

**RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA
MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS
CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE
CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN
ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD

**RECONFIGURACIÓN TOPOLOGICA EN
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA
MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS
CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE
CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN
ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO**

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

AUTOR: BRYAN ALEXANDER TOALOMBO HERRERA
TUTOR: LUIS FERNANDO TIPÁN VERGARA

Quito -Ecuador
2023

Bryan Alexander Toalombo Herrera

RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO-

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Bryan Alexander Toalombo Herrera (Y'1998 – S'18). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Instituto Tecnológico Superior Central Técnico de la ciudad de Quito, interesado en estudiar en un futuro sistemas eléctricos de potencia. Su trabajo se basa en una Reconfiguración topológica en sistemas de distribución para la minimización de pérdidas considerando restricciones de cargabilidad a través de un algoritmo de búsqueda de grupo.
btoalombo@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Luis Fernando Tipán Vergara (Y'1982-J'21). nació en Quito, Ecuador, el 21 de junio de 1982. Se graduó de la Facultad de Ingeniería Eléctrica Como Ingeniero en Electrónica en Control en la Escuela Politécnica Nacional. sus estudios de postgrado los hizo en la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, obteniendo el grado de Magister en Eficiencia Energética. La mayor parte de su vida profesional la dedico al sector industrial y petrolero. Actualmente está involucrado en las áreas de Energías Alternativas y Eficiencia Energética en la Universidad Politécnica Salesiana.

Sus intereses de investigación incluyen los métodos de GD con Energías alternativas, el IoT basándose en controladores de bajo consumo. Electrónica de Potencia, entre otros.
ltipan@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

©2023 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

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

Yo, Bryan Alexander Toalombo Herrera con documento de identificación N° 1724045032 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, 4 de diciembre del año 2023

Atentamente,



Bryan Alexander Toalombo Herrera

1724045032

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

Yo, Bryan Alexander Toalombo Herrera con documento de identificación No.1724045032, 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 "Reconfiguración topológica en sistemas de distribución para la minimización de pérdidas considerando restricciones de cargabilidad a través de un algoritmo de búsqueda de grupo.", 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, 4 de diciembre del año 2023

Atentamente,



Bryan Alexander Toalombo Herrera

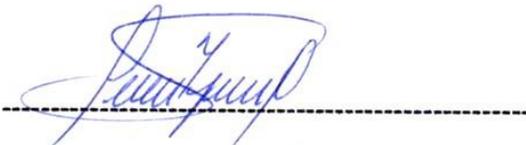
1724045032

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Fernando Tipán Vergara con documento de identificación N° 1717329005, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: RECONFIGURACIÓN TOPOLOGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO, realizado por Bryan Alexander Toalombo Herrera con documento de identificación N° 1724045032, 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, 4 de diciembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Luis Fernando Tipán Vergara, MSc
1717329005

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico	2
2.1	Sistemas de distribución	2
2.2	Reconfiguración topológica de un sistema de distribución.....	3
2.3	Técnicas para la reconfiguración de sistemas de distribución	4
2.3.1	Métodos basados en conocimientos	4
2.3.2	Métodos basados en técnicas evolutivas	4
2.3.3	Método Heurístico	4
2.3.4	Método de Civanlar	5
2.3.5	Método de Baran.....	5
2.4	Barrido Iterativo	5
2.4.1	La metodología de suma de corriente	6
2.4.2	Método de suma de potencia.	6
2.4.3	Método de suma de admitancias.....	7
2.5	Algoritmo de búsqueda de grupo	8
3	Formulación del problema	9
3.1	Caso de estudio.....	10
3.1.1	Sistema de prueba 1	10
3.1.2	Sistema de prueba 2	10
3.1.3	Sistema de prueba 3.....	10
3.2	Metodología	10
3.3	Análisis de resultados	11
4	Conclusiones	14
4.1	Trabajos futuros.....	14
5	Referencias.....	14
5.1	Matriz del Estado del Arte.....	17
5.2	Resumen de indicadores	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de voltaje 33 barras después de la reconfiguración.	11
Figura 2. Comparación de pérdidas eléctricas del caso base, reconfiguración en el caso de 33 barras.	11
Figura 3. Perfil de voltaje 69 barras después de la reconfiguración.	12
Figura 4. Comparación de pérdidas eléctricas del caso base, reconfiguración en el caso de 69 barras.	12
Figura 5. Perfil de voltaje 136 barras después de la reconfiguración. ...	13
Figura 6. Comparación de pérdidas eléctricas del caso base, reconfiguración en el caso de 136 barras.	13
Figura 7. Resumen e indicador de la temática – Estado del arte. ...	31
Figura 8. Indicador de formulación del problema – Estado del arte. ...	21
Figura 9. Indicador de solución – Estado del arte.	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Algoritmo de Optimización de una reconfiguración topológica.	10
Tabla 2: Condiciones iniciales para el desarrollo del algoritmo.	11
Tabla 3: 10 mejores configuraciones para el sistema de 33 barras.	11
Tabla 4: 10 mejores configuraciones para el sistema de 69 barras.	11
Tabla 5: 10 mejores configuraciones para el sistema de 136 barras.	12
Tabla 6: Matriz del Estado del Arte.	17

RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BUSQUEDA DE GRUPO

Resumen

La cantidad de pérdidas de energía eléctrica en sistemas de distribución depende de la cantidad de corriente que fluye a través de los conductores como de su calibre. Afectan la calidad de energía por lo tanto en esta investigación se plantea una solución a este problema. Se propone una metodología heurística para la minimización de pérdidas en los alimentadores de una red de distribución mediante una reconfiguración topológica con la apertura y cierre de interruptores de enlace ya establecidos mediante un algoritmo de búsqueda de grupo, el mismo que analizará todas las posibles configuraciones que serán sometidas a flujos de potencia para obtener el estado del sistema. Una reconfiguración eficiente en redes de distribución depende de la metodología que se va a implementar y debe cumplir con las restricciones como mantener la radicalidad y abastecer a toda la carga, en el presente documento se proporciona información referente al algoritmo de búsqueda de grupo y al flujo de carga basado en el barrido hacía atrás/hacia adelante, en tres sistemas de distribución de 33 barras, 69 barras, 136 barras.

Palabras Clave: Métodos Heurísticos, Algoritmo de búsqueda, reconfiguración de red, Pérdidas eléctricas.

Abstract

The amount of electrical energy losses in distribution systems depends on the amount of current that flows through the conductors as well as their caliber, they affect the quality of energy, therefore in this investigation a possible solution to this problem is proposed. In the present work, a heuristic methodology is proposed for the minimization of losses in the feeders of a distribution network, by means of a heuristic method for topological reconfiguration with the opening and closing of link switches already established in each distribution network by means of an algorithm. For group search, since this is a complex combinatorial problem, it is proposed to use a reconfiguration algorithm that will analyze all the possible configurations that will be subjected to power flows to obtain the state of the system. An efficient reconfiguration in distribution networks depends on the methodology to be implemented and must comply with the restrictions such as maintaining radiality and supplying the entire load. This document provides information regarding the group search algorithm and the flow load based on backward/forward sweep, in three distribution systems of 33 bars, 69 bars, 136 bars.

Keywords: Heuristic methods, search algorithm, reconfiguration network, electrical losses.

1 Introducción

Una reconfiguración topológica es un tema importante en el mundo de la ingeniería eléctrica debido a la creciente demanda que existe en el sistema eléctrico de potencia, la red de distribución es la parte más extensa del sistema debido a esto su operación y mantenimiento se torna un proceso complicado por los parámetros y condiciones de calidad adecuados de confiabilidad para el consumidor final.

Debido a este incremento de carga se ve afectado las condiciones óptimas de operación del sistema[1] y se han desarrollado varias técnicas de optimización para minimizar el costo de operación y caídas de tensión[2] la alternativa más acertada para mejorar la operación del SEP es una reconfiguración de la topología del sistema de distribución. [3]

Debido a la magnitud del sistema las técnicas de reconfiguración topológica se plantean como una metodología de optimización heurística[1] se puede realizar abriendo o cerrando interruptores de enlace pro medio de un algoritmo de búsqueda para mejorar los índices de confiabilidad conservando su estructura radial[4], esto implica la selección de una topología adecuada, todas las posibles reconfiguraciones serán monitoreadas y controladas de manera efectiva analizando los flujos de potencia para determinar el estado de operación[5].

El autor menciona que para la conmutación de los interruptores de enlace se debe transferir la carga de un alimentador a otro para equilibrar las cargas[6], debido a esto el principal problema de una reconfiguración topológica es que su combinación es no lineal y no convexo por tal motivo los algoritmos heurísticos conocidos por su rapidez en el cálculo y alta eficiencia pueden resolver este tipo de problemas mediante una convergencia global teniendo

en cuenta las restricciones que tenga cada sistema de distribución[7].

En [8] un algoritmo de búsqueda es una técnica de búsqueda para encontrar soluciones aproximadas a los problemas de optimización adaptado a sistemas de distribución categorizando las distintas alternativas factibles de reconfiguración de la red de suministro eléctrico basado en un proceso de operación de equipos de corte y seccionamiento para los siguiente sistemas de prueba de 136 barras, 33 barras y 69 barras de la IEEE para el flujo de potencia se utilizara un barrido iterativo hacia atrás/hacia adelante [9][10].

2 Marco teórico

Se plantea información con respecto a los sistemas de distribución mencionando los aspectos más importantes y que se deben tener en cuenta en este estudio, como los requerimientos que debe cumplir, su topología y los métodos matemáticos necesarios para conocer el estado en el que están trabajando los sistemas para poder realizar una reconfiguración topológica eficiente.

2.1 Sistemas de distribución

Los sistemas eléctricos de distribución de energía eléctrica han evolucionado desde un sistema con generador de corriente continua a un sistema de corriente alterna con equipos de transformación que permiten variar el nivel voltaje según sea necesario, estos sistemas funcionan en base a una gran cantidad de restricciones y variables como el número de barras, el número de líneas de transmisión, los diferentes nodos de conexión y demás elementos que forman parte del sistema deben mantenerse al margen para garantizar el servicio a la demanda requerida debido a esto es la gran cantidad de combinaciones que pueden ser presentadas como una solución a los problemas que se quiere mejorar y optimizar[11][12].

En [13][14]. Se menciona que la principal característica de este tipo de sistemas es la topología radial debido a que es la más sencilla y adecuada para la distribución de energía eléctrica, los sistemas de distribución cuentan con zonas de agrupación lógica de corte y seccionamiento que permiten el aprovechamiento de la red para mejorar la confiabilidad y eficiencia del sistema enfocándose en la capacidad de mantener la continuidad del servicio de energía eléctrica ante una falla o un cambio de topología así como también para la planeación de trabajos futuros [15].

Cuentan con niveles de voltaje desde 45 kV hasta 132 kV correspondientes a media tensión y desde 13 kV hasta los 25 kV correspondientes a baja tensión, el nivel de voltaje varía acorde a las necesidades del usuario final [16].

Existen algunas limitaciones en el diseño y operación de un sistema de distribución para garantizar la calidad de energía que será suministrada, en los sistemas de distribución entre los problemas comunes y que se deben evitar son los siguientes:

- **Caída de Voltaje:** se define como caída de voltaje a la disminución del voltaje en el conductor debido a la impedancia por la cual fluye cierta corriente, si la caída de voltaje supera el 10 % puede causar daños graves al usuario final[17].
- **Sobre corriente:** se define como la corriente que sobrepasa su nivel permitido en el conductor lo que genera un calentamiento de las líneas, una de las principales causas son cortocircuitos, exceso de cargas, un diseño mal planteado o una falla a tierra[17].

El estado operativo de los sistemas eléctricos debe ser monitoreado continuamente para garantizar que los límites establecidos en normativas y regulaciones a los cuales está regido un sistema de distribución se cumplan de una manera efectiva evaluando el estado de los sistemas eléctricos con un flujo de potencia el mismo

que permitirá conocer todas las variables eléctricas en tiempo real. Los flujos de potencia para sistemas tradicionales es decir sistemas de transmisión se resuelven usando Newton Raphson debido a que su topología corresponde a sistemas mallados y las impedancias que se encuentran entre los nodos de emisión y recepción son más pequeñas por lo tanto el acoplamiento en cada punto de conexión es un problema conocido como relación de ramificación x_s/r_s . [24][25][26]

Es por esto que no es recomendable ocupar Newton Raphson en sistemas de distribución debido a que su topología es radial y uno de los métodos eficientes para este tipo de estructuras es el barrido hacia atrás / hacia adelante, no obstante, existen métodos iterativos específicamente para sistemas radiales utilizados para mejorar los tiempos de convergencia mediante estos métodos se tendrá que determinar las condiciones de operación en las que se encuentra el sistema.

2.2 Reconfiguración topológica de un sistema de distribución

Una reconfiguración topológica está enfocada en cambios dinámicos en el patrón de cargabilidad en donde los equipos de corte y seccionamiento son controlados permitiendo realizar la reconfiguración de la red considerando los tramos de tiempo optimizados [7].

En [18] se establece que una reconfiguración topológica debe ser estudiada previamente, es decir es necesario un estudio previo a realizar cualquier cambio para obtener las variables eléctricas en condiciones iniciales, para esto es necesario un flujo de potencia para sistemas radiales para saber que decisiones tomar, si es el caso y se altera la topología de la red será con la configuración que presente menores pérdidas y mejore el estado de operación del sistema eléctrico.

En [19][20][21] el avance tecnológico es un aspecto relevante para la optimización de redes de distribución por ser problemas combinatorios y necesitar de unos buenos equipos computacionales que presenten resultados como reconfiguraciones estáticas las cuales están enfocadas en los datos de las variables eléctricas y en las restricciones que tenga el sistema (límites de regulación de voltaje, límites de flujos de potencia) para obtener como resultado una reconfiguración topológica radial.

2.3 Técnicas para la reconfiguración de sistemas de distribución.

Existen diferentes metodologías de reconfiguración y son categorizadas como procesos complicados debido a que comprenden un problema de optimización combinatoria para el cual el propósito de la función objetivo puede variar según el tipo de estudio que se esté realizando como por ejemplo encontrar la mejor ruta entre puntos de conexión, optimizar las planificaciones para mantenimientos preventivos y correctivos, optimizar costos operativos analizando el despacho de generación, reconfiguración para minimizar las pérdidas de energía eléctrica, para todos estos casos de estudio existen varios métodos de optimización entre los más importantes métodos basados en conocimientos y los métodos basados en técnicas evolutivas.

2.3.1 Métodos basados en conocimientos

Se basa en la experiencia del operador sobre las posibles combinaciones en el sistema este tipo de métodos permite asegurar un resultado óptimo

global cuando se trabaja con una programación lineal o lógica difusa [1].

2.3.2 Métodos basados en técnicas evolutivas

Se caracterizan por su creatividad imitando procesos neuronales biológicos y físicos que se producen

en la naturaleza, al no existir un método matemático directo se utilizan estos métodos debido a que su solución es progresiva y va mejorando en cada iteración [1]. Esta metodología permite optimizar varias funciones al mismo tiempo y puede ser ocupada para la reconfiguración obteniendo buenos resultados.

2.3.3 Método Heurístico

Un algoritmo heurístico es un proceso ordenado paso a paso para encontrar soluciones a problemas no lineales, la principal ventaja de la metodología heurística es que busca soluciones lo más cercanas al resultado más óptimo rápidamente y su desventaja es que no garantiza el conocimiento completo de la calidad de la solución, sin embargo, la solución aproximada encontrada por el algoritmo heurístico es satisfactoria y su precisión puede medirse especificando el porcentaje de optimización o bajo ciertos límites de incertidumbre, las pruebas empíricas del método heurístico se realizan utilizando la regla de la búsqueda voraz esta consiste en buscar el mejor valor de la función objetivo en cada iteración durante el proceso que realiza el algoritmo [3]-[22].

$$\text{Min}_{X \in L} = \min_{X \in L} \sum_{i=1}^n r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{S_{i, \text{rate}}^2} X_i \quad (1)$$

Donde:

L: representa las posibles soluciones que cumplen con las condiciones planteadas.

W: Resistencia de la línea de transmisión.
P² + Q²: flujos de potencia.

i **i**
S: clasificación actual del conductor.

$$\begin{aligned} \Delta P = & 2P_m \left(\sum_{l \in L} r_l P_l - \sum_{l \in L} r_l P_l \right) \\ & + 2Q_m \left(\sum_{l \in L} r_l Q_l - \sum_{l \in L} r_l Q_l \right) \\ & - (P_m^2 + Q_m^2) \left[\sum_{l \in RUL} r_l \right] \end{aligned} \quad (2)$$

2.3.4 Método de Civanlar

Metodología para sistemas de distribución conocida por su simplicidad y por establecer una técnica heurística para la reducción de pérdidas en la red, el cálculo de la reducción de pérdidas se deriva de una expresión algebraica esta fórmula debe garantizar la radicalidad del sistema ante la apertura y cierre de los interruptores de enlace, mediante este método se puede estimar las pérdidas activas cuando se realiza un intercambio de ramas[23].

Donde:

$$\begin{aligned} \Delta P = & Re \left\{ 2 \left(\sum_{i \in D} I_i \right) (E_m - E_n)^* \right\} \\ & + R_{lazo} \left[\sum_{i \in D} I_i \right]^2 \end{aligned} \quad (3)$$

D: Cargas transferidas de lazo a lazo.

E_m : Componente $R_{bus} * I_{bus}$ nodo de emisión.

E_n : Componente $R_{bus} * I_{bus}$ nodo de recepción.

Esta ecuación fue tomada de [23] en donde se plantea que ΔP es negativo cuando existe reducción de pérdidas donde el nodo de emisión E_m debe tener mayor caída de tensión que el nodo de recepción E_n .

2.3.5 Método de Baran

Metodología similar al método de Civanlar con la diferencia que esta

metodología realiza flujos de carga y el

resultado de ΔP es positivo, eso significa que existe la reducción de pérdidas las mismas que dependen de la potencia que circula al

abrir y cerrar los equipos de corte y seccionamiento.

Donde:

r_l : resistencia de la rama l.

P_l : Potencia activa de la rama l.

Q_l : Potencia reactiva de la rama l.

P_m : Potencia activa de salida.

Q_m : Potencia reactiva de salida.

L: Conjunto de líneas que conforman el lado de emisión.

R: Conjunto de líneas que conforman el lazo de recepción.

2.4 Barrido Iterativo

En [13][24] se plantea que la metodología de barrido iterativo es indicada para sistemas radiales debido a que cuentan con valores de resistencia comparables con los de reactancia de las líneas, omitiendo la inversión de la matriz jacobina para cada iteración.

El método de solución para el flujo de potencia son los métodos de barrido hacia atrás/hacia delante en donde es conveniente que las ramas tengan la misma numeración que las barras receptores, esto permite realizar barridos hacia atrás/delante en todas las ramas del sistema teniendo como condición que el número de la barra de envío debe ser menor que el número de barras de recepción, por lo tanto $i < k$ para la rama, los índices de los nodos emisores se almacenan en un vector en donde $i = fk$ [27].

Los tramos que se encuentran inactivos son asignados con el índice 1 consideradas como rama ficticia y tiene una impedancia cero, los índices de las sucursales comienzan de 2 a nb esto representa el número de barras en la red.

Para representar la rama k conectada a las barras i y k se modela con una impedancia serial z^k , admitancias de derivación y^i y y^k ,

$$s \quad i \quad k \quad d \quad d$$

demanda de carga s_d y s_d , capacitancia en todas las líneas y elementos de derivación.

$$y_d^k = j \left(\sum_{lines} b_{lines}^k + \sum_{shunt} b_{shunt}^k \right) \quad (4)$$

$$v_k = v_i - z_s^k * j_b^k \quad k = 2,3,..n_1 \quad (7)$$

Donde:

y_d^k : admitancia de derivación.

b_{lines}^k : Capacitancia en las líneas.

2.4.1 La metodología de suma de corriente.

Usa las leyes de Kirchoff, para el cálculo de voltajes, este método se realiza en 5 pasos.

1. El sistema de distribución debe tener todos sus valores en 1 p.u.
2. Establecer un flujo de corriente en cada ramal sumada la corriente de demanda (s_b^k) y la corriente consumida en la admitancia (y_d^k) conectada a la barra k.

$$j_b^k = \left(\frac{s_d^k}{v_k} \right) + y_d^k * v_k \quad k = 1,2,..n_b \quad (5)$$

Donde:

s_d^k : Demanda de carga.

v_k : Voltaje que circula por el ramal.

y_d^k : Admitancia en la línea.

3. Barrido hacia atrás se realiza la suma de corrientes, empezando desde la rama con el índice más grande hacia la rama cuyo índice es igual a 1, la corriente del ramal k es sumada a la corriente de la rama cuyo índice es igual a i=fk.

$$j_{b,new}^i = j_b^i + j_b^k \quad k = n_1, n_1 - 1..2 \quad (6)$$

Donde:

j_b^i, j_b^k : Corrientes de emisión y recepción.

4. Barrido directo: los voltajes de la barra que se encuentra en el extremo se calculan con las corrientes de rama y voltajes de la barra emisora.

Donde:

v_i : Voltajes de la barra emisora.

z_s^k : Impedancia serial.

j_b^k : Suma de corrientes en cada ramal.

5. En este punto se comparan los voltajes de iteración nueva con el voltaje de iteración v-1.

$$\max_{i=1 \dots n_h} \{|v_i^v - v_i^{v-1}|\} < \epsilon \quad (8)$$

2.4.2 Método de suma de potencia.

1. El sistema de distribución debe tener todos sus valores en 1 p.u.
2. Establecer un flujo de corriente en cada ramal sumada la corriente demanda (s_b^k) y la corriente consumida en la admitancia(y_d^k) conectada a la barra k.

$$s_t^k = s_d^k + \frac{(y_d^k)}{(v_k^2)} \quad (9)$$

Donde:

s_d^k : Demanda de carga.

y_d^k : Admitancia de línea.

v_k^2 : Voltaje de recepción.

3. Barrido hacia atrás: mediante un flujo de potencia realizado en el sistema se obtienen las potencias tanto en el nodo emisor como receptor además de obtener las pérdidas existentes en el ramal, con los resultados obtenidos se realiza una suma de potencias partiendo desde el ramal con mayor índice hacia el ramal cuyo índice es igual a 1.
4. Barrido directo: Con los voltajes y potencias ya conocidos, se obtienen los voltajes en la barra de recepción.

$$S_{t,new}^i = S_t^i + S_f^k \quad (10)$$

$$v_k = v_i - z_s^k * \left(\frac{S_t^k}{v_i} \right)^* \quad (11)$$

Donde:

z_s^k : Impedancia serial.

v_i : Voltaje de emisión.

v_k : Voltaje de recepción.

S_t^k : Demanda de carga.

5. Se comparan los voltajes en cada iteración con los voltajes de la iteración v-1 usando (5) si la diferencia máxima en magnitud es menor que la tolerancia especificada se termina el proceso, de lo contrario se realiza nuevamente un flujo de potencia utilizando (6).

2.4.3 Método de suma de admitancias.

En cada nodo del sistema y en cada ramal existe una admitancia conocida como y^k también se define una admitancia y^k que

parte desde un punto de conducción alimentada por el nodo k incluida la admitancia de derivación y_d^k .

Para este método se define un generador de corriente equivalente j_e^k en la red alimentada por el nodo k esto se realiza para que todas las corrientes de carga sean alimentadas por el nodo k, el cálculo de voltajes de barra mediante la suma de admitancias consta de 5 pasos[28].

1. Todos los voltajes deben estar en 1 p.u.

$$y_e^k = y_d^k \quad (12)$$

Donde:

y_e^k : Admitancia de línea.

2. Se realiza la suma de admitancias a partir de rama con el mayor índice hacia la rama cuyo índice es igual a 1.

$$d_b^k = \frac{1}{1 + z_s^k * y_e^k} \quad (13)$$

$$y_{e,new}^i = y_e^i + d_b^k * y_e^k \quad (14)$$

Donde:

y_e^k : admitancia de recepción serial.

d_b^k : Capacitancia en la línea.

z_s^k : Impedancia serial.

3. Barrido hacia atrás: Para cada nodo se calcula la corriente equivalente j^k para igualarlo a la corriente de carga j_d^k y realizar la suma de corriente sobre las admitancias equivalentes usando el factor d_b^k .

$$j_e^k = j_d^k = \left(\frac{S_d^k}{v_k} \right)^* \quad (15)$$

$$j_{e,new}^i = j_e^i + d_b^k * j_e^k \quad (16)$$

Donde:

d_b^k : Capacitancia en la línea.

j_e^k : Corriente de recepción en la línea.

j_d^k : Corriente de emisión en la línea.

4. Barrido directo: los voltajes de la barra del extremo se calculan con generadores de corriente equivalentes y voltajes de la barra emisora.

$$v_k = d_b^k * (v_i - z_s^k * j_e^k) \quad (17)$$

Donde:

d_b^k : Capacitancia en la línea.

j_e^k : Corriente de recepción en la línea.

v_i : Voltaje de emisión.

5. Se comparan los voltajes en cada iteración con los voltajes de la iteración v-1 usando (5), si la diferencia máxima en magnitud es menor que la tolerancia especificada

se termina el proceso. De lo contrario se vuelve al paso 3.

2.5 Algoritmo de búsqueda de grupo

Con la intención de mejorar las soluciones posibles antes de terminar un proceso se implementa un algoritmo de búsqueda heurística basado en el fundamento de los algoritmos genéticos es decir se basa en un criterio de optimización inspirados en la evolución natural de poblaciones, la vida grupal es un evento común en el entorno conductual de los animales y los resultados de la vida colectiva es que la búsqueda de grupo permite reducir la diferencia en el éxito de la cacería. La comunicación es una característica común de los animales sociales en la comunidad, aquellos que tienen éxito en la búsqueda de recursos proporcionan recursos por cuenta propia a aquellos que no tienen éxito, esta metodología se implementa para la resolución de problemas de optimización los mismos que consisten en encontrar donde se alcanza el óptimo de una función objetivo[5].

Para una optimización global las restricciones son consideradas importantes debido a que las posibles soluciones presentan combinaciones poco comunes regidas a las restricciones establecidas y por lo tanto son difíciles de conseguir, tanto como optimizar por completo una función objetivo estas soluciones constituyen el área de una optimización combinatoria.

Productor: individuo que ocupa el puesto más adecuado en relación con los demás y

realiza la posibilidad de visión y comprueba la cercanía de su ubicación actual para encontrar una mejor ubicación, utilizando la técnica de búsqueda denominada observación la cual se basa en inspeccionar en un punto específico en las inmediaciones del elemento de producción definiendo rutas de búsqueda.

Gorrones: Miembros que siguen al productor para poder participar.

Rangers: Denominados como guardianes que rodean el espacio de búsqueda.

Existen distintos espacios de búsqueda, continuos, binarios y enteros para lo cual se presentan las formulaciones matemáticas apropiadas para el modelamiento del algoritmo, la población del algoritmo se va conocer como grupo y cada individuo de la población se denomina participante.

$$d_{i1}^k = \prod_{q=1}^{n-1} \cos(\varphi_{iq}^k) \quad (18)$$

$$d_{i1}^k = \sin(\varphi_{i(j-1)}^k) \prod_{q=1}^{n-1} \cos(\varphi_{iq}^k) \quad (19)$$

$$d_{i1}^k = \sin(\varphi_{i(n-1)}^k) \quad (20)$$

$$D_i^k(\varphi_i^k) = (d_{i1}^k, d_{i2}^k, \dots, d_{in}^k) \quad (21)$$

Donde:

φ_{iq}^k : Angulo polar.

$D_i^k(\varphi_i^k)$: Dirección angular.

Para cada sistema existe un espacio de búsqueda n-dimensional y la posición actual del i-ésimo individuo en la k-ésima iteración de búsqueda es $X^k \in R^n$ y un ángulo del vértice $\varphi^k = (\varphi_i^k \dots \varphi_{i1}^k)_{(n-1)}$ en donde R es denominado conjunto de los reales y φ_i^k es el ángulo polar del i-ésimo elemento de la dimensión de k.

Por lo tanto la dirección de la búsqueda se puede calcular a partir de φ_i^k representada por $D^k(\varphi^k)$ algo importante para su cálculo es

se usa transformación de coordenadas polares a cartesianas [5].

$$X_z = X_p^k + r_1 I_{max} D_p^k(\varphi^k) \quad (22)$$

$$X_r = X_p^k + r_1 I_{max} D_p^k(\varphi^k + r_2 \theta_{max}/2) \quad (23)$$

$$X_l = X_p^k + r_1 I_{max} D_p^k(\varphi^k - r_2 \theta_{max}/2) \quad (24)$$

Donde:

X_p^k : Posición del productor.

I_{max} : Corriente máxima.
 D_p^k : Desplazamiento angular.

El productor empezará escaneando a cero grados y luego seleccionará de manera aleatoria tres puntos del espacio de búsqueda como se explica en las ecuaciones planteadas (20), (21), (22), después de determinar los puntos a ceros grados de derecha a izquierda todos los puntos deben ser evaluados entonces si el productor escoge un punto nuevo y este tiene un mejor valor el productor se traslada al nuevo punto, de lo contrario permanecerá en su posición actual y buscará otro sentido de búsqueda.

$$\varphi^{k+1} = \varphi^k + r_2 a_{max} \quad (25)$$

Donde $a_{max} \in R^1$ es al ángulo máximo de búsqueda, si no se encuentra una zona que no tenga mejor valor que el inicial después de la última iteración volverá al inicio con un ángulo a cero grados.

$$\varphi^{k+a} = \varphi^k \quad (26)$$

El productor se desplaza por varios puntos de manera aleatoria buscando nuevas oportunidades de encontrar mejorar valores generando ángulos aleatorios que permanecen en el espacio de búsqueda en un rango de (0,1) como se indica en las ecuaciones (23), (24).

$$l_i = ar_1 I_{max} \quad (27)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + I_i D_i^k(\varphi_i^k) \quad (28)$$

En [29] se plantea que los algoritmos de búsqueda necesitan un caso inicial en el cual basarse y realizar una búsqueda aleatoria de todas las posibles configuraciones binarias que se pueden realizar.

Se propone implementar una función XOR la misma que puede ser eficiente en el espacio de búsqueda binario con la elección de la longitud aleatoria desde el punto inicial y una búsqueda en un espacio binario se lo representa de la siguiente manera.

$$\Delta X_i^k = XOR(X_p^k, X_i^k) \quad (29)$$

A continuación, se presenta el algoritmo del problema de una reconfiguración topológica.

Tabla 1 Algoritmo de Optimización de una reconfiguración topológica

Algoritmo de Optimización de una reconfiguración topológica	
Inicio	
Paso 1:	Ingreso de Datos del sistema
	Datos de barras. Impedancia de líneas. Potencias activa y reactiva.
Paso 2:	Ordenar los nodos por niveles
	Inicializar Voltajes nodales .
Paso 3:	
Paso 4:	Inicializar flujos de potencia Realizar Barrido hacia atrás $j_{e,ne_w}^i = j_e^i + d_b^k * j_e^k$
Paso 5	Realizar barrido directo $v_b^k = \max_b d_b^k * (v_i - z_s^k * j_e^k)$
Paso 6	$i = 1 \dots n_b \{ v_i^v - v_i^{v-1} \} < \epsilon$ Comparación de voltajes de cada iteración.
Paso 7	Resultados del flujo de potencia radial para estimación de pérdidas .
Paso 6	Transferencia de carga de un lazo a otro. Si las pérdidas aumentan descartar la transferencia. $Min : Z = \sum_{i=1}^L r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}$
Paso 7:	Realizar transferencia que produce menos pérdidas. $Min : Z = \sum_{i=1}^L r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} = P$ Mostrar resultados de la reconfiguración
Paso 8 :	Fin

3 Formulación del problema

El sistema de distribución se encuentra en constante crecimiento debido al aumento de la demanda en sectores industriales, comerciales y residenciales, normalmente los sistemas de

distribución operan bajo una topología radial

y consideran puntos de interconexión entre diferentes puntos de su misma red, o incluso pueden interconectar con primarios aledaños.

Debido a las características propias de la red eléctrica existen pérdidas a la disipación de energía en los conductores, estas pérdidas representan un déficit técnico y económico para las empresas distribuidoras de energía eléctrica; por lo tanto, en base a la modificación de la topología de la red se puede determinar los diferentes valores de pérdidas asociadas a diferentes topologías que pueden tener en una red eléctrica de distribución.

3.1 Caso de estudio

Considerando que los sistemas de distribución son sistemas que tienden a tener mayor cantidad de pérdidas debido a que son sistemas robustos, en esta investigación se plantea aplicar una técnica que permita obtener nuevas topologías y que pueda trabajar con la población de cada sistema de prueba de la IEEE.

Para esta investigación se analizan tres sistemas de 33 barras 69 barras y 136 barras los datos de operación se encuentran detallados en la tabla 1 mediante el algoritmo de búsqueda de grupo se espera evaluar estos sistemas sometiéndolos a todas las combinaciones binarias que puedan tener, el algoritmo debe garantizar la radialidad.

Cada nueva configuración será evaluada mediante un flujo de potencia para sistemas radiales hacia atrás/ hacia adelante, los resultados esperados son los más óptimo ya que al ser un problema combinatorio la complejidad es bastante alta el algoritmo va presentar las configuraciones con la menor cantidad de pérdidas [30]-[31].

3.1.1 Sistema de prueba 1

El sistema de 33 barras del IEEE es ocupado como base para verificar la efectividad del algoritmo, este sistema cuenta con interruptores de enlace ya establecidos en la red 34-35-36-37 con la apertura y cierre de

tramos que permite el accionamiento de los interruptores.

3.1.2 Sistema de prueba 2

Después de las primeras pruebas en el anterior sistema, se utiliza un sistema más grande de 69 barras de la IEEE para verificar la efectividad del algoritmo, este sistema cuenta con interruptores de enlace ya establecidos en la red 70-71-72-73-74 con la apertura y cierre de tramos que permite el accionamiento de los interruptores.

3.1.3 Sistema de prueba 3

Después de verificar que el algoritmo presenta resultados aceptables se procede a probar en un sistema más robusto de 136 barras en donde el tiempo de convergencia es bastante considerable y ocupa los interruptores de enlace 136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156.

Independientemente de la topología del sistema de distribución se debe cumplir con ciertos parámetros que son importantes después haber realizado la reconfiguración todas las cargas deben ser abastecidas en el caso de las líneas, transformadores, generadores, el límite térmico no debe ser excedidos así también los límites de tensión deben ser los establecidos[30].

3.2 Metodología

Las pruebas empíricas del método heurístico se realizan utilizando la regla de la búsqueda voraz esta consiste en buscar el mejor valor de la función objetivo, en cada iteración que realiza el algoritmo.

$$\text{Min} : Z = \sum_{i=1}^L r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (31)$$

NOTA: La función se utiliza en el Paso 7 del Algoritmo de Optimización de una reconfiguración topológica que se dedica a realizar transferencia que produce menos pérdidas.

En donde Z es la función objetivo conformada por r_i que es la resistencia de la

i-ésima rama y L es el total de ramas en el sistema y donde P^2 y Q^2 son la potencia

activa y reactiva, cada configuración se debe derivar de un flujo de potencia para calcular el voltaje nodal, la pérdida total del sistema y la corriente en cada ramal.

Cumpliendo con los valores admisibles de voltaje y corriente, siempre y cuando la red siga siendo radial y todos los puntos de carga estén suministrados en el sistema de distribución, para la comprobación radial del

sistema de distribución y que todas las cargas estén alimentadas se considera el método algebraico de Kirchhoff, para dicha configuración la matriz de incidencia A, debe plantearse de la siguiente manera.

$$a_{ij} = 0 \text{ si la rama } i \text{ no está conectada al nodo } j.$$

$$a_{ij} = -1 \text{ si la rama } i \text{ se dirige hacia el nodo } j$$

$$a_{ij} = 1 \text{ si la rama } i \text{ se aleja del nodo } j$$

Una vez configurada la matriz de incidencia se debe eliminar el nodo de referencia obtenido la sub-matriz Si $|\det(A)|=1$, si esta condición se cumple quiere decir que el sistema es radial y todas las cargas están siendo alimentadas.

3.3 Análisis de resultados

La cantidad de simulaciones se fija dependiendo del tamaño del sistema y el tamaño de la población tiene una relación directa con la solución, en este caso el tamaño del sistema es de 33 barras por lo que la cantidad de simulaciones considero el mismo número, al ser sistemas robustos se tiene en cuenta varios factores que afectan el resultado.

Al ser una población demasiado grande se podría encontrar una solución con el detalle que se vería afectado la eficiencia de cálculo del algoritmo de optimización, y si la población es demasiado pequeña se podría llegar a una solución muy alejada de la óptima

el límite de voltaje permitido entre los alimentadores.

Para la heurística de configuración el mínimo nivel de voltaje es de 0.90 p.u. a 1 p.u. en la tabla 3, tabla 4, tabla 5 se encuentran los resultados de la configuración en condiciones iniciales y también las 10 mejores configuraciones encontradas a lo largo de las simulaciones realizadas.

Tabla 2 Condiciones iniciales para el desarrollo del algoritmo.

Tipo de sistema	Voltaje (kV)	Potencia (MVA)	Población	Constantes
33 barras	12.6	10	33 nodos	33
				34
				36
				37
				35
69 barras	12.66	100	69 nodos	69
				70
				71
				72
				73
136 barras	13.8	100	136 nodos	136-137-
				138-139-
				140-141-
				142-143-
				144-145-
				146-147-
				148-149-
				150-151-
				152-153-
				154-155-
				156

Tabla 3 Configuración inicial las 10 mejores configuraciones para el sistema de 33 barras

Conf	Llaves abiertas	Pérdidas kW
C1	33-34-36-37-35	202.69
01	08-09-14-32-37	138.55
02	08-09-14-29-31	138.98
03	08-10-14-32-37	140.28
04	08-09-14-28-31	140.71
05	07-12-14-32-37	142.20
06	07-11-13-28-32	140.63
07	08-09-14-28-36	140.92
08	07-09-13-36-37	141.17
09	07-09-14-32-37	141.60
10	07-10-14-36-37	141.68

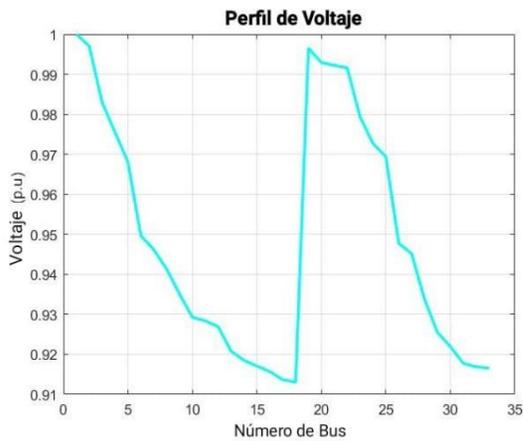


Figura 1. Perfil de voltaje del sistema de 33 barras.

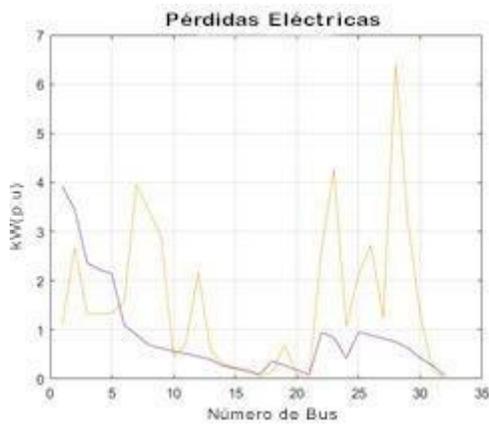


Figura 2. Comparación de pérdidas eléctricas del caso base y después de la reconfiguración en el caso de 33 barras.

El nivel mínimo de voltaje es de 0.91 p.u. la mejor reconfiguración con los seccionadores 08-09-14-32-37 con una pérdida de 138.55 kW y las pérdidas en condiciones iniciales es de 202.69 kW.

En la figura 3 el color naranja representa las pérdidas eléctricas antes de la reconfiguración eléctrica una vez implementado el algoritmo se puede observar en la gráfica de color rojo la disminución de las pérdidas en cada nodo.

Tabla 4 Configuración inicial, las 10 mejores configuraciones para el sistema de 69 barras

Conf	Llaves abiertas	Pérdidas kW
C1	69-70-71-72-73	224.96
01	15-69-70-62-71	138.55
02	15-59-70-62-71	135.94
03	15-69-70-62-71	130.28
04	15-49-70-69-71	130.71

05	15-12-70-28-37	132.21
06	12-11-70-28-69	102.15
07	15-69-71-63-73	130.93
08	15-69-73-62-70	131.18
09	13-69-73-62-71	131.64
10	13-69-70-62-71	131.66

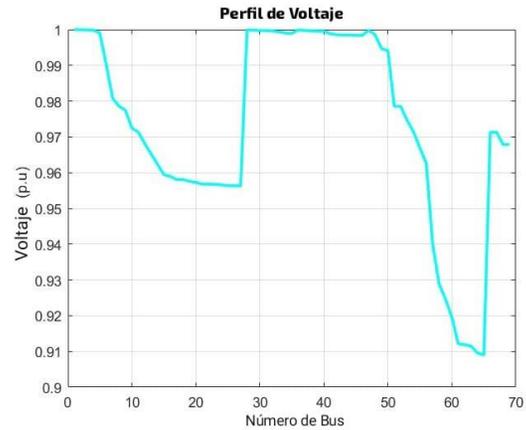


Figura 3. Perfil de voltaje sistema de 69 barras después de la reconfiguración.



Figura 4. Comparación de pérdidas eléctricas del caso base y después de la reconfiguración en el caso de 69 barras.

En la tabla 3 se registran los resultados de las 10 mejores configuraciones el nivel de voltaje mínimo es de 0.90 p.u. en los alimentadores para la heurística de reconfiguración, en la figura 2 se presenta el perfil de voltaje, la mejor reconfiguración con seccionadores 12-11-70-28-69 con una pérdida de 102.15 kW a comparación de las pérdidas en condiciones iniciales de 224.96 kW.

Tabla 5 Configuración inicial, 10 mejores configuraciones para el sistema de 136 barras

Conf	Llaves abiertas	Pérdidas (kW)
inicial	136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	320.17
01	136-137-138-139-140-52-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	284.50
02	136-137-5-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	284.83
03	136-137-138-139-140-141-55-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	284.82
04	136-137-138-139-140-141-54-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	284.81
05	8-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	284.88
06	136-137-138-139-140-141-50-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	284.88
07	136-137-138-139-140-49-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156	285.18
08	136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-91-150-151-152-153-154-155-156	285.20
09	136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-107-154-155-156	285.30
10	136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-105-154-155-156	285.49

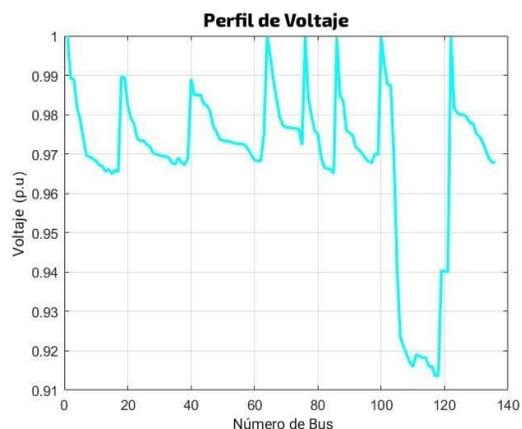


Figura 5. Perfil de voltaje 136 barras después de la reconfiguración.

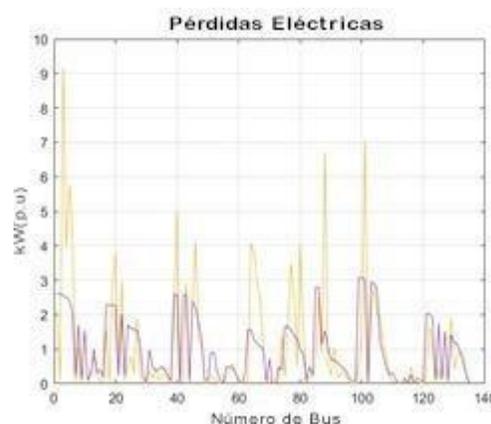


Figura 6. Comparación de pérdidas eléctricas del caso base y después de la reconfiguración en el caso de 136 barras.

El nivel de voltaje mínimo permitido en los alimentadores para la heurística de reconfiguración fue de 0.91 p.u. y la mayoría de voltajes no son menores de 0.97 p.u. demostrando que el algoritmo funciona adecuadamente.

En la tabla 3 se muestra el resultado del sistema en condiciones iniciales y el resultado de la mejor reconfiguración con los seccionadores 136-137-138-139-140-141-54-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156 con una pérdida de 284.81 kW a comparación de las pérdidas en condiciones iniciales 320.17 kW.

Se observa que no hay mucho contraste en las pérdidas obtenidas y en la topología de cada sistema de distribución.

Como parte de la metodología propuesta la corta diferencia entre la topología de dichas

reconfiguraciones es debido a que el sistema tiene demasiados alimentadores.

En la figura 7 el color naranja representa las pérdidas eléctricas antes de la reconfiguración eléctrica, una vez implementado el algoritmo se puede observar cómo disminuyen hasta un nivel aceptable.

4 Conclusiones

Como parte de este trabajo se modela un sistema de distribución de 136 barras, 33 barras y 69 barras de configuración radial en Matlab considerando los parámetros de voltaje, corriente y potencia obteniendo el estado de red para cada configuración radial.

Los resultados obtenidos son categorizados como productivos y aceptables bajo las condiciones establecidas al inicio de esta investigación.

El sistema de 33 barras reduce sus pérdidas en un 40% de su configuración inicial, el nivel de caída de voltaje más bajo 0.91 p.u. y 0.98 p.u. en la mayoría de nodos, el sistema de 69 barras reduce sus pérdidas en un 45% de la configuración inicial, el nivel de caída de voltaje más bajo es 0.91 p.u. y 0.95 p.u. en la mayoría de los nodos, el sistema de 136 barras reduce sus pérdidas en 22% de su configuración inicial de igual manera la mayoría de los nodos supera 0.97 p.u. y 0.92 p.u. su nivel de voltaje más bajo.

Como parte de la metodología implementada se obtiene un estado de red para cada configuración radial para lo cual se realiza un flujo de potencia eficiente, se implementó un programa de cálculo de flujo de carga radial, el cual es preciso y eficiente para encontrar una solución al problema de reconfiguración de los sistemas de distribución de energía eléctrica.

El objetivo de esta investigación fue implementar una técnica eficiente para calcular el estado de red y aportar con una solución eficiente al problema de una reconfiguración topológica teniendo en cuenta el criterio de caída de tensión máximo y mínimo para la reducción del espacio de

búsqueda, mediante el límite de caída de tensión en los alimentadores, obteniendo configuraciones con menores pérdidas.

4.1 Trabajos futuros

Después de realizar esta investigación y estudiar los sistemas de distribución hay que entender que son los más extensos de todo el sistema eléctrico, es por esto por lo que deben realizar diferentes estudios en los cuales se puede implementar la metodología en base algoritmos heurísticos para mejorar la calidad de energía eléctrica que se entrega al consumidor final, se deja abierta la decisión a los lectores de realizar diferentes investigaciones.

Las mismas aportarán a mejorar los métodos de optimización para un mejor funcionamiento de los sistemas de distribución, los puntos importantes a tratar son los siguientes: planificaciones para realizar mantenimientos preventivos y correctivos, optimización de costos operativos analizando el despacho de generación, reconfiguraciones topológicas para minimizar las pérdidas de energía eléctrica. Este último caso podría realizarse con otro tipo de metodología y comparar los resultados.

5 Referencias

- [1] F. Pinos, "Reconfiguración óptima de redes de distribución eléctricas para mejorar los perfiles de voltaje utilizando la información proporcionada por unidades de medición fasorial MPUS," p. 65, 2022.
- [2] Johnny and N. C. Macedo, "Aplicación De Una Metodología De Reconfiguración De Redes De Distribución Para Reducir Pérdidas Resistivas En La Línea," p. 164, 2018, [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10883%0Ahttp://repositorio.u>

- nsa.edu.pe/handle/UNSA/4057%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8014%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6899.
- [3] C. A. Sur, J. Eugenio, P. Morán, I. Julio, C. López, and D. Ph, “Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Eléctrica “ Reconfiguración óptima del sistema de distribución con generación distribuida de la Empresa Eléctrica Regional Centro Ingeniero Eléctrico Autores : Director :,” 2018.
- [4] D. David and T. Chamorro, “Carrera de Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico,” 2021.
- [5] B. (Eds. . Pesaran Hajiabbas, Mahmoud, Mohammadi-Ivatloo, *Optimization of power system Problems : Methods, Algorithms and MATLAB Codes*, vol. 262. 2020.
- [6] M. Moga and F. Molnar-Matei, “Advantages of using of the topological indices for the distribution networks representation,” *EUROCON 2007 - Int. Conf. Comput. as a Tool*, pp. 1387–1391, 2007, doi: 10.1109/EURCON.2007.4400403.
- [7] J. Shi, C. Wang, P. An, and H. Zhu, “Comparision of coding schemes for distribution networks reconfiguration,” *DRPT 2011 - 2011 4th Int. Conf. Electr. Util. Deregul. Restruct. Power Technol.*, no. 2009, pp. 1816–1819, 2011, doi: 10.1109/DRPT.2011.5994193.
- [8] P. Ravibabu, K. Venkatesh, and C. Sudheer Kumar, “Implementation of genetic algorithm for optimal network reconfiguration in distribution systems for load balancing,” *Proc. - 2008 IEEE Reg. 8 Int. Conf. Comput. Technol. Electr. Electron. Eng. Sib. 2008*, pp. 124–128, 2008, doi: 10.1109/SIBIRCON.2008.4602603.
- [9] A. C. Marchesan, G. V. Marconato, L. M. A. Costa, M. Gallas, R. C. B. Ferri, and G. Cardoso, “Performance analysis of forward/backward sweep power flow methods for radial distribution systems,” *SBSE 2018 - 7th Brazilian Electr. Syst. Symp.*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/SBSE.2018.8395861.
- [10] E. Brea, “Optimizacion de balance de cargas,” no. August, 2014.
- [11] S. Ramírez, *Redes de distribución de energía*. 2009.
- [12] R. De, A. De, and G. D. E. Pereira, “Andres felipe alvarez echavarría p,” 2013.
- [13] K. P. Tapasco Suárez, “Aproximaciones al Flujo de Carga en Sistemas de Distribuci´ on,” p. 50, 2017.
- [14] A. Valdés Diaz, “Reconfiguración De Redes De Distribución Primaria En El Municipio De Placetas,” vol. 1–101, 2011, [Online]. Available: [https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1488/Antonio Valdés Diaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1488/Antonio%20Vald%C3%A9s%20Diaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [15] D. E. A. P. Equinos, F. Guzmán, L. Fernando, M. C. Brito, and B. Leandro, “I NSTITUTO P OLITÉCNICO N ACIONAL Ingeniero en Control y Automatización Presentan :,” 2010.
- [16] I. Golub, O. Voitov, E. Boloiev, and L. Semenova, “Reconfiguration of Primary Distribution Network with Several Independent Power Sources,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 4, pp. 437–442, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.08.249.
- [17] E. Of *et al.*, “Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey School of Engineering and Sciences Erika Ortega Hernández,” 2018.
- [18] N. C. A and E. C. V, “Reducción Topológica para Reconfiguración Óptima Global de Sistemas Eléctricos de Distribución Radiales,” pp. 50–56.
- [19] L. L. Li, J. L. Xiong, M. L. Tseng, Z.

- Yan, and M. K. Lim, "Using multi-objective sparrow search algorithm to establish active distribution network dynamic reconfiguration integrated optimization," *Expert Syst. Appl.*, vol. 193, no. December 2021, p. 116445, 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2021.116445.
- [20] J. S. Pan, H. J. Wang, T. T. Nguyen, F. M. Zou, and S. C. Chu, "Dynamic reconfiguration of distribution network based on dynamic optimal period division and multi-group flight slime mould algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 208, no. March, p. 107925, 2022, doi: 10.1016/j.epsr.2022.107925.
- [21] B. Mukhopadhyay and D. Das, "Multi-objective dynamic and static reconfiguration with optimized allocation of PV-DG and battery energy storage system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 124, no. February, p. 109777, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109777.
- [22] Y. Pérez, "Trabajo de Diploma Trabajo de Diploma," *Tesis de grado*, 2013.
- [23] J. Enrique -Carrión González, "Heuristics analysis of distribution system reconfiguration for power loss reduction," 2011.
- [24] A. S. Remolino and H. F. R. Paredes, "Método Eficiente Para La Solución De Flujos De Potencia En Sistemas Eléctricos De Distribución," vol. 1, no. 1, p. 322, 2009, [Online]. Available: https://www.academia.edu/8302515/MÉTODO_EFICIENTE_PARA_LA_SOLUCIÓN_DE_FLUJOS_DE_POTENCIA_EN_SISTEMAS_ELÉCTRICOS_DE_DISTRIBUCIÓN?auto=download.
- [25] M. Granada and R. Gallego, "Flujo de potencia optimo especializado para sistemas radiales," pp. 1–7, 2012.
- [26] O. D. Montoya-Giraldo, W. J. Gil-González, and A. Garcés-Ruiz, "Flujo de potencia óptimo para redes radiales y enmalladas empleando programación semidefinida," *TecnoLógicas*, vol. 20, no. 40, pp. 29–42, 2017, doi: 10.22430/22565337.703.
- [27] C. E. Murillo-s, "Wer matp," 2020.
- [28] R. D. Zimmerman and C. E. Murillo-s, "Matpower User's Manual Version 7.1," p. 248, 2020, [Online]. Available: <https://matpower.org/doc/>.
- [29] D. Tamayo-vera and A. Bolufé-röhler, "Algoritmos Heurísticos para la Solución del Problema Lineal con Restricciones de Equilibrio," vol. 4, no. 1, pp. 46–57, 2016.
- [30] S. P. de la F. D. Fonseca, Irina Salazar and G. T. Guerrero, "Reconfiguración multiobjetivo en sistemas de distribución primaria de energía," *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 25, pp. 196–204, 2017, doi: 10.4067/S0718-33052017000200196.
- [31] J. R. S. Mantovani, F. Casari, and R. A. Romero, "Reconfiguracao de sistemas de distribuicao radiais utilizando o criterio de queda de tensao," *Control. Autom.*, vol. 11, no. 3, pp. 150–159, 2000.

5.1 Matriz del Estado del Arte

Tabla 6. Matriz del Estado del Arte

<i>RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO</i>																					
ITEM	DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA						RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	FLUJO DE POTENCIA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	BARRIDO ITERATIVO	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	MÉTODO HEURÍSTICO	MÉTODO DE CIVANLAR	MÉTODO DE SUMA DE CORRIENTE	MÉTODO DE SUMA DE POTENCIA	MÉTODO DE SUMA DE ADMITANCIAS.	MÉTODO DE BARAN	RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD	RESTRICCIÓN DE NIVELES VOLTAJE	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	HEURÍSTICA PARA LA RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO
1	2018	Reconfiguración óptima del sistema de distribución con generación distribuida de la Empresa Eléctrica Regional	✗	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	✗	✗	<input type="checkbox"/>	✗	✗
2	2018	Aplicación De Una Metodología De Reconfiguración De Redes De Distribución Para Reducir Pérdidas Resistivas En La Línea	✗	<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"/>	✗
3	2021	Carrera de Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2020	Optimization of power system Problems : Methods, Algorithms and MATLAB Codes	<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"/>	✗	✗	✗
5	2022	Reconfiguración óptima de redes de distribución eléctricas para mejorar los perfiles de voltaje utilizando la información proporcionada por unidades de medición fasorial MPUS	<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 type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>
6	2007	Advantages of using of the topological indices for the distribution networks representation	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO

ITEM	AÑO	DATOS	TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA						RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA		
			SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	FLUJO DE POTENCIA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	BARRIDO ITERATIVO	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	MÉTODO HEURÍSTICO	MÉTODO DE CIVANLAR	MÉTODO DE SUMA DE CORRIENTE	MÉTODO DE SUMA DE POTENCIA	MÉTODO DE SUMA DE ADMITANCIAS.	MÉTODO DE BARAN	RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD	RESTRICCIÓN DE NIVELES VOLTAJE	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	HEURISTICA PARA LA RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO
7	2011	Comparison of coding schemes for distribution networks reconfiguration	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	2018	Implementation of genetic algorithm for optimal network reconfiguration in distribution systems for load balancing	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	2018	Performance analysis of forward/backward sweep power flow methods for radial distribution systems	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	2014	Optimizacion de balance de cargas	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	2019	Redes de distribución de energía	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2013	R. De, A. De, and G. D. E. Pereira, "Andres felipe alvarez echavarría p," 2013	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	2017	Aproximaciones al Flujo de Carga en Sistemas de Distribución	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	2010	Reconfiguración De Redes De Distribución Primaria En El Municipio De Placetas	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	2010	Reconfiguración del sistema de distribución para mejora del perfil de voltaje utilizando la optimización mejorada de enjambre de partículas	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2019	Reconfiguration of Primary Distribution Network with Several Independent Power Sources	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO

ITEM	DATOS		TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	FLUJO DE POTENCIA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	BARRIDO ITERATIVO	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	MÉTODO HEURÍSTICO	MÉTODO DE CIVANLAR	MÉTODO DE SUMA DE CORRIENTE	MÉTODO DE SUMA DE POTENCIA	MÉTODO DE SUMA DE ADMITANCIAS.	MÉTODO DE BARAN	RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD	RESTRICCIÓN DE NIVELES VOLTAJE	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	HEURÍSTICA PARA LA RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO
17	2018	E. Of et al., "Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey School of Engineering and Sciences Erika Ortega Hernández," 2018e	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	2017	Reducción Topológica para Reconfiguración Óptima Global de Sistemas Eléctricos de Distribución Radiales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2012	Using multi-objective sparrow search algorithm to establish active distribution network dynamic reconfiguration integrated optimization	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	2022	Dynamic reconfiguration of distribution network based on dynamic optimal period division and multi-group flight slime mould algorithm	<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 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"/>
21	2020	Multi-objective dynamic and static reconfiguration with optimized allocation of PV-DG and battery energy storage system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2013	Y. Pérez, "Trabajo de Diploma Trabajo de Diploma," Tesis de grado, 2013	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD A TRAVÉS DE UN ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO

ITEM	AÑO	DATOS	TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA			
			SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	FLUJO DE POTENCIA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	BARRIDO ITERATIVO	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	MÉTODO HEURÍSTICO	MÉTODO DE CIVANLAR	MÉTODO DE SUMA DE CORRIENTE	MÉTODO DE SUMA DE POTENCIA	MÉTODO DE SUMA DE ADMITANCIAS.	MÉTODO DE BARAN	RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD	RESTRICCIÓN DE NIVELES VOLTAJE	RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	TÉCNICAS PARA LA RECONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO	HEURISTICA PARA LA RECONFIGURACIÓN TOPOLÓGICA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	ALGORITMO DE BÚSQUEDA DE GRUPO
23	2011	Heuristics analysis of distribution system reconfiguration for power loss reduction	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	2019	Método Eficiente Para La Solución De Flujos De Potencia En Sistemas Eléctricos De Distribución	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	2012	Flujo de potencia optimo especializado para sistemas radiales	<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 checked="" 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"/>	
26	2017	Flujo de potencia óptimo para redes radiales y enmalladas empleando programación semidefinida	<input 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"/>	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	2020	C. E. Murillo-s, "Wer matp," 2020	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28	2020	R. D. Zimmerman and C. E. Murillo-s, "Matpower User's Manual Version 7.1," p. 248, 2020	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
29	2016	Algoritmos Heurísticos para la Solución del Problema Lineal con Restricciones de Equilibrio	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>	
30	200	Reconfiguracao de sistemas de distribuicao radiais utilizando o criterio de queda de tensao	<input type="checkbox"/>	<input 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
31	2017	Reconfiguración multiobjetivo en sistemas de distribución primaria de energía	<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"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			9	11	11	7	9	12	20	9	7	11	13	7	14	6	3	18	5	17	19

5.2 Resumen de indicadores

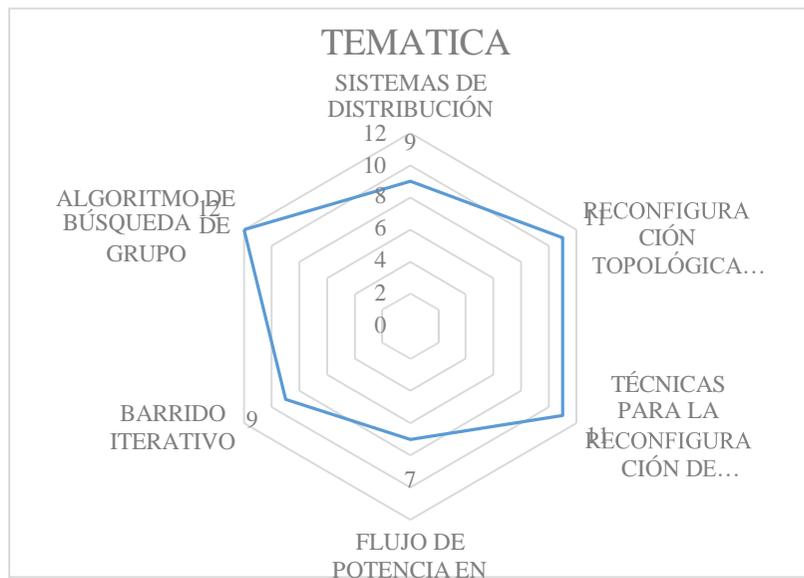


Figura 7. Resumen e indicador de la temática – Estado del arte.

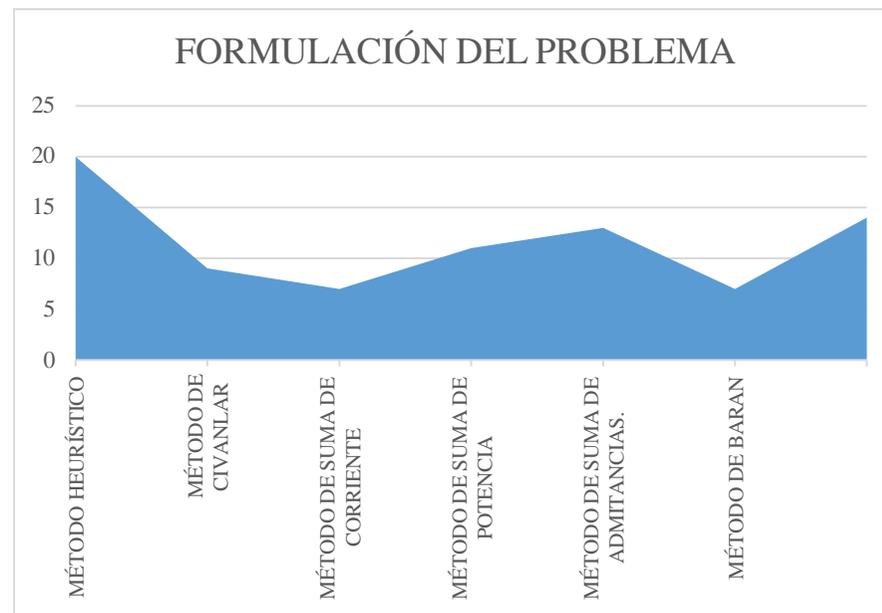


Figure 8. Indicador de formulación del problema – Estado del arte

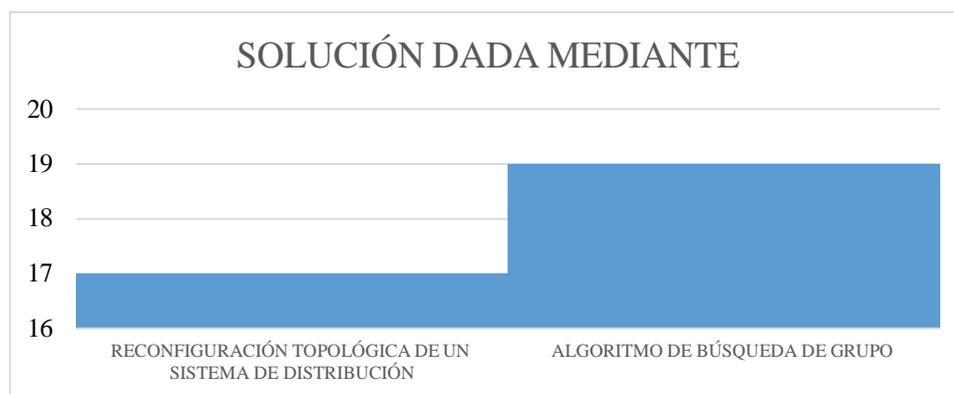


Figure 9. Indicador de solución – Estado del arte.