

DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN EL SISTEMA  
DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA UTILIZANDO  
ALGORITMO DE RELIEF

# DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA UTILIZANDO ALGORITMO DE RELIEF

Byron Renan Silva Gómez  
Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingenierías  
Universidad Politécnica Salesiana

*Dirigido por:*  
Estuardo Josafat Correa Zapata  
Carrera de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingenierías  
Universidad Politécnica Salesiana



Quito - Ecuador

Byron Renan Silva Gómez

**DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA  
UTILIZANDO ALGORITMO DE RELIEF**

Universidad Politécnica Salesiana  
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



**Byron Renan Silva Gómez** (Y'1991-M'08). 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 modelado y técnicas de simulación de fallas en sistemas de distribución. Sus intereses de investigación incluyen Smart Grid, Flujos Óptimos de Potencia, y Diagnóstico de Fallos en Sistemas de Distribución.

[bsilvag@est.ups.edu.ec](mailto:bsilvag@est.ups.edu.ec)

Dirigido por:



**Estuardo J. Correa Zapata** nació en Quito - Ecuador. Se graduó de Ingeniero de Sistemas en 1997 en la Escuela Politécnica Nacional de Quito – Ecuador, recibió su grado de Magister en Educación Universitaria en 2010 en la Universidad Tecnológica Indoamérica de Quito, Ecuador. En el presente trabaja para obtener su grado de PHD en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín – Colombia. Es miembro del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes – GIREI. Sus trabajos de investigación están relacionados con técnicas de modelado y simulación matemática para la planificación de redes de distribución eléctrica en redes inteligentes.

[ecorrea@ups.edu.ec](mailto:ecorrea@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

## DEDICATORIA.

*Dedico este trabajo con mucho amor y cariño primero a Dios por brindarme la oportunidad de vivir este gran momento, a mis amados padres Renan y Hortencia, quienes nos han formado a mi hermana y a mí con principios y valores para ser personas de bien, con su enseñanza de la responsabilidad y el amor que se debe entregar a lo que hagamos en nuestras vidas, por darnos a mi hermana y a mí una educación de calidad, por estar pendientes de cada etapa de nuestras vidas, por estar presentes en las decisiones buenas y malas, y por siempre brindarnos ese apoyo y cariño incondicional. A mi querida hermana Erika por estar conmigo siempre con su ayuda y comprensión en los momentos difíciles, siendo una razón para no rendirme y un pilar fundamental dentro del esfuerzo y sacrificio realizado, sin duda alguna lo mejor que la vida me pudo regalar.*

*Con mucho cariño a mi familia que lastimosamente no se encuentra en este momento conmigo pero siempre estarán en mi corazón y tendrán mi gratitud por su confianza, cariño y apoyo brindado, A mi familia que gracias a Dios puedo tenerlos presentes a mi lado quienes con su apoyo, consejos, y palabras de aliento me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida educativa.*

*A mi tutor Estuardo, mis amigos, y demás docentes, quienes formaron parte de esta etapa de mi vida, a quienes expreso mi respeto, consideración y gratitud por los conocimientos brindados.*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por brindarme la mejor vida junto a mis seres queridos y amigos, a mis padres Renan y Hortencia ya que siempre se han sacrificado y han estado conmigo brindándome su apoyo incondicional, sin ellos jamás hubiese llegado a culminar esta fase final de mi carrera, no existen palabras para expresar todo el cariño y gratitud que les tengo amados padres, a mis profesores de la U.P.S, que compartieron sus conocimientos teóricos y prácticos durante el paso por la universidad, también a mi tutor del trabajo de titulación, el Med Estuardo Correa Zapata por brindarme las herramientas, apoyo y confianza para culminar satisfactoriamente este trabajo, A mis jefes y compañeros de trabajo que siempre me brindaron su conocimiento además de la oportunidad de ejercer mi profesión, muchas gracias por el apoyo brindado para seguir adelante y no decaer en mi formación académica.*

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, Estuardo Josafat Correa Zapata declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Diagnóstico de fallos en el Sistema de Distribución Eléctrica utilizando Algoritmo de Relief* realizado por Byron Renan Silva Gómez, 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 2015

.....

Estuardo Josafat Correa Zapata

Cédula de identidad: 170818330-4

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Byron Renan Silva Gómez, con documento de identificación N° 172003458-4, 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: “Diagnóstico de fallos en el Sistema de Distribución Eléctrica utilizando Algoritmo de Relief ”, 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: Byron Renan Silva Gómez

Cédula: 1720034584

Fecha: 24/11/2015

## ***GLOSARIO***

### **A**

**ALIMENTADOR PRIMARIO:** Un alimentador primario es aquel componente que se encuentra entre la subestación de transmisión y el transformador de distribución[1].

### **C**

**CORTOCIRCUITO:** Condición en el sistema de energía donde conductores energizados entran en contacto (o generan un arco al venir en estrecha proximidad) entre sí o con tierra, lo que permite (típicamente que fluyan grandes corrientes de falla)[1].

**CONFIABILIDAD:** Condición en el sistema para el cumplimiento de una función específica dentro de un periodo de tiempo[1].

### **D**

**DIAGNÓSTICO DE FALLOS:** Análisis de los tipos de fallas de cortocircuito donde incluye: localización, clasificación, ubicación de fallas[2].

**DISTRIBUCIÓN:** Etapa del sistema eléctrico donde la energía es suministrada a los centros de consumo [1].

### **F**

**FALLA:** Comportamiento anormal de un componente de un sistema[1].

### **I**

**IMPEDANCIA:** Propiedad eléctrica de una línea que permite saber la capacidad de conducción de corriente alterna[1].

### **M**

**MODELAMIENTO MATEMATICO:** Descripción matemática de las interrelaciones entre las diferentes cantidades de un determinado proceso. En particular una descripción matemática de una relación entre las variables de entrada y de salida de un proceso[1].

### **P**

**PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE:** Es aquella protección selectiva que actúa cuando la corriente se eleva y supera los límites establecidos[1].

### **R**

**RELIEF:** Relief es un algoritmo de selección de características inspiradas en el aprendizaje basado en instancias propuesto por Kira y Rendell en 1992[3].

### **S**

**SISTEMA RADIAL:** Topología usada en sistemas de distribución que consta de una troncal y varios ramales[1].

## **INDICE GENERAL**

<i>GLOSARIO</i> .....	III
<i>INDICE GENERAL</i> .....	IV
<i>INDICE DE FIGURAS</i> .....	IV
<i>INDICE DE TABLAS</i> .....	V
<i>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN</i> .....	1
<i>RESUMEN DEL PROYECTO</i> .....	1
<i>ABSTRACT</i> .....	1
1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	2
1.1 <i>Planteamiento del Proyecto</i> .....	2
1.2 <i>Estado del Arte</i> .....	4
2. <i>OBJETIVOS</i> .....	7
<i>OBJETIVO GENERAL</i> .....	7
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....	7
3. <i>METODOLOGÍA</i> .....	7
4. <i>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</i> .....	7
4.1 <i>Tipos de Falla de Cortocircuito</i> .....	7
4.2 <i>Cortocircuito trifásico</i> .....	8
4.2.1 <i>Cortocircuito bifásico con conexión a tierra</i> .....	9
4.2.2 <i>Cortocircuito bifásico</i> .....	9
4.2.3 <i>Cortocircuito de simple línea con conexión a tierra</i> .....	10
4.3 <i>Algoritmo Relief</i> .....	11
4.3.1 <i>Algoritmo del sistema de Diagnóstico de fallos</i> .....	11
5. <i>RESULTADOS ESPERADOS</i> .....	12
6. <i>ESTRATEGIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS</i> .....	16
7. <i>SECTORES BENEFICIADOS</i> .....	16
8. <i>CONCLUSIONES</i> .....	16
9. <i>REFERENCIAS</i> .....	17

## **INDICE DE FIGURAS**

<i>Figura 1. Diagnóstico de fallas aplicado a Sistemas De Distribución</i> .....	3
<i>Figura 2. Indicadores de la Matriz del Estado del Arte</i> .....	6
<i>Figura 3. Cuadro de Conexiones de los posibles tipos de fallas con impedancia</i> .....	8
<i>Figura 4. Esquema de falla trifásica (voltaje y corriente vs tiempo)</i> .....	9
<i>Figura 5. Esquema de falla bifásica con conexión a tierra</i> .....	9
<i>Figura 6. Esquemas de voltaje y corriente de una falla bifásica</i> .....	10
<i>Figura 7. Sistema de Distribución usado en la simulación</i> .....	13
<i>Figura 8. Prueba 1 con 3 líneas en falla</i> .....	14
<i>Figura 9. Prueba 2 con 2 líneas en falla</i> .....	14
<i>Figura 10. Prueba 3 con 3 líneas en falla</i> .....	15

*Figura 11. Prueba final con falla en una línea..... 15*

**INDICE DE TABLAS**

*TABLA 1. Matriz del estado del arte ..... 5*  
*TABLA 2. Categorización de fallas de una sola línea a tierra..... 10*  
*TABLA 3. Datos del estado de las líneas de la prueba 1..... 14*  
*TABLA 4. Datos del estado de las líneas de la prueba 2..... 15*  
*TABLA 5. Datos del estado de las líneas de la prueba 3..... 15*  
*TABLA 6. Datos del estado de las líneas de la prueba final ..... 16*

## ***TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN***

### ***DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA UTILIZANDO ALGORITMO DE RELIEF***

#### ***RESUMEN DEL PROYECTO***

Un sistema de distribución es la parte del sistema de potencia que se encuentra más cercana al usuario, dentro de la cual se tendrá alimentadores primarios los cuales deben funcionar continuamente si es posible sin interrupciones, por ende debe tener índices altos de confiabilidad y seguridad, por ello es necesario el estudio de un Diagnóstico de fallas que sea eficaz y rápido, con el objetivo de restablecer el servicio lo antes posible. En este trabajo se presenta el algoritmo de Relief para el diagnóstico de fallas en sistemas de distribución, el método realizado está basado en la recolección de datos de voltajes y corrientes de las líneas del sistema de distribución los cuales serán usados para definir las características más relevantes dentro del algoritmo realizado y así lograr la clasificación y los tipos de falla, la estructuración del documento está dada de la siguiente manera: el estado del arte del proyecto, la revisión de la bibliografía presentando los modelos y algoritmos matemáticos usados dentro del Diagnóstico de fallas, luego se presenta el algoritmo Relief, detallando sus principales características y los diferentes tipos que se han creado, como modelo de simulación se plantea un sistema de distribución realizado en Power Factory, en el cual se realizarán las pruebas del algoritmo realizado para detectar una falla en el sistema, el algoritmo detectará si existe una falla y clasificará la falla en sus diferentes tipos, posteriormente identificará las fases afectadas por dicha falla, los resultados se expresarán en forma gráfica y tabulada.

#### ***ABSTRACT***

A distribution system is the part of the power system that is closest to the user, within which primary feeders which must run continuously if possible without interruption will therefore should have high levels of reliability and security, This study troubleshoot it effective and fast, in order to restore service as quickly as possible is necessary. In this work the Relief algorithm for diagnosing faults in distribution systems is presented, the method performed is based on the collection of data voltages and currents of the lines in the distribution system which will be used to define the most important characteristics within the algorithm performed and achieve classification and types of failure, structuring the document is given as follows: the state of the art project, the literature revised presenting mathematical models and algorithms used in the diagnosis of failures such as neural networks, wavelet, methods using the parameters of the lines, then the Relief algorithm is presented, detailing its main characteristics and the different types that have been created, such as simulation model made a distribution system arises in Power Factory, which conducted testing algorithm to detect a

fault in the system were made, the algorithm will detect if there is a failure conduct a classification of different types fails, then identify the phases affected by such failure, the results be expressed in graphical and tabular form, making sure that the proposed method works properly and can be applied to any system, finally the conclusions and future work resulting from the research are presented.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Planteamiento del Proyecto**

En los Sistemas de Distribución es necesario reducir los tiempos de cortes de energía por fallas o perturbaciones con la finalidad de mejorar considerablemente la confiabilidad del suministro de energía eléctrica[4]. En los sistemas de distribución existen diferentes tipos de fallas, el tipo más común es la falla de una sola línea a tierra con una impedancia alta o baja [5]. En el diagnóstico de fallas enfocado a los sistemas de distribución de energía eléctrica se toma en cuenta varios temas como la detección e identificación de la falla, luego la localización de la falla, el tipo de falla, y la fase en falla[6].

Cuando el sistema de distribución se encuentra operando en condiciones normales, es decir que existe un flujo de corriente con valores que están dentro de rangos establecidos y definidos y de pronto ocurre una falla con una variación de los valores nominales, entonces el sistema se encuentra en falla[7], es por ésta razón que se realiza un análisis de fallas el cual será usado en diferentes aplicaciones como la planificación de operación del sistema, en la coordinación y ajuste de protecciones, capacidad de esfuerzo mecánico y térmico de líneas de distribución[8], [9].

La forma en que se presentan las fallas es de orden aleatorio, por lo que su estudio requiere de un esquema bien planificado y diseñado para detectar las fallas y así lograr un buen coordinamiento de protecciones[10]. Según [11] y basado en experiencias previas se ha demostrado que las fallas que se suscitan en las líneas de distribución son fallas monofásicas aterrizadas y están en el rango del 70 al 80 % de aparición, por el contrario las fallas trifásicas no son muy usuales están en un porcentaje del 5% [9].

Con el avance de los años se han desarrollado una gran variedad de métodos usados para la detección de fallas en sistemas de distribución como: sistemas informáticos de redes neuronales usados para detectar fallas de alta o baja impedancia que por lo general no detectan las protecciones de sobre corriente comunes en sistemas de Distribución[12], [13], esquemas basados en múltiples fuentes de información empleados en clasificación de fallas[14], en sistemas de transmisión se usa la transformada Discreta de Wavelet[2], [15], técnicas de inteligencia artificial usadas para redes de distribución ya sean aterrizados o no[5], [16], algoritmos que no utilizan los parámetros de las líneas para la localización de

fallas usando mediciones sincronizadas de voltajes y corrientes[17], en base a la revisión de todos los métodos mencionados se propone usar el algoritmo Relief para analizar una parte del diagnóstico de fallas como es la localización y clasificación de las fallas que se dan en las redes de Distribución.

En la Figura 1 se muestra un sistema de Distribución con la arquitectura de un Diagnóstico de fallas implementado, el cual consiste en la toma de datos de voltaje y de corriente en el alimentador primario de la subestación, además de contar con una base de datos que tenga la información del alimentador, luego las señales recolectadas ingresarán al algoritmo de análisis de fallas[18].

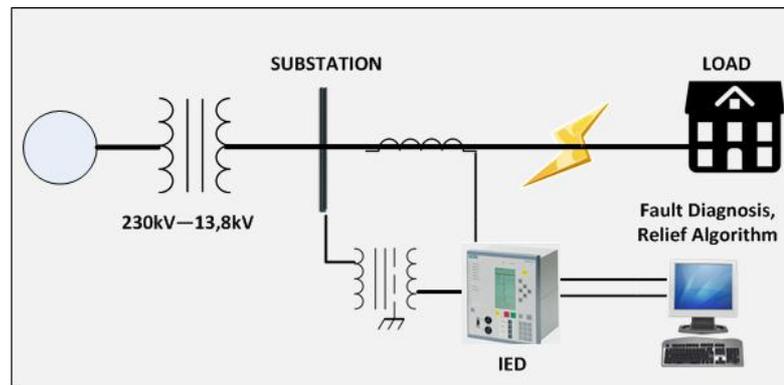


Figura 1. Diagnóstico de fallas aplicado a Sistemas De Distribución.

En los sistemas de distribución se debe tomar en cuenta que al implementar un método este debe tener presente la variación aleatoria de la carga, además cuanto mayor tensión las impedancias propias de la carga serán mayores, los métodos que se pueden utilizar en sistemas de distribución eléctrica son los que se basan en la medición de componentes fundamentales tanto de corriente como de voltaje, por varios motivos ya sean técnicos y/o económicos[19].

En el presente trabajo se presenta el Diagnóstico de fallas aplicado a Sistemas de Distribución usando el Algoritmo Relief, dentro del cual en el capítulo 4.1, se presenta los tipos de falla que se generan en los sistemas de distribución así como estimaciones de valores de voltaje y corriente que comúnmente se dan dependiendo del tipo de falla, luego en el capítulo 4.3, se da a conocer conceptos y formulaciones de Relief, el caso de estudio se lo analizará en el capítulo 5, en el cual se validará la teoría descrita aplicando en un sistema simulado, para obtener las respectivas conclusiones y futuros trabajos en el capítulo 8.

1.2 Estado del Arte

DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA UTILIZANDO ALGORITMO DE RELIEF																																	
ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA													
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	(DIAGNÓSTICO DE FALLOS)"ESTADO DEL ARTE"	SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	FORMULACION MATEMATICA	ALIMENTADORES PRIMARIOS	RELIEF	CLASIFICACIÓN DE FALLAS	ALTA Y BAJA IMPEDANCIA DE LAS LINEAS	MEDICIÓN DE VOLTAJES NODALES	TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN	PROBABILIDAD	FLUJOS DE POTENCIA	OPTIMIZACIÓN	REGLAS HEURÍSTICAS	MANEJO DE MODELOS	LIMITACIONES	SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	MODELO DE PROGRAMACION	INTELIGENCIA ARTIFICIAL	DATOS REALES	ALGORITMOS	SISTEMA EXPERTO	REDES NEURONALES ARTIFICIALES	DIAGNÓSTICO DE FALLAS POR RAMALES	RADIO MODELO	DISTANCIAS MÉTRICAS	MULTIPLES SISTEMAS DE INFORMACIÓN	GRAFICAS DE REACTANCIA	WAVELET		
1	2014	Electric Power Distribution Engineering	2014 T. Gonen	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>												
2	2014	Transmission line fault location using hybrid wavelet-Prony method and relief algorithm	2014 M. Farshad and J. Sadeh	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>											<input checked="" type="checkbox"/>	
3	2014	A new approach to fault location in three-phase underground distribution system using combination of wavelet analysis with ANN and FLS	2014 A. Rafinia and J. Moshtagh	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									
4	2010	Generalized iterative RELIEF for supervised distance metric learning	2010 C.-C. Chang	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>						
5	2010	Power system Analysis	2010 H. Saadat	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>												
6	2010	A novel algorithm for locating faults on transposed/untransposed transmission lines without utilizing line parameters	2010 C. a. Apostolopoulos and G. N. Korres	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>						
7	2010	A New Online Fault Diagnosis Algorithm Based on Likelihood Ratio and Tabu Search in Distribution Networks	2010 W. Y. W. Yingying and L. Y. L. Yee		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>								
8	2009	Distribution system fault diagnosis scheme based on multiple information sources: For railway passenger dedicated line	2009 J. Zhang and Z. Y. He	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
9	2007	Método de localización de fallas en sistemas de distribución basado en gráficas de reactancia	2007 José, Juan Flórez, Mora	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>									<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>		



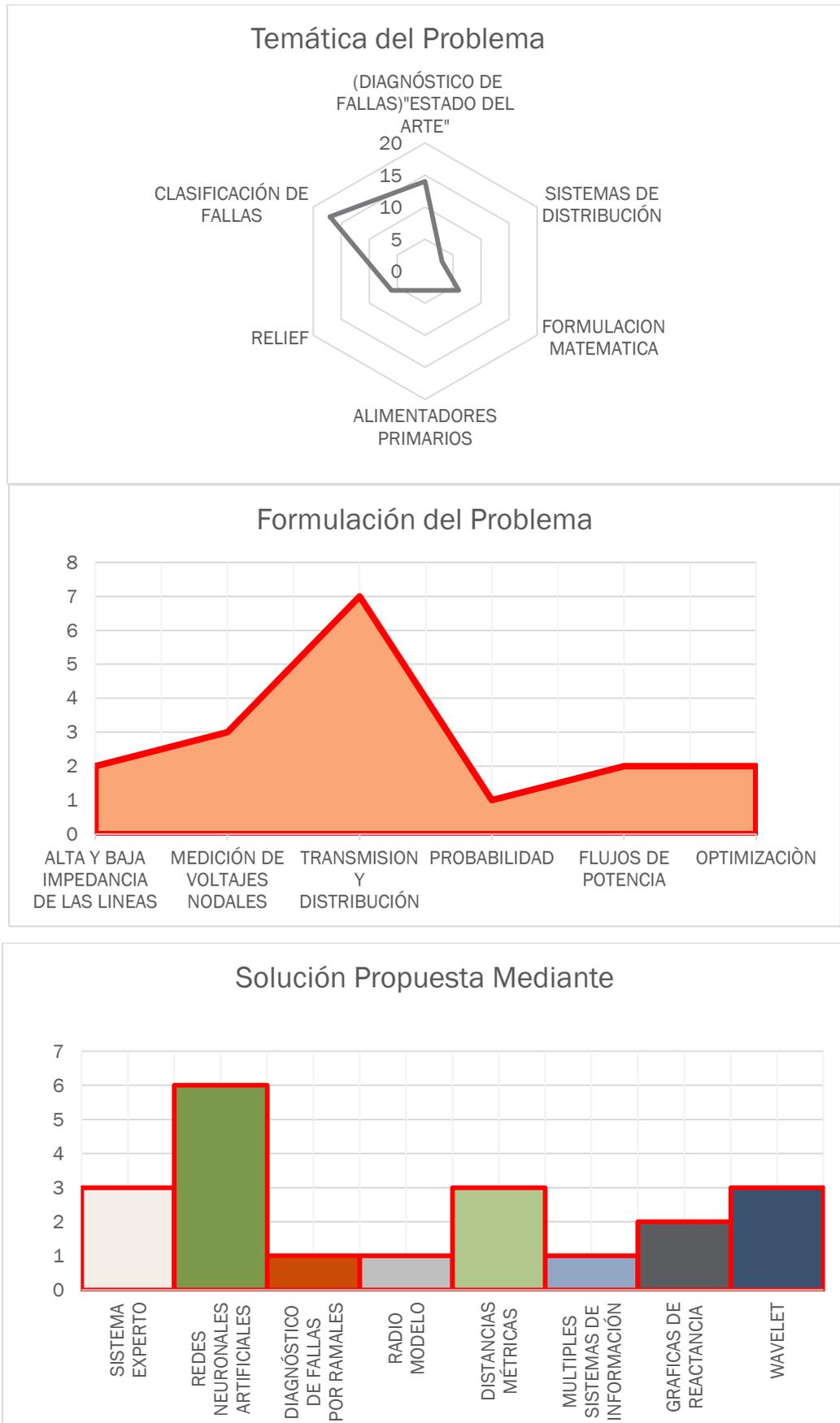


Figura 2. Indicadores de la Matriz del Estado del Arte

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Realizar el diseño de un programa que permita Diagnosticar Fallos en un Sistema de Distribución Eléctrica usando el algoritmo de Relief.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Revisar el estudio de los diferentes modelos matemáticos que han sido usados dentro del diagnóstico de fallos verificando el rendimiento y la eficiencia de cada uno de ellos con la finalidad de buscar un nuevo algoritmo que se pueda aplicar en Sistemas de Distribución Eléctrica.
- Desarrollar un modelo matemático que pueda ser usado en redes de distribución eléctrica el cual pueda diagnosticar fallos basado en criterios de datos de voltaje y corriente los cuales serán tomados de las líneas del Sistema de Distribución.
- Analizar y verificar el desempeño del modelo matemático desarrollado, tomando en cuenta la eficiencia que se dará en la aplicación de diferentes escenarios de simulación.

## **3. METODOLOGÍA**

Dentro del análisis del problema del Diagnóstico de fallos en sistemas de Distribución es necesario definir los diferentes escenarios de simulación para lo cual se usará el programa PowerFactory-DIGSILENT para aplicar a un sistema de distribución de 33/11 kV, modelo que se puede encontrar en la librería del DIGSILENT, con el sistema dado se procederá a correr los diferentes escenarios con los diferentes tipos de fallas que se pueden dar de acuerdo a la bibliografía revisada.

Con los datos de voltaje, corriente de cada una de las fases de cada línea que proporcionará el programa DIGSILENT se procede a verificar y compilar el programa realizado en Matlab el cual consta con el algoritmo Relief para el Diagnóstico de fallos verificando si existe alguna falla, si es que existe una falla se mostrara el tipo de falla, la línea y las fases que están en falla.

## **4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Tipos de Falla de Cortocircuito.**

En los sistemas eléctricos de distribución se pueden presentar ciertos tipos de anomalías como son las fallas y perturbaciones cada una con una clasificación interna, en este caso se analizarán las fallas de cortocircuito que se dan en las líneas de distribución, un cortocircuito se puede clasificar en los que ocurren por contacto directo y los que se dan por el

rompimiento del aislamiento, además estas fallas tienen varios tipos de cortocircuito de los cuales se necesita la información más relevante de valores de voltaje, corriente, frecuencia, en este capítulo se analizara con más detalle cada tipo de cortocircuito, así como en la Figura 3 se muestran las hipotéticas conexiones de los tipos de falla[9].

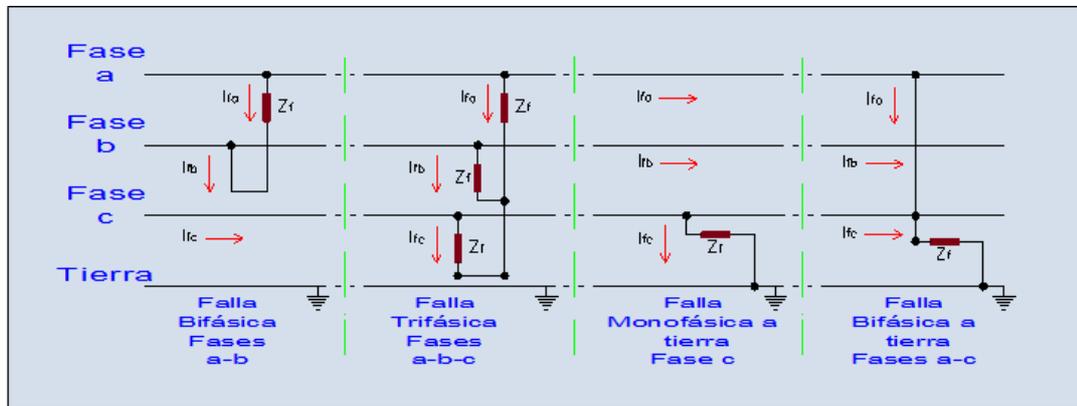


Figura 3. Cuadro de Conexiones de los posibles tipos de fallas con impedancia

Dentro de la metodología que se usará para la detección de fallas es necesario detallar las características que se darán en los diferentes tipos de fallas mencionadas, ya que el algoritmo Relief será el que compare ciertas características y pueda detectar la falla[20].

#### 4.2 Cortocircuito trifásico.

Este tipo de cortocircuito se lo conoce también como falla simétrica y se origina si las 3 fases se unen en algún momento de la operación normal del sistema, es la de menor ocurrencia pero si llega a ocurrir es la que más daños produce al sistema.

En ( 1 ) se presenta la fórmula para calcular la corriente subtransitoria de falla trifásica.

$$I_f = \frac{V_f}{Z_f} \quad ( 1 )$$

Donde:

$I_f$ : Es la corriente de falla

$V_f$ : Es el voltaje de pre-falla

$Z_f$ : Es la impedancia de falla del sistema

En la Figura 4 se verifica características de voltaje y corriente propias de la falla que en este caso se aprecia que en tiempo de falla de 0,050 s, los voltajes de las tres fases tienden a ser 0 y las corrientes aumentan en gran medida.

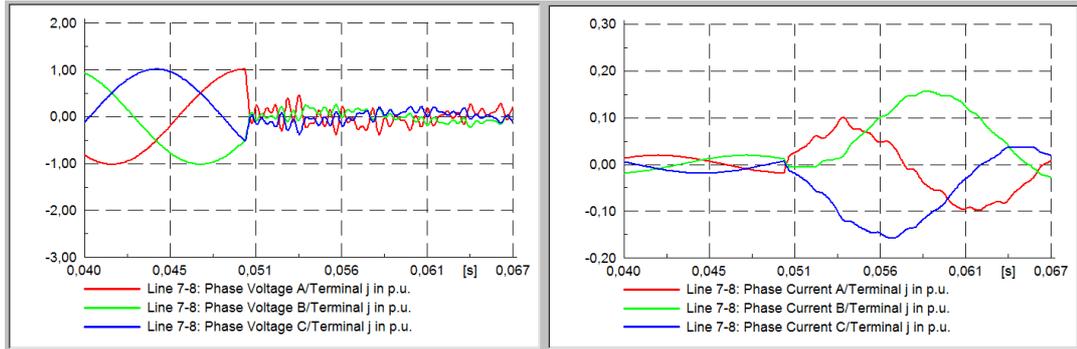


Figura 4. Esquema de falla trifásica (voltaje y corriente vs tiempo).

#### 4.2.1 Cortocircuito bifásico con conexión a tierra

En este caso existen 3 posibilidades de la unión de las fases incluido el conductor de conexión a tierra así: ABG, ACG, BCG. En ( 2 ) se presenta las características y la fórmula de cálculo cuando la falla es BCG.

$$I_{fa} = 0 \quad V_{kb} = V_{kc} = (I_{fb} + I_{fc})Z_f \quad (2)$$

Donde:

$I_{fn}$ : Es la corriente de falla en la fase n: a, b, c.

$V_{kn}$ : Es el voltaje en la barra k que ha fallado en la fase n.

En la simulación se realiza una falla bifásica con conexión a tierra en tiempo de 0,050 s, la falla ocurre entre las fases A-B, en las cuales como se observa en la Figura 5 el voltaje tiende a ser 0, y las corrientes en dichas fases se elevan en gran proporción pero en una relación menor a la de un cortocircuito trifásico, en la fase que no sufre falla se observa una pequeña distorsión de sus magnitudes de voltaje y corriente.

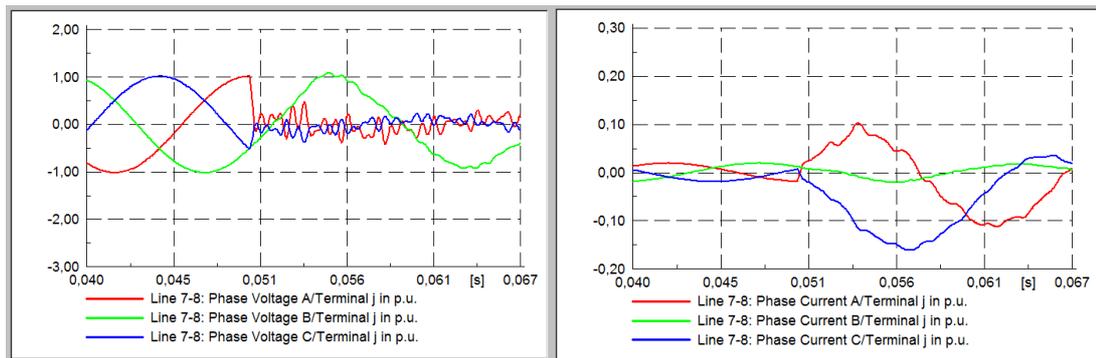


Figura 5. Esquema de falla bifásica con conexión a tierra.

#### 4.2.2 Cortocircuito bifásico

La probabilidad de presentarse este evento es muy baja pero se da cuando dos de sus fases hacen contacto entre si y además se produce una corriente alta provocando el disparo de sus protecciones diferenciales.

En ( 3 ) se puede apreciar las características cuando la falla se produce entre las fases B y C.

$$I_{fa} = 0 \quad I_{fb} = -I_{fc} \quad V_{kb} - V_{kc} = I_{fb}Z_f \quad ( 3 )$$

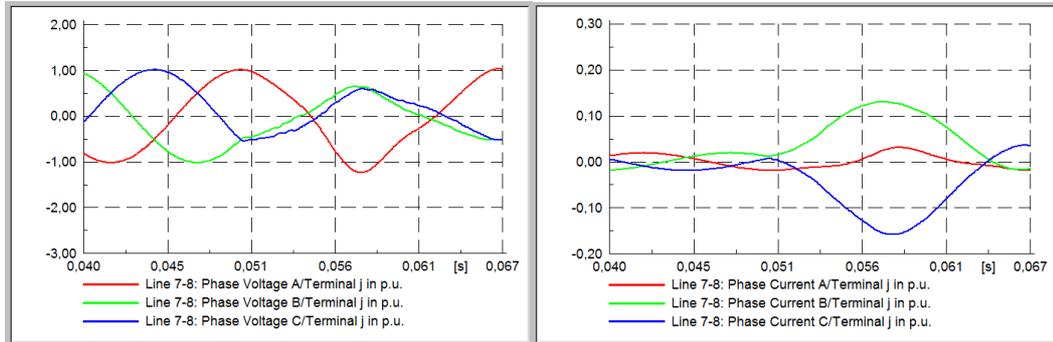


Figura 6. Esquemas de voltaje y corriente de una falla bifásica

Como se observa en la Figura 6 cuando se da este tipo de falla se produce un incremento de corrientes similar a la trifásica, es decir tiene una gran afectación al sistema, en este caso las fases B y C son las que ocasionaron la falla, las señales de los voltajes de las fases se reducen a la mitad y se distorsiona la forma senoidal.

#### 4.2.3 Cortocircuito de simple línea con conexión a tierra.

Según la literatura revisada es el que se produce con mayor frecuencia, y se da cuando cualquiera de las fases hace contacto con la tierra, así: AG, BG, CG, en ( 4 ) se puede observar la falla en la fase A con sus valores de voltaje y corriente.

$$I_{fb} = 0 \quad I_{fc} = 0 \quad V_{ka} = I_{fa}Z_f \quad ( 4 )$$

En la TABLA 2 se presenta una categorización de los tipos de falla línea a tierra que se suscitan comúnmente.

Tipo	Descripción
<b>Tipo A</b>	Falla de una sola línea a tierra con el conductor en buenas condiciones.
<b>Tipo B</b>	Con el conductor en el extremo de la fuente roto y conectado a tierra y en el extremo de la carga con el conductor suelto y colgando en el aire.
<b>Tipo C</b>	Con el conductor en el extremo de la carga roto y conectado a tierra y en el extremo de la fuente con el conductor suelto y colgando en el aire.
<b>Tipo D</b>	Línea abierta con los terminales a tierra

TABLA 2. CATEGORIZACIÓN DE FALLAS DE UNA SOLA LÍNEA A TIERRA

### 4.3 Algoritmo Relief.

Este algoritmo es un método que permite seleccionar características, que se basan en el peso dado a ciertas características, para luego elegir a las que tengan un peso mayor a un valor de referencia previamente establecido[3], en el inicio se determinó que Relief únicamente sería usado en problemas del tipo lógico, con respuestas del tipo (0,1), luego Kononenko realizó una mejora que permita realizar problemas de clasificación, en la actualidad se lo llama Relief-f y como diferencia principal es que en el análisis se puede analizar  $n$  valores más cercanos, además de tener varias clases, y la última extensión que se logró obtener es la de RRelief-F el cual es aplicable cuando existen problemas de aproximaciones así como regresiones[21],[22].

Se asume un problema de clasificación en el cual un vector.  $F$  Es el conjunto de características  $\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$  dado como referencia, además de otra función  $G$  con los demás valores característicos a comparar  $\{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$ , la comparación se dará con estos dos vectores y la diferencia de valores característicos se define como sigue[23]:

Cuando se tienen valores nominales de  $f_k$  y  $g_k$  la diferencia de características será:

$$\text{dif}(f_k, g_k) \begin{cases} 0, & \text{si los valores } f_k \text{ y } g_k \text{ son los mismos} \\ 1, & \text{si los valores } f_k \text{ y } g_k \text{ son diferentes} \end{cases} \quad (5)$$

Relief es una solución válida cuando se tiene gran nivel de relevancia, cuando las características son relevantes, al momento de seleccionar las características se realiza la comparación con un umbral previamente determinado[24].

#### 4.3.1 Algoritmo del sistema de Diagnóstico de fallos.

---

##### *Algoritmo Relief*

---

**Step1:** Creación de Base de Datos en Excel: voltaje de prefalla, corriente de prefalla, corriente de cortocircuito, corriente de secuencia positiva, voltaje y corriente en falla, magnitudes tomadas de las respectivas fases de cada línea, datos que proporciona el programa DIGSILENT.

**Step2:** El programa en Matlab extrae los valores de la base de datos creada, el algoritmo Relief inicia con la creación de las funciones con las características iniciales.

$$F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}, \quad (6)$$

**Step3:** Creación del conjunto de características a ser comparadas, se crea con los valores de voltajes y corriente.

$$G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}, \quad (7)$$

**Step4:** Seteo de los pesos  $W[A] := 0,0$ ;

For  $i := 1:m$  entonces  
 Seleccione una instancia  $R_i$ ;  
 Encuentre el golpe más cercano H y el error más  
 Cercano  $M$ ;  
 For  $A := 1:a$  entonces  

$$W[A] := W[A] - \frac{diff(A,R_i,H)}{m} + \frac{diff(A,R_i,M)}{m};$$
 End;  
 End;

**Step5:** Comparación de los conjuntos característicos F y G, y la diferencia se verifica en ( 5 ), donde el resultado será:

$diff(f_k, g_k) = 1$ ; Presencia de fallo en el sistema.

$diff(f_k, g_k) = 0$ ; Ausencia de fallo en el sistema.

**Step6:** Determinación de la línea en falla, con la gráfica de las líneas y su estado.

**Step7:** Impresión de Tabla de resultados con los datos del (Step6).

---

**End**

---

## 5. RESULTADOS ESPERADOS

Para realizar el análisis se usará el sistema de distribución 33kV/11kV que está disponible en DIGSILENT Power Factory (Distribution Reliability), el cual es un modelo de prueba que consta de una barra de 33kV la cual se conecta al bus infinito, entre el lado de media y baja tensión se encuentran conectados 13 transformadores, en el lado de baja se encuentra el sistema de distribución con 9 barras a un nivel de 11kV al que se conectan diferentes tipos de cargas, así como 5 sistemas de generación distribuida que se conectan a ese nivel de voltaje como se observa en la Figura 7 un esquema de los componentes del sistema usado, la simulación de fallas se realizó en este programa para luego obtener los datos de voltaje y corriente de cada una de las fases de las líneas usadas para el análisis y mediante el uso de Matlab obtener la lectura respectiva y aplicar el algoritmo Relief y poder detectar en que línea ocurrió la falla y luego poder clasificar el tipo de falla.

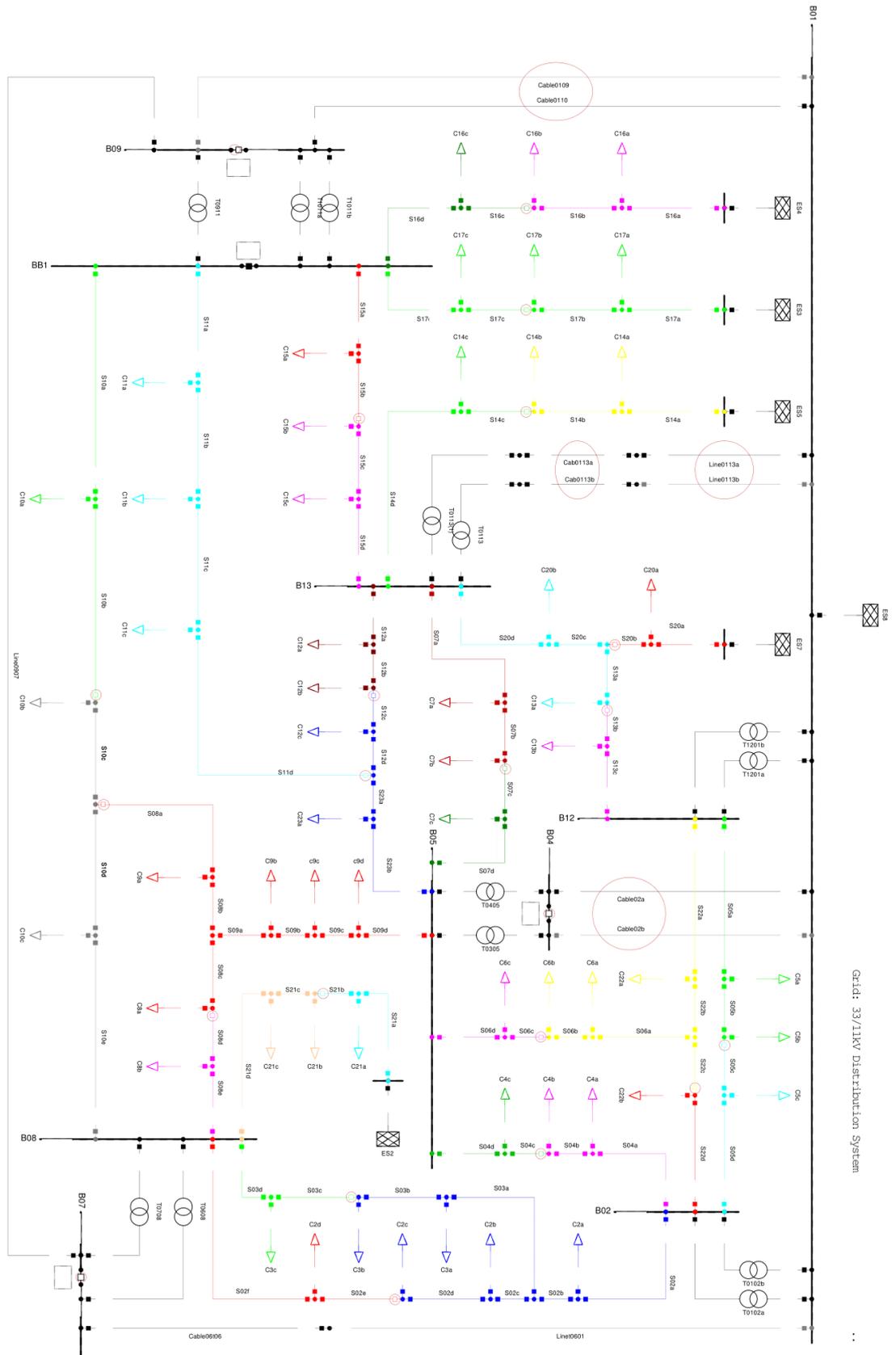


Figura 7. Sistema de Distribución usado en la simulación<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Imagen capturada del programa DlgSILENT Power Factory (Distribution Reliability).

En la primera prueba que se realizó se cuenta con 6 líneas y en la Figura 8 se puede verificar que 3 líneas han resultado con falla, las cuales como se observa en la gráfica son la línea 1, la línea 3 y la línea 5.

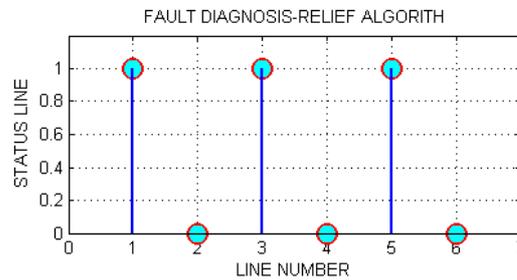


Figura 8. Prueba 1 con 3 líneas en falla.

Luego en la TABLA 3, se presentan los resultados con los nombres de las líneas con sus respectivos datos, en esta primera prueba se detecta que existe una falla línea a tierra en la fase (a) de la línea S10a, una falla bifásica de las fases (a,b) de la línea 06t06, y en la línea 0907 se detecta una falla trifásica.

<i>Nombre Línea</i>	<i>Estado Línea</i>	<i>Fase Línea</i>	<i># Línea Gráfica</i>
S10a	Falla LG	a--	Línea1
0110	Sin Falla	---	Línea2
06t06	Falla LL	ab-	Línea3
S16d	Sin Falla	---	Línea4
0907	Falla LLL	abc	Línea5
S20d	Sin Falla	---	Línea6

TABLA 3. DATOS DEL ESTADO DE LAS LÍNEAS DE LA PRUEBA 1

En la siguiente prueba se verifica en la Figura 9 que existen dos líneas en fallo la línea 2 y la línea 4.

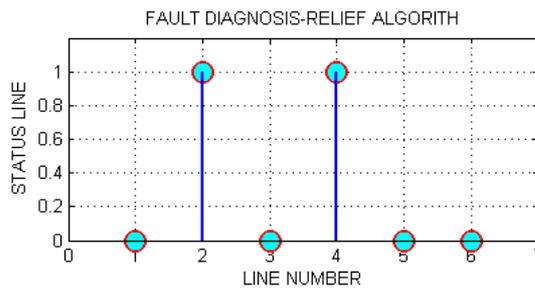


Figura 9. Prueba 2 con 2 líneas en falla

En la TABLA 4 se puede observar los datos exactos de las fallas suscitadas y en este caso existe una falla bifásica y una monofásica

<i>Nombre Línea</i>	<i>Estado Línea</i>	<i>Fase Línea</i>	<i># Línea Gráfica</i>
S10a	Sin Falla	---	Línea1
0110	Falla LL	a-c	Línea2
06t06	Sin Falla	---	Línea3
S16d	Falla LG	--c	Línea4
0907	Sin Falla	---	Línea5
S20d	Sin Falla	---	Línea6

TABLA 4. DATOS DEL ESTADO DE LAS LÍNEAS DE LA PRUEBA 2

En la prueba 3 que se realizó se cambió las líneas del sistema de distribución y en este caso se presentan 3 líneas en falla, como son la línea 1, la línea 3 y 4, ver Figura 10.

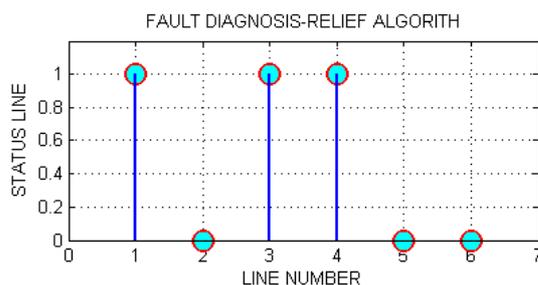


Figura 10. Prueba 3 con 3 líneas en falla

Luego en la TABLA 5 se puede verificar que en la línea 0601 se presenta una falla línea-línea en las fases (a y c), luego existe una falla de las 3 fases de la línea 02b, finalmente la última falla detectada es en línea 0113b y es una falla monofásica de la línea b.

<i>Nombre Línea</i>	<i>Estado Línea</i>	<i>Fase Línea</i>	<i># Línea Gráfica</i>
0601	Falla LL	a-c	Línea1
S10e	Sin Falla	---	Línea2
02b	Falla LLL	abc	Línea3
0113b	Falla LG	-b-	Línea4
0109	Sin Falla	---	Línea5
0113a	Sin Falla	---	Línea6

TABLA 5. DATOS DEL ESTADO DE LAS LÍNEAS DE LA PRUEBA 3

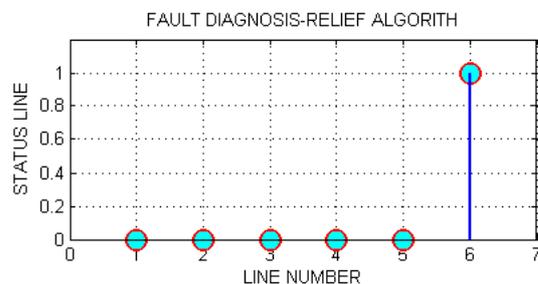


Figura 11. Prueba final con falla en una línea

En la prueba final que se realizó se puede ver en la Figura 11 que se produjo una falla en la línea 6 del sistema de distribución y en la TABLA 6 los datos de la única falla en la línea

0113a, el tipo de falla es bifásica y se dio en las fases (b y c), como se observa en la tabla el resto de líneas se encuentran operando normalmente.

<i>Nombre Línea</i>	<i>Estado Línea</i>	<i>Fase Línea</i>	<i># Línea Gráfica</i>
0601	Sin Falla	---	Línea1
S10e	Sin Falla	---	Línea2
02b	Sin Falla	---	Línea3
0113b	Sin Falla	---	Línea4
0109	Sin Falla	---	Línea5
0113a	Falla LL	-bc	Línea6

TABLA 6. DATOS DEL ESTADO DE LAS LÍNEAS DE LA PRUEBA FINAL

## **6. ESTRATEGIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Dentro de las estrategias de divulgación se plantean las siguientes:

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

## **7. 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

## **8. CONCLUSIONES**

En este trabajo, se realizó un método matemático para Diagnosticar fallos en sistemas de distribución usando mediciones de corriente y voltaje en un solo terminal de las líneas y cables del sistema.

Mediante el uso del algoritmo Relief seleccionar las características más relevantes de los datos recolectados de un sistema de distribución de 11kV/33kV generados en el simulador DIgSILENT, con el fin de verificar si existe algún tipo de falla en el sistema.

En la validación del programa se usó datos de mediciones en por unidad de cada línea del sistema simulado, las mediciones se realizaron en intervalos de 10ms, en el momento de detectar alguna anomalía en el sistema el algoritmo comienza con la selección de características hasta encontrar la existencia de alguna falla.

Como resultado final se obtiene una gráfica y una tabla de datos con el respectivo reporte, la efectividad de los resultados es una gran ventaja, sin embargo el tiempo en que se demora en

el análisis dependerá del número de datos que se recolectaron, siendo esta una pequeña desventaja del programa creado.

El programa realizado con el Algoritmo Relief resultó de gran utilidad para el Diagnóstico de fallos, ya que se simularon diferentes escenarios con los tipos de falla que generalmente ocurren en sistemas de distribución, siendo efectivo en la detección y clasificación de la falla.

Para lograr un diagnóstico completo del sistema, se recomienda como un trabajo futuro la determinación de la ubicación exacta, es decir la distancia a la que se generó la falla en la línea y así lograr un Diagnóstico de fallos más exacto y eficiente, facilitando la reparación y el rápido restablecimiento del servicio de energía eléctrica al usuario final, mejorando así la confiabilidad del sistema de distribución.

## 9. REFERENCIAS

- [1] P. A. Laplante, *Electrical Engineering Dictionary*, vol. 1. 2000.
- [2] T. Ladkrabang, "Fault Diagnosis In Transmission Lines Using Wavelet Transform Analysis," pp. 2246–2250, 2002.
- [3] K. Kira and L. a Rendell, *A Practical Approach to Feature Selection*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1992.
- [4] J. P. Liu, J. T. Lm, H. S. Yu, and R. T. Kuo, "An Expert System for Locating Distribution System Faults," *Transactions*, vol. 6, no. 1, pp. 366–372, 1991.
- [5] J. a. Momoh, L. G. Dias, and D. N. Laird, "An implementation of a hybrid intelligent tool for distribution system fault diagnosis," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 12, no. 2, pp. 1035–1040, 1997.
- [6] M. Peng, Y. Tan, and M. E. Shen, "Fault location for radial feeders based on branch-fault diagnosis method," *2007 8th Int. Conf. Electron. Meas. Instruments, ICEMI*, pp. 3478–3481, 2007.
- [7] A. H. El-Abiad and G. W. Stagg, *Computer Methods in Power System Analysis*. Stagg. McGraw-Hill, 1968.
- [8] T. Gonen, *Electric Power Distribution Engineering, Third Edition*, 3 edition. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [9] H. Saadat, *Power system Analysis*, THIRD EDIT. United States: PSA Publishing, 2010.
- [10] W. Y. W. Yingying and L. Y. L. Yee, "A new online fault diagnosis algorithm based on likelihood ratio and Tabu search in distribution networks," *Adv. Comput. Theory Eng. (ICACTE), 2010 3rd Int. Conf.*, vol. 3, pp. 310–313, 2010.

- [11] G. E. Harper, *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores*. Editorial Limusa, 1996.
- [12] K. L. Butler, “A Neural Net Based Approach For Fault Diagnosis In Distribution Networks,” vol. 00, no. c, pp. 1275–1278, 2000.
- [13] E. a. Mohamed and N. D. Rao, “Artificial neural network based fault diagnostic system for electric power distribution feeders,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 35, no. 1, pp. 1–10, 1995.
- [14] J. Zhang and Z. Y. He, “Distribution system fault diagnosis scheme based on multiple information sources: For railway passenger dedicated line,” *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, pp. 0–3, 2009.
- [15] A. Rafinia and J. Moshtagh, “A new approach to fault location in three-phase underground distribution system using combination of wavelet analysis with ANN and FLS,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 55, pp. 261–274, 2014.
- [16] P. R. . Jota, S. M. Islam, T. Wu, and G. Ledwich, “A class of hybrid intelligent system for fault diagnosis in electric power systems,” *Neurocomputing*, vol. 23, no. 1–3, pp. 207–224, 1998.
- [17] C. a. Apostolopoulos and G. N. Korres, “A novel algorithm for locating faults on transposed/untransposed transmission lines without utilizing line parameters,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 4, pp. 2328–2338, 2010.
- [18] D. L. Lubkeman, S. Member, and A. a. Girgis, “Automated fault location and diagnosis on electric power distribution feeders,” *Power Deliv. IEEE Trans.*, vol. 12, no. 2, pp. 801–809, 1997.
- [19] J. José, M. Flórez, I. Electricista, D. Ph, and H. Vargas, “Método de localización de fallas en sistemas de distribución basado en gráficas de reactancia,” no. 34, 2007.
- [20] M. Farshad and J. Sadeh, “Transmission line fault location using hybrid wavelet-Prony method and relief algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, no. 0, pp. 127–136, 2014.
- [21] I. Kononenko, “Estimating Attributes: Analysis and Extensions of RELIEF,” in *Proceedings of the European Conference on Machine Learning on Machine Learning*, 1994, pp. 171–182.
- [22] Y. Sun, “Iterative RELIEF for feature weighting: Algorithms, theories, and applications,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 29, no. 6, pp. 1035–1051, 2007.
- [23] C.-C. Chang, “Generalized iterative RELIEF for supervised distance metric learning,” *Pattern Recognit.*, vol. 43, no. 8, pp. 2971–2981, 2010.
- [24] M. Robnik-Siknjica and I. Kononeko, “Theoretical and empirical analysis of Reliff and RReliefF,” *Mach Learn*, vol. 53, pp. 23–69, 2003.