

**DETECCIÓN DE FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN RADIAL BASADO
EN EL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS
EN RAMALES Y RATÁNDAS**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**DETECCIÓN DE FALLAS EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN RADIAL BASADO EN EL
MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN
RAMALES Y RATÁN DAS**

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

AUTOR: JEFFERSON DAVID MOROCHO

MORALES

TUTOR: DIEGO FRANCISCO CARRIÓN

GALARZA

Quito -Ecuador

2022

Jefferson David Morocho Morales

DETECCIÓN DE FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN RADIAL BASADO EN EL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN RAMALES Y RATÁN DAS

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Jefferson David Morocho Morales (Y'2000 – M'03). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Unidad Educativa “San José La Salle” de la ciudad de Quito. Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en detección de fallas en redes de distribución radial basado en los métodos de diagnóstico de fallas en ramales y ratán das. jmorochom13@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza (Y'1981). Doctor y Máster en Ingeniería por la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín – Colombia, Máster en Energías Renovables por la Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí – Ecuador, Ingeniero Eléctrico por la Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador. Profesor e investigador de la Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador. En la actualidad es miembro del grupo de investigación Redes Eléctricas Inteligentes (GIREI).

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

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

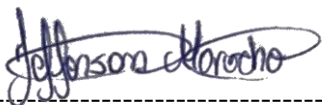
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jefferson David Morocho Morales con documento de identificación N° 1723629646 manifiesto que:

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

Quito, 09 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Jefferson David Morocho Morales

1723629646

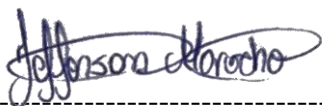
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jefferson David Morocho Morales con documento de identificación No. 1723629646, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico : “Detección de fallas en redes de distribución radial basado en el método de diagnóstico de fallas en ramales y Ratán Das”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 09 de septiembre del año 2022

Atentamente,




Jefferson David Morocho Morales
1723629646

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Francisco Carrion Galarza con documento de identificación N° 1713703062, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DETECCIÓN DE FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN EL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN RAMALES Y RATÁN DAS**, realizado por Jefferson David Morocho Morales con documento de identificación N° 1723629646, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 09 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Diego Francisco Carrion Galarza, MSc
1713703062

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	2
2. Marco Teórico.....	3
2.1. Sistemas de Distribución Eléctrica.....	3
2.1.1 Tipos de Distribución Eléctrica.....	3
2.2.1 Índices de Confiabilidad.....	5
2.3 Fallas en distribución eléctrica.....	5
2.3.1 Tipos de Fallas en distribución eléctrica.....	6
3. Métodos de diagnósticos de fallas.....	6
3.1 Filtro de Kalman.....	7
3.2 Onda Viajera.....	7
3.3 Ratán Das.....	7
3.4 Impedancia de un solo extremo.....	8
3.5 Transformada de Wavelet.....	8
3.6 Diagnóstico de fallas en ramales.....	9
4. Planteamiento del problema.....	9
5. Análisis de Resultados.....	10
5.1 Falla Monofásica.....	10
5.2 Falla Bifásica.....	11
5.3 Falla Trifásica.....	12
6. Conclusión.....	14
7. Trabajos futuros.....	14
8. Referencias.....	14
9. Anexos.....	18
10. Estado del Arte.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de distribución en Anillo existe retorno.	4
Figura 2. Sistema de Distribución Radial no existe retorno.	4
Figura 3. Sistema de Distribución en Malla	5
Figura 4. Falla Asimétrica ocurre en una fase del sistema.	6
Figura 5. Falla Simétrica ocurre en las tres fases del sistema	6
Figura 6. Falla Asimétrica ocurre en las dos fases del sistema	6
Figura 7. Falla Monofásica L 8-9.	10
Figura 8. Voltajes de falla Monofásica L 8-9.	10
Figura 9. Corrientes de falla Monofásica L 8-9.	10
Figura 10. Falla Bifásica L 4-5.	11
Figura 11. Voltajes de falla bifásico L 4-5.	12
Figura 12. Corrientes de falla bifásico L 4-5.	12
Figura 13. Falla Trifásica L 15-16.	13
Figura 14. Voltajes de falla Trifásica L 15-16.	13
Figura 15. Corrientes de falla Trifásica L 15-16.	13
Figura 16. Sistema de prueba de 34 barras.	18
Figura 17. Sistema de prueba de 37 barras.	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fallas en los sistemas de prueba.....	10
Tabla 2. Datos falla monofásica L 8-9.	10
Tabla 3. Datos de la línea 8-9.....	10
Tabla 4. Distancia de falla L8-9	11
Tabla 5. Voltajes pre-falla y falla L 8-9 para sistema 34 barras.	11
Tabla 6. Datos falla bifásica L 4-5.	11
Tabla 7. Datos de la línea 4-5.....	11
Tabla 8. Distancia de falla L 4-5.	12
Tabla 9. Voltajes pre-falla y falla bifásica L 4-5 para sistema 34 barras.	12
Tabla 10. Datos falla Trifásica L 15-16.	13
Tabla 11. Datos de la línea 15-16.....	13
Tabla 12. Características sistema de prueba de 34 barras.	19
Tabla 13. Características sistema de prueba de 37 barras.	21
Tabla 14. Fallas en distintos escenarios de prueba.....	22
Tabla 15. Indicadores estado del arte	23

DETECCIÓN DE FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN RADIAL BASADO EN EL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN RAMALES Y RATÁN DAS

Resumen

Este trabajo plantea una nueva perspectiva para la localización de fallas en redes de distribución radial, dando así solución a los múltiples problemas que se pueden presentar cuando ocurren fallas eléctricas en dichas redes de distribución, basados en los métodos de diagnóstico de fallas en ramales y Ratán Das, métodos que se complementan de manera idónea, para la detección de fallas en alimentadores radiales.

Basándose en los métodos presentados, se propone el criterio de identificación del sector de fallas de línea y el correspondiente proceso de localización de fallas. Realizando la detección de fallas en la línea, midiendo las respuestas de los voltajes de los nodos medibles correspondientes a las excitaciones de una corriente particular aplicadas en los nodos accesibles de las líneas de distribución.

Palabras Clave: Alimentadores de Distribución, Impedancia Aparente, Voltaje de falla, Voltaje de pre-falla, Sistema de Distribución Radial, Parámetros de Líneas.

Abstract

This work proposes a new perspective for the location of faults in radial distribution networks, thus providing a solution to the multiple problems that can arise when electrical faults occur in said distribution networks, based on the methods of diagnosing faults in branches and Rattan. Das, methods that complement each other in an ideal way, for the detection of faults in radial feeders.

Based on the methods presented, the line fault sector identification criteria and the corresponding fault location process are proposed. Performing line fault detection by measuring the responses of measurable node voltages corresponding to current excitations applied at accessible nodes of distribution lines

Keywords: Distribution Feeders, Apparent Impedance, Fault Voltage, Pre-Fault Voltage, Radial Distribution System, Line Parameters.

1. Introducción.

Con el pasar de los años y los múltiples avances de la tecnología, año tras año se vuelve más riguroso el marco regulatorio para el sistema eléctrico de distribución Ecuatoriano, distintas cuadrillas de acción llamados equipos de operación y mantenimiento en el país luchan por garantizar y mantener una mejora constante en la calidad de servicio eléctrico de distribución [1].

El rápido crecimiento de la demanda en los sistemas de distribución, causó el crecimiento de varios ramales para poder abastecer el servicio eléctrico a todos los usuarios, dichos ramales pueden llegar a sufrir fallas debidos a causas climáticas, así también por daño de algunos equipos dentro de la red eléctrica de distribución como daños en reconectores o interruptores de la red [2].

Una de las variables que más afectan al sistema eléctrico de distribución, es la duración de las interrupciones y esto viene ligado a la carencia de metodologías que nos permita encontrar de forma precisa y rápida la ubicación de la falla, causando así la desconexión del primario o la salida de una parte del circuito [3].

No está por demás decir que en la vida cotidiana las fallas eléctricas se pueden llegar a producirse por condiciones climáticas y comunes como las tormentas eléctricas, así como también por terceros como choques con postes, entre otros [4].

Por otra parte, la confiabilidad es importante cuando hablamos de sistemas de distribución, puesto que nos hace saber la capacidad que tiene cualquier red eléctrica para el suministro a distintos tipos de usuarios finales de manera firme e ininterrumpida, la confiabilidad la podemos cuantificarla mediante índices de desempeño, obteniendo estos de eventos

pasados que han sucedido dentro de la red en falla [5].

Hoy en día, cuando sucede la salida del primario o parte del circuito, los grupos de operación y mantenimiento están obligados a recorrer gran parte de la red, empleando inspecciones visuales, con el fin de buscar anomalías en la red, como aisladores rotos, conductores en el suelo o la desconexión de algún equipo reconector, empleando también el uso de cámaras termográficas en busca de puntos calientes dentro de la red en falla [6].

En estos sistemas de distribución tradicionales que cuentan con una fuente de alimentación, sistemáticamente se tiene un proceso a seguir cuando ocurre una falla eléctrica, la localización de esta, la coordinación con el sistema automatizado, para la apertura de equipos o la activación de líneas vivas, hasta la restauración del sistema [7].

Otro problema que se llegan a presentar dentro del sistema de distribución se debe a que antiguamente los conductores se soterraban sin ducteria alguna, presentando así un problema para nuestras generaciones actuales, debido a que la humedad en la tierra desgasta de forma más rápida el aislamiento del conductor, produciendo así el contacto entre fases, lo que provoca un corto circuito en las derivaciones o en el propio primario [8].

En muchos casos para poder dar con estas fallas los equipos de operación y mantenimiento utilizan un instrumento llamado “hipot”, el cual nos permite medir la distancia y darle seguimiento al trayecto del conductor, no obstante, la utilización de dicho instrumento no es exacto, puesto que una vez con suerte encontrada el tramo afectado en el conductor, se procede a realizar zanjas en un rango de 10 a 20 metros en línea recta hasta encontrar con el tramo afectado [9].

Muchos de los casos, cuando la falla persiste, y no es factible seguir alimentando por dicho circuito, los equipos de operación y mantenimiento optan por realizar interconexiones entre los primarios cercanos, tomando en cuenta que estas empresas de distribución cuentan con redes en anillo, malladas y radiales por la misma razón, que por medio de estas se puede dar continuidad al servicio de energía eléctrica [10].

Todos estos casos derivan en el mismo problema, la desconexión de la red por amplios periodos de tiempo, afectando así a los usuarios finales y a las empresas distribuidoras de energía, debido a que el órgano regular (ARCERNNR) sanciona a dichas empresas dependiendo la determinación de dos índices fundamentales, la frecuencia media de interrupción y el tiempo total de interrupción (FMIK, TTIK).

Así mismo, este ente regulador anima a las empresas distribuidoras, para la inversión de infraestructura eléctrica, equipos que monitoreen y controlen los sistemas de información con el fin de optimizar la calidad de servicio a sus usuarios [11].

Por otra parte, los métodos para la efectiva localización de fallas deben ser dinámicos y capaces de una buena emulación del comportamiento no solo en el momento que se produce la falla, también en operación lo que, por el contrario, en los métodos tradicionales no sucede, debido a que se tomaban medidas de parámetros de un lugar específico en la red o se complementaban de las experiencias de los operadores [12].

Se debe tomar a consideración que, al momento de implementar un localizador de falla eficiente y preciso, involucra un cierto grado de dificultad debido a distintos factores que están inmersos en sí, de modo que se deberá tomar también en

consideración el tipo de red en el cual la falla existe [13].

El artículo se lo realiza con el fin de obtener un localizador de fallas eficiente e innovador, que al momento de presentar anomalías en el sistema de algoritmos estos sean rápidos y eficientes, aportando a la calidad del sistema y la disminución de costos operativos y de mantenimiento, se considera eficaz el método de Ratán Das, debido a su desempeño y a su adaptación con los parámetros para sistemas de tipo radial, así como también el método de diagnóstico de fallas en ramales [14].

2. Marco Teórico.

Para entender las fallas eléctricas en redes de distribución radial, debemos tener un concepto claro de la misma. Esta sección se enfoca en dar una guía al lector, así como también informar temas específicos para la realización de este trabajo.

2.1. Sistemas de Distribución Eléctrica.

Estas redes se vuelven fundamentales para los sistemas de potencia, debido a la potencia generada, se es repartida diferentes en tipos de usuarios que se localiza en distintos lugares y grandes territorios [15].

Otra manera de entender que es distribución eléctrica, se basa en entender los distintos elementos de esta red como, subestaciones principales de potencia, subestación de distribución y transformadores monofásicos o trifásicos de distribución [16].

2.1.1 Tipos de Distribución Eléctrica.

Existen tres tipos de distribución de la energía eléctrica a continuación, se detallan tres de los más utilizados.

a) En anillo.

Se alimentan de dos o más sitios cerrando un anillo, esto quiere decir que cuenta con más de una trayectoria por donde puede circular la corriente.

Sistemas como este se los utiliza para el abastecimiento en cargas superiores o grandes, como lo es en los sectores industriales, el sector de la construcción, centros comerciales, junto con otros con las mismas similitudes o características.

La ventaja está en sus componentes, que si presenta una falla en la red puede seguir operando con normalidad debido a sus distintos puntos de alimentación, la desventaja es que son más complejas y difíciles de proteger eléctricamente [17].

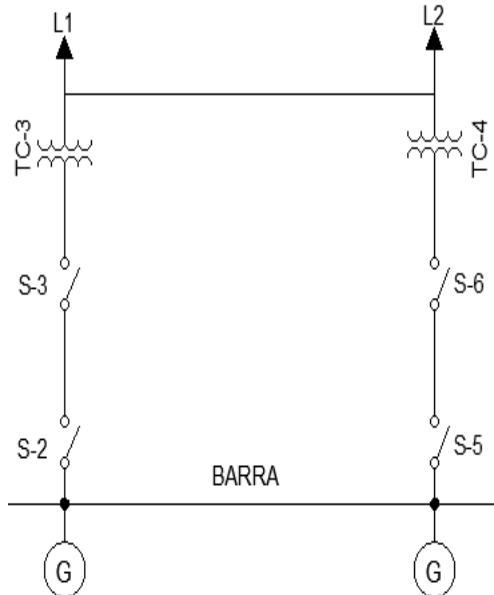


Figura 1. Sistema de distribución en Anillo existe retorno.

b) Radial.

Se alimentan desde una sola parte de sus extremos, indica la corriente que fluye en un simple camino sin regreso, como ventaja son redes muy sencillas de instalar, la desventaja principal es que, ante una

falla de uno de sus componentes, toda la red queda deshabilitada [17].

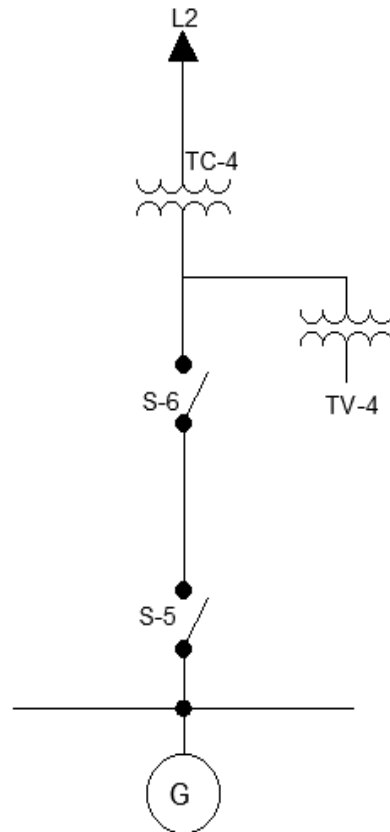


Figura 2. Sistema de Distribución Radial no existe retorno.

c) En malla.

Formadas por redes en anillo unidas de forma radial, aporta una mayor confiabilidad a causa de su alimentación que se da desde dos plantas.

En su gran mayoría estos sistemas son más utilizados en los lugares de primera necesidad, donde la energía eléctrica debe estar siempre presente sin ningún tipo de interrupciones o perturbaciones, un claro ejemplo que tenemos en el diario vivir son los hospitales. La desventaja de esta configuración es que son redes que de alguna manera son complejas en donde la

potencia de cortocircuito aumenta de forma brusca [17].

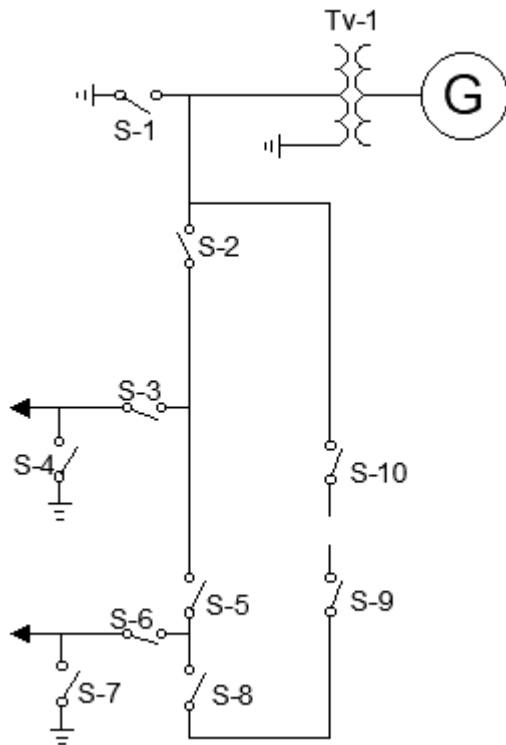


Figura 3. Sistema de Distribución en Malla

2.2 Confiabilidad en distribución eléctrica.

La confiabilidad en los alimentadores de distribución eléctrica es de suma importancia, puesto que nos indica la capacidad que tiene dicha red para proveer de energía a los distintos modelos de usuarios finales de manera constante y sin interrupciones.

La confiabilidad se la logra medir por medio de los índices de desempeño, que se obtienen a través de los distintos registros de eventos pasados que suceden en la red y también por medio de la predicción de confiabilidad [18].

Hoy en día las compañías encargadas distribuir energía eléctrica llevan a cabo una data de estadísticas de los eventos

pasados de las redes que están a su cargo, con lo que las empresas pueden evaluar la ejecución de las redes de distribución [19].

El poder pronosticar los índices de confiabilidad tiene como fin determinar un debido comportamiento que puede llegar a tener la red de distribución, basándose en su comportamiento pasado, para así poder tomar decisiones sobre las modificaciones que se van a realizar y sobre qué elementos se lo hará [20].

2.2.1 Índices de Confiabilidad.

Los índices de confiabilidad se clasifican por categorías, que se han ido introduciendo para facilitar pronósticos y así tomar mejores decisiones al momento de que se presente una falla [21].

- TTIK
- FMIK

Estos indicadores nos advierten acerca del tiempo y la frecuencia de duración de una falla eléctrica por kVA instalados, en un periodo determinado en que el servicio estuvo ausente.

Como podemos ver en los índices, se basan básicamente en cantidades netamente probabilísticas, es por ello que se implementa localizadores de fallas para mejorar estos índices de confiabilidad [22].

2.3 Fallas en distribución eléctrica.

Los SEP han tenido un gran crecimiento en estos últimos años, en base a un efecto de un gran incremento de ramales que presenta una operación, pero estos pueden llegar a experimentar fallos debido a distintos fenómenos como son, tormentas eléctricas, lluvias prolongadas, o accidentes provocados por terceros [23].

El poder predecir y ubicar fallas en la red de distribución se ha transformado en la principal meta en el funcionamiento del sistema eléctrico, para poder cumplir esta meta, las redes están en la obligación de estar completamente equipadas junto con la ayuda de varias funciones de los sistemas, a modo que la eficacia de la distribución aumente [23].

2.3.1 Tipos de Fallas en distribución eléctrica.

En los alimentadores de distribución existen distintos tipos de fallas, estas fallas son clasificadas en simétricas o asimétricas. Dependiendo el tipo de falla tenemos fallas trifásicas, bifásicas o monofásicas, como se indica en la figura 4,5,6.

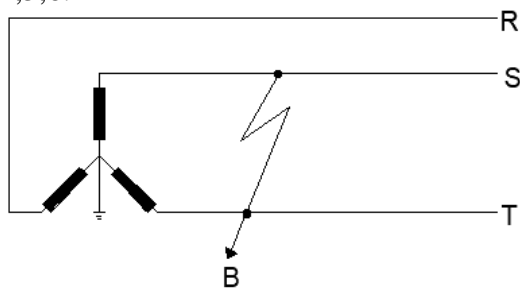


Figura 4. Falla Asimétrica ocurre en una fase del sistema.

a) Fallas Simétricas.

Son fallas que ocurren en las tres fases del sistema, debido a este tipo de fallas, hay gran flujo de corriente, provocando daños serios al sistema de distribución eléctrica, normalmente son causados por fenómenos atmosféricos, pero son muy raros de que ocurran [24].

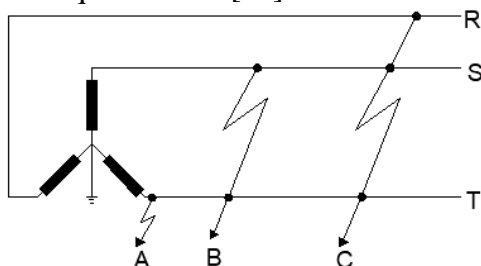


Figura 5. Falla Simétrica ocurre en las tres fases del sistema.

b) Fallas Asimétricas.

Estas fallas suceden comúnmente en una o dos fases del sistema, provocando desfase de voltaje y corriente dentro de los sistemas, tiene un considerable índice de repetencia en eventos de falla dentro de los sistemas de distributivos, debido a que la red por lo general no se encuentra balanceada.

El tipo de fallas presentado acaban con los distintos componentes de la red, se estudian a través de la descomposición en componentes simétricos de secuencias tales como: cero, positivo y negativo.

El sistema monofásico refiere a neutro y fase este es común en las oficinas, domicilios, locales de comercio pequeño, a diferencia de un sistema bifásico que refiere a una tensión de línea a línea, esto indica que la energía fluye a través de dos o tres conductores [24].

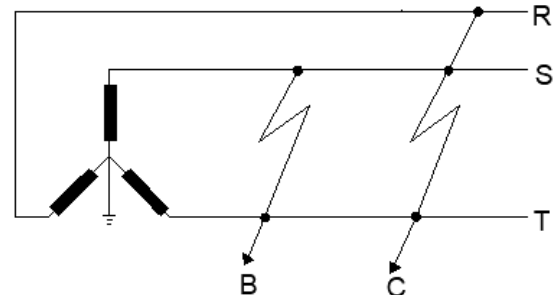


Figura 6. Falla Asimétrica ocurre en las dos fases del sistema.

3. Métodos de diagnósticos de fallas.

Para un correcto análisis de fallas en sistema distributivo es necesario la implementación de distintos modelos matemáticos que sean dinámicos y capaces de emular el comportamiento no solo en falla, también en operación, estos deben

ser capaces de aplicar técnicas de procesos de señales de voltaje y corriente, los métodos nombrados son [25]:

3.1 Filtro de Kalman.

Es un procedimiento que nos autoriza la estimación de variables de estado no visibles. de variables visibles, las mismas a tener un error en su medición.

Para utilizar este método se necesita que las variables de estado se relacionen con las variables visibles, y que se llegue a determinar la estructura temporal de las variables de estado [26].

Este método se caracteriza por ser dinámico y no ser lineal y es aplicable a la extensión de un filtro que debe ser acoplado por un suceso de linealización.

Se trata de un método recursivo aplicado en funciones que manejan en la contención del tiempo, basándose en que el modelo asume un tiempo t , y como este sistema está en constante evolución, tomara un tiempo $t-1$ [27].

$$X_{t0} = F_{t0}X_{t-1} + C_{t0}U_{t0} + W_{t0} \quad (1)$$

Donde:

X_{t0} : Variable que contiene términos de interés del sistema en el tiempo $t0$.

U_{t0} : Variable que abarca entradas de control.

F_{t0} : Matriz de cambio de estado.

C_{t0} : Matriz de ingreso de control.

W_{t0} : Variable que contiene términos del proceso.

3.2 Onda Viajera.

Método que permite el monitoreo periódico de tiempo de arribo de las ondas, para precisar la localización de la falla, este procedimiento caracteriza por no ser tan confiable, debido a que demanda una

alta repetición de muestras para poder emitir un juicio de valor [28].

Basándonos en esto se presenta una fórmula que precisa el recorrido de dos puntos, el punto fallado y el punto de localización de la misma, la cual está definida por [29]:

$$d_i = \frac{v\Delta t_{ij} + l_{ij}}{2} \quad (2)$$

Donde:

v : velocidad que se propaga la onda viajera.

t_i y t_j : tiempos de inicio que arriba la onda viajera, registrados por dichos puntos.

$\Delta t_{ij} = t_i - t_j$. l_{ij} : dirección más pequeña entre los puntos i, j que atraviesan la línea de la falla.

El método indica que los datos recopilados por el algoritmo de medición localizados en los límites de las líneas pueden no siempre ser exactos, debido a que se ven afectados por distintos factores como, el movimiento de la línea de transmisión y el clima.

Este método se destaca por su comportamiento al momento de detectar fallas a tierra dentro del sistema de transmisión [30].

3.3 Ratán Das.

Este método permite localizar fallas en sistema de distribución radial, considerando el espacio de la falla, partiendo de los fasores de voltaje y corriente pre-falla y de la falla medida, tomando en cuenta que el método solo se aplica en la cabecera del circuito [31].

El algoritmo se lo aplica a través de repetidas cargas, para analizar las variaciones de la impedancia de carga, en manejo del voltaje, estos son analizados

por medio de los voltajes y corrientes pre-falla [14].

Siguiendo el algoritmo tenemos como primer punto el obtener los fasores tanto de corriente y de voltaje en las cabeceras de los circuitos, seguido por especificar el tipo de falla sobre el cual vamos a operar.

En este caso pueden ser fallas monofásicas a tierra, bifásicas entre fases, falla bifásica a tierra o falla trifásica balanceada, dependiendo de este tipo de fallas el algoritmo analizará la fórmula por la cual diagnosticará la falla:

Para falla Monofásica:

$$Z_{a1} = Im * \frac{V_{fam}}{I_{famr}} \quad (3)$$

Para falla Bifásica:

$$Z_{a2} = Im * \frac{V_{fam} - V_{fbm}}{I_{famr} - I_{fbmr}} \quad (4)$$

Para falla Trifásica:

$$X_{ap} = Im \frac{V_{af}}{I_{af}} \quad (5)$$

Donde:

Z_{a1} : Impedancia aparente al punto de falla monofásica.

Z_{a2} : Impedancia aparente al punto de falla bifásica.

Z_{a3} : : Impedancia aparente al punto de falla trifásica.

Im : Corriente media.

V_{af} : Voltaje secuencia positiva.

I_{af} : Corriente secuencia positiva.

V_{fbm}, V_{fcm} : Voltaje de falla en fases.

$I_{famr} - I_{fbmr}$: Corriente de falla en fases.

3.4 Impedancia de un solo extremo.

Este método permite localizar fallas en sistemas de distribución, con ayuda de la medición de la postura de la falla, a partir de la impedancia figurada, únicamente desde uno del borde de la línea [32].

En este punto se medirá voltajes como corrientes de fase a tierra, para así poder detectar con exactitud el tipo de falla eléctrica [33].

Secuencia positiva para una falla monofásica:

$$mZ_{IL} = \frac{Va}{(I_a + kI_R)} \quad (6)$$

Impedancia de secuencia positiva para falla bifásica.

$$mZ_{IL} = \frac{Vab}{Ia} \quad (7)$$

Donde:

k : $(Z_{0L} - z_{1L})/3z_{1L}$.

Z_{0L} : Impedancia de la línea en secuencia cero.

m : Distancia de la falla en [p.u].

I_R : Corriente residual.

3.5 Transformada de Wavelet.

Este método se basa en descomponer una señal, la cual tiene una duración limitada y un valor promedio de cero, este tipo de señales pueden ser asimétricas e irregulares, debido a esto se adaptan de mejor manera en el análisis de señales [34].

El objetivo final de este método y por el cual fue desarrollado, es la opción de

converger problemas de la transformada de Fourier en el tiempo, produciendo una óptima figura de una señal en tiempo y frecuencia de manera síncrona.

El método funciona a partir de que se calcula que parte de una ondulada hay en únicamente desde uno del borde de la línea [32].

En este punto se medirá voltajes como corrientes de fase a tierra, para así poder detectar con exactitud el tipo de falla eléctrica [33].

$$W_{f(S,T)} = \int f(t) \psi^*(t) dt \quad (13)$$

Donde:

*: Es el conjugado.

f(t): Es una señal continua.

$W_{f(S,T)}$: Es la transformada de Fourier.

ψ : Wavelet de forma desplazada y escalada.

3.6 Diagnóstico de fallas en ramales.

Este método para la ubicación de fallas existe a partir de que en un instante de tiempo existen k fallas de manera simultánea dentro de la red de distribución, y esta falla detectada puede ser cambiada por una fuente de corriente apropiada, denominada corriente de falla [8].

Para este método se debe obtener los voltajes pre-falla y falla, calculando así una diferencia entre estos dos voltajes en todo el sistema de prueba para que, por medio de esto, calcule el ramal en falla y de con la línea fallada.

Entonces este método se puede realizar mediante la comprobación de la corriente de falla que, por supuesto, no existe falla si todas las fuentes de corriente de falla son inexistentes [8].

4. Planteamiento del problema.

Las fallas eléctricas en alimentadores de distribución radial, se han convertido en una problemática en la actualidad para la Ingeniería Eléctrica, debido a que las empresas distribuidoras cuentan con índices de calidad y eficiencia, en el caso de presentar perturbaciones que no son atendidas a tiempo, hace que los entes reguladores de dichas empresas los coloquen en un puesto bajo en el ámbito laboral, esto se debe a la poca eficiencia de equipos y métodos para detectar fallas en los alimentadores de distribución radial, combinado con que algunos ramales fuera de la troncal se encuentran de manera soterrada.

Para este caso de estudio se ha tomado en cuenta dos alimentadores de prueba de IEEE; de 34 y 37 barras para distribución, cuyas características se las puede observar en las tablas 11 y 12 de los anexos, para comprobar la eficiencia de ambos métodos que se complementan de manera idónea, Ratán Das y el diagnóstico de falla en ramales.

Algoritmo de detección de fallas en sistemas de distribución radial basado en el método Ratán das y diagnóstico de falla en ramales

Paso 1: Inicio.

Parametrización del SEP.

Matriz de conectividad:
Vi,Ij,Rij,Xij,Bij,Gij.

Paso 2: Simulación flujo de potencia.

Mediante ATP Draw obtención:
[Fasores V,I de todo el sistema].

Paso 3: Simulación de fallas.

1Ø, 2Ø, 3Ø se obtiene : [Fasores Vf,If de la línea fallada].

Paso 4: Ratán Das.

$$X_{ap} = \frac{V_{fgen}}{I_{fgen}}$$

$$X_{ab} = \frac{V_{f\text{línea}}}{I_{f\text{línea}}}$$

$$X_{eq} = \frac{V_f}{I_f}$$

```

While Xeq < Xap
  if Xab < Xap
    Se encuentra el tramo en
    falla
  end if.
end while.

```

Paso 5: Diagnóstico de falla en ramales.

```

For i=1:length m
  Element=m(Vpre, Vf)
  if element <= falla
  end if.
end for.

```

Paso 6: Distancia aproximada de la falla.

$$S = \frac{KAr * KCi - KAi * KCr}{(KCr * KBi - KCi * KBr) + (KDi * KAI - KDi * KAr)}$$

Paso 7: Ubicación de línea fallada.

Falla = Vpre-falla - Vfalla.

Paso 8: Mostrar resultados.

S, Falla.

Paso 9: Fin.

5. Análisis de Resultados.

Para analizar el desempeño de los algoritmos planteados se han realizado varios casos de estudio que se los puede observar en la tabla 14 de los anexos, sin embargo, para fines demostrativos se han tomado en cuenta 3 tipos de fallas que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Fallas en los sistemas de prueba

Línea	Tipo de falla	Distancia real (km)	Distancia calculada (km)
L 8-9	Monofásica tierra (34 barras)	32.22	31.48
L 4-5	Bifásica tierra (34 barras)	12.18	11.24
L 15-16	Trifásica (37 barras)	1.299	1.125

5.1 Falla Monofásica.

Esta falla ocurre en la línea 8-9 del sistema de alimentadores de prueba de

IEEE de 34 barras, como se indica en la figura 7.



Figura 7. Falla Monofásica L 8-9.

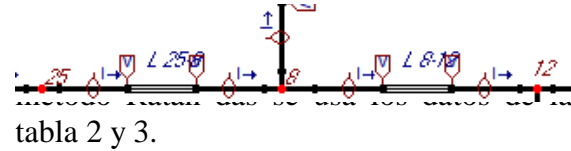


tabla 2 y 3.

Tabla 2. Datos falla monofásica L 8-9.

Datos	V	∅	I	∅
Gen	36.21	0.000	90.00	-29.306
Falla L8-9	0.000	0.000	5.731	-128.29
L9-10	0.000	67.94	90.00	-129.54
L10-11	0.356	67.94	0.000	-86.106
P	83.13	7.330	0.005	-21.720

Tabla 3. Datos de la línea 8-9

Xmn	0.90000
Rmn	0.47536
Gmn	2.10368
Bmn	1.63862
Lmn	0.32000

En la figura 8 y 9 se pueden observar los voltajes y corrientes monofásicos en el punto de falla.

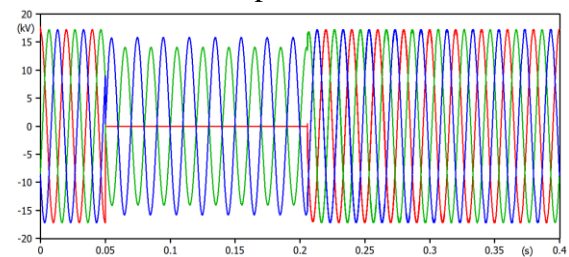


Figura 8. Voltajes de falla Monofásica L 8-9.

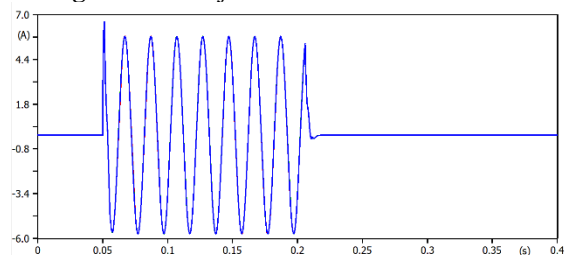


Figura 9. Corrientes de falla Monofásica L 8-9.

Una vez ingresados los datos al programa Ratán das hace el cálculo de la

distancia aproximada dando como resultado los datos de la tabla 4.

Tabla 4. Distancia de falla L8-9

Distancia real (km).	Distancia Ratán das (km).
32.22	31.48

Para el diagnostico de fallas en ramales se obtienen los voltajes pre-falla y los voltajes en falla como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Voltajes pre-falla y falla L 8-9 para sistema 34 barras.

Líneas	V pre-falla	V falla
L 1-2	231.0284	230.37
L 2-3	230.6044	229.51
L 3-4	216.8442	202.43
L 4-5	216.8442	202.43
L 4-6	125.5232	33.581
L 6-7	113.1914	1.3312
L 7-25	113.1908	1.2363
L 25-8	113.1521	1.2364
L 8-9	113.1521	0.0000
L 9-10	113.1521	0.3560
L 10-11	113.1521	0.3744
L 8-12	111.6478	1.2407
L 12-13	111.6478	1.2415
L 12-14	111.5759	1.2463
L 14-15	83.13945	1.8129
L 15-27	83.10260	1.8241
L 27-28	83.10262	1.8708
L 27-26	30.41790	5.7901
L 26-16	30.41774	5.7901
L 16-33	4.172871	0.2706
L 16-29	29.77432	5.8097
L 29-32	29.77433	5.8090
L 29-17	29.46965	5.8214
L 17-21	29.46968	5.8198
L 21-22	29.45455	5.8181
L 22-23	29.41974	5.8192
L 23-24	29.41945	5.8191
L 17-30	29.46161	5.8217
L 30-18	29.45768	5.8237
L 18-20	29.45788	5.8392
L 18-31	29.45764	5.8392
L 31-19	29.45767	5.8522

Una vez obtenidos los voltajes se procede a la simulación del algoritmo, esto se obtiene debido a que el programa hace una resta entre estos voltajes y si el

resultado es igual al voltaje pre-falla el algoritmo detecta la posición de la falla, en este caso indica que la posición de la falla es (9,2) el cual, si comparamos con la matriz de voltajes de la tabla 5, obtenemos que la L 8-9 tiene una falla monofásica.

5.2 Falla Bifásica.

Esta falla ocurre en la línea 4-5 del sistema de alimentadores de prueba de la IEEE de 34 barras, como se indica en la figura 10.

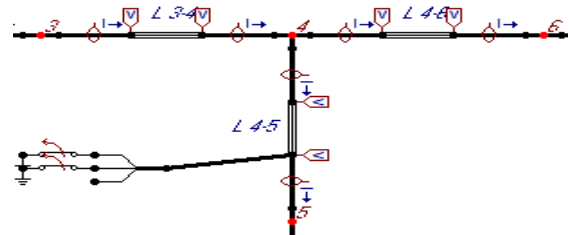


Figura 10. Falla Bifásica L 4-5.

Para la obtención estimada de la distancia a la línea fallada, por medio del método Ratán das se usa los datos de la tabla 6 y 7.

Tabla 6. Datos falla bifásica L 4-5.

Datos	V	\emptyset	I	\emptyset
GenA	224.117	0.0000	3.2398	-59.20
GenB	223.065	-120.0	3.4790	-134.2
L 4-5A	0.00000	0.0000	3.5676	-54.67
L 4-5B	0.00000	0.0000	3.2534	-125.8
L 4-8 A	45.6097	3.1361	0.3247	157.22
L 4-8 B	26.2168	-131.0	0.4418	161.13
L 6-7A	43.2168	0.3645	0.2686	155.92
L 6-7B	20.9845	-139.3	0.3863	160.77
P	83.1394	7.3344	0.0050	-21.72

Tabla 7. Datos de la línea 4-5.

Xmn	1.4800
Rmn	0.9064
Gmn	1.1031
Bmn	1.3686
Lmn	1.7600

En la figura 11 y 12 se puede observar las corrientes y voltajes en el punto de falla bifásica.

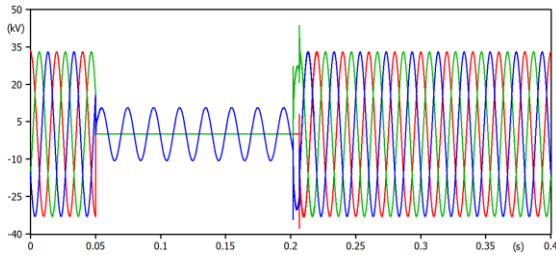


Figura 11. Voltajes de falla bifásico L 4-5.

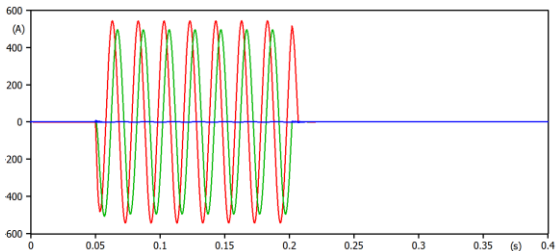


Figura 12. Corrientes de falla bifásico L 4-5.

Se ingresa los datos de voltajes, corrientes falla y pre-falla en el programa dando como resultado los datos de la tabla 8.

Tabla 8. Distancia de falla L 4-5.

Distancia real (km).	Distancia Ratán das (km).
12.88	11.24

Para la aplicación del método diagnóstico de falla en ramales para fallas bifásicas, hay que aclarar que al armar la matriz de voltajes de la tabla 9, con información de voltajes, falla y pre-falla de una fase del sistema debido a que con una solo fase es suficiente para detectar la línea en falla.

Tabla 9. Voltajes pre-falla y falla bifásica L 4-5 para sistema 34 barras.

Líneas	V pre-falla	V falla
L 1-2	231.028	224.11
L 2-3	230.604	219.13
L 3-4	216.844	68.429
L 4-5	216.844	0.0000
L 4-6	125.523	45.609
L 6-7	113.191	43.216
L 7-25	113.190	43.212
L 25-8	113.152	43.245
L 8-9	113.152	43.317
L 9-10	113.152	44.415
L 10-11	113.152	44.478
L 8-12	111.647	43.415
L 12-13	111.648	43.425
L 12-14	111.575	1.2463

L 14-15	83.1394	1.8129
L 15-27	83.1026	1.8241
L 27-28	83.1026	1.8708
L 27-26	30.4179	5.7901
L 26-16	30.4177	5.7901
L 16-33	4.17287	1.4993
L 16-29	29.7743	5.8097
L 29-32	29.7743	5.8098
L 29-17	29.4696	5.8254
L 17-21	29.4696	5.8198
L 21-22	29.4545	5.8181
L 22-23	29.4197	5.8192
L 23-24	29.4194	5.8191
L 17-30	29.4616	29.439
L 30-18	29.4576	29.457
L 18-20	29.4574	29.435
L 18-31	29.4576	29.437
L 31-19	29.4576	29.444

Al igual que en la falla monofásica una vez que se obtienen estos voltajes se colocan en el programa, el cual da como resultado la posición (4,2), comparado con la matriz de voltajes de la tabla 9, se obtiene que efectivamente la línea en falla bifásica es L4-5.

5.3 Falla Trifásica.

Esta falla ocurre en la línea 15-16 del sistema de alimentadores de prueba de IEEE de 37 barras, como se indica en la figura 13.

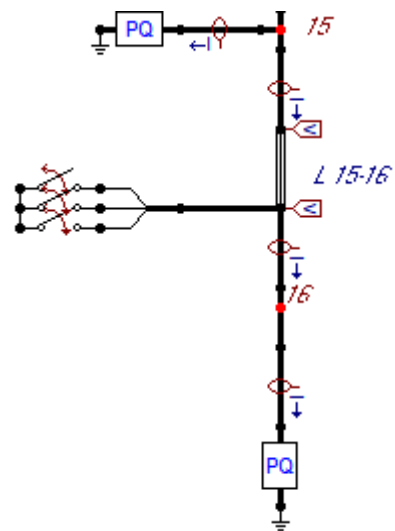


Figura 13. Falla Trifásica L 15-16.

Para la obtención estimada de la distancia a la línea fallada, por medio del método Ratán das se usa los datos de la tabla 10 y 11.

Tabla 10. Datos falla Trifásica L 15-16.

Datos	V	ϕ	I	ϕ
Gen	6788.1	0.0000	7000.0	-18.56
Falla L15-16	0.0000	3.5492	0.1200	-17.86
L5-15	1600.0	-9.289	3000.0	-17.91
L14-15	1850.0	3.4169	3018.7	-18.36
P	83.130	7.3345	0.0050	-21.72

Tabla 11. Datos de la línea 15-16.

Xmn	1.9300
Rmn	1.4115
Gmn	0.7084
Bmn	5.1207
Lmn	0.1600

En la figura 14 y 15 se puede observar las corrientes y voltajes en el punto de falla bifásica.

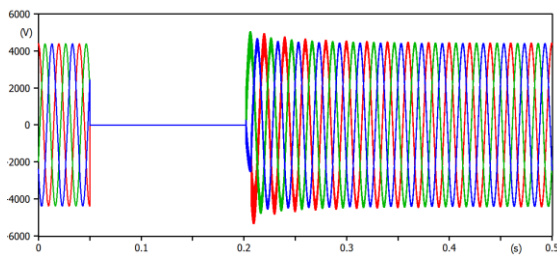


Figura 14. Voltajes de falla Trifásica L 15-16.

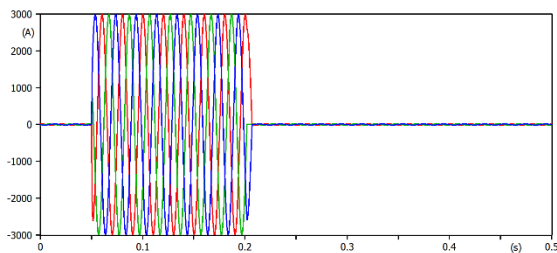


Figura 15. Corrientes de falla Trifásica L 15-16.

Se ingresa los datos de voltajes, corrientes falla y pre-falla en el programa dando como resultado los datos de la tabla 11.

Tabla 11: Distancia de falla L 15-16.

Distancia real (km).	Distancia Ratán das (km).
1.299	1.125

Como se mencionó anteriormente para la aplicación del método diagnóstico de fallas en ramales, únicamente hay que tomar los voltajes de falla y pre-falla de una sola fase como se indica en la tabla 12.

Tabla 12: Voltajes pre-falla y falla trifásica L 15-16 para sistema 37 barras.

Líneas	V pre-falla	V falla
L 1-2	36.4958	33.4508
L 2-3	29.2434	23.3208
L 3-14	29.0870	18.7565
L 14-5	28.8778	12.1425
L 5-15	28.8640	45.6097
L 15-16	28.8013	0.00000
L 5-17	28.6437	10.5405
L 17-7	28.6211	12.0271
L 7-20	28.6044	12.0276
L 8-18	28.3805	10.5405
L 8-19	28.3355	12.0271
L 3-6	29.1417	12.0276
L 6-13	29.1125	10.5405
L 6-35	29.0990	12.0271
L 4-21	19.5655	12.0276
L 21-36	19.5296	10.5405
L 36-22	19.5052	12.0271
L 3-4	19.6243	15.6499
L 4-24	8.96480	10.5405
L 24-10	6.61619	12.0271
L 10-9	6.57192	12.0276
L 9-27	6.53043	10.5405
L 27-28	6.46750	5.15767
L 28-11	6.44647	5.14089
L 11-30	6.49295	5.12716
L 11-29	6.41735	5.15767
L 28-31	6.41730	5.14089
L 31-32	6.39714	5.12716
L 32-12	6.41732	5.15767
L 12-33	6.41730	5.14089
L 12-34	6.39714	5.12716

Después de analizar la simulación el programa obtiene, la posición (6,2) el cual se compara, con la matriz de voltajes de la tabla 12 y observa que se tiene una falla trifásica en la línea 15-16.

Haciendo la comparativa de este trabajo de investigación con [35], se observa que

el porcentaje de error que se obtiene en el método Ratan das en este trabajo de titulación es menor, tanto en, fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas obteniendo así una eficacia mayor del método sobre el 95%.

6. Conclusión.

Tras el análisis podemos deducir que, el estudio de fallas en alimentadores de distribución radial requiere de información básica para la aplicación de métodos de detección y ubicación de fallas, información que siempre es facilitada para cualquier método y caso de estudio. Como se puede observar en el artículo, se cumple el objetivo principal, puesto que de manera eficaz podemos detectar y dar la ubicación de la falla por medio de los dos métodos que se aplicaron, mejorando así la efectividad de la red de distribución.

El método Ratán das se implementa a partir de los voltajes y corrientes fasoriales en estado pre-falla y falla, con ayuda de estos valores y de los datos de la línea, se calcula una reactancia que nos servirá para ir analizando tramo por tramo en todo el sistema, obteniendo la distancia de la falla. Cumpliendo así con la implementación de un localizador de fallas que funcione para alimentadores de distribución radial, que nos facilita la localización de fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas.

El método diagnóstico de falla en ramales, se lo pudo implementar debido a que una vez obtenidos los voltajes de falla y pre-falla, en el método Ratán das, se los ingresa a modo de matriz a nuestro software de Matlab, puesto que el programa hace un barrido de las posiciones de dicha matriz, restando así el voltaje pre-falla con el voltaje de falla, si el programa detecta que la diferencia de estas es igual al voltaje pre-falla, nos indica la línea fallada, este método se ha implementado en los modelos de prueba de 34 y 37 barras

de la IEEE, dando un óptimo resultado de la ubicación de las líneas falladas.

Para finalizar, el algoritmo Ratan das y diagnóstico de falla en ramales, se complementan de manera idónea, puesto que, el primero nos ayuda con la distancia de falla y el segundo nos dice que línea es la fallada, obteniendo así un buen y eficaz desempeño de los algoritmos planteados.

7. Trabajos futuros.

Existen líneas de estudio que quedan abiertas y en las que se podría trabajar a futuro. Desde el desarrollo de este artículo surgen líneas de investigación futuras que son posibles abordar.

- Una de estas líneas de estudio, en las cuales se puede trabajar, es el realizar un estudio con los demás modelos de alimentadores de prueba de IEEE, para verificar la eficacia del método Ratan Das.
- Otro trabajo que se puede abordar en un futuro es el mejorar la extracción de datos del software ATP Draw, puesto que las tablas fueron sacadas de manera manual y para una mejor eficacia del método Ratan Das y diagnóstico de falla en ramales, se debería tomar valores de forma dinámica.

8. Referencias.

- [1] P. V. Dhawas, P. P. Bedekar, and P. V. Nandankar, "Advancement in Radial Power Distribution Network Using High impedance fault Relay," 2020 IEEE 17th India Counc. Int. Conf. INDICON 2020, pp. 20–25, 2020, doi: 10.1109/INDICON49873.2020.9342171.
- [2] X. Guo, J. Gao, and Y. Li, "Process fault detection based on skew gaussian distribution transformation and canonical variable analysis method," Proc. 2019 11th CAA Symp. Fault Detect. Supervision,

Saf. Tech. Process. SAFEPROCESS 2019, no. 5, pp. 121–126, 2019, doi: 10.1109/SAFEPROCESS45799.2019.9213358.

[3] P. Y. Wang et al., “Fault current characteristics in active distribution networks with integrations of multiple PVs,” APAP 2019 - 8th IEEE Int. Conf. Adv. Power Syst. Autom. Prot., pp. 1403–1407, 2019, doi: 10.1109/APAP47170.2019.9225157.

[4] F. M. Aboshady, M. Sumner, and D. W. P. Thomas, “A double end fault location technique for distribution systems based on fault-generated transients,” IEEE Int. Symp. Ind. Electron., pp. 32–36, 2017, doi: 10.1109/ISIE.2017.8001219.

[5] C. Zhuo, Y. Ni, X. Zeng, Y. Leng, and Y. Xiang, “Dynamic Simulation Test for Traveling Wave Fault Positioning System in Distribution Network,” Proc. 2018 IEEE 2nd Int. Electr. Energy Conf. CIEEC 2018, pp. 212–216, 2018, doi: 10.1109/CIEEC.2018.8745723.

[6] Y. Huang, P. Zhao, and Y. Jiang, “Data-driven fault risk warning method for distribution system,” China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED, vol. 2021–April, no. 202005310000036, pp. 143–147, 2021, doi: 10.1109/CICED50259.2021.9556654.

[7] Z. Linli, L. Yongliang, S. Yong, X. Yongduan, L. Lisheng, and J. Xin, “Fault type recognition of over-head lines of distribution networks based on fault indicator waveform data,” China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED, no. 201804270000069, pp. 1444–1448, 2018, doi: 10.1109/CICED.2018.8592137.

[8] M. Peng, Y. Tan, and M. E. Shen, “Fault location for radial feeders based on branch-fault diagnosis method,” in 2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, ICEMI, 2007, pp. 3478–3481, doi: 10.1109/ICEMI.2007.4350959.

[9] S. Mota, S. Prasad, A. Gopale, P. Parab, and R. Harchandani, “Generation of DC high voltage pulse for hipot testing using PFN based marx generator,” 2019

Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICCS 2019, no. Icccs, pp. 1386–1390, 2019, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065489.

[10] R. A. Sowah et al., “Design of power distribution network fault data collector for fault detection, location and classification using machine learning,” IEEE Int. Conf. Adapt. Sci. Technol. ICAST, vol. 2018–August, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1109/ICASTECH.2018.8506774.

[11] ARCERNR, “Regulación 002/20 - Calidad del servicio de distribución y comercialización.” p. 36, 2020, [Online]. Available: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-002-20.pdf>.

[12] H. Qi et al., “Enhanced Reader.pdf,” Nature, vol. 388. pp. 539–547, 2018.

[13] S. Lu, X. Ding, and B. Su, “A novel location method for single-phase grounding fault in small current grounding distribution network based on difference of phase current fault component between fault and non-fault phases,” 2020 IEEE Texas Power Energy Conf. TPEC 2020, pp. 0–5, 2020, doi: 10.1109/TPEC48276.2020.9042501.

[14] C. R. Ruiz Yange, “Localización De Fallas En Sistemas Eléctricos Dedistribución Basados En Impedancia Aparente Utilizando El Método De Ratán Das.,” Univ. Politécnica Sales. Sede Quito, pp. 1–13, 2018.

[15] IEEE Staff, “Optimal Location of Capacitor Banks by Implementing Heuristic Methods in Distribution Networks,” IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, CHILECON 2019. IEEE, 2019, doi: 978-1-7281-3185-6.

[16] B. J. Varela, N. Hatziaargyriou, and L. J. Puglisi, “Increasing Hosting Capacity in Distribution Grids,” no. june, 2017, doi: 10.1109/MPE.2017.2662338.

[17] V. Maldonado, "ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO," p. 131, 2019.

[18] C. A. Bonetti and G. D. Puccini, "Optimización de la confiabilidad del suministro eléctrico mediante la formación de microrredes," Dec. 2020, doi: 10.1109/ARGENCON49523.2020.9505543.

[19] W. Quispe Huaranga, "Mejoramiento de la confiabilidad mediante la reubicación de seccionadores en el alimentador A4803 de la Subestación Chanchamayo," Univ. Nac. del Cent. del Peru, pp. 1–81, 2019, doi: 04030102.

[20] P. Romero, "Universal Reliability Bounds for Sparse Networks," IEEE Trans. Reliab., pp. 1–11, 2021, doi: 10.1109/TR.2021.3061075.

[21] P. Cueva Rios, "Evaluación de índices de confiabilidad en redes de electrocentro s.a. para mejorar la calidad de servicio utilizando redes neuronales," vol. 2019, pp. 2014–2016, 2019.

[22] D. Osorio, "Evaluación de Confiabilidad de la Red Eléctrica de Subtransmisión del Departamento del Atlántico Basado en el Método de Cortes Mínimos Considerando las Conexiones Existente entre Cada Configuración," pp. 60–67, 2018.

[23] S. Lu, X. Ding, and B. Su, "A novel location method for single-phase grounding fault in small current grounding distribution network based on difference of phase current fault component between fault and non-fault phases," 2020 IEEE Texas Power Energy Conf. TPEC 2020, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/TPEC48276.2020.9042501.

[24] M. Iza, "Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito," Tesis, vol. 1, p. 141, 2018, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

[25] C. O. Hernández Morales, J. P. Nieto González, and E. G. Carrum Siller,

"Detección y diagnóstico de fallas en sistemas eléctricos de potencia (SEP) combinando lógica difusa, métricas y una red neuronal probabilística," Res. Comput. Sci., vol. 72, no. 1, pp. 47–59, 2014, doi: 10.13053/rcs-72-1-4.

[26] Z. Lin, L. Hu, K. Y. Liu, and Z. Yin, "Data Adjustment of Power System Based on Kalman Filtering and Adaptive Filtering," 2nd IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. EI2 2018 - Proc., 2018, doi: 10.1109/EI2.2018.8582431.

[27] W. Xie, Z. Huang, W. He, and K. Wang, "A Square Root Cubature Kalman Filter Based Dynamic State Estimation of Distribution Network," 2020 IEEE/IAS Ind. Commer. Power Syst. Asia, I CPS Asia 2020, pp. 497–501, 2020, doi: 10.1109/ICPSAsia48933.2020.9208587.

[28] E. Vázquez Martínez and J. Castruita Avila, "Protección de distancia basada en el reconocimiento de patrones de onda viajera," Ciencia-Uanl, vol. 12, no. 2, pp. 150–157, 2009, doi: 1405-9177.

[29] F. De Ciencias, A. Calderón, S. Dámaris, V. Rebaza, and J. Carlos, "Simulación Numérica de Ondas Viajeras del Sistema FitzHugh-Nagumo," Lexus, vol. 4, no. None, p. 37, 2007, doi: <http://dx.doi.org/10.17268/sel.mat.2018.02.06>.

[30] D. Cervero and G. Cañete, "Nueva metodología para la Localización de Faltas en redes de distribución," pp. 1–7, 2016, doi: RTC-2016-5006-3.

[31] S. Pérez Londoño, J. Mora Flórez, and J. Rodríguez, "Método híbrido basado en la estructura de agentes para localización de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica," Método híbrido basado en la Estruct. agentes para localización fallas en Sist. Distrib. energía eléctrica., vol. 1, no. 30, pp. 59–64, 2006, doi: 10.22517/23447214.6481.

[32] P. System, R. Committee, I. Power, and E. Society, IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines, vol. 2014, no. June. 2014.

[33]J. Mora, “Localización de Faltas en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica usando Métodos Basados en el Modelo y Métodos de Clasificación Basados en el Conocimiento,” Tesis Dr., p. 151, 2007, doi: 978- 84-690-4513-8.

[34]A. R. Ratazzi, D. V Bambill, and C. A. Rossit, “Aplicación de la Transformada Continua Wavelet en la Detección de Fisuras en una Estructura Aporticada,” *Mecánica Comput.*, vol. 36, no. 8, pp. 305–314, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2005.07.009.

[35]J. D. Vargas and G. Ramos, “Fault locator implementation for radial distribution systems,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 12, no. 8, pp. 1473–1478, 2014, doi: 10.1109/TLA.2014.7014516.

9. Anexos.

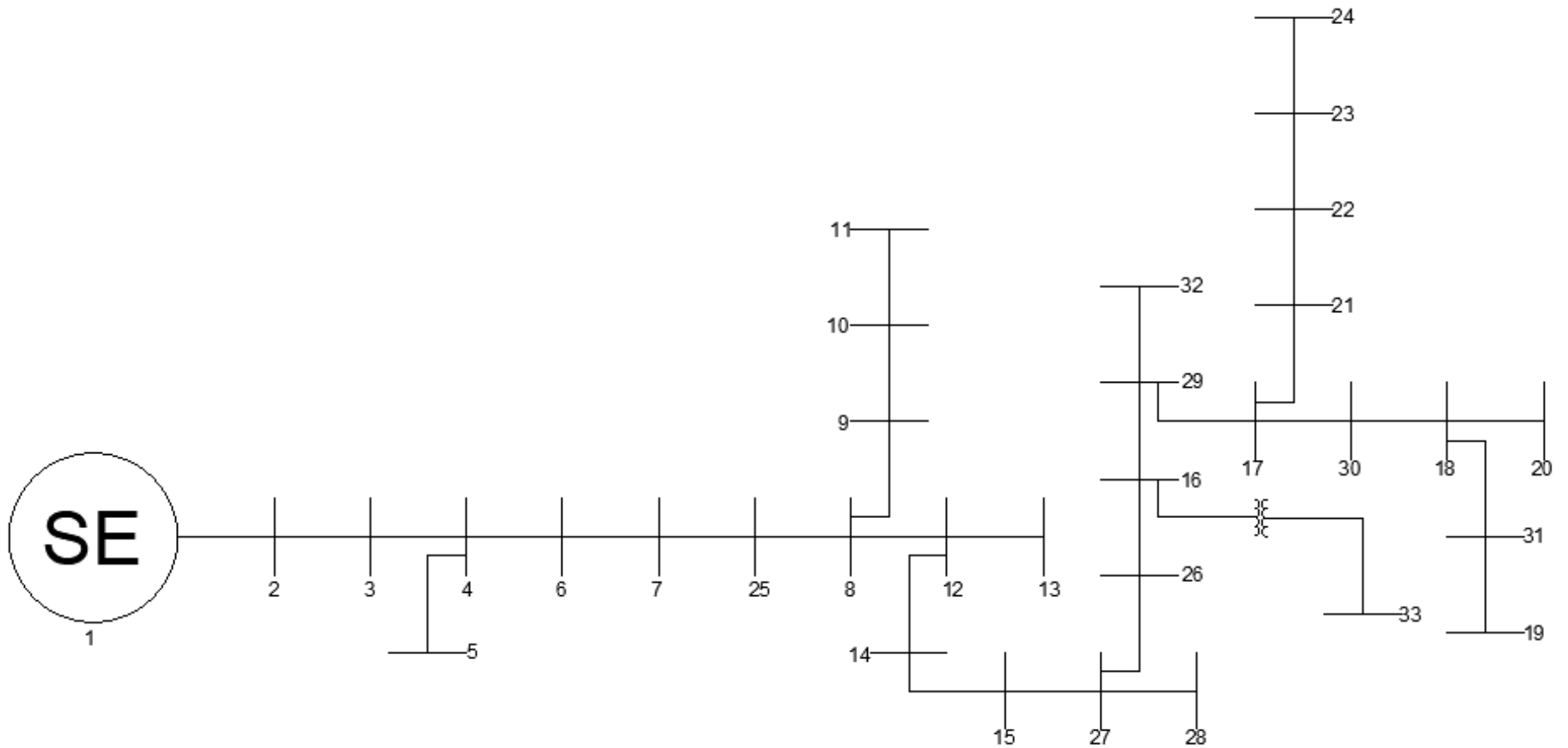


Figura 16. Sistema de prueba de 34 barras.

Tabla 12. Características sistema de prueba de 34 barras.

Lineas	kV	km	R ohm/km	L H/km
L 1-2	24.9	0.78	2.513	12.49
L 2-3	24.9	0.52	2.48	12.49
L 3-4	24.9	9.82	5.13	13.94
L 4-5	24.9	1.76	16.13	12.48
L 4-6	24.9	11.43	36.82	12.97
L 6-7	24.9	9.06	3.17	24.99
L 7-25	24.9	0.003	1	0.24
L 25-8	24.9	0.09	2	0.5
L 8-9	24.9	0.52	5.23	1.43
L 9-10	24.9	14.67	39.16	13.92
L 10-11	24.9	4.18	2.15	3.96
L 8-12	24.9	3.11	1.96	2.95
L 12-13	24.9	0.92	2.35	0.87
L 12-14	24.9	0.25	1.35	0.23
L 14-15	24.9	6.23	21.57	5.19
L 15-27	24.9	0.15	1.08	0.14
L 27-28	24.9	7.11	18.9	6.75
L 27-26	24.9	11.22	26.98	10.65
L 26-16	24.9	0.003	1	0.24
L 16-33	4.16	3.21	2.05	3.04
L 16-29	24.9	1.49	12.36	10.52
L 29-32	24.9	0.49	1.52	0.55
L 29-17	24.9	1.77	5.45	1.68
L 17-21	24.9	0.085	1.25	0.08
L 21-22	24.9	0.41	1	1
L 22-23	24.9	1.1	8.67	5.45
L 23-24	24.9	0.16	1.19	0.24
L 17-30	24.9	0.615	2.58	0.87
L 30-18	24.9	0.81	2.99	1.77
L 18-20	24.9	0.26	1.65	0.24
L 18-31	24.9	0.085	0.67	0.08
L 31-19	24.9	1.48	5.25	1.41

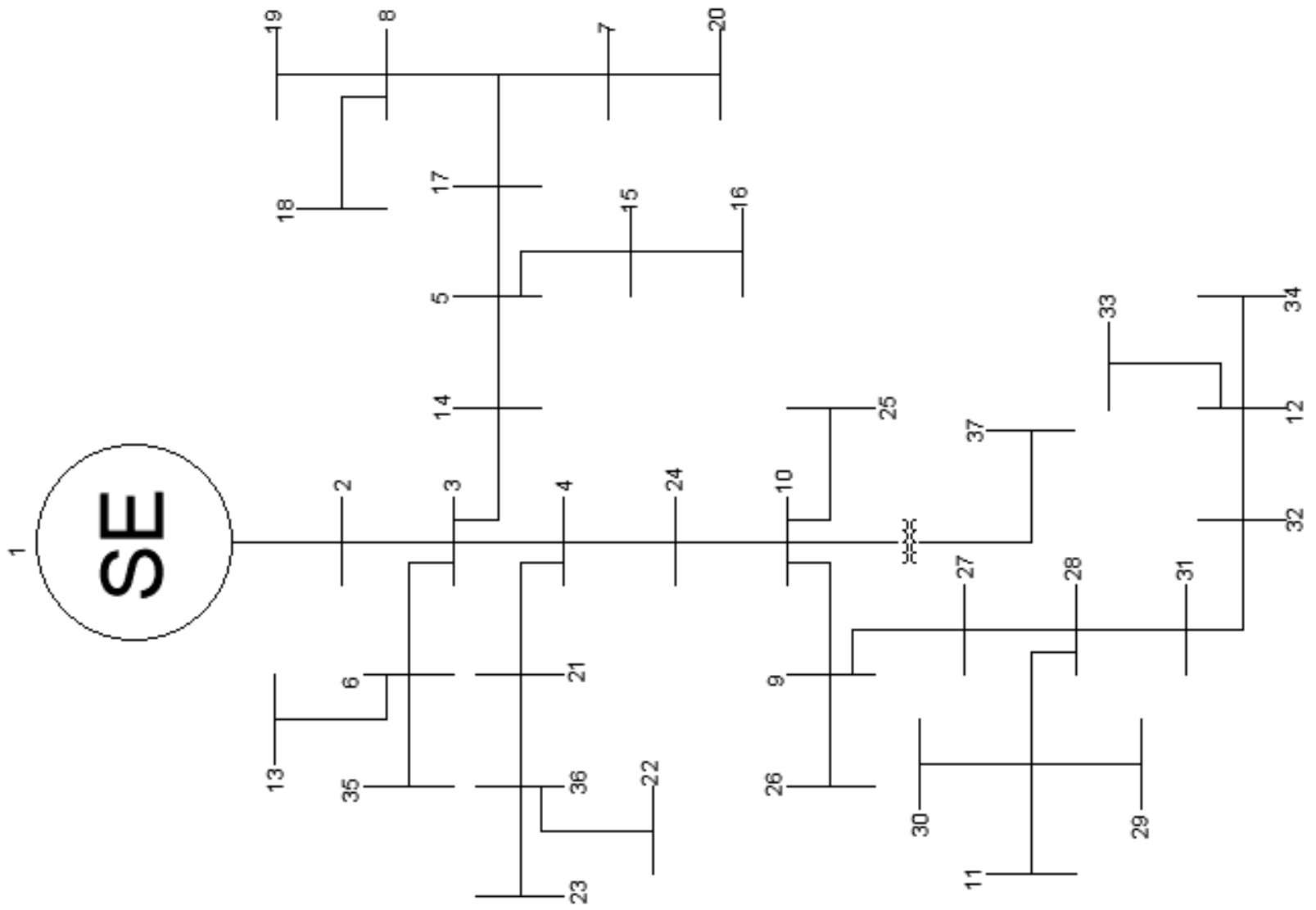


Figura 17. Sistema de prueba de 37 barras.

Tabla 13. Características sistema de prueba de 37 barras.

Líneas	kV	km	R ohm/km	L mH/km
L 1-2	4.8	0.56	0.423	0.3175
L 2-3	4.8	0.29	0.7645	0.4748
L 3-14	4.8	0.109	2.08	1.08
L 14-5	4.8	0.158	2.081	1.08
L 5-15	4.8	0.024	3.3718	1.2485
L 15-16	4.8	0.158	3.3718	1.2485
L 5-17	4.8	0.243	2.0818	1.08
L 17-7	4.8	0.1828	2.08	1.08
L 7-20	4.8	0.0853	3.3718	1.2485
L 17-8	4.8	0.28	3.3718	1.2485
L 8-18	4.8	0.036	3.3718	1.2485
L 8-19	4.8	0.2316	3.3718	1.2485
L 3-6	4.8	0.121	3.3718	1.24
L 6-13	4.8	0.073	3.3635	1.24
L 6-35	4.8	0.097	3.3635	1.2458
L 4-21	4.8	0.0731	3.3718	1.2485
L 21-36	4.8	0.085	2.08	1.08
L 36-22	4.8	0.06096	3.3718	1.2485
L 36-23	4.8	0.085	3.3718	1.2485
L 3-4	4.8	0.4023	0.7645	0.4623
L 4-24	4.8	0.1828	2.08	1.08
L 24-10	4.8	0.0609	2.08	1.08
L 10-25	4.8	0.1828	2.08	1.08
L 10-37	2.4	0.0156	2.08	1.08
L 10-9	4.8	0.0975	2.08	1.08
L 9-26	4.8	0.0975	3.3718	1.2485
L 9-27	4.8	0.0975	2.08	1.08
L 27-28	4.8	0.170688	2.08	1.08
L 28-11	4.8	0.1584	3.3718	1.2485
L 11-30	4.8	0.390144	3.3718	1.2485
L 11-29	4.8	0.06096	3.3718	1.2485
L 28-31	4.8	0.195	2.08	1.08
L 31-32	4.8	0.1219	2.08	1.08
L 32-12	4.8	0.1219	2.08	1.08
L 12-33	4.8	0.06096	3.3718	1.2485
L 12-34	4.8	0.1219	2.08	1.08

Tabla 14. Fallas en distintos escenarios de prueba.

Línea	Tipo de falla	Distancia real (km)	Distancia calculada (km)	Error %
L 8-9	Monofásica tierra (34 barras)	32.22	31.48	2.30
L 4-5	Bifásica tierra (34 barras)	12.18	11.24	7.72
L 3-4	Trifásica (34 barras)	11.12	10.52	5.40
L 7-25	Monofásica Tierra (34 barras)	31.61	30.71	2.85
L 12-13	Trifásica (34 barras)	35.73	34.93	2.24
L 1-2	Trifásica (37 barras)	0.56	0.54	3.57
L 8-19	Monofásica tierra (37 barras)	1.87	1.75	6.42
L 24-10	Bifásica tierra (37 barras)	1.49	1.42	4.70
L 15-19	Trifásica (37 barras)	1.29	1.12	13.18
L 9-26	Trifásica (37 barras)	1.69	1.64	2.96

10. Estado del Arte.

Tabla 15. Indicadores estado del arte

DETECCIÓN DE FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN RADIAL BASADO EN EL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN RAMALES Y RATÁN DAS.																							
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAIS	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA				
					Sistemas de Distribución Eléctrica	Confiabilidad en Sistemas de Distribución Eléctrica	Métodos de Diagnóstico de Fallas	Fallas Simétricas y Asimétricas	Determinación de Tipo de Falla	Fallas en Distribución Eléctrica	Modelación de cargas	Computo de error en el método	Estimación de la Ubicación de la falla	Modelación matemática	Extracción de información de los sistemas	Simulación de fallas en ATP Draw	Método Ratan Das	Método Diagnóstico de falla en ramales	Generación de datos del Sistema	Simulación basado en conocimiento	Detección de fallas en sistemas de distribución radial	Ubicación de la línea fallada en alimentadores radiales	Suposición de impedancia aparente
1	2019	Optimal Location of Capacitor Banks by Implementing Heuristic Methods in Distribution Networks.	Chile		<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"/>	<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"/>
2	2020	Optimización de la confiabilidad del suministro eléctrico mediante la formación de micro redes.	Argentina		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2019	Mejoramiento de la confiabilidad mediante la reubicación de seccionadores en el alimentador A4803 de la Subestación Chanchamayo.	Peru		<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 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"/>
4	2019	Evaluación de índices de confiabilidad en redes de electrocentro s.a. para mejorar la calidad de servicio utilizando redes neuronales.	Peru		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2021	Simulación y Análisis de Fallas Eléctricas en una Microrred Aislada con Integración de Generación Fotovoltaica y Almacenamiento en Baterías.	Argentina		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
6	2020	A novel location method for single-phase grounding fault in small current grounding distribution network based on difference of phase current fault component between fault and non-fault phases.	Estados Unidos		<input 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 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"/>
7	2014	Detección y diagnóstico de fallas en sistemas eléctricos de potencia (SEP) combinando lógica difusa, métricas y una red neuronal probabilística.	Mexico		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	2018	Data Adjustment of Power System Based on Kalman Filtering and Adaptive Filtering.	Chile		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
9	2016	Nueva metodología para la Localización de Faltas en redes de distribución.	España		<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10	2014	Método híbrido basado en la estructura de agentes para localización de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica	Colombia		<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2007	Fault location for radial feeders based on branch-fault diagnosis method	China		<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	2007	Localización de Fallas en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica usando Métodos Basados en el Modelo y Métodos de Clasificación Basados en el Conocimiento	España		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

