elementos pasivos distribuidos uniformemente a todo lo largo de la línea de transmisión.

S

SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO - SNI: Sistema Nacional Interconectado (SNI), es el sistema integrado por los elementos del Sistema Nacional de Transmisión y las instalaciones eléctricas asociadas a las empresas de generación y distribución de energía eléctrica. El SNI permite la producción y transferencia de energía eléctrica entre centros de generación y centros de consumo.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

1. GLOSARIO	viii
INDICE GENERAL.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE TABLAS	x
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
RESUMEN DEL PROYECTO.....	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
Planteamiento del Proyecto.....	2
1. Estado del Arte.....	3
2. OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3. METODOLOGÍA	5
4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	5
4.1 Localización de Fallas.....	6
4.2 Algoritmo de simulación.....	6
5. MODELO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE PI PARA EL ALGORITMO PROPUESTO DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN DOBLE CIRCUITO	9
5.1 Red de secuencia positiva	9
5.2 Ingreso del tipo de algoritmo, y tipo de falla.	10
6. SIMULACIÓN	10
6.1 Ingreso de los parámetros de la Línea de Transmisión Paralela	12
6.2 Método de Simple Impedancia para localización de Fallas en Líneas de Transmisión.....	12
6.3 Resultados del método propuesto para la estimación de localización de fallas y el método de simple impedancia	13
7. RESULTADOS ESPERADOS.....	15
8. ESTRATEGIA PARA LA DIVULAGACIÓN DE LOS RESULTADOS	15
9. SECTORES BENEFICIADOS.....	15
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	15
10. REFERENCIAS	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama del sistema utilizado en el desarrollo del algoritmo.....	8
Fig. 2. Circuito equivalente PI de la red de secuencia positiva.....	9
Fig. 3. Parámetros de la Línea de Transmisión validados en ATP	11
Fig. 4. Geometría de la Línea de Transmisión configurada en doble circuito	11
Fig. 5. Sistema equivalente a una Línea de Transmisión con dos fuentes a los extremos	12
Fig. 6. Resultado de la estimación del punto de ubicación de la falla	14
Fig. 7. Voltaje de la fase C en falla	14
Fig. 8. Corriente en la fase C durante la falla.....	14

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de la línea de transmisión validados en ATP	12
Tabla 2. Parámetros utilizados en el método de Simple Impedancia.....	12
Tabla 3. Calculo del error entre el algoritmo de localización de fallas propuesto y el modelo de simple impedancia.....	13

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

MODELACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE DOBLE CIRCUITO

RESUMEN DEL PROYECTO

Las líneas de transmisión de corriente alterna han sido ampliamente investigadas como una alternativa para la transmisión masiva de energía eléctrica, donde las plantas de generación se encuentran alejadas de los centros de carga. En este trabajo de investigación se propone realizar un algoritmo matemático de mayor precisión para localización de fallas en líneas de transmisión configuradas en doble circuito, con lo cual se utilizará la teoría de componentes simétricas para diseñar el modelo, teniendo en cuenta los parámetros de las líneas de transmisión y considerando el modelo lineal de parámetros distribuidos. Los parámetros de la línea de transmisión se validarán en un software especial para la simulación y el análisis de transitorios en el sistema de potencia ATP (Alternative Transient Program), y se utilizará para la simulación y el análisis el programa matemático Matlab. Se pretende demostrar que el método propuesto por J. Izykowski, E. Rosolowski, y M. Mohan Saha para la localización de fallas en las líneas de transmisión de doble circuito, pueden no identificar de manera precisa el punto de ubicación de la falla. La determinación rápida de la ubicación de una falla con una precisión aceptable permite la restauración adecuada del suministro de energía eléctrica, dando como resultado una mejor confiabilidad y seguridad del Sistema de Potencia.

ABSTRACT

Transmission lines AC have been widely investigated as an alternative to the massive power transmission where generating plants are far from load centers. In this research it is proposed to make a mathematical algorithm more accurately to locate faults in transmission lines configured in dual circuit, with which the theory of symmetrical components is used to design the model, taking into account the parameters of the lines transmission and considering the distributed parameter line model. The parameters of the transmission line will be validated in special software for the simulation and analysis of transients in the power system ATP (Alternative Transient Program) and the Matlab mathematical program will be used for simulation and analysis. It is intended to demonstrate that proposed by J. Izykowski, Rosolowski E. and M. Mohan Saha for locating faults in transmission lines of double-circuit method cannot identify precisely the point of fault location. The rapid determination of the location of a fault with acceptable accuracy allows adequate restoration of power supply, resulting in better reliability and safety of Power System.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Proyecto

Los sistemas de transmisión de energía eléctrica han estado en existencia por mucho tiempo. Estos sistemas de transmisión juegan un papel muy importante en los sistemas eléctricos de potencia, al momento de transportar la energía eléctrica hasta los puntos de carga [1]–[3], [18]. Actualmente, gran parte de la transmisión de la energía eléctrica se la realiza por medio de líneas de transmisión configuradas en doble circuito. Estos sistemas, tienen mayores ventajas económicas y ambientales comparados con los sistemas de transmisión diseñados y construidos con un solo circuito. Desafortunadamente, una falla producida en una parte del sistema de potencia, puede ocasionar la interrupción prolongada del suministro de energía eléctrica al usuario final si la ubicación de la falla no se la localiza lo más rápidamente posible[1]–[4]. La aplicación de técnicas para localización de fallas en líneas de transmisión conlleva efectivamente a mejorar la precisión en la ubicación del punto de la falla, y a la reducción del tiempo de interrupción del suministro de energía eléctrica. En consecuencia, la confiabilidad y la calidad del suministro de energía eléctrica se pueden mejorar[5]–[9]. Los sistemas de potencia han evolucionado a partir de generadores aislados que alimentan su propia carga de enormes sistemas interconectados que abarcan países enteros. Como consecuencia, a menudo los centros de carga están muy lejos de las principales plantas de generación, lo que ha impulsado realizar las investigaciones hacia el estudio de soluciones no convencionales para la transmisión masiva de energía eléctrica a grandes distancias. La capacidad de los métodos de onda viajera para superar las inexactitudes y limitaciones de los métodos de reactancia fue reconocida en la década de 1950, cuando se propusieron varios sistemas experimentales, algunos de las cuales fueron desarrollados en productos comerciales[10], [11].

La línea de transmisión de doble circuito se está utilizando más a menudo que el circuito único y el principio de la transmisión de los estados de distancia y la impedancia medida por un relé es proporcional a la distancia del relé de falla. Por lo tanto, mediante la medición de la impedancia se puede determinar si la línea protegida está en falla o no. Hay varias maneras para que estos elementos conduzcan a errores en la medición y con la precisión de una ubicación fiable de la falla, y deben tenerse muy en cuenta [9], [12].

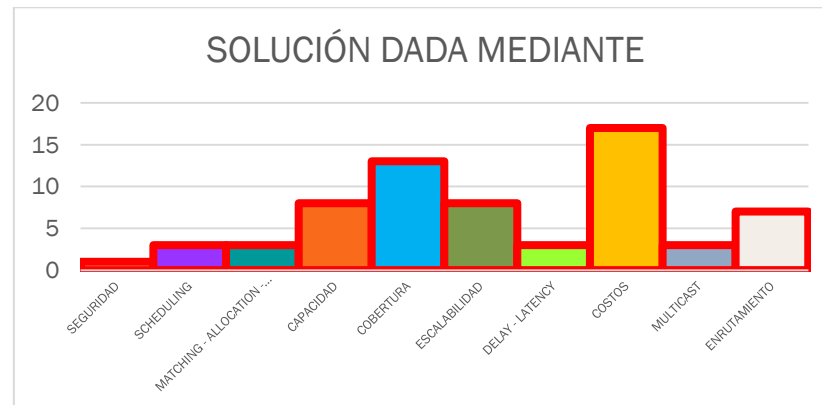
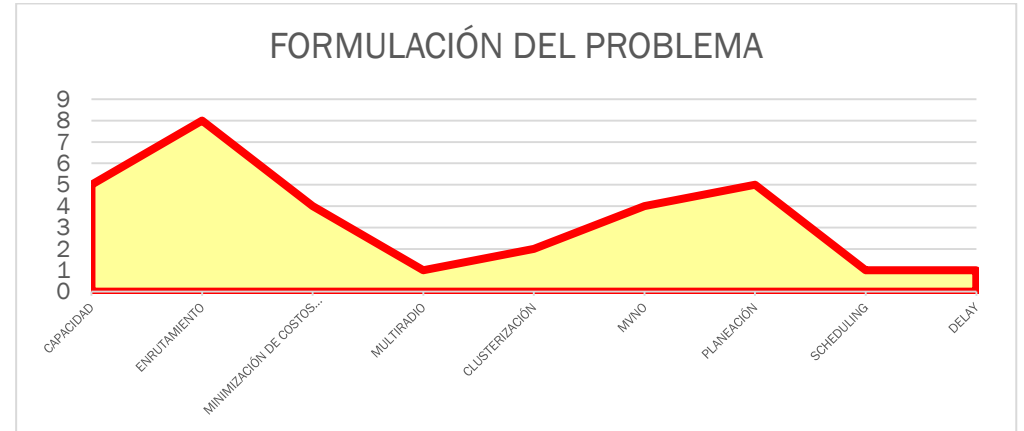
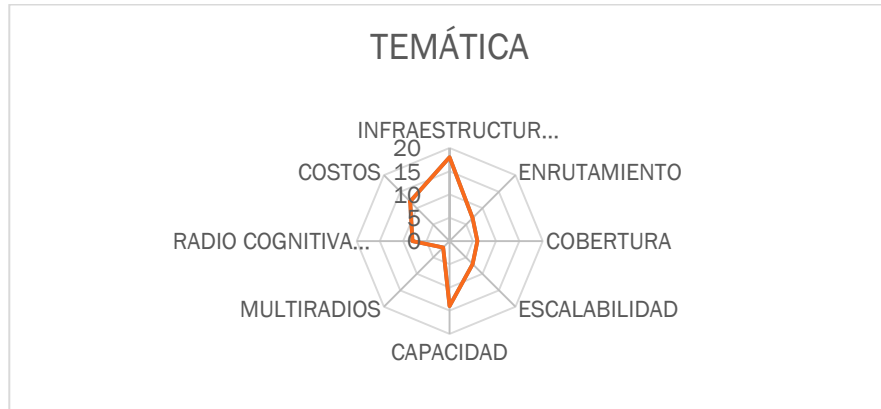
Otro factor es el resultado de un nuevo algoritmo matemático basado en el modelo lineal de parámetros distribuidos aplicados en los sistemas de potencia y, en particular, cómo podrían ser proyectados y utilizados con fines de localización de fallas. El resto de factores que han hecho de la reaparición posible son los últimos avances técnicos en la adquisición de datos de alta velocidad, mejoras en los sistemas de control y de comunicaciones [9], [13], [14].

1. Estado del Arte

PLANEACIÓN ÓPTIMA PARA DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA REQUERIDA POR SMART GRID																								
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA					
				LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LT	MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LT	ACOPLO MUTUO DE LAS IMPEDANCIAS	LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LT PARALELAS	EXACTITUD A LA UBICACIÓN DE LA DISTANCIA DE FALLA	MÉTODOS CONVENCIONALES	PARÁMETROS CONCENTRADOS	LT CONFIGURADAS EN CIRCUITO ÚNICO	CONFIABILIDAD Y SEGURIDAD	CONFIGURADAS EN DOBLE	LONGITUD DE ONDA	PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	IMPEDANCIAS PROPIAS E IMPEDANCIAS DE ACOPLAMIENTO	MODELO ELEMENTAL PI	MODELO LINEAL DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS	FALLAS EN LT DE DOBLE CIRCUITO	MODELAMIENTO EN ATP Y MATLAB	MODELO ELEMENTAL PI	MODELO LINEAL DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS	FALLAS EN LT DE DOBLE CIRCUITO	MODELAMIENTO EN ATP Y MATLAB
1	1985	An accurate fault location with compensation for apparent reactance in the fault resistance resulting from remote-end infeed		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5	2014	Fault location on transmission lines little longer than half-wavelength		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
6	2010	Fault Location on Power Networks		<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
10	2011	New settings-free fault location algorithm based on synchronised sampling		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
12	2015	Electrical Power and Energy Systems One-end impedance based fault location in double-circuit transmission lines with different configurations		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
13	2014	Optical Fiber Technology Fault detection technique for wavelength division multiplexing passive optical network using chaotic fiber laser		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
14	2014	A novel algorithm for locating faults on transposed/untransposed transmission lines without utilizing line parameters		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
16	2014	An adaptive scheme for parallel-line distance protection		<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
17	2004	Locating faults in parallel transmission lines under availability of complete measurements at one end		<input checked="" 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"/>	<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
19	2012	Equivalent PI circuit for zero-sequence double circuit transmission lines		<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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
CANTIDAD:				8	7	1	3	7	7	2	7	3	3	1	1	1	1	1	3	2	1	1	3	2

TABLA 2.- MATRIZ DE ESTADO DEL ARTE

TABLA 3.- RESUMEN E INDICADORES DEL ESTADO DEL ARTE



2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar el modelamiento de un método para localización de fallas en líneas de transmisión configuradas en doble circuito y que sea aplicable al SNI

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el algoritmo para localización de fallas propuesto aplicando el modelo elemental PI y utilizando el modelo lineal de parámetros distribuidos
- Realizar la comparación del método para localización de fallas propuesto en este trabajo de investigación, con un método de localización de fallas existente
- Aplicar el método para localización de fallas en una línea de transmisión del Sistema Nacional Interconectado

3. METODOLOGÍA

En el presente trabajo de investigación se utilizará el método histórico descriptivo que posibilitará la recopilación de información científica respecto al objeto de estudio como para citar el orden correspondiente de cómo debe ser llevada la investigación, además de ir estructurando adecuadamente toda la información adquirida y mediante el uso de las experiencias conseguidas en diversos proyectos a nivel local y a nivel mundial tanto la recopilación y estudio de modelos ya aplicados para de esta forma llevar a cabo los objetivos planteados. Se proseguirá con la utilización del método deductivo aplicados a los datos generales ya validados científicamente y que faculten llegar a conclusiones particulares, por tratarse de un análisis netamente teórico, se utilizaran datos históricos para la comparación técnica entre el método de localización de fallas en líneas de transmisión existente y el método para localización de fallas en líneas de transmisión propuesto.

Con el método inductivo que permitirá acatar y aplicar la información obtenida de libros, papers y textos científicos, los cuales permitirán llegar a conclusiones inherentes al proyecto de investigación y mediante un método experimental en base a las simulaciones realizadas en MTALAB se analizarán los resultados y finalmente se aplicará el método heurístico para generar una nueva metodología a partir de experiencias conocidas, con el fin de solucionar el problema.

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Muchas propuestas se ha realizado y estudiado para mejorar la estimación de la distancia del punto de falla para líneas de transmisión configuradas en doble circuito, varios modelos se han desarrollado y presentado en el pasado.

En [15], se presentan las impedancias de acoplamiento mutuo entre las líneas de transmisión de doble circuito. Las impedancias mutuas de secuencia cero son el 50-55% de las impedancias propias de secuencia cero y darán lugar a un error significativo si no se toman en cuenta en el cálculo de la ubicación de la distancia de falla.

En, [16], Se propone un esquema de protección para la línea paralela adaptando la protección de un relé de distancia. Un algoritmo detallado se utiliza para mejorar el rendimiento de la protección de distancia para líneas paralelas afectadas por efecto de acoplamiento mutuo. El algoritmo tiene en cuenta la corriente de secuencia cero del circuito paralelo para compensar el efecto mutuo. Para mejorar el rendimiento, el algoritmo resuelve el problema sobre la base de secuencia cero en la línea paralela, el estado de funcionamiento de línea, y el factor de compensación por defecto de secuencia cero, respectivamente.

4.1 Localización de Fallas

Cada una de las propuestas de investigación citados anteriormente para determinar la ubicación de la falla de una línea de transmisión tiene sus propias ventajas y desventajas, dependiendo de la disponibilidad del sistema de medición. Para realizar el algoritmo matemático propuesto y obtener una estimación más precisa de la localización de las fallas en largas líneas de transmisión configuradas en doble circuito, se utilizará el circuito PI equivalente basado en un modelo lineal de parámetros distribuidos. El método de localización de fallas contempla suponiendo que el voltaje local y actual están disponibles, tendrá en cuenta plenamente la impedancia de acoplamiento mutuo para obtener una alta precisión en la estimación de la distancia de falla [2].

En este proyecto de titulación se muestra una explicación de un algoritmo de localización de fallas en líneas de transmisión configurada en doble circuito, la forma de aplicación, el modelo de red utilizado, el requerimiento de datos, las aproximaciones y el cálculo propuesto para determinar la distancia de falla. Además se propone ejecutar una rutina de cálculo de la distancia de falla en el software matemático Matlab, que verifique un procesamiento fasorial de las señales analógicas de voltajes y de corrientes de una línea de transmisión y aplique un algoritmo digitalizado cuyo resultado sea la determinación de la distancia de falla.

Entre los atributos que se exponen en el algoritmo de cálculo propuesto en comparación al modelo existente propuesto por J. Izykowski, E. Rosolowski, y M. Mohan Saha [17], es la consideración del acoplamiento mutuo entre los circuitos de la línea de transmisión configurada en doble circuito, esto con el fin de minimizar el error de localización de las fallas.

4.2 Algoritmo de simulación

$$v_a = v_{a^0} + v_{a^1} + v_{a^2} \quad (1)$$

$$v_b = v_{b^0} + v_{b^1} + v_{b^2} \quad (2)$$

$$v_c = v_{c^0} + v_{c^1} + v_{b^2} \quad (3)$$

Tres fasores desequilibrados a, b, y c que se obtienen a partir de tres conjuntos de fasores equilibrados

En donde:

$$v_{a0} = \frac{1}{3}(v_a + v_b + v_c) \quad (4)$$

$$v_{a1} = \frac{1}{3}(v_a + av_b + a^2v_c) \quad (5)$$

$$v_{a2} = \frac{1}{3}(v_a + a^2v_b + av_c) \quad (6)$$

Para la corriente también tenemos:

$$I_a = (I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}) \quad (7)$$

$$I_b = (I_{a0} + a^2I_{a1} + aI_{a2}) \quad (8)$$

$$I_c = (I_{a0} + aI_{a1} + a^2I_{a2}) \quad (9)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (10)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (11)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (12)$$

La falla que se produce en el sistema de potencia lo desequilibra, por lo tanto también la corriente que se producirá en él, será desequilibrada. El método de las componentes simétricas será utilizado para calcular la corriente en el sistema.

Se supone que los voltajes en el sistema de potencia estarán equilibrados hasta que se produce la falla. Entonces sólo se considerará la componente de secuencia positiva de la tensión V_f de pre-falla.

$$v_0 = 0 - Z_0 I_{a0} \quad (13)$$

$$v_{a1} = E_f - Z_1 I_{a1} \quad (14)$$

$$v_{a2} = 0 - Z_2 I_{a2} \quad (15)$$

Este algoritmo está utilizando el modelo elemental PI, basado en el modelo lineal de parámetros distribuidos y la impedancia de acoplamiento mutuo entre los circuitos en lugar de un parámetro global de impedancia, esto con el fin de mejorar la estimación de la distancia de falla para líneas de transmisión configuradas en doble circuito.

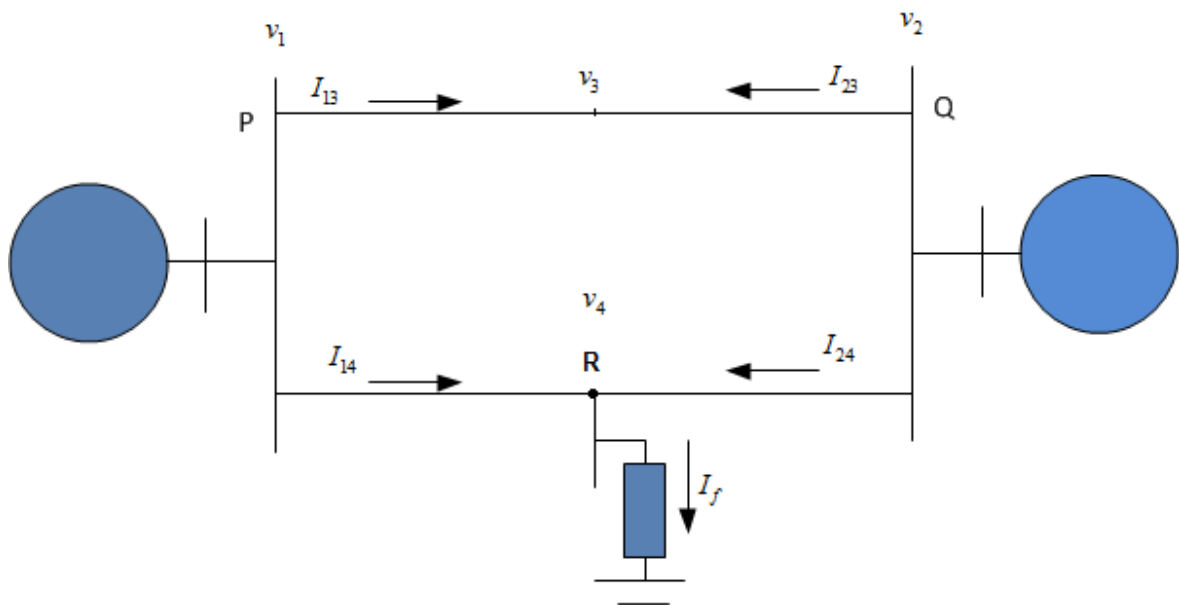


Fig. 1. Diagrama del sistema utilizado en el desarrollo del algoritmo.

Para obtener el algoritmo de localización de fallas propuesto para este trabajo de investigación, el diagrama unifilar del sistema de potencia se muestra en la figura 1, se utiliza el modelo elemental PI, para desarrollar el método para mejorar la estimación de la distancia de la falla de líneas de transmisión de doble circuito usando el voltaje y la corriente de un solo extremo de la línea de transmisión. Este diagrama del sistema de potencia consta de dos generadores, una línea de transmisión con doble circuito y dos barras: P y Q. Se asume que uno de los circuitos está experimentando una falla y el otro estará sin falla. Los parámetros de la línea de transmisión se validarán en un software especial para la simulación y el análisis de transitorios en el sistema de potencia ATP (Alternative Transient Program), y se utilizará para la simulación y el análisis el programa matemático Matlab.

El modelo se diseñó para estimar la distancia de una falla en el sistema de potencia a partir de datos reales producidos en la línea de transmisión de doble circuito. Para simular el algoritmo matemático se ha utilizado el software matemático Matlab para generar los casos de falla bajo varias condiciones de falla con diferentes parámetros, como son el tipo de la falla, parámetros de la línea y el tipo de algoritmo de localización de fallas en las líneas de transmisión.

5. MODELO DEL CIRCUITO EQUIVALENTE PI PARA EL ALGORITMO PROPUESTO DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN DOBLE CIRCUITO

La teoría de componentes simétricas se utiliza para diseñar el modelo, teniendo en cuenta los parámetros de las líneas de transmisión considerando el modelo lineal de parámetros distribuidos.

5.1 Red de secuencia positiva

Los circuitos en una línea de transmisión de doble circuito suponen que tienen los mismos parámetros para realizar el cálculo. Las dos barras son denotadas por P y Q, mientras que R es el punto de ubicación de la distancia de la falla.

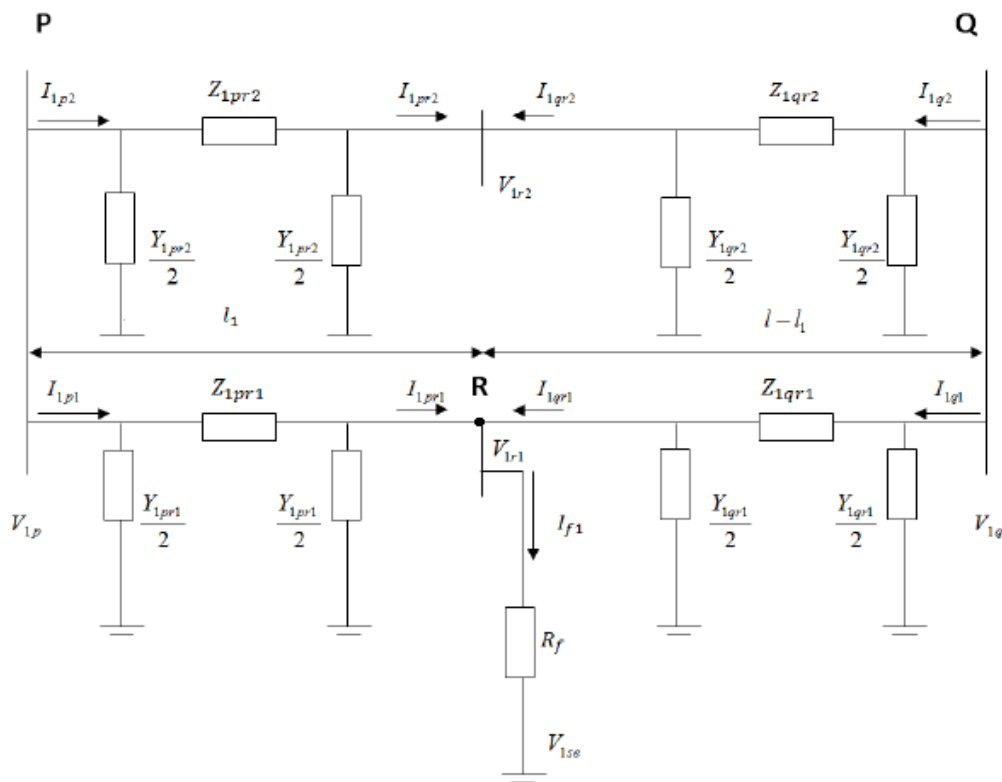


Fig. 2. Circuito equivalente PI de la red de secuencia positiva

En la figura 2, los siguientes parámetros son extraídos:

V_{1p}, V_{1q} : Voltaje de secuencia positiva en P y Q

V_{1r1}, V_{1r2} : Voltaje de secuencia positiva en R en la línea 1

I_{1p1}, I_{1q1} : Corriente de secuencia positiva en P y Q en la línea 1

I_{1pr1}, I_{1qr1} : Corriente de secuencia positiva en R en la línea 1

I_{1p2}, I_{1q2} : Corriente de secuencia positiva en P y Q en la línea 2

I_{1pr2}, I_{1qr2} : Corriente de secuencia positiva en R en la línea 1

Z_{1pr1}, Z_{1qr1} : Impedancia en serie de PR y QR en la línea 1

Z_{1pr2}, Z_{1qr2} : Impedancia en serie de PR y QR en la línea 2

Y_{1pr1}, Y_{1qr1} : Admitancia de PR y QR en la línea 1

Y_{1pr2}, Y_{1qr2} : Admitancia de PR y QR en la línea 2

I_{f1} : Corriente de falla de secuencia positiva en R

l_1 : Distancia del punto de falla de P a R en millas o kilómetros

Los parámetros equivalentes de la línea de transmisión se calculan en base al modelo lineal de parámetros distribuidos según[19]:

$$Z_{1c1} = \sqrt{Z_{1s1} / Y_{1s1}} \quad (15)$$

$$Y_{1s1} = \sqrt{Z_{1s1} Y_{1s1}} \quad (16)$$

$$Z_{1c2} = \sqrt{Z_{1s2} / Y_{1s2}} \quad (17)$$

$$Y_{1s2} = \sqrt{Z_{1s2} Y_{1s2}} \quad (19)$$

Dónde:

Z_{1c1} : Impedancia característica de la línea 1

Y_{1s1} : Constante de propagación de la línea 1

Z_{1c2} : Impedancia característica de la línea 2

Y_{1s2} : Constante de propagación de la línea 2

5.2 Ingreso del tipo de algoritmo, y tipo de falla.

Otros parámetros adicionales son necesarios para realizar la estimación de la distancia de falla como el tipo de falla y el algoritmo de cálculo de la distancia de falla. Estas pueden ser fase a tierra AG, BG, CG, entre fases AB, AC, BC y entre fases a tierra ABG, BCG, ACG o falla trifásica ABC, y trifásica a tierra ABCG.

6. SIMULACIÓN

En este apartado se realizará la simulación de la aplicación del método de localización de fallas utilizando el algoritmo propuesto, utilizando los parámetros de una línea de transmisión de doble circuito de 100 km de longitud a 230 kV, se realizará la comparación con el método para

localización de fallas de simple impedancia propuesto por J. Izykowski, E. Rosolowski, y M. Mohan Saha [17].

Con el propósito de obtener la validación de los parámetros de la línea de transmisión de doble circuito, se utiliza la herramienta de simulación ATP (Alternative Transient Program). Este software ha sido utilizado a nivel mundial como una de las más adecuadas herramientas para modelar Sistemas Eléctricos de Potencia en el campo de transitorios electromagnéticos y para la simulación de los algoritmos se utiliza el software matemático MATLAB.



Fig. 3. Parámetros de la Línea de Transmisión validados en ATP

El modelo utilizado corresponde a una parte del Sistema Nacional de Transmisión Ecuatoriano específicamente a la Línea de Transmisión Quevedo – Santo Domingo doble circuito, un hilo de guardia a 230 kV y 100 km de longitud (Datos en por unidad), los parámetros inherentes a los conductores fueron tomados de las tablas de las líneas de transmisión del Sistema Nacional Interconectado.

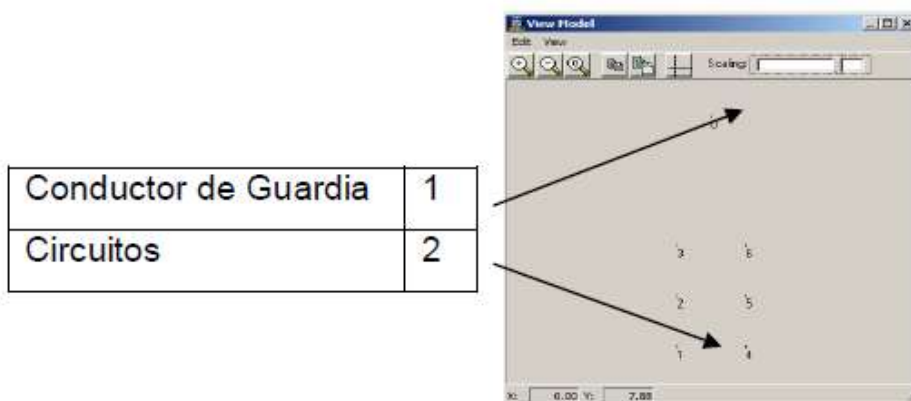


Fig. 4. Geometría de la Línea de Transmisión configurada en doble circuito

6.1 Ingreso de los parámetros de la Línea de Transmisión Paralela

Los parámetros de las líneas de transmisión se obtienen a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1. Parámetros de la línea de transmisión validados en ATP

Nombre	Valor
Impedancia de Secuencia Positiva	$14.56+47.98*i$
Impedancia de Secuencia Cero	$38.86+165.6*i$
Impedancia mutua de los dos circuitos	$24.4+112.1*i$

6.2 Método de Simple Impedancia para localización de Fallas en Líneas de Transmisión

Estas técnicas para la localización de fallas se basan principalmente en la utilización de la parte reactiva de la impedancia medida de la L/T. El diagrama unifilar ilustrado en la figura 5, se describen los parámetros del algoritmo de localización de fallas propuesto por J. Izykowski, E. Rosolowski, y M. Mohan Saha [17], para la localización del punto de falla en líneas de transmisión, así como los parámetros necesarios para procesar la información y elaborar el algoritmo para obtener una estimación de la localización del punto de la distancia de la falla, los parámetros y factores utilizados se describen en la Tabla 2.

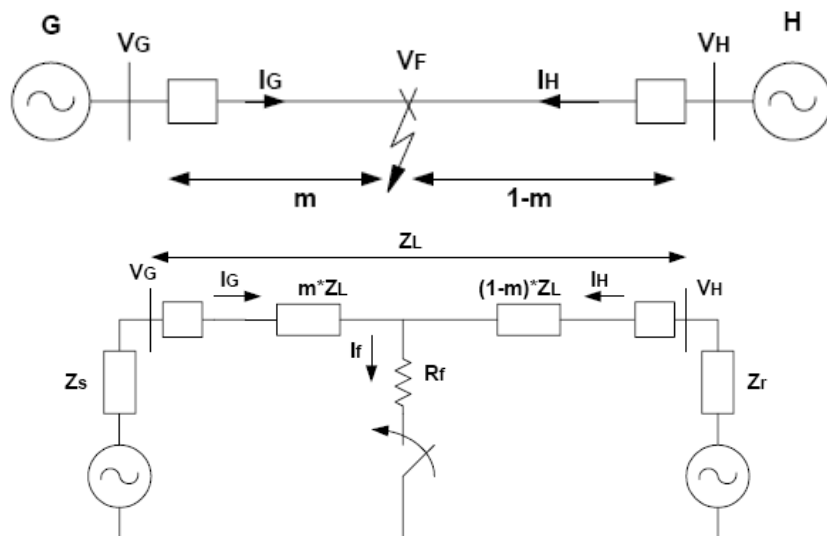


Fig. 5. Sistema equivalente a una Línea de Transmisión con dos fuentes a los extremos

Tabla 2. Parámetros utilizados en el método de Simple Impedancia

Nombre	Definición
m	Longitud de la línea desde la Sub G en pu.
Zl	Impedancia de secuencia positiva de la Línea
Rf	Resistencia de falla
I_f	Corriente de Falla
I_G	Corriente de la Fase fallada que aporta la subestación G
V_G	Voltaje de la Fase fallada en la subestación G

F	Punto de Falla
Sub G	Subestación G
Sub H	Subestación H
Zs	Impedancia interna de la fuente equivalente en la Sub G
Zr	Impedancia interna de la fuente equivalente en la Sub H

Luego de realizar la validación obligatoria en el software ATP, de los parámetros de la línea de transmisión de doble circuito para estimar la distancia de la falla, el algoritmo propuesto compara si el valor efectivo de la corriente de alguna de las tres fases de un ciclo es mayor al 130% del ciclo anterior en aquel momento se estima que el incremento violento de la corriente se debe a una falla del sistema de potencia produciendo un sistema desequilibrado.

6.3 Resultados del método propuesto para la estimación de localización de fallas y el método de simple impedancia

En este apartado se comparan los resultados entre la distancia de falla obtenida entre los dos métodos de localización de la distancia del punto de falla, el algoritmo de simple impedancia realizado por [17], con el algoritmo propuesto para localización de fallas en líneas de transmisión de doble circuito. Los resultados obtenidos de la estimación de la distancia de falla vista por el algoritmo se ilustran tabulados en la Tabla 3.

Tabla 3. Cálculo del error entre el algoritmo de localización de fallas propuesto y el modelo de simple impedancia.

Simulaciones	Distancia real (km)	Método de PI (km)	Error		Método Simple Impedancia (km)	Error	
			(km)	(%)		(km)	(%)
1	50	49.83	0.17	0.17	90.24	-40.24	-40.24
2	50	49.83	0.17	0.17	87.21	-37.21	-37.21
3	50	49.83	0.17	0.17	73.58	-23.58	-23.58
4	50	48.39	1.61	1.61	70.08	-20.08	-20.08
5	50	48.34	1.66	1.66	66.44	-16.44	-16.44
6	50	55.32	-5.32	-5.32	66.06	-16.06	-16.06
7	50	48.79	1.21	1.21	48.82	1.18	1.18
8	50	48.45	1.55	1.55	48.55	1.45	1.45
9	50	55.11	-5.11	-5.11	54.73	-4.73	-4.73
10	50	48.14	1.86	1.86	72.12	-22.12	-22.12
11	50	48.37	1.63	1.63	68.73	-18.73	-18.73
12	50	48.72	1.28	1.28	63.29	-13.29	-13.29

Del evento simulado de la fase C-G para el circuito fallado de la línea de transmisión de 100 km de longitud a 230 kV utilizando el algoritmo matemático propuesto y luego de la simulación realizada

en el software MATLAB el resultado de la distancia de falla es de 49,9266 km, para esta simulación se obtienen los siguientes resultados ilustrados en las siguientes figuras.

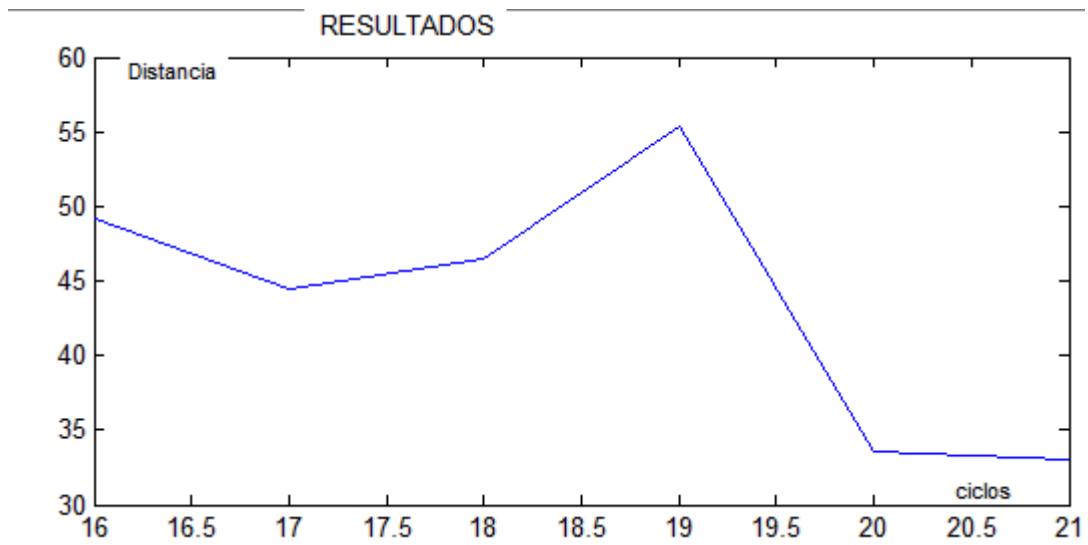


Fig. 6. Resultado de la estimación del punto de ubicación de la falla

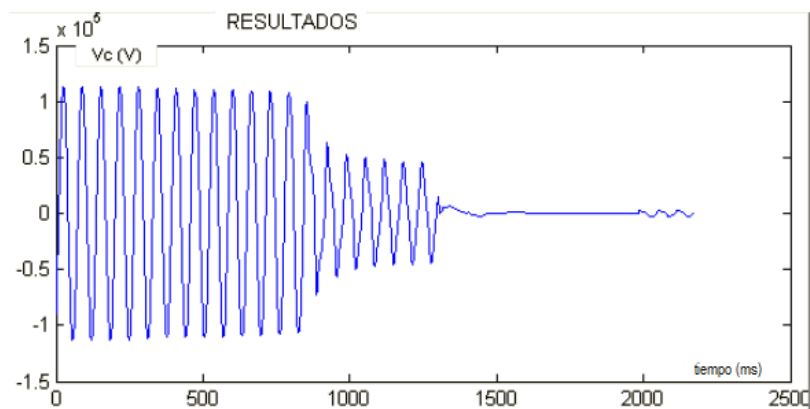


Fig. 7. Voltaje de la fase C en falla

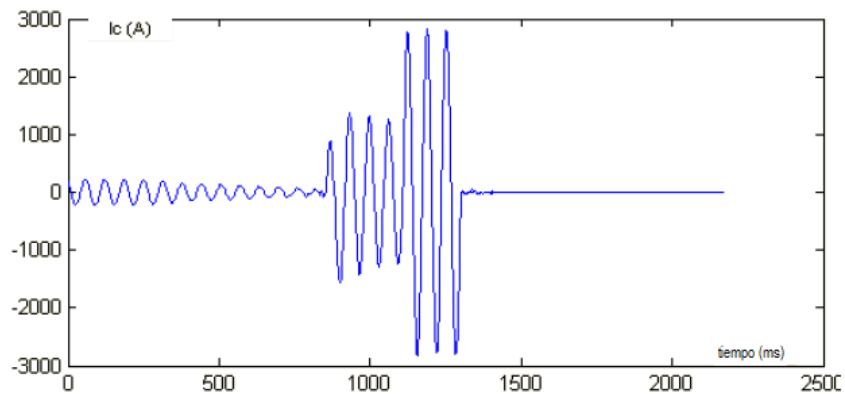


Fig. 8. Corriente en la fase C durante la falla

7. RESULTADOS ESPERADOS

1. Reducción optima de los errores en la ubicación del punto de localización de fallas en líneas de transmisión configuradas en doble circuito
2. Algoritmo matemático que represente y solucione el problema planteado.
3. Modelo de localización de fallas en líneas de transmisión existente.
4. Aplicación del Software para simular eventos reales.

8. ESTRATEGIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS

Dentro de las estrategias de divulgación se plantean las siguientes:

1. Informe escrito final como producto del trabajo de investigación. El informe será entregado a la biblioteca de la UPS
2. Jornada Científica de Ingeniería Eléctrica.

9. SECTORES BENEFICIADOS

Los sectores beneficiados con el proyecto son los siguientes:

1. Universidad Politécnica Salesiana
2. Grupos de investigación relacionados con el proyecto
3. Sectores públicos y privados relacionados al tema de investigación

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las fallas que se producen en una línea de transmisión de energía eléctrica pueden prolongar el tiempo de interrupción del suministro si la ubicación de la falla no se localiza lo más rápido posible. Cuanto menor es el tiempo utilizado para ubicar el punto de la falla, más pronto el sistema puede ser restaurado y el tiempo de interrupción se puede reducir. En esta investigación se estudió un algoritmo de mayor precisión para localización de fallas en líneas de transmisión configuradas en doble circuito. Se aplicó el circuito PI equivalente basado en un modelo lineal de parámetros distribuidos para las redes de secuencia positiva, negativa y cero, y estas se han desarrollado para el análisis del sistema de potencia cuando se encuentran en falla. Los estudios de evaluación mediante el software matemático Matlab han llevado a cabo para verificar el método propuesto. Comparando los resultados obtenidos por un algoritmo existente y el algoritmo propuesto, se evidencia que el algoritmo desarrollado puede lograr estimaciones de alta precisión y es prometedor para aplicaciones prácticas, siendo capaz de identificar la ubicación de la falla con mayor precisión y ayudar a reducir el tiempo de corte de energía, ahorrar dinero y mejorar la confiabilidad del sistema.

10. REFERENCIAS

- [1] L. Eriksson, M. M. Saha, and G. D. Rockfeller, "An accurate fault location with compensation for apparent reactance in the fault resistance resulting from remote-end infeed," *IEEE Trans.*, vol. PAS-104, no. 2, pp. 424–436, 1985.
- [2] Y. Liao and S. Elangovan, "Digital Distance Relaying Algorithm for First-Zone Protection for Parallel Transmission Lines," *Proc.-Gener. Transm. Distrib. IEEE*, vol. 145, no. 5, pp. 531–536, 1998.
- [3] A. a. Girgis, D. G. Hart, and W. L. Peterson, "A new fault location technique for two- and three-terminal lines," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 7, no. 1, pp. 98–107, 1992.
- [4] Z. Y. He, R. K. Mai, W. He, and Q. Q. Qian, "Phasor-measurement-unit-based transmission line fault location estimator under dynamic conditions," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 5, no. 11, p. 1183, 2011.
- [5] F. V. Lopes, B. F. Küsel, K. M. Silva, D. Fernandes, and W. L. a Neves, "Fault location on transmission lines little longer than half-wavelength," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 114, pp. 101–109, 2014.
- [6] E. R. M.M Saha, J. Izykowski, *Fault Location on Power Networks*. 2010.
- [7] F. S. Prabhakara, K. Parthasarathy, and H. N. Rao, "Analysis of Natural Half-Wave-Length Power Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-88, no. 12, pp. 1787–1794, 1969.
- [8] M. Sneddon and P. Gale, "Fault Location On Transmission Lines," *Electr. Power Syst.*, pp. 1–3, 1990.
- [9] D. Spoor and J. G. Zhu, "Improved single-ended traveling-wave fault- location algorithm based on experience with conventional substation transducers," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 21, no. 3, pp. 1714–1720, 2006.
- [10] G. Preston, Z. M. Radojević, C. H. Kim, and V. Terzija, "New settings-free fault location algorithm based on synchronised sampling," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 5, no. 3, p. 376, 2011.
- [11] T. Lines, "Artificial Neural Network Approach to Single-Ended Fault Locator for," *Electr. Eng.*, pp. 125–131, 1997.
- [12] K. Ramar, H. S. Low, and E. E. Ngu, "Electrical Power and Energy Systems One-end impedance based fault location in double-circuit transmission lines with different configurations," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 64, pp. 1159–1165, 2015.
- [13] N. Xu, L. Yang, J. Zhang, X. Zhang, J. Wang, and Z. Zhang, "Optical Fiber Technology Fault detection technique for wavelength division multiplexing passive optical network using chaotic fiber laser," *Opt. Fiber Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 163–167, 2014.
- [14] C. Apostolopoulos, G. Korres, "A novel algorithm for locating faults on transposed / untransposed transmission lines without utilizing line parameters," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 117, pp. 21–26, 2014.
- [15] S. a. Wheeler, "Influence of mutual coupling between parallel circuits on the setting of distance protection," *Proc. Inst. Electr. Eng.*, vol. 117, no. 2, p. 439, 1970.
- [16] Y. Hu, D. Novosel, M. Mohan Saha, and V. Leitloff, "An adaptive scheme for parallel-line distance protection," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 17, no. 1, pp. 105–110, 2002.
- [17] J. Izykowski, E. Rosolowski, and M. M. Saha, "Locating faults in parallel transmission lines under availability of complete measurements at one end," *IEE Proceedings-Generation, Transm. ...*, vol. 151, no. 2, pp. 268–273, 2004.
- [18] A. Wiszniewski, "Accurate fault impedance locating algorithm," *IEE Proc. C Gener. Transm. Distrib.*, vol. 130, no. 6, p. 311, 1983.
- [19] N. Kang and Y. Liao, "Equivalent PI circuit for zero-sequence double circuit transmission lines," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 2–7, 2012.