

**ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE
VOLTAJE**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA SEDE QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE
LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA
DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO
RESTRICCIONES DE VOLTAJE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: DEYCY CAMILA MONAR ARGUELLO

TUTOR: ALEX DAVID VALENZUELA SANTILLÁN

Quito -Ecuador

2022

Deycy Camila Monar Arguello

ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE VOLTAJE

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Deycy Camila Monar Arguello (Y'1997 – M'02). Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Santa María Eufrasia de la ciudad de Quito. Egresada de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en esquema de reconfiguración de la red eléctrica en el sistema de distribución considerando restricciones de voltaje.

dmonar@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Alex David Valenzuela Santillán (Y'1989 - M'12). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, donde se graduó de Ingeniero Eléctrico en diciembre 2013, Además realizó estudios de maestría en Newcastle University en el Reino Unido, donde obtuvo el título en Power Distribution Engineering MSc. Actualmente es profesor ocasional tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana.

avalenzuela@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

©2022Universidad Politécnica Salesiana

QUITO – ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Yo, Deycy Camila Monar Arguello con documento de identificación N°
1754288858 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, 11 de mayo del año 2022

Atentamente,



Deycy Camila Monar
Arguello

1754288858


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

Yo, Deycy Camila Monar Arguello con documento de identificación No. 1754288858, 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: “Esquema de reconfiguración en la red eléctrica en el sistema de distribución considerando restricciones de voltaje”, 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, 11 de mayo del año 2022

Atentamente,



Deycy Camila Monar
Arguello

1754288858

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Alex David Valenzuela Santillán con documento de identificación N° 1721848644, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE VOLTAJE**, realizado por Deycy Camila Monar Arguello con documento de identificación N° 1754288858, 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, 11 de mayo del año 2022

Atentamente,



Ing, Alex David Valenzuela Santillán MSc

1721848644

ÍNDICE GENERAL

DATOS DE CATALOGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	I
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORIA DEL TRABAJO	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	3
2.1. Características del sistema de distribución	3
2.2. Topologías radiales, anillos y malla.....	3
2.2.1. Topologías radiales	3
2.2.2. Topología anillo	4
2.2.3. Topología Mallado.....	4
2.3. Categorías de consumidores.....	4
2.3.1. Residenciales.....	5
2.3.2. Comerciales.....	5
2.3.3. Industriales	5
2.4. Reconfiguración de redes eléctricas.....	5
2.4.1. Esquemas de reconfiguración	5
2.4.2. Esquemas de corte y seccionamiento en redes de distribución.....	5
2.4.3. Ring Main Units (RMU)	6
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
3.1. Función Objetivo.....	6
4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	7
4.1. Pseudocódigo	7
5. CASOS DE ESTUDIOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	7
5.1. Caso IEEE 13 barras	7
5.1.1. Caso base.....	7
5.1.2. Línea 2-5 fuera de servicio.....	8
5.1.3. Línea 2-3 fuera de servicio.....	9
5.1.4. Línea 8-11 fuera de servicio.....	10
5.1.5. Línea 8-9 fuera de servicio.....	11
5.2. Caso IEEE 37 barras	12

5.2.1. Línea 4-5 fuera de servicio.....	13
6. CONCLUSIONES	13
7. TRABAJOS FUTUROS	14
8. REFERENCIAS	14
9. ANEXOS.....	17
MATRIZ DE ESTADO DEL ARTE	21
RESUMEN DE INDICADORES	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Topología de un sistema radial.....	4
Figura 2. Topología de un sistema de anillo.....	4
Figura 3. Topología de un sistema mallado.....	4
Figura 4. Diagrama IEEE de 13 barras modificado.....	8
Figura 5. Línea 2-5 fuera de servicio.....	8
Figura 6. Esquema de reconfiguración mediante línea 11-5.....	8
Figura 7. Perfil de voltaje para las barras del caso 1.....	8
Figura 8. Cargabilidad de las líneas.....	9
Figura 9. Línea 2-3 fuera de servicio.....	9
Figura 10. Reconexión del sistema mediante línea 3-9.....	9
Figura 11. Perfil de voltaje para las barras del caso 2.....	9
Figura 12. Cargabilidad de las líneas.....	10
Figura 13. Desconexión de la línea 8-11.....	10
Figura 14. Reconexión de la nueva línea de alimentación 11-5.....	10
Figura 15. Perfil de voltaje para las barras del caso 3.....	10
Figura 16. Cargabilidad de las líneas.....	11
Figura 17. Desconexión de la línea 8-9.....	11
Figura 18. Reconexión mediante línea 4-10.....	11
Figura 19. Perfil de voltaje para las barras del caso 4.....	12
Figura 20. Cargabilidad de las líneas.....	12
Figura 21. Caso base IEEE 37 barras.....	12
Figura 22. Reconexión línea 4-8.....	13
Figura 23. Reconexión línea 4-8.....	13
Figura 24. Perfil de voltaje para la línea 4-5.....	13
Figura 25. Sistema de 13 barras de la IEEE.....	15
Figura 26. Sistema de 37 barras de la IEEE.....	13
Figura 27. Resumen e indicadores de la tematica – Estado del arte.....	13
Figura 28. Indicadores de la formulación del problema – Estado del arte.....	24
Figura 29. Indicadores de solución – Estado del arte.....	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funciones Utilizadas	7
Tabla 2. Pseudocódigo implementación para extraer datos.	7
Tabla 3. Datos de configuración de las líneas aéreas	17
Tabla 4. Datos de configuración de las líneas subterráneas	17
Tabla 5. Datos del transformador	18
Tabla 6. Datos del segmento de línea.....	18
Tabla 7. Datos de carga puntual	18
Tabla 8. Configuración de cables subterráneos.....	19
Tabla 9. Datos del Transformador.....	19
Tabla 10. Cargas.....	20
Tabla 11. Matriz de Estado del arte.....	21

ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE VOLTAJE

Resumen

En el trabajo realizado se propone un método de reconfiguración de la red eléctrica en el sistema de distribución de la IEEE de 13 barras y 37 barras con una topología radial. Para el estudio realizado se tomó en cuenta las restricciones de voltaje y cargabilidad del sistema, estos datos mencionados se obtuvieron por medio de un algoritmo especializado el cual fue ejecutado mediante paquetes computacionales como son Matlab y PowerFactory, con la ayuda de estos programas se obtuvieron los resultados correspondientes para realizar la comparación de las diferentes opciones de reconfiguraciones posibles. Las comparaciones se las realizan mediante los perfiles de voltaje obtenidos en los distintos casos simulados. Como se observó en el caso 1 existen diferentes caminos para las nuevas reconexiones, en este caso se tomó en cuenta el perfil de voltaje más adecuado para realizar la reconexión al sistema, mientras que en el caso de sistema de 37 barras se obtuvieron los resultados mediante los programas mencionados y de esta manera se obtuvieron diferentes formas de reconexión del sistema. Con los datos obtenidos se logró visualizar tres caminos de reconexión posibles de los cuales se sugirió la reconexión más factible, con mejor perfil de voltaje y de esta manera el sistema trabaja adecuadamente en el suministro de la energía eléctrica a los usuarios finales.

Palabras Clave: Red de distribución, Reconfiguración de la red, Restricciones de voltaje.

Abstract

In the work carried out, a method for reconfiguration of the electrical network in the IEEE distribution system of 13 bars and 37 bars with a radial topology. For the study was taken into account the voltage and loadability restrictions of the system, these data were obtained by means of a specialized algorithm which was executed by means of computational packages such as Matlab and PowerFactory, with the help of these programs the corresponding results were obtained to make the comparison of the different possible reconfiguration options. The comparisons are made by means of the voltage profiles obtained in the different simulated cases. As observed in case 1, there are different paths for the new reconnections, in this case the most appropriate voltage profile was taken into account to reconnect the system, while in the case of the 37-bus system, the results were obtained by means of the aforementioned programs and in this way different ways of reconnecting the system were obtained. With the data obtained, it was possible to visualize three possible reconnection paths from which the most feasible reconnection was suggested, with the best voltage profile and in this way the system works properly in the supply of electric energy to the end users.

Keywords: Distribution network, Network reconfiguration, Voltage constraints.

1. Introducción

Teniendo en cuenta que el sistema de distribución es fundamental en el sistema eléctrico ya que mediante esta estructura complementa la conexión de la red de transmisión hasta los usuarios finales, también se debe tener en cuenta que una de las topologías más importante es la radial, esta llega hacer una de las topologías más simple que se puede encontrar en el sistema de distribución debido a su simplicidad de operación, coordinación equipos de corte y seccionamiento y niveles de voltaje [1] [2].

Un sistema de distribución es un elemento primordial en el sistema eléctrico, dicho sistemas actúan directamente con los consumidores al momento de proveerles el suministro de energía eléctrica, se tiene claro que el sistema de distribución tiene como objetivo alimentar una gran cantidad de clientes de las diferentes zonas como por ejemplo zonas rurales, industriales, residenciales e industriales [3].

En [4] se establecen como característica principal de un sistema de distribución el poder entregar a los usuarios finales el nivel de voltaje para el suministro de energía eléctrica con una confiabilidad adecuada. Así también, se tiene en cuenta que las reconfiguraciones de la red de distribución son muy necesarias ya que de esta manera sirve como mejora para la reducción de pérdidas eléctricas.

Los autores han propuesto en [5] un modelo matemático multiobjetivo en cual ayuda a localizar de manera óptima los reconectores cerrados y abiertos en el sistema de distribución, para esto proponen emplear un algoritmo elitista y así poder mejorar el índice que se encuentra relacionado con nivel de energía no servida.

Los autores concluyen que la reconfiguración de red eléctrica es un aspecto fundamental para la mejora de la estabilidad y minimizar pérdidas, por ello proponen la planificación de la red de distribución en la cuales combinen las ventajas de Distribution Network Reconfiguration (Di – NR) y Optimal Distributed Generation Allocation (ODGA) para mejorar la estabilidad de tensión o voltaje y de esta forma reducir las pérdidas del sistema [6] [7].

Los autores en [8] han propuesto una programación no lineal con el fin de minimizar los índices de confiabilidad para esto proponen una técnica de optimización la cual se encuentra basada en el algoritmo de ramificación considerando la confiabilidad de cada alimentador de prueba y así considerar el uso de distintos esquemas de protección y seccionadores.

En [1] los autores proponen minimizar las pérdidas mediante un algoritmo de optimización global conocido como Bacterial Foraging el cual va ayudar a la reconfiguración del sistema de distribución y mantener el equilibrio de cargas se ha realizado los estudios en un sistema de 33 barras y concluyeron que el algoritmo de reconfiguración garantiza de forma eficiente la minimización de pérdidas y el método empleado es eficiente para la búsqueda de una solución óptima.

Para el desarrollo del trabajo planteado se utiliza paquetes computacionales como lo es Matlab y PowerFactory, dichos programas permiten obtener los datos del sistema de distribución de 14 y 37 barras de la IEEE de la misma forma se debe tener en cuenta que se debe enlazar los dos programas tanto PowerFactory como Matlab para así poder obtener los resultados necesarios de dichos programas para ello se realiza la

programación DPL de los Scripts del PowerFactory, de esta manera se obtiene los resultados en el Matlab y las reconfiguraciones óptimas para el sistema, teniendo en cuenta las restricciones de voltaje.

El presente trabajo se encuentra dividido de la siguiente forma: Sección I: introducción, en esta sección se habla de los antecedentes que se encuentran relacionados al tema del trabajo a realizar. Sección II. Marco teórico, en este punto se detalla los temas relacionados al sistema de distribución. Sección III. Formulación del problema, en este punto se detalla los sistemas de distribución a implementar para el desarrollo del problema. Sección IV: Implementación del modelo matemático, en este caso se observa el pseudocódigo a implementar. Sección V: Análisis de resultados. Sección VI: conclusiones. Sección VII: trabajos futuros. Sección VIII: referencias.

2. Generalidades del sistema de distribución

El sistema de distribución es una parte fundamental en el sistema eléctrico ya que se caracteriza por distribuir la [3] energía generada a los usuarios finales. Se tiene en cuenta que un sistema de distribución está conformado por líneas de subtransmisión, estas líneas son las encargadas de alimentar a las subestaciones de distribución, en este caso las subestaciones se encargan de regular el voltaje a los niveles normales que son desde 2.4 kV hasta 13.2 kV alimentadores primarios, transformadores de distribución y acometidas[9].

2.1. Características del sistema de distribución

Para los autores en [2] un sistema de distribución debe cumplir los siguientes requisitos como la facilidad de poder alimentar el sistema de distribución por medio del sistema de potencia, la existencia de fácil ampliación de la red.

El sistema de distribución una de sus funciones principales es poder satisfacer la demanda eléctrica a ciertos lugares o sectores que se encuentran alejados o zonas que no se encuentran conectadas al mismo.

Se conoce que el sistema de distribución es una parte fundamental entre el sistema de transmisión y los usuarios, también se constata que en la mayoría de los casos la red es de tipo radial, este tipo de topología hace que el sistema se vuelva vulnerable ante la presencia de un posible evento que pueda existir [2], [6].

2.2. Topologías radiales, anillos y malla

En un sistema de distribución se pueden encontrar tres topologías importantes que son;

- Radial
- Anillo
- Mallado

2.2.1. Topologías radiales

Los autores de [3] definen a un sistema radial como una de las configuraciones más simples o sencillas que pueda existir, este sistema es muy útil para la distribución en áreas en que la densidad de carga es muy baja, cuando existen este tipo de cargas es factible usar este tipo de sistema ya que si se usa una topología distinta no es económicamente viable.

Mientras que para los autores de [10] un sistema radial es aquel que ofrece una sola vía simultánea al paso de la potencia hacia la carga.

El sistema radial se caracteriza por ser un sistema de bajo costo de inversión, su mantenimiento es de bajo costo, la estructura de esta topología es muy simple, en esta topología existen pérdidas de potencias muy elevadas a comparación de otras configuraciones [11].

A continuación, en la figura 1 se observa la topología radial que se encuentra alimentada por una subestación.



Figura 1 Topología de un sistema radial.

2.2.2. Topología anillo

Este tipo de topología nace a partir del sistema radial y termina con un nodo al final o un nodo intermedio esto a partir de una línea que permita regresar al alimentador primario, este tipo de línea se lo conoce con el nombre de tie line cuyo estado de operación se encuentra normalmente abierto [3].

El sistema anillo es uno de los sistemas que se encuentra sometido a las fallas en una línea o también en algún nodo existente en la carga, cuando existe un cambio de operación a partir el interruptor tie line la carga que se encuentra es transferida a otra línea [3].

El sistema anillo se le caracteriza por el costo de planeación, inversión alto, al igual que el sistema radial su costo de mantenimiento es bajo, provee el

suministro de forma continua a comparación de la topología radial, este sistema tiene un nivel de confiabilidad alto [12].

En la figura 2 se observa la topología anillos la cual tiene tres líneas de enlace.



Figura 2 Topología de un sistema de anillo.

2.2.3. Topología Mallado

Los autores en [12] definen a un sistema mallado como la combinación de un sistema radial y un anillo, el cual va a tener diferentes caminos de reconexión del sistema. El costo de operación del sistema mallado es alto, por ese motivo para realizar el diseño de este sistema el costo de inversión es alto, una de las características fundamentales de este sistema es que su confiabilidad y calidad es superior a la de los otras topologías antes mencionadas, por ese motivo esta topología puede llegar hacer muy compleja [12].

A continuación, en la figura 3 se observa la topología mallada.



Figura 3 Topología de un sistema mallado.

2.3. Categorías de consumidores

2.3.1. Residenciales

Los autores en [13] definen a las cargas residenciales como una carga de menor densidad respecto a la comercial e industrial. Así mismo en la actualidad en las zonas rurales se usan sistemas de distribución monofásicos [13], mientras que para [2] definen las cargas residenciales son aquellas que se encuentran en edificaciones, condominios, urbanizaciones, las cargas residenciales son reconocidas por ser eminentemente resistivas.

2.3.2. Comerciales

Este tipo de cargas se encuentran más en áreas céntricas, centros comerciales y edificios comerciales así mismo la densidad de dichas cargas son mayores [13], mientras que para los autores en [2] detallan que una carga comercial es aquella que tienen componente inductivo el cual hace que disminuya el factor de potencia, hoy en día existen cargas muy sensibles en las cuales se presentan armónicos.

2.3.3. Industriales

Los autores definen que las cargas industriales son utilizadas en pequeñas y grandes industrias de la misma manera estas cargas se caracterizan por tener grandes potencias y el servicio que se contrata es en alta tensión [13].

Mientras que para otros autores definen como cargas industriales a todas aquellas cargas que disponen de un elemento importante de energía reactiva esto se presenta debido a la gran cantidad de elementos inductivos que se encuentran instalados como son los motores [2].

Se debe tener en cuenta que a estas cargas se le tiene que controlar el consumo reactivo lo cual se les realiza gestión de carga ya que este tipo de cargas disponen de dos tarifas, altas y

bajas, de esta manera evitan que exista un pico máximo y sea igual al de las cargas residenciales [2], [13].

2.4. Reconfiguración de redes eléctricas

En las reconfiguraciones de las redes se va a detallar los posibles esquemas de reconfiguración que se puede tener en un sistema de distribuciones como son; sistemas enmallados, sistemas radiales y sistemas entre ramas laterales[14].

2.4.1. Esquemas de reconfiguración

En investigaciones como [12] a reconfiguraciones de redes de distribución se puede apreciar los distintos esquemas de reconfiguración que son;

- Reconfiguración de sistemas enmallados [14].
- Reconfiguración entre ramas laterales de alimentadores abastecidos por una misma subestación [14].
- Reconfiguración de los sistemas radiales con la posibilidad de conectarse con otro sistema. [14].

Se establece que una de las desventajas de un sistemas de ramas laterales, es que al momento de la desviación del consumo de un alimentador lateral hacia la subestación esta acción hace que se produzca flujos de potencia en sentido contrario o inverso a comparación del esquema original [14].

2.4.2. Esquemas de corte y seccionamiento en redes de distribución

Para la minimización de costes resulta complicado en un sistema de distribución, ya que existen serie de diseños que pueden llegar a ser posibles

para que un sistema llegue a ser óptimo. El diseño óptimo en el sistema de distribución tiene como función principal alcanzar los costos mínimos así mismo poder satisfacer las demandas eléctricas con niveles de fiabilidad aceptables [13].

2.4.3. Ring Main Units (RMU)

Los autores de [15] definen RMU a la combinación del aislador, disyuntores y relé, el RMU es un dispositivo de metal con gas SF₆, este elemento tiene distintas unidades funcionales que son los seccionadores, fusibles y disyuntor al vacío. Un RMU está compuesto por un aislador y disyuntor el cual se encuentra conectado a un pin común en la cámara de SF₆ y dicho relé es utilizado para la operación del disyuntor.

El RMU es seguro y confiable este dispositivo en su interior contiene SF₆ el Hexafluoruro de azufre el cual se lo conoce por ser un excelente dieléctrico siempre y cuando el gas que se encuentra en el mismo este limpio y se encuentre a una presión mayor a la presión atmosférica [15].

3. Formulación del problema

Los sistemas de distribución consideran alimentadores radiales con múltiples puntos de interconexión con otros alimentadores, basados en la utilización de equipos de corte y seccionamiento [16].

Los eventos de falla o cortocircuito son muy comunes en el sistema de distribución, las cuales son ocasionadas por fallas humanas, descargas atmosféricas ruptura de aislamiento, cortocircuitos que son causados por animales, de esta manera provocan el corte de suministro de energía eléctrica en la zona de falla. Es así, que los equipos de corte y seccionamiento son muy importantes para el funcionamiento del

sistema de distribución ya que permiten realizar acciones de reconfiguración de la red disminuyendo los usuarios fuera de servicio [11], [17].

El restablecimiento del suministro de energía eléctrica basado en la reconfiguración de la red eléctrica considerando las restricciones para ello se realizará una revisión inicial de información relacionada a la temática establecida, en la que se incluyen artículos de investigación referentes a reconfiguración de redes eléctricas, operación de equipo de corte y seccionamiento y además se buscará información para el método más factible para el desarrollo del restablecimiento automático del suministro de energía eléctrica.

La modelación se realiza para dos casos, en un sistema de 14 barras de la IEEE y el de 37 barras de la IEEE y la simulación serán desarrolladas mediante los programas como son Matlab y PowerFactory.

Estos softwares especializados van a permitir el criterio de apertura y cierre de los equipos de corte y seccionamiento para la restauración del suministro de energía eléctrica considerando el aislamiento de la zona en falla.

3.1. Función Objetivo

El objetivo de la presente investigación se basa en la reconexión más factible de la red eléctrica en el sistema de distribución en el cual se debe tener en cuenta las restricciones de voltaje, este sistema es de carácter radial, esto se va a realizar usando los programas de Matlab y Power Factory, más adelante se puede observar más a detalle la programación en dichos programas para obtener los resultados óptimos [6], [18], [19].

En el algoritmo que se puede observar, se va a realizar el proceso de

reconexión considerando las restricciones de Voltaje.

4. Implementación del modelo matemático

En el algoritmo que se puede observar, se va a realizar el proceso de reconexión considerando las restricciones de Voltaje

4.1. Pseudocódigo

Tabla 1 Funciones Utilizadas

Nombre	Descripción
Datos:	Extrae datos del sistema de 13 barras y los guarda en archivos Excel.
Fuera de línea	Sale la línea que se encuentra con falla.
Cargar Variables	Carga los datos de Excel anteriormente obtenidos mediante Matlab.
Lógica de control	Crea flag y se obtienen los resultados óptimos.

Tabla 2 Pseudocódigo implementación para extraer datos.

Algoritmo 1: Algoritmo de detección de extracción de datos de Power Factory	
	Extraccion de datos:
Paso 1:	Datos cargas, datos líneas, datos barras ← Datos.
Paso 2:	Línea fuera de servicio: [] ← Fuera de Línea.
	Selección de datos:
Paso 3:	flag1, flag2, flag3, flag4 ← Algoritmo cambio.
	Opciones de reconexión:
Paso 4:	Casos ← lógica de control.
	Promedio del perfil de voltaje:
Paso 5:	Promedio ← lógica de control.
	Selección de la línea óptima:
	base=0.9 p.u.
	Si promedio < base
Paso 6:	Siguiente caso
	Sino
	Base=promedio
	Inicio otra vez el paso 6
	Fin si

5. Casos de estudio y análisis de resultados

En el esquema de la IEEE [17] de 13 barras modificado se realiza la reconfiguración del sistema eléctrico de distribución al momento que se presentan fallas que pueden ser ocasionadas por humanos, condiciones atmosféricas.

El sistema de 13 barras está conformado por barras, líneas de transmisión y cargas (ver anexos) [20].

Como segundo caso de estudio se tiene el esquema de 37 [9] barras de la IEEE en el cual se realiza la reconfiguración del sistema eléctrico cuando se produce una falla por las diferentes causas que se pueden presentar hoy en día como son fallas por descargas atmosféricas, fallas por alguna maniobra mal practicada por el ser humano. El sistema de 37 barras está conformado por barras, líneas de transmisión y cargas ver (anexos) [20].

5.1. Caso IEEE 13 barras

5.1.1. Caso base

Observando el diagrama de la IEEE de 13 barras modificado se puede determinar que el sistema funciona correctamente de forma radial, de igual forma se observa que el sistema se encuentra modificado con las nuevas líneas de reconexión para alimentar al sistema en el momento que exista una falla en alguna de las líneas existente y de esta forma no dejar sin servicio al sistema.

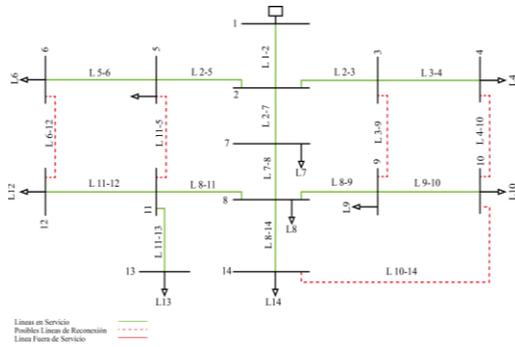


Figura 4 Diagrama IEEE de 13 barras modificado.

5.1.2. Línea 2-5 fuera de servicio

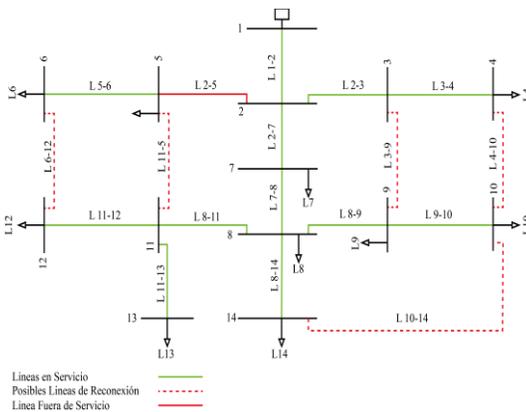


Figura 5 Línea 2-5 fuera de servicio.

En la figura 5. Se observa que en la línea 2-5 existe una falla y queda la línea fuera de servicio.

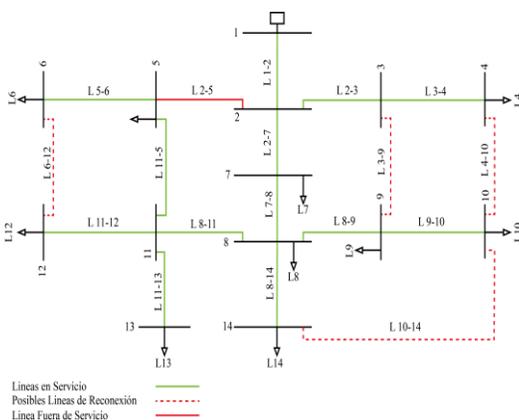


Figura 6 Esquema de reconfiguración mediante línea 11-5.

En el sistema de 13 barras modificado se observa las posibles reconexiones para

que el sistema funcione correctamente, como se puede observar en la figura 6 la conexión más factible es por medio de la línea 11-5 y de esta manera reconectar el sistema y trabajar en condiciones normales.

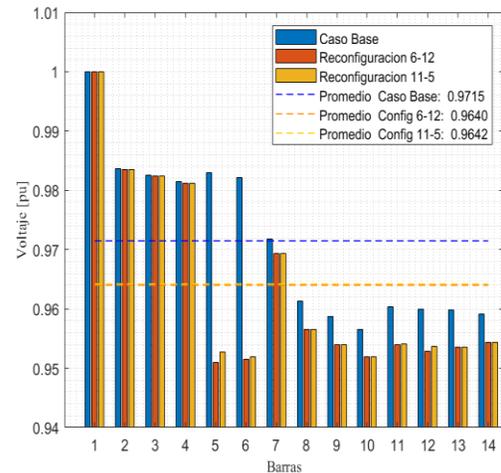


Figura 7 Perfil de voltaje para las barras del caso 1.

Para este caso de estudio se observa que el algoritmo evalúa las posibles conexiones sin embargo se muestran en la figura 7 las dos mejores reconexiones como son por medio de la línea 6-12 y 11-5, sin embargo, en la figura 7 se muestra que se tomó en cuenta la línea que se encontró con el perfil de voltaje más adecuado para realizar la reconexión, el sistema se reconecta por medio de la línea 11-5 con un perfil de voltaje de 0.9642 p.u. por medio de esta línea el sistema vuelve a suministrar energía a los usuarios.

En la figura 8 se observa la cargabilidad de las líneas en cada uno de los casos de reconexiones que pueden existir al momento que existe una falla en la línea 2-5, como se pudo detallar en la figura 8. En la reconfiguración 6-12 la línea 1-2 se encontraba sobrecargada a un 51.78% mientras que la línea 2-7 se encuentra a

un 45.51% de cargabilidad, por último, se tiene la línea 7-8 con una sobre carga del 47.55%, de esta forma con los datos obtenidos se pudo concluir de igual forma que la línea en mejores condiciones en la 11-5.

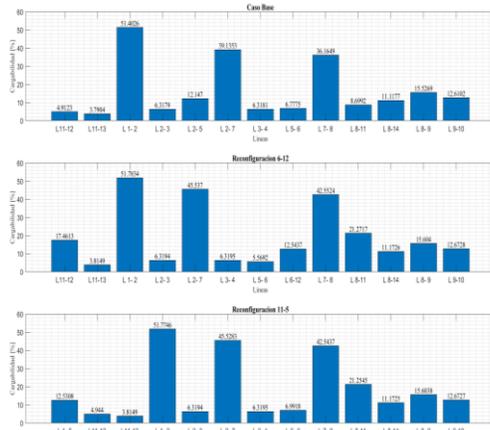


Figura 8 Cargabilidad de las líneas.

5.1.3. Línea 2-3 fuera de servicio

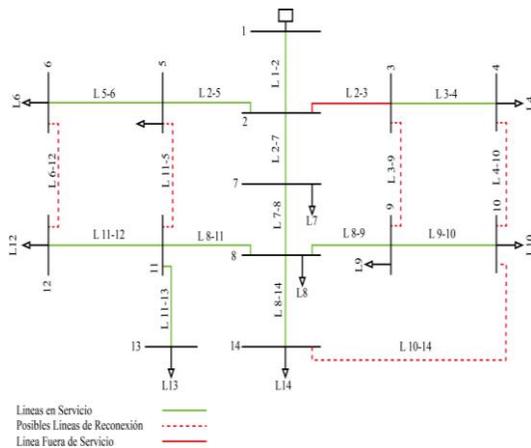


Figura 9 Línea 2-3 fuera de servicio.

En la figura 9 se observa que se produjo una falla la cual pudo haber sido causada por el ser humano o fallas atmosféricas y se produjo un corto en la línea 2-3 por este motivo se procede a sacar fuera de

servicio a la línea donde se produjo la falla.

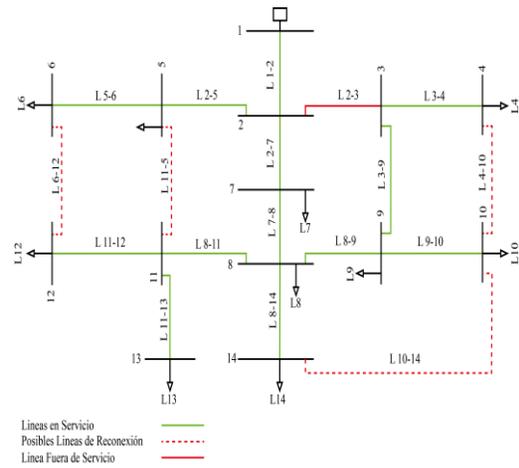


Figura 10 Reconexión del sistema mediante línea 3-9.

Como se observa en la figura10 el algoritmo tomo como posibles reconexiones factibles a la línea 3-9 y 4-10, observando la figura 10 se tomó en cuenta que el sistema se reconecta mediante la línea 3-9 y por medio de esta reconexión el sistema suministra energía eléctrica.

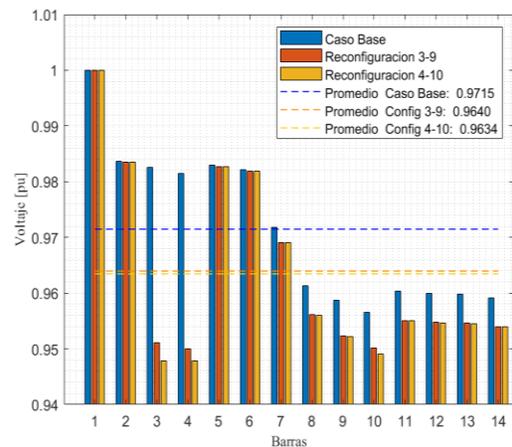


Figura 11 Perfil de voltaje para las barras del caso 2.

En la figura11 se detalló los perfiles de voltaje obtenidos de las dos posibles reconexiones que el algoritmo encontró para que el sistema se encuentre funcionando de manera óptima, se

En la figura 15 se detalla los perfiles de voltaje para cada una de las reconfiguraciones posibles observando que la opción adecuada para la reconexión del sistema en por medio de la línea 11-5 ya que esta línea tiene un perfil de voltaje aceptable.

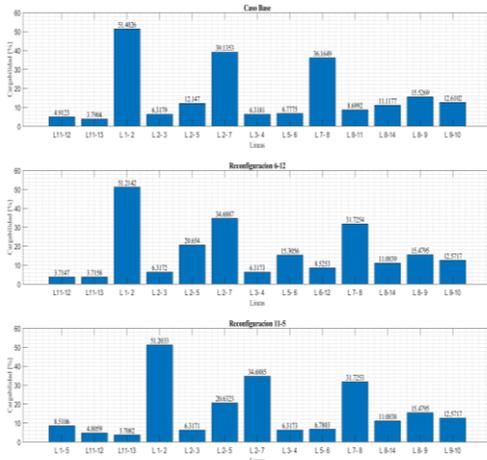


Figura 16 Cargabilidad de las líneas.

En la figura 16 se observa la cargabilidad de las líneas, cuando la línea 8-11 se encuentra fuera de servicio y existe una nueva reconfiguración para que el sistema trabaje correctamente se observa en la figura 16 en la reconfiguración 6-12 que se tiene una sobrecarga en la línea 1-2 con un porcentaje de 51.212%, línea 2-7 con un 64.88 %, por último, la línea 7-8 con un 31.72 por ciento de sobrecarga. Se distingue también que en la reconfiguración 11-5, existen tres líneas que se encuentran sobrecargas estas líneas son 1-2, 2-7 y 7-8 cada una con un porcentaje de cargabilidad de 51.20%, 34.68% y 31.72%, observando los porcentajes del caso inicial se observa que en el caso base las líneas se encuentran mucho más sobrecargadas que en los diferentes casos de reconfiguración.

5.1.5. Línea 8-9 fuera de servicio

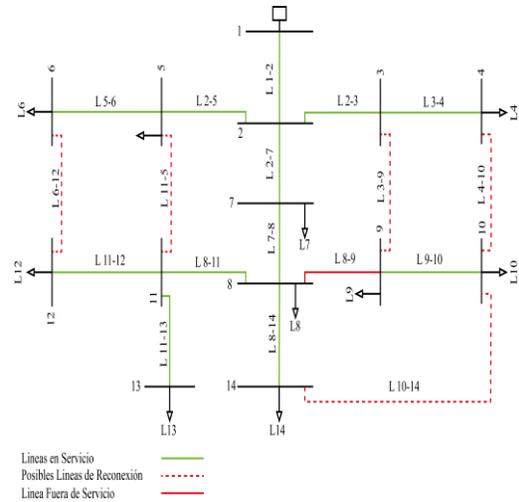


Figura 17 Desconexión de la línea 8-9.

Como se observa la figura 17 en este caso el sistema tiene tres posibles reconexiones cuando existe una falla en la línea 8-9, estos posibles casos son por medio de la línea 3-9, 4-10 y 10-14.

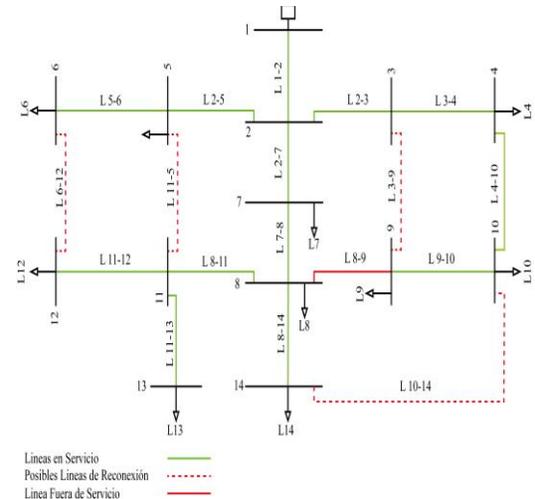


Figura 18 Reconexión mediante línea 4-10.

En la figura 18 se observa que el algoritmo propuesto tomo 3 posibles puntos de reconexión de suministro eléctrico, uno de los puntos de reconexión del sistema es por medio de la línea 10-14 (figura 18), mediante la línea 3-9 (figura 18) y por último la línea 4-10 (figura 18).

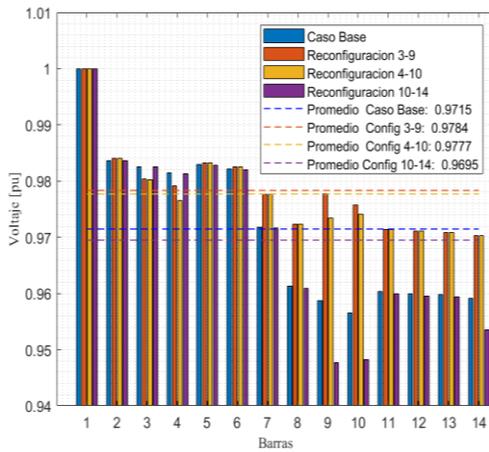


Figura 19 Perfil de voltaje para las barras del caso 4.

En la figura 19 se observa los 3 posibles casos de reconexión que el algoritmo tomo para que el sistema funcione correctamente, se constata en la figura 19 que la línea óptima para la reconexión del sistema es por medio de la 3-9 en la que se tiene un perfil de voltaje adecuado para que el sistema comience a trabajar y suministrar energía a los usuarios afectados.

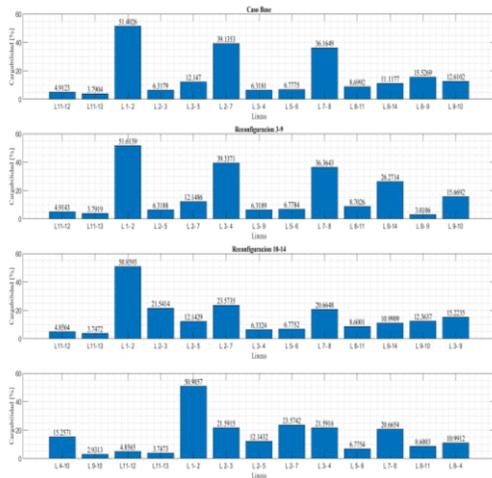


Figura 20 Cargabilidad de las líneas.

En la figura 20 se detalla que tan sobrecargadas se encontraban las líneas al momento que el sistema se encuentra funcionando correctamente sin ninguna

falla y cuando existe una falla y el sistema es reconectado por medio de las posibles reconexiones que el algoritmo ha tomado en cuenta, como se puede detallar en el caso base las líneas que se encuentran sobrecargadas es la 1-2 con un porcentaje de 51.40%, L2-7 con 39.1353% y la línea 7-8 con 36.16% de cargabilidad, se observa que en la reconfiguración 3-9, 10-14 el porcentaje cargabilidad no varía mucho con respecto al caso base, mientras que en la reconfiguración 4-10 se observa la línea 7-8 y 3-4 el porcentaje de cargabilidad ha disminuido a un 20.66% por esta razón el algoritmo le toma como la reconexión más aceptable.

5.2. Caso IEEE 37 barras

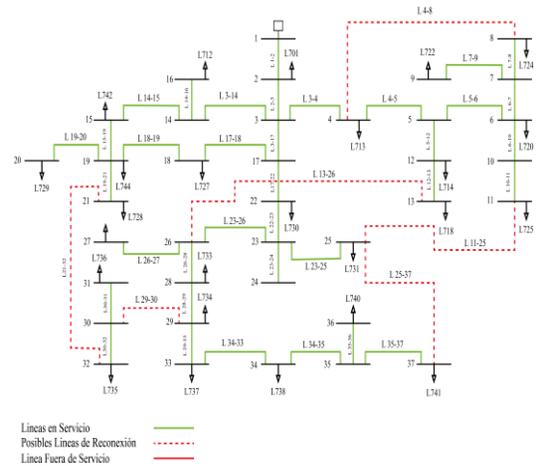


Figura 21 Caso base IEEE 37 barras.

En la figura 21 se Observa el diagrama de la IEEE de 37 barras en el cual se observa que el sistema funciona correctamente de forma radial, de la misma manera se observa que el sistema se encuentran las posibles líneas de reconexión cuando exista una posible falla por distintos eventos en cualquier línea y mediante las nuevas líneas poder nuevamente reestablecer el sistema para que trabaje correctamente.

5.2.1. Línea 4-5 fuera de servicio

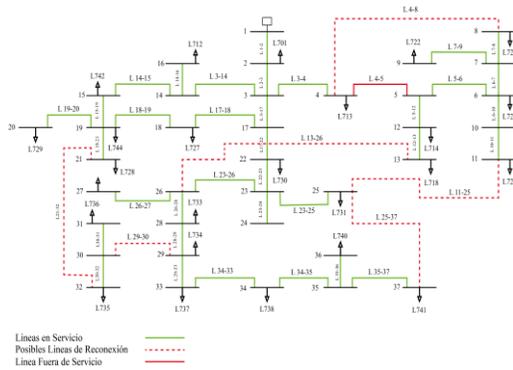


Figura 22 Línea 4-5 fuera de servicio.

En la figura 22 se observa el sistema de 37 barras en el que se produce una falla en la línea 4-5 y gran parte del sistema queda fuera de servicio, como se observa en la figura 22 para que el sistema trabaje correctamente existen 3 líneas posibles de reconexión como son las líneas 14-8, 13-26 y 25-37, a continuación se observa la línea óptima para que el sistema comience a funcionar correctamente.

En la figura 23 el algoritmo que se utilizó ha tomado 3 posibles reconexiones para que el sistema se reconecte, una de esas reconexiones es por medio de la línea 4-8, esta reconexión es posible ya que el perfil de voltaje es el adecuado para que el sistema trabaje, como se observa en la figura 23.

En la figura 24 se detalla que para los casos posibles de reconexión se tiene perfiles de voltaje bajos mientras que para la reconexión por medio de la línea 14-8 el perfil de voltaje es de 0.8924 lo cual se pudo concluir que el algoritmo ha tomado como mejor opción a la línea 14-8 para reconectarse al sistema nuevamente y suministrar energía eléctrica a los usuarios finales.

Figura 24. Perfil de voltaje para la línea fuera de servicio 4-5.

6. Conclusiones

Mediante el presente trabajo se pudo

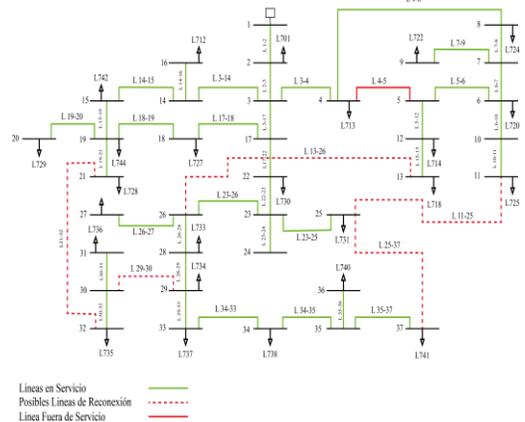
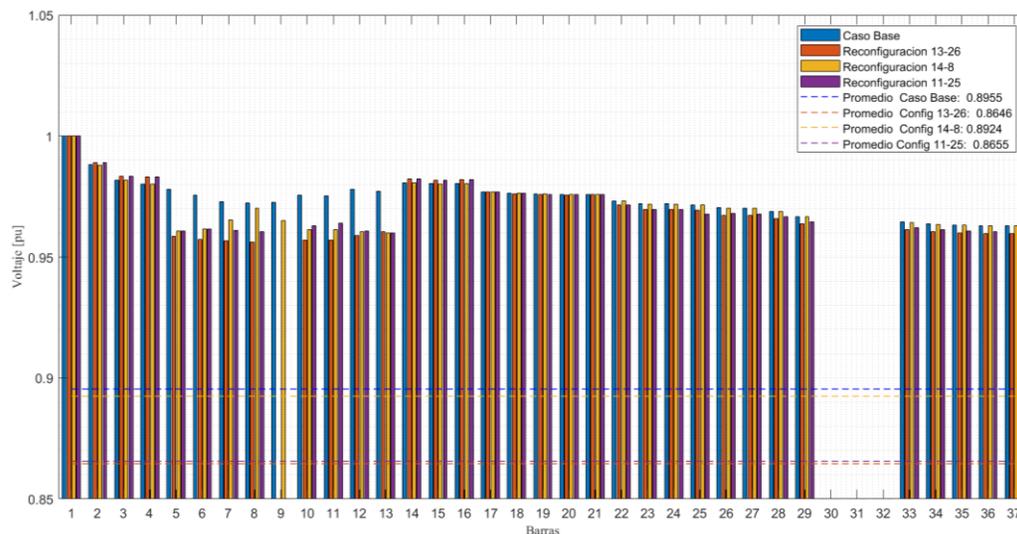


Figura 23 Reconexión línea 4-8.

realizar el esquema de restablecimiento del suministro eléctrico mediante la reconfiguración de la red a través de la metodología implementada asemejándose a los perfiles de voltaje de estado inicial y a los perfiles de voltaje de las nuevas reconfiguraciones, pudiendo obtener resultados óptimos para el restablecimiento del suministro eléctrico.

Este trabajo es una herramienta en el cual permite obtener la reconfiguración más adecuada para realimentar el sistema al momento que se produce una falla en una de las líneas y así el sistema mediante la reconexión pueda trabajar de forma óptima y fiable.



7. Trabajos futuros

Los resultados obtenidos en el presente documentos pueden ser tomados como datos de inicio para próximas investigaciones en los que se podrían analizar sistemas desbalanceados, podrían considerar diferentes metodologías como algoritmos genéticos para la reconfiguración de sistemas eléctricos y la utilización de sistemas georreferenciados para realizar el análisis.

8. Referencias

- [1] K. Sathish Kumar and T. Jayabarathi, "Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 36, no. 1, pp. 13–17, 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2011.10.016.
- [2] S. Ramírez, *Redes de distribución de energía*. 2009.
- [3] J. Serrato Rodríguez and A. Ruiz Marines, "Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo," *Mundo Nano*.

Rev. Interdiscip. en Nanociencia y Nanotecnología, vol. 9, no. 17, p. 49, 2017, doi: 10.22201/ceiich.24485691e.2016.17.58 151.

[4] I. S. Fonseca and G. T. Guerrero, "Reconfiguración multiobjetivo en sistemas de distribución primaria de energía Multiobjective reconfiguration in primary power distribution systems," vol. 25, pp. 196–204, 2017.

[5] O. D. Montoya G, R. A. Hincapié I, and M. Granada E, "Nuevo enfoque para la localización óptima de reconectores en sistemas de distribución considerando la calidad del servicio y los costos de inversión," *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 24, no. 1, pp. 55–69, 2016, doi: 10.4067/s0718-33052016000100006.

[6] A. Uniyal and S. Sarangi, "Optimal network reconfiguration and DG allocation using adaptive modified whale optimization algorithm considering probabilistic load flow," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 192, no.

- September 2020, p. 106909, 2021, doi: 10.1016/j.eprs.2020.106909.
- [7] L. Ortiz, J. W. González, L. B. Gutierrez, and O. Llanes-Santiago, “A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids,” *Heliyon*, vol. 6, no. 8. Elsevier Ltd, Aug. 01, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04799.
- [8] G. D. Ferreira and A. S. Bretas, “A nonlinear binary programming model for electric distribution systems reliability optimization,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 384–392, 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.05.070.
- [9] 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>.
- [10] J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1. 2002.
- [11] A. A. Chowdhury, *POWER DISTRIBUTION Practical Methods and Applications*. 2009.
- [12] I. Guanoluisa, “Utilización De Algoritmos Genéticos Para La Ubicación Óptima De Reconectores En Redes Radiales De Distribución – Aplicación a La Empresa Eléctrica Quito,” *Estud. Factibilidad para la creación una operadora ecoturismo en la Ciudad Otavalo*, p. 155, 2018, [Online]. Available: <file:///C:/Users/HOGAR/Downloads/CD-2042.pdf>.
- [13] J. L. Bernal Agustín, “Aplicación Algoritmos Genéticos al Diseño Óptimo de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica,” *Univ. Zaragoza Dep. Ing. Eléctrica*, p. 355, 1998.
- [14] M. A. A and C. H. V, “Implementación Computacional de Algoritmos Genéticos Para Reconfiguración de Redes de Distribución .”
- [15] M. Tamboli and N. Chothani, “Relay coordination in smart distribution network using ring main units,” *2017 Int. Conf. Energy, Commun. Data Anal. Soft Comput. ICECDS 2017*, pp. 692–697, 2018, doi: 10.1109/ICECDS.2017.8389525.
- [16] F. M. F. Flaih, X. Lin, S. M. Dawoud, and M. A. Mohammed, “Distribution system reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using Modified particle swarm optimization,” *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, vol. 2016-Decem, pp. 120–124, 2016, doi: 10.1109/APPEEC.2016.7779482.
- [17] J. López Lezama, A. Padilha Feltrin, and L. Gallego Pareja, “Ubicación óptima de generación distribuida en sistemas de energía eléctrica,” pp. 9–23, 2017.
- [18] V. Rajesh Kumar and V. Sai Kiran, “Optimal reconfiguration of distribution network,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 2614–2618, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.11694.
- [19] A. Pacheco, “Determinación de las Horas de Salida Forzada y Mantenimientos Programados en las Unidades de Generación del Sistema

Eléctrico del Ecuador,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 8, no. 1, 2012, doi: 10.37116/revistaenergia.v8.n1.2012.186

[20] K. P. Schneider *et al.*, “Analytic Considerations and Design Basis for the IEEE Distribution Test Feeders,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 3181–3188, 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2017.2760011.

9. ANEXOS

Sistema de 13 Barras de la IEEE

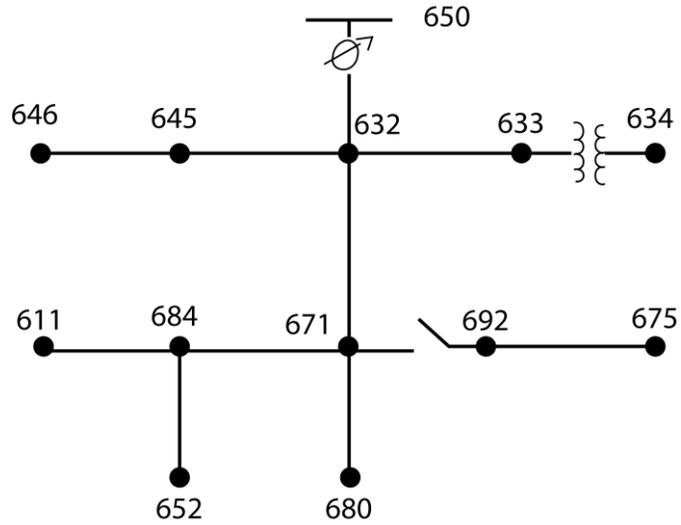


Figura 25 Sistema de 13 barras de la IEEE.

Tabla 3 Datos de configuración de las líneas aéreas

Config.	Ajuste de fase	Fase	Neutro	Espacio
		ACSR	ACSR	ID
601	B A C N	556,500 26/7	4/0 6/1	500
602	C A B N	4/0 6/1	4/0 6/1	500
603	C B N	1/0	1/0	505
604	A C N	1/0	1/0	505
605	C N	1/0	1/0	510

Tabla 4 Datos de configuración de las líneas subterráneas.

Config.	Ajuste de fase	Cable	Neutro	Espacio ID
606	A B C N	250,000 AA, CN	None	515
607	A N	1/0 AA, TS	1/0 Cu	520

Tabla 5 Datos del transformador.

	kVA	kV-alta	kV-bajo	R - %	X - %
Subestación	5,000	115 - D	4.16 Gr. Y	1	8
XFM -1	500	4.16 – Gr.W	0.48 – Gr.W	1.1	2

Tabla 6 Datos del segmento de linea.

Nodo A	Nodo B	Longitud (ft.)	Config.
632	645	500	603
632	633	500	602
633	634	0	XFM-1
645	646	300	603
650	632	2000	601
684	652	800	607
632	671	2000	601
671	684	300	604
671	680	1000	601
671	692	0	Switch
684	611	300	605
692	675	500	606

Tabla 7 Datos de carga puntual.

Nodo	Carga	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3
	Model	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0
646	D-Z	0	0	230	132	0	0
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
692	D-I	0	0	0	0	170	151

611	Y-I	0	0	0	0	170	80
TOTAL		1158	606	973	627	1135	753

Sistema de 37 barras de la IEEE

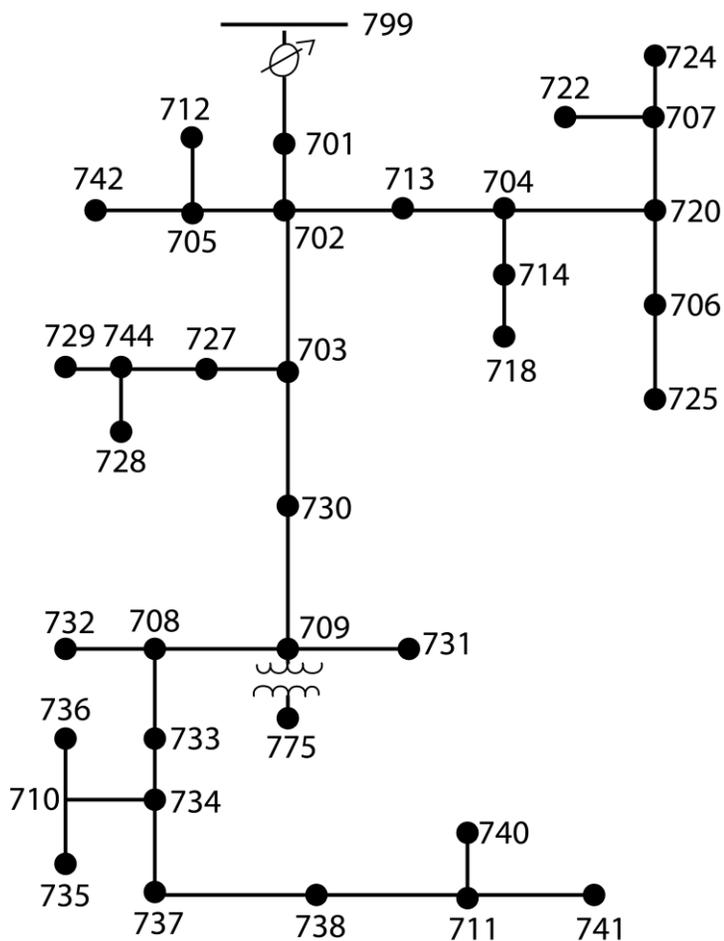


Figura 26 Sistema de 37 barras de la IEEE.

Tabla 8 Configuración de cables subterráneos.

Config.	Ajuste de fase	Cable	Espacio ID
721	ABC	1,000,000 AA, CN	515
722	ABC	500, 000 AA, CN	515
723	ABC	2/0 AA, CN	515
724	ABC	#2 AA, CN	515

Tabla 9 Datos del Transformador.

	kVA	Kv-lado alta	kV-lado de baja	R-%	X - %
Substation	2.500	230 D	4.8	2	8

Tabla 10 Cargas.

Nodo	Carga	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-4
	Modelo	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
701	D-PQ	140	70	140	70	350	175
712	D-PQ	0	0	0	0	85	40
713	D-PQ	0	0	0	0	85	40
714	D-I	17	8	21	10	0	0
718	D-Z	85	40	0	0	0	0
720	D-PQ	0	0	0	0	85	40
722	D-I	0	0	140	70	21	10
724	D-Z	0	0	42	21	0	0
725	D-PQ	0	0	42	21	0	0
727	D-PQ	0	0	0	0	42	21
728	D-PQ	42	21	42	21	42	21
729	D-I	42	21	0	0	0	0
730	D-Z	0	0	0	0	85	40
731	D-Z	0	0	85	40	0	0
732	D-PQ	0	0	0	0	42	21
733	D-I	85	40	0	0	0	0
734	D-PQ	0	0	0	0	42	21
735	D-PQ	0	0	0	0	85	40
736	D-Z	0	0	42	21	0	0
737	D-I	140	70	0	0	0	0
738	D-PQ	126	62	0	0	0	0
740	D-PQ	0	0	0	0	85	40
741	D-I	0	0	0	0	42	21
742	D-Z	8	4	85	40	0	0
744	D-PQ	42	21	0	0	0	0
Total		727	357	639	314	1091	530
XFM -1	500	4.8 D		.480 D		0.09	1.81

ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE VOLTAJE

ITEM	DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS				RESTRICCIÓNES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA		SOLUCIÓN PROPUESTA												
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	CITAS	Problema: Objetivo				RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE RESTRICCIONES DE VOLTAJE	ESQUEMAS DE RECONFIGURACIÓN	DETERMINAR LA ZONA EN FALLA	OPTIMIZACIÓN	RECONFIGURACIÓN DE LA RED	LIMITAR ZONAS FUERA DE SERVICIO	OPTIMIZACIÓN MEDIANTE LA OPERACIÓN DE EQUIPOS	DETECCIÓN DEL ERROR	MODELO MATEMÁTICO MULTIOBJETIVO	TOPOLOGÍA RADIAL	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	VOLTAJE	COSTOS	DURACIÓN DE POTENCIA INTERRUMPIDA	RECONFIGURACIÓN MULTIOBJETIVO	ALGORITMO EVOLUTIVO ELITISTA	PROGRAMACIÓN ENTERA-MIXTA NO LINEAL	FIABILIDAD	RECONFIGURACIÓN DE CIRCUITOS	CALIDAD DE SERVICIO	OPTIMIZACIÓN DE LA FIABILIDAD
6	2017	Reconfiguración y Expansión de sistemas de Distribución mediante algoritmos genéticos y técnicas multiobjetivo	\cite{SerratoRodriguez2017}	5	SI	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
7	2017	Multiobjective reconfiguration in primary power distribution system.	\cite{Fonseca2017}	5	NO		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
8	2016	A new approach to optimal allocation of reclosers in distribution systems considering service quality and fixed costs	\cite{MontoyaG2016}	9	SI	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
9	2016	Reconfiguration strategy for Fault Tolerance of power Distribution Systems using Petri net	\cite{Matos2016}	20	SI	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
10	2016	Distribution system reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using Modified particle swarm optimization	\cite{Flaih2016}	214	SI	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
11	2012	A nonlinear binary programming model for electric distribution systems reliability optimization G.D.	\cite{Ferreira2012}	47	NO	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒

ESQUEMA DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE VOLTAJE																											
ITEM	DATOS					TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA							
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	CITAS	Problema: Objetivo	RECONFIGURACIÓN DE LA RED ELECTRITA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	RESTRICCIONES DE VOLTAJE	ESQUEMAS DE RECONFIGURACIÓN	DETERMINAR LA ZONA EN FALLA	OPTIMIZACIÓN	RECONFIGURACIÓN DE LA RED	LIMITAR ZONAS FUERA DE SERVICIO	OPTIMIZACIÓN MEDIANTE LA OPERACIÓN DE EQUIPOS	DETECCIÓN DEL ERROR	MODELO MATEMÁTICO MULTIOBJETIVO	TOPOLOGÍA RADIAL	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	VOLTAJE	COSTOS	DURACIÓN DE POTENCIA INTERRUMPIDA	RECONFIGURACIÓN MULTIOBJETIVO	ALGORITMO EVOLUTIVO ELITISTA	PROGRAMACIÓN ENTERA-MIXTA NO LINEAL	FIABILIDAD	RECONFIGURACIÓN DE CIRCUITOS	CALIDAD DE SERVICIO	OPTIMIZACIÓN DE LA FIABILIDAD
12	2012	Power system reconfiguration and loss minimization for a distribution system using bacterial foraging optimization algorithm	\cite{SathishKumar2012}	193	SI			☒	☒	☒														☒			
13	2009	Redes de Distribución de Energía	\cite{Ramirez2009}		SI	☒		☒				☒			☒	☒		☒							☒		
14	2006	Aplicación de algoritmos genéticos al diseño óptimo de sistemas de distribución de energía eléctrica	\cite{BernalAgustin1998}	23	NO			☒	☒			☒					☒						☒				
CANTIDAD:						6	3	4	6	6	5	2	5	4	4	2	4	2	5	2	1	3	3	4	3	4	3

Resumen de Indicadores

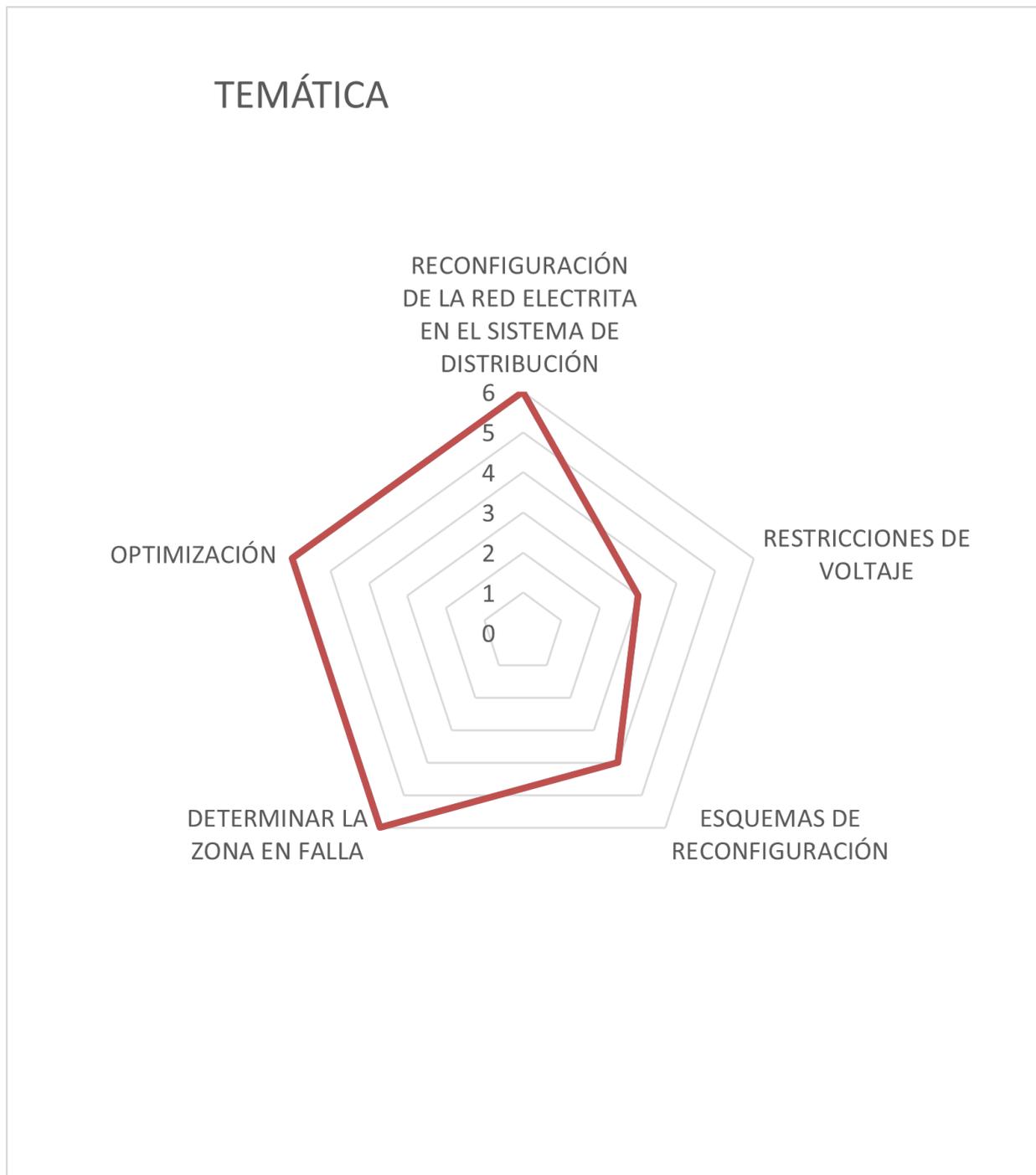


Figura 27 Resumen e indicadores de la temática-Estado del arte.

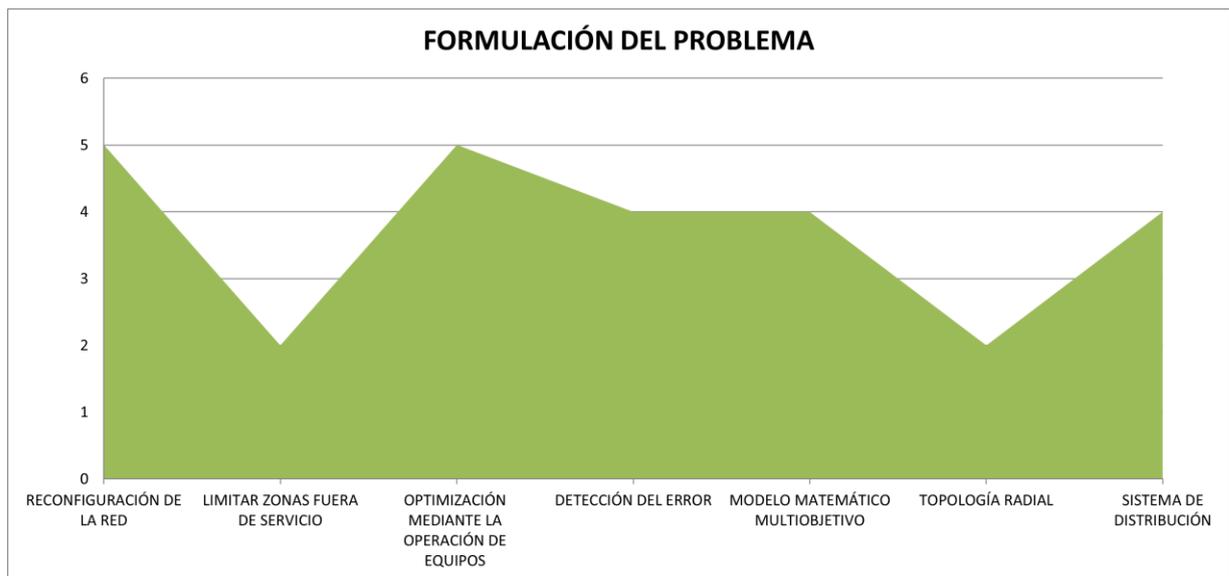


Figura 28 Indicadores de la formulación del problema - Estado del arte

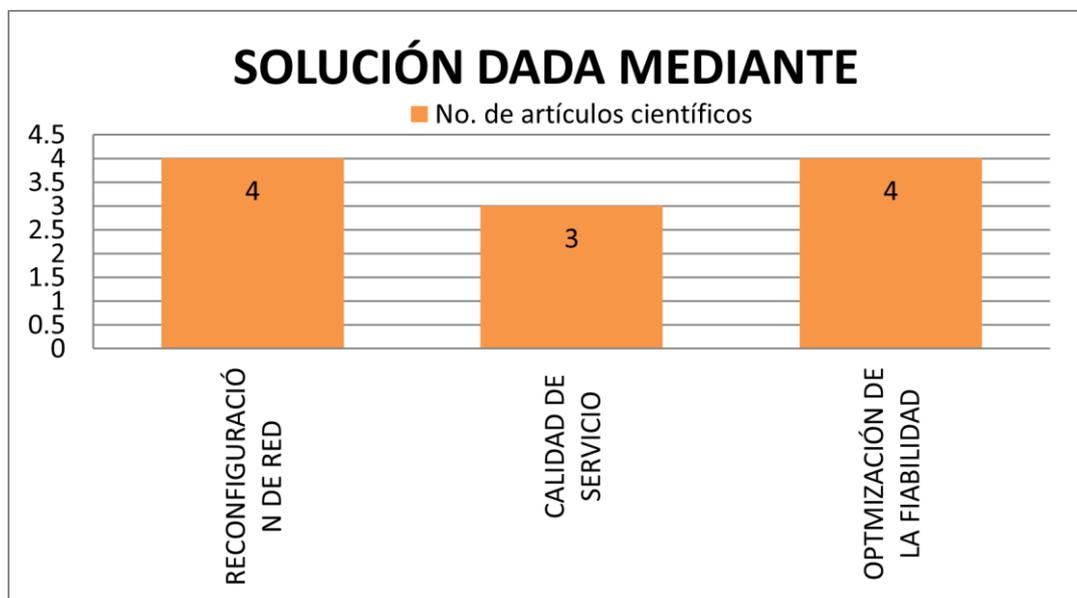


Figura 29 Indicadores de solución - Estado del arte.