



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

**RECONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA
LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVAS MEDIANTE EL
ALGORITMO DE LUCIÉRNAGAS FA Y SU COMPARACIÓN CON EL ALGORITMO
GENÉTICO GA.**

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

AUTOR: DIEGO FRANCISCO FERNÁNDEZ
PILATAXI
TUTOR: MANUEL DARIO JARAMILLO MONGE

Quito - Ecuador
2026

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

Yo, Diego Francisco Fernández Pilataxi con documento de identificación N° 1727423673 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, 16 de marzo del año 2026

Atentamente,



Diego Francisco Fernández Pilataxi

1727423673

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

Yo, Diego Francisco Fernández Pilataxi con documento de identificación N° 1727423673, 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 óptima de redes de distribución eléctrica para la reducción de pérdidas de potencia activas mediante el algoritmo de luciérnagas FA y su comparación con el algoritmo genético GA”, 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, 16 de marzo del año 2026

Atentamente,



Diego Francisco Fernández Pilataxi

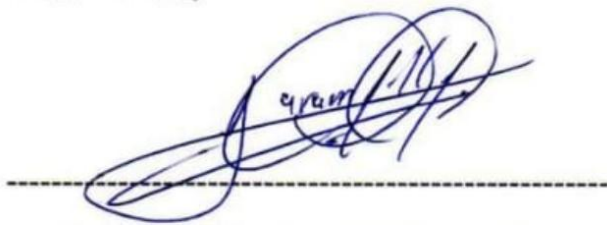
1727423673

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Manuel Dario Jaramillo Monge con documento de identificación N° 1714298005, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: RECONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVAS MEDIANTE EL ALGORITMO DE LUCIÉRNAGAS FA Y SU COMPARACIÓN CON EL ALGORITMO GENÉTICO GA, realizado por Diego Francisco Fernández Pilataxi con documento de identificación N° 1727423673, 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, 16 de marzo del año 2026

Atentamente,



Ing. Manuel Dario Jaramillo Monge, MSc
1714298005

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico	3
2.1	Estado del arte	3
2.2	Redes de Distribución Eléctrica	4
2.2.1	Composición de las redes de distribución eléctrica.....	4
2.2.2	Alimentadores principales.....	5
2.2.3	Transformadores de distribución	5
2.2.4	Ramales laterales y redes secundarias.....	5
2.3	Pérdidas de Potencia Activa en redes de distribución	5
2.3.1	Factores que originan pérdidas activas.....	6
2.3.2	Clasificación de pérdidas en redes de distribución	6
2.3.3	Método de análisis y evaluación de pérdidas.....	6
2.4	Reconfiguración de redes de distribución	6
2.5	Algoritmos de optimización aplicados a sistemas eléctricos de potencia	7
2.5.1	Metaheurísticas y su aplicación en la operación de redes eléctricas.....	7
2.6	Algoritmos Luciérnagas (FA).....	7
2.6.1	Funcionamiento del algoritmo luciérnagas.....	8
2.6.2	Switches a considerar para la reconfiguración	8
3	Metodología	8
3.1	Gestión de tareas.....	9
3.2	Recopilación de datos	9
3.3	Modelo matemático	10
3.4	Uso del modelo en Matlab	10
3.4.1	Método de reconfiguración	10

3.4.2	Características del SEP	10
3.4.3	Pérdidas en caso base del sistema y perfil de voltaje.....	11
3.4.4	Características en general del Algoritmo de Luciérnagas (FA)	11
3.4.5	Descripción específica del SEP (Hiper-parámetros)	12
4	Análisis de resultados	12
4.1	Casos de estudio	12
4.2	Resultado del Algoritmo de Luciérnagas (FA)	14
4.2.1	Reducción de Pérdidas	14
4.2.2	Perfil de Voltaje	14
4.2.3	Convergencia del Algoritmo de Luciérnagas (FA).....	15
4.2.4	Evolución de reducción de pérdidas.....	15
4.2.5	Red optimizada.....	15
4.2.6	Pérdidas vs Ahorro	16
4.3	Resultado del Algoritmo Genético (GA)	16
4.3.1	Perfil de voltaje	17
4.3.2	Reducción de pérdidas.....	17
4.3.3	Red optimizada.....	17
4.3.4	Pérdidas vs Ahorro	18
4.4	Comparación del Algoritmo de Luciérnagas y Algoritmo Genético	18
4.4.1	Comparación de pérdidas totales.....	19
4.4.2	Comportamiento de convergencia.....	19
4.4.3	Impacto en el perfil de voltaje.....	19
4.4.4	Evaluación global de desempeño.....	19
5	Conclusiones	20
6	Referencias.....	20

6.1	Matriz de Estado del Arte.....	23
6.2	Resumen de Indicadores	26
7	Anexos.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Composición y agrupación general de la red eléctrica de distribución.....	5
Figura 2.	Diagrama unifilar del sistema eléctrico con distribución radial.....	5
Figura 3.	Diagrama de flujos conceptual sobre el Algoritmo de optimización	9
Figura 4.	Hiper-parámetros del comportamiento del Algoritmo de Luciérnagas (FA).	12
Figura 5.	Modelo de prueba de una red eléctrica de distribución de IEEE de 30 barras.	13
Figura 6.	Configuración inicial de la red IEEE 30 barras de acuerdo con el algoritmo (FA).	14
Figura 7.	Comparación de pérdidas antes y después la aplicación del algoritmo (FA).	14
Figura 8.	Perfil de voltaje acorde al algoritmo (FA) en el caso de estudio 30 barras.	14
Figura 9.	Convergencia del algoritmo (FA) en la red IEEE de 30 barras.	15
Figura 10.	Evolución de la reducción de pérdidas después del algoritmo (FA).	15
Figura 11.	Red IEEE 30 barras optimizada por el algoritmo (FA).	16
Figura 12.	Sistema reconfigurado de la red IEEE 30 barras (FA)	16
Figura 13.	Comparación de pérdidas y ahorro, del sistema eléctrico IEEE 30 barras (FA).	16
Figura 14.	Configuración inicial de la red IEEE 30 barras con el algoritmo (GA).....	17
Figura 15.	Perfil de voltaje acorde al algoritmo (GA) en el caso de estudio 30 barras	17
Figura 16.	Comparación de pérdidas antes y después de la aplicación del algoritmo (GA).	17
Figura 17.	Red de distribución IEEE 30 barras optimizada por el algoritmo (GA).	18
Figura 18.	Sistema reconfigurado de la red IEEE 30 barras (GA)	18
Figura 19.	Comparación de pérdidas y ahorro del sistema eléctrico IEEE 30 barras (GA)	18

Figura 20. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte	26
Figura 21. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	26
Figura 22. Indicador de solución - Estado del arte	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de Red del sistema eléctrico IEEE 30 Barras.	13
Tabla 2. Comparación de pérdidas totales entre algoritmo (FA) y (GA).	19
Tabla 3. Comparación de ahorro energético entre algoritmo (FA) y (GA).	19
Tabla 4. Matriz de estado del arte de la reconfiguración óptima de las redes de distribución	23
Tabla 5. Datos de líneas del sistema IEEE de 30 Barras.	28

NOMENCLATURA

FA: Firefly Algorithm - Algoritmo de Luciérnagas

GA: Genetic Algorithm - Algoritmo Genético

PSO: Particle Swarm Optimization - Optimización por Enjambre de Partículas

GOA: Grasshopper Optimization Algorithm - Algoritmo de Optimización por Saltamontes

CSA: Cuckoo Search Algorithm - Algoritmo de Búsqueda del Cuco

SSA: Salp Swarm Algorithm - Algoritmo de Enjambre de Salpas

AOA: Arithmetic Optimization Algorithm - Algoritmo de Optimización Aritmética

SFA: Selective Firefly Algorithm - Algoritmo Selectivo de Luciérnagas

ACO: Ant Colony Optimization - Optimización por Colonia de Hormigas

SEP: Sistema Eléctrico de Potencia

DG: Distributed Generation - Generación Distribuida

ENS: Energy Not Supplied - Energía No Suministrada

LFAC: Load Flow Analysis Criterion - Criterio de Análisis de Flujo de Carga

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers - Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

MATLAB: Matrix Laboratory - Laboratorio de Matrices

DIGSILENT PowerFactory: Software especializado para análisis y simulación de sistemas eléctricos de potencia.

RECONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVAS MEDIANTE EL ALGORITMO DE LUCIÉRNAGAS FA Y SU COMPARACIÓN CON EL ALGORITMO GENÉTICO GA.

Resumen

Las redes de distribución eléctrica presentan pérdidas de potencia activa debido a su configuración radial y al constante aumento de la demanda, lo que afecta a la calidad y eficiencia del suministro eléctrico. Con este precedente, el objetivo de este estudio fue evaluar la reconfiguración óptima de la red de distribución para reducir estas pérdidas utilizando el algoritmo de Luciérnagas (FA) y comparándolo con el algoritmo Genético (GA). Se utilizó un sistema IEEE de 30 barras implementando ambos algoritmos en el entorno de MATLAB 2024a para el proceso de optimización y utilizando el Software DIgSILENT PowerFactory 2022 para validar los perfiles de voltaje, teniendo en cuenta las restricciones operativas del sistema. Se evidenció que ambos métodos conducen a un mejor rendimiento en la red; sin embargo, el algoritmo (FA) logró una mayor reducción en la pérdida de potencia activa, un perfil de voltaje más suave, y proporcionó una convergencia más estable en comparación con el algoritmo (GA). Es por ello, que la reconfiguración óptima mediante el (FA) se establece como un alternativa confiable y eficiente para mejorar el desempeño de las redes de distribución de energía sin requerir cambios en la infraestructura existente.

Palabras Clave: Algoritmo de luciérnagas (FA), Algoritmo genético (GA), Matlab, Optimización, Pérdidas de potencia activa, Reconfiguración de redes.

Abstract

Electrical distribution networks present active power losses due to their radial configuration and the constant increase in demand, which affects the quality and efficiency of the electrical supply. With this precedent, the objective of this study was to evaluate the optimal reconfiguration of the distribution network to reduce these losses using the Firefly algorithm (FA) and comparing it with the Genetic algorithm (GA). An IEEE 30-Bus system was used, implementing both algorithms in the MATLAB 2024a environment for the optimization process and using the DIgSILENT PowerFactory 2022 Software to validate the voltage profiles, taking into account the operational restrictions of the system. It was evident that both methods lead to better network performance; However, algorithm (FA) achieved a greater reduction in active power loss, a smoother voltage profile, and provided more stable convergence compared to algorithm (GA). For this reason, optimal reconfiguration through (FA) is established as a reliable and efficient alternative to improve the performance of energy distribution networks without requiring changes to the existing infrastructure.

Keywords: Firefly algorithm (FA), Genetic algorithm (GA), Matlab, Optimization, Active power losses, Network reconfiguration.

1 Introducción

Las redes de distribución eléctrica constituyen la etapa relevante de los sistemas eléctricos de potencia y tienen como principal función garantizar un suministro de energía eléctrica eficiente y continuo a los usuarios finales. Sin embargo, su estructura radial, junto a la variabilidad de la demanda provocan pérdidas de potencia activa, lo que representa las principales preocupaciones en el sistema eléctrico para el sector industrial, comercial y doméstico. Por ello, la reducción de pérdidas aborda aspectos en la planificación y operación de las redes de eléctricas modernas, especialmente ante el crecimiento constante de la demanda y la optimización de la infraestructura ya existente [1].

Las restauraciones aparecen como una solución efectiva para minimizar estas pérdidas mediante una reconfiguración de la red eléctrica, a través de las permutaciones de estado de los ramales y seccionadores que obedecen a las restricciones radiales y operativas. Sin embargo, la elección de la mejor topología es un problema combinatorio difícil, y los algoritmos clásicos no manejan bien los sistemas a gran escala. Por lo tanto, su implementación, permiten un enfoque eficiente y adaptativo para resolver el problema con mayor precisión en respuesta a las condiciones de carga.

Optimizar las redes de distribución resulta ser un enfoque eficiente y sin afectar la infraestructura ya establecida. La topología radial se crea mediante el ajuste de los interruptores para reducir las pérdidas de potencia activa y aumentar el nivel de voltaje. Involucra un problema crítico donde el problema es no lineal y complejo; los enfoques deterministas tienen limitaciones significativas [2].

Los algoritmos bioinspirados han demostrado un desempeño destacado en la resolución de problemas complejos asociados a sistemas eléctricos de potencia. Entre ellos, FA y GA han sido estudiados por su capacidad para explorar grandes espacios de búsqueda, evadir la llegada anticipada a soluciones subóptimas en puntos locales y adaptarse a las restricciones propias de las redes de distribución. Estudios evidencian obtener reducciones significativas de pérdidas y mejoras sostenidas en el perfil de voltaje, manteniendo la estabilidad operativa del sistema [2], [3].

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la reconfiguración óptima de una red de distribución eléctrica mediante la aplicación y la optimización, considerando como función objetivo la minimización de las pérdidas de potencia activa. El análisis se desarrolla sobre un sistema de prueba IEEE de 30 barras, lo que permite validar la metodología propuesta y contrastar los resultados obtenidos con investigaciones previas.

Para el análisis del comportamiento eléctrico del sistema, el programa MATLAB 2024a es usado para la implementación de los algoritmos de optimización y la evaluación iterativa de las pérdidas de potencia activa bajo diferentes configuraciones topológicas. De igual manera, para la verificación de los perfiles de voltaje, se utilizó DIGSILENT PowerFactory 2022 como herramienta de validación para asegurar la consistencia de los resultados obtenidos. Además, el uso conjunto de estas dos herramientas ayuda a reforzar el enfoque metodológico y asegura la credibilidad y firmeza de las conclusiones conseguidas.

Los hallazgos revelan que la reconfiguración óptima mejora de manera notable el desempeño del sistema. En este contexto, el FA se distingue al conseguir una reducción más significativa en pérdidas y una convergencia más sólida en comparación con el GA, asimismo, se obtiene un perfil de voltaje más uniforme dentro de los límites operativos, lo que confirma la eficacia del FA en la optimización de redes de distribución eléctrica.

2 Marco teórico

Antes de abordar la creación y solución del problema descrito, es importante tener en cuenta principios relacionados al tema, así como los estudios previos que se toman de referencia, de igual manera se toma en cuenta las redes de distribución eléctrica, las pérdidas de potencia activa en estas redes, la reconfiguración de redes de distribución, los algoritmos de optimización aplicados a los sistemas de potencia, así como el FA y el GA. A continuación, se ofrece una breve descripción de cada uno de estos temas.

2.1 Estado del arte

Al diseñar una estrategia de reconfiguración óptima en redes de distribución eléctrica, orientada a reducir pérdidas de potencia activas, mediante la aplicación del FA, validada por medio de su contraste con el GA, a través de escenarios de operación dinámica en un sistema IEEE. Se analizan los estudios previos con el fin de involucrarse con al tema y profundizar para conseguir los objetivos planteados.

Según [1], presenta un estudio de disminución de pérdidas de energía en la red de distribución Dilla-2 (Etiopía) mediante la reconfiguración óptima del sistema de distribución. En la que se aplicaron dos Algoritmos bioinspirados: GOA y PSO desde distintas combinaciones de interruptores

siendo sometidos a restricciones en cuanto a la radialidad y límites de voltaje. Los resultados obtenidos indicaron que el GOA fue el que obtuvo el mejor desempeño, logrando una reducción del 70.3% de pérdidas activas si lo contrastamos con un 68.8% estando a favor de PSO además de mejorar el perfil de voltaje del sistema. Esto deja evidente que GOA es una técnica eficiente para optimizar redes de distribución en el mundo real.

Los autores en [2], utilizaron el Cuckoo Search (CSA) para poder realizar la reconfiguración de las redes de distribución y, por consecuencia, tener una minimización de las pérdidas eléctricas en los sistemas IEEE-33 y IEEE-69. Aplicando el flujo de carga y la verificación de radialidad, esta metodología produce grandes reducciones de pérdidas, logrando un 56% en la reconfiguración y más de un 87% al agregar generación distribuida. Esto confirma que CSA es una metodología aplicable para optimizar el rendimiento de redes de distribución.

En base al estudio de [3], proponen reducir de las pérdidas de energía de “una red de distribución” de Taiwán, mediante una reconfiguración óptima de los interruptores de la red, aplicando “algoritmos de inteligencia de enjambre” con comportamiento Encircled Behavior de decrecimiento “para mejorar la búsqueda en” problemas no convexos. Los resultados muestran que estos métodos, y en especial el SSA, logran una reducción de un 22.9% de las pérdidas, equilibrando mejor las corrientes entre los alimentadores y demostrando alta efectividad en redes de distribución reales de gran tamaño.

En base a [4], se observa la reducción de las pérdidas de energía analizando los algoritmos AOA, PSO y GA en redes de

distribución implementando cada método en sistemas de 7, 11 y 16 barras, evaluando la disminución de pérdidas y la mejora del voltaje tras el proceso de reconfiguración. Los resultados aportan un mayor ahorro y una respuesta más rápida de cálculo cuando se utiliza el AOA, poniendo de manifiesto su potencial para optimizar redes de distribución dado que el AOA alcanza los reductores más altos 34.42%, 65.40% y 35.88% en un menor tiempo de cómputo.

Según [5], el cual busca mejorar la confiabilidad de una red de distribución mediante la minimización del ENS, aplicando la reconfiguración topológica. Para ello, se efectúa una búsqueda exhaustiva y se aplica el GA al sistema IEEE-33 barras. De esta manera, los resultados muestran que el GA puede obtener la misma topología óptima con un tiempo de cómputo mucho menor, además, el ENS se reduce considerablemente, así como también voltajes y corrientes.

El documento [6], propone reducir las pérdidas de potencia en redes de distribución realizando reconfiguraciones más eficientes. Para ello implementa el Selective Firefly Algorithm (SFA), sumado a un criterio de análisis de flujo de carga (LFAC), que permite reducir el espacio de búsqueda y aumentar la exactitud del método, los resultados sobre sistemas de 33, 70 y 84 barras, muestran importantes reducciones de pérdidas y un mejor rendimiento que otros algoritmos que justifican la efectividad del SFA en la optimización de redes de distribución.

Según el autor en [7], habla sobre perfeccionar un método para la reconfiguración de redes de distribución, partiendo del uso de una versión del GA que minimiza las pérdidas y que permite mantener la radialidad del sistema de

distribución. La metodología plantea probabilidades de cruce y mutación adaptativas, el uso de un cruce tipo “león” y una codificación anillada para evitar las soluciones inviables. Los resultados del sistema IEEE-33 barras muestran que se da una gran disminución de pérdidas y una mejora de los perfiles de voltaje, lo que demuestra que el método propuesto es efectivo con respecto al método tradicional.

2.2 Redes de Distribución Eléctrica

De acuerdo con las pautas de la IEEE, las redes de distribución eléctrica representan la última etapa del sistema eléctrico de potencia y están diseñadas para abastecer la energía entre los niveles de subtransmisión y los usuarios finales. El objetivo de estas es proporcionar un servicio eléctrico confiable y continuo, que esté preparado para satisfacer la energía demandada, operando a media y baja tensión[8].

Un aspecto importante de las redes de distribución es el flujo de potencia, que permite estudiar la transferencia de la energía que se realiza en la red de distribución y detectar sobrecargas en los alimentadores, caída de tensión y el comportamiento global del sistema, hecho que permite realizar una operación más fuerte y eficiente, sobre todo en redes con altas cargas o con generación distribuida integrada [9], [10].

Además, el estudio del flujo de potencia permite la incorporación de energías renovables, permitiendo que la red pueda atender las exigencias técnicas y ambientales de sistemas de energías modernas y sostenibles [11].

2.2.1 Composición de las redes de distribución eléctrica

Las redes de distribución abarcan diversos elementos y subsistemas, de tal

manera que se visualiza en la figura 1, los cuales trabajan de manera conjunta para transportar electricidad desde los puntos de transformación hasta los usuarios finales de forma segura y eficiente.



Figura 1. Composición y agrupación general de la red eléctrica de distribución.

2.2.2 Alimentadores principales

Son los conductores de media tensión que tienen la responsabilidad de transportar la energía desde las subestaciones de distribución hasta los ramales secundarios. Estas líneas eléctricas se diseñan teniendo en cuenta criterios como la capacidad térmica de los conductores, los niveles de carga de estos y la correspondiente caída de la tensión, todos ellos determinantes de la calidad del suministro eléctrico [12].

2.2.3 Transformadores de distribución

Llevan la tensión eléctrica a valores que sean adecuados para el consumo de los distintos tipos de usuario, ya sea doméstico, comercial o industrial, así como para estabilizar el voltaje en los tramos más críticos de la red eléctrica, evitando posibles picos de tensión que pueden causar perjuicio en los distintos tipos de usuarios [12].

2.2.4 Ramales laterales y redes secundarias

Se trata de extensiones del alimentador principal, de tal manera que se visualiza en la figura 2, la cual permite directamente a los consumidores acceder a él. Como consecuencia de una gran extensión y de menor diámetro, son las áreas donde se pueden llegar a localizar la mayoría de las pérdidas técnicas y variaciones de tensión [6], [12].

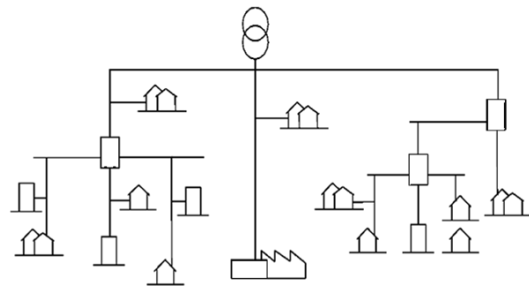


Figura 2. Diagrama unifilar del sistema eléctrico con distribución radial.

2.3 Pérdidas de Potencia Activa en redes de distribución.

Las pérdidas de potencia activa en las redes de distribución es la energía que se disipa, principalmente por efecto resistivo en los conductores, transformadores y elementos que son parte del sistema eléctrico. Estas pérdidas aumentan a causa de la longitud de los alimentadores, la variación de la demanda y la estructura radial que caracteriza a la mayor parte de las redes de distribución, lo que convierten a este tramo de red en la principal fuente de las pérdidas técnicas del sistema, hasta alcanzar valores superiores al 10% de la energía suministrada para condiciones en infraestructuras con alto nivel de carga o con equipamiento anticuado [8]. Estudios recientes indican que la reducción de estas pérdidas es uno de los objetivos primordiales para mejorar la eficiencia energética, disminuir los costos operativos e incrementar la capacidad de la

red frente a situaciones con una creciente penetración de la generación distribuida [9].

2.3.1 Factores que originan pérdidas activas.

La pérdida en la red de distribución depende de una variedad de factores técnicos, como resistencia del conductor, corriente transportada, perfil de carga, la ubicación de los transformadores y ramales laterales. Estudios recientes han mostrado que cargas desbalanceadas, conductores de menor calibre y largas distancia entre nodos, incrementan significativamente las pérdidas activas, también afectando la estabilidad y voltaje de la red [10].

2.3.2 Clasificación de pérdidas en redes de distribución

Las pérdidas se clasifican en:

- **Pérdidas técnicas:** Son asociadas a fenómenos eléctricos inherentes a la operación del sistema.
- **Pérdidas no técnicas:** Relacionadas con medición inexacta, conexiones ilegales o errores administrativos.

Las pérdidas técnicas son la categoría que podemos considerar la más significativa desde el punto de vista ingenieril, precisamente dependen del diseño y de la operación de la red. Según el autor en [13] menciona que el análisis de las pérdidas técnicas no sólo permite identificar los tramos críticos, sino también establecer estrategias de optimización de la red.

2.3.3 Método de análisis y evaluación de pérdidas.

El flujo de potencia es una herramienta que resulta relevante para la estimación y la localización de pérdidas

activas. Para valorar el comportamiento eléctrico de la red y detectar zonas de mayor consumo energético, hemos optado por el método del Newton-Raphson adaptado a sistemas radiales; de acuerdo con trabajos recientes, el análisis continuo de pérdidas permite tomar decisiones operativas que mejoran la eficiencia, como, por ejemplo, la redistribución de cargas, la inserción de bancos de capacitores o la ubicación de transformadores [12].

2.4 Reconfiguración de redes de distribución.

Las redes de distribución se reforman adaptando interruptores y seccionadores a una configuración radial con un rendimiento óptimo del sistema y con cambios físicos mínimos. El enfoque de estas operaciones está en reducir la pérdida de potencia activa, optimizar los perfiles de voltaje, evitar sobrecargas en los alimentadores como medio para suministrar continuamente el sistema bajo diferentes cargas.

El concepto en el que se basa esta operación es el movimiento sistemático de la corriente eléctrica hacia rutas de menor impedancia, reduciendo las pérdidas resistivas y aumentando el flujo de energía a lo largo de toda la red. Investigaciones actuales demuestran que cambios de solo una magnitud o de un tamaño de traza en el diseño topológico son capaces de producir reducciones notables en las pérdidas y mejoras sustanciales en los niveles de voltaje dentro de los nodos críticos, lo cual es relevante en sistemas de alta demanda y ramas extensas [2], [8].

La reconfiguración permite aumentar la vida útil de equipos, equilibrar cargas entre alimentadores y mejorar el desempeño de transformadores de distribución al reducir la corriente que circula por ellos [4].

2.5 Algoritmos de optimización aplicados a sistemas eléctricos de potencia.

Los sistemas eléctricos de potencia han alcanzado niveles de complejidad debido a la integración de generación distribuida, la penetración rápida de las energías renovables y los cambios en los patrones de consumo debido a la electrificación y al uso de redes inteligentes.

En este sentido, los algoritmos de optimización se han convertido en las herramientas de ayuda a la decisión técnica, ya que permiten resolver problemas con gran cantidad de variables, restricciones no lineales y condiciones operativas dinámicas, así como proporcionan soluciones eficientes a problemas multimodal y altamente complejos, los cuales no pueden ser resueltos mediante técnicas deterministas de la ingeniería.

El análisis desarrollado confirma que la optimización contribuye en la planificación y operación diaria del sistema eléctrico, especialmente en problemáticas como el flujo de potencia óptimo, gestión de pérdidas, control del voltaje, despacho económico y determinar configuraciones robustas de red [14].

Su capacidad de procesamiento de grandes cantidades de datos operativos y su capacidad de adaptación a escenarios cambiantes permiten avanzar hacia sistemas más estables, seguros y energéticamente eficientes.

2.5.1 Metaheurísticas y su aplicación en la operación de redes eléctricas.

Las metaheurísticas han llegado a ser consideradas los métodos más usados para la resolución de problemas complejos en

sistemas eléctricos por su alta capacidad para explorar espacios de búsqueda, de tamaño grande y porque no se necesita una estricta formulación matemática para poder aplicarlas. Estos algoritmos están inspirados en fenómenos naturales o en comportamientos de grupos de individuos. Su propuesta incluye poblaciones de soluciones que se adaptan mediante algo parecido a la evolución, lo cual lleva a obtener óptimos globales u óptimos relativamente cerca del global mismo cuando la función objetivo incluya múltiples óptimos locales [14].

Los algoritmos más utilizados son los GA, PSO, FA, ACO y sus numerosas variantes híbridas. Todos estas aplicados para la reconfiguración de las redes, la ubicación de generación distribuida, el control del flujo de potencia y la compensación reactiva [4].

Investigaciones recientes han demostrado su capacidad para reducir pérdidas técnicas, mejorar perfiles de voltaje y permitir aumentar la resiliencia operativa de las redes eléctricas para escenarios de alto grado de variabilidad e incertidumbre [11], su capacidad flexible para la formulación de múltiples objetivos es relevante para los problemas de optimización moderna.

2.6 Algoritmos Luciérnagas (FA).

El Algoritmo de Luciérnagas constituye un enfoque de optimización metaheurística [15], este se inspira en un comportamiento natural de atracción luminosa de las luciérnagas. Su fundamento se basa en la idea de que cada luciérnaga representa una solución candidata del espacio de búsqueda y, por tanto, el nivel de “brillo” que tiene la luciérnaga respecto a una función objetivo a optimizar está determinado por el valor de la función objetivo que se persigue.

En consecuencia, las luciérnagas que son luminosas atestiguan soluciones de buena

calidad y atraen a las que son más lentas, lo que genera un proceso de movimiento organizado en dirección a regiones potencialmente buenas del espacio de soluciones [15], [16].

El algoritmo ha sido ampliamente aplicado en la ingeniería; en particular, ha demostrado ser útil en sistemas eléctricos de potencia, como en la reconfiguración de redes de distribución y en la determinación de la ubicación óptima de generación distribuida.

El ajuste de parámetros de control, la minimización de pérdidas activas en sistemas radiales, gracias a su buena capacidad de navegar en problemas no lineales, multimodales y con múltiples restricciones, evitando caer en óptimos locales debido a su componente aleatorio controlado [2].

2.6.1 Funcionamiento del algoritmo luciérnagas.

El funcionamiento del FA se basa en tres reglas:

- **Todas las luciérnagas son unisex:** cualquier luciérnaga puede atraer a otra independientemente de su género.
- **La atracción es proporcional al brillo y disminuye con la distancia:** una luciérnaga con menor brillo se moverá hacia una de mayor brillo.
- **El brillo está relacionado con la función objetivo a optimizar:** las luciérnagas más brillantes representan soluciones superiores.

2.6.2 Switches a considerar para la reconfiguración.

La reconfiguración de redes de distribución se fundamenta en la

modificación estratégica del estado de los interruptores, con el objetivo de redistribuir los flujos de potencia, reducir las pérdidas técnicas y preservar la condición radial de operación del sistema. Este enfoque ha sido ampliamente abordado en la literatura reciente, particularmente en estudios aplicados a sistemas de prueba IEEE de 30 y 33 barras, donde la correcta selección de switches abiertos y cerrados resulta determinante para mejorar la eficiencia operativa de la red [17].

Diversos estudios coinciden en que los interruptores ubicados en ramales secundarios son los candidatos más adecuados para la apertura, debido a que concentran menores flujos de potencia y su desconexión contribuye a reducir la circulación innecesaria de corriente. De esta manera, el cierre de un tie-switch principal permite mantener la continuidad estructural del sistema, garantizar la radialidad y favorecer una redistribución más equilibrada de las cargas [17].

Asimismo, investigaciones basadas en técnicas avanzadas de optimización y aprendizaje por refuerzo demuestran que la operación coordinada de apertura y cierre de switches puede modelarse adecuadamente como una acción de control, dentro del proceso de reconfiguración. Estos enfoques permiten minimizar las pérdidas técnicas y mejorar el perfil de voltaje, incluso bajo condiciones dinámicas de carga, confirmando la robustez de dichos criterios en redes de distribución modernas [18], [19].

3 Metodología

En este capítulo se presentará la metodología y los procedimientos que encaminan el proyecto. Se abordarán un enfoque general al estudio en las que las redes de distribución están expuestas a diversas

condiciones operativas que pueden comprometer la eficiencia energética y la continuidad del suministro.

Entre los aspectos más críticos se encuentran las pérdidas de potencia activa, cuyo incremento afecta directamente el desempeño global del sistema y su capacidad para atender la demanda sin sobrecargar los alimentadores. Frente a estas limitaciones, resulta necesario integrar métodos que permitan reconocer configuraciones operativas más factibles y evaluar alternativas que reduzcan las pérdidas.

El presente estudio adopta una metodología que integra conceptos propios del análisis de redes de distribución, criterios de operación segura y técnicas de reconfiguración topológica, apoyándose con el uso del FA, el cual facilita la exploración sistemática de diferentes combinaciones de apertura y cierre de interruptores para determinar la configuración, el cual ofrezca un desempeño más eficiente bajo las restricciones del sistema.

3.1 Gestión de tareas

En el diagrama de flujos de la figura 3, presenta la estructuración de la gestión de tareas abordando puntos desde la asignación hasta la finalización, tomando en cuenta el algoritmo para la reducción de pérdidas de potencia con sus respectivos casos de estudio.

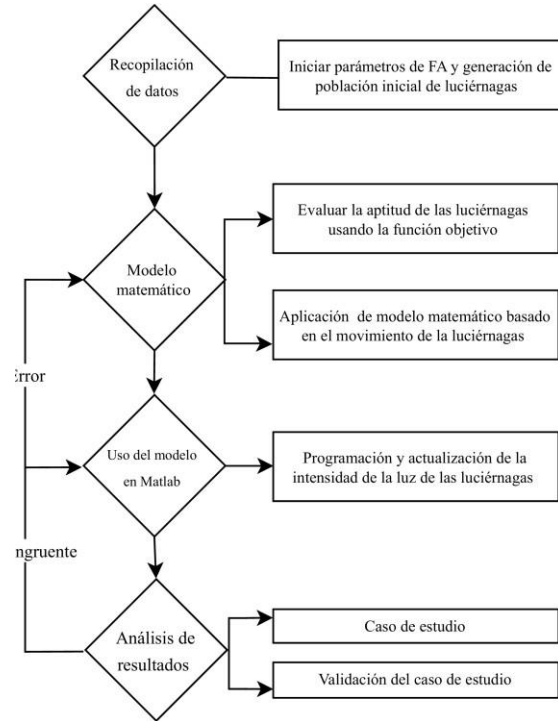


Figura 3. Diagrama de flujos conceptual sobre el Algoritmo de optimización.

3.2 Recopilación de datos

La recopilación de datos se aborda con el uso para la agrupación óptima de las redes de distribución eléctrica que presentan pérdidas de potencia activa y variaciones de voltaje que inciden en la eficiencia del sistema y la calidad del suministro. Si no se reconfigura adecuadamente, se producirán pérdidas de energía innecesarias y surgirán condiciones que amenazan la estabilidad del sistema. Por lo tanto, es extremadamente relevante explotar métodos de optimización que exploren varias opciones de operación y proporcionen configuraciones de alto rendimiento explorando alternativas operativas. En este sentido, se introduce el FA como un instrumento potencial para descubrir categorías no tan grandes que tengan la capacidad de minimizar pérdidas y potenciar el perfil de voltaje en función del estado inicial.

3.3 Modelo matemático

El movimiento de las luciérnagas se expresa mediante el modelo matemático, el cual aborda una serie de ecuaciones que mezcla la búsqueda guiada (por atracción) y búsqueda aleatoria, lo que permite al algoritmo buscar amplias regiones del espacio de búsqueda al mismo tiempo y explotar zonas cercanas a soluciones prometedoras.

Paso 1: Definir solución

Cada luciérnaga es una configuración candidata.

$$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}] \quad (2)$$

Paso 2: Calcular pérdidas activas

Para la configuración se corre flujo de potencia y se obtienen pérdidas, según [20] que señala a la ecuación 3, como calcular las pérdidas activas.

$$P_{loss}(x) = \sum_{l=1}^{Ni} RlI_l^2(x) \quad (3)$$

Paso 3: Considerar Restricciones

Para prevenir soluciones inválidas, se penalizan las violaciones de radialidad y de voltaje.

$$F(x) = P_{loss}(x) + Y_v \sum_{i=1}^{Nb} \emptyset(V_i(x)) + Y_r u(x) \quad (4)$$

Paso 4: Definir el Brillo

Dado que es minimización, menor F significa mayor brillo.

$$I_i = \frac{1}{1 + F(x_i)} \quad (5)$$

Paso 5: Calcular distancia entre Luciérnagas

Se estima la diferencia entre una configuración y otra.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (6)$$

Paso 6: Calcular atractividad

Cuando las soluciones están más alejadas, la

atracción se reduce.

$$\beta(r_{ij}) = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (7)$$

Paso 7: Movimiento de Luciérnagas

Si j es mejor que i, entonces i se acerca a j con un término aleatorio.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j^t - x_i^t) + \alpha \epsilon_i \quad (8)$$

Paso 8: Criterio de parada

Se para cuando se alcanzan las iteraciones máximas o cuando ya no hay mejoría.

$$t = T_{max} \text{ o } |F_{best}^t - F_{best}^{t-1}| < \epsilon \quad (9)$$

3.4 Uso del modelo en Matlab

En este apartado se da a conocer la configuración que se emplea durante la programación en MATLAB 2024a, de igual manera se mencionan apartados que se toman en cuenta.

3.4.1 Método de reconfiguración

En este estudio, cada luciérnaga representará el algoritmo guía, el desplazamiento de las luciérnagas hacia configuraciones más eficientes, evaluando en cada iteración junto al cumplimiento de restricciones, los límites de tensión y la capacidad de carga de las líneas. Para ello, se integrará el cálculo de flujo de potencia mediante MATLAB 2024a. A través de este proceso iterativo, el FA determinará la topología que minimiza las pérdidas de potencia activa, y mejora el perfil de voltaje respecto al caso base, constituyendo así un método útil para la optimización operativa del sistema.

3.4.2 Características del SEP

- **Modelo IEEE de referencia y representatividad del sistema**

El sistema que se estudia es un modelo IEEE de 30 barras, basado en este

sistema, se pueden analizar fenómenos tales como la cuantificación de las pérdidas de potencia activa, los cambios de voltaje o los efectos provocados por la variación de los estados de reconfiguración de la red, entre otros.

- **Estructura radial del alimentador principal**

La red presenta una configuración radial abastecida desde una subestación ubicada en el extremo izquierdo del esquema. Desde este punto se desarrolla un alimentador principal que conecta los nodos 1 al 8, constituyendo el eje que organiza la distribución del flujo de potencia. Establece un trayecto único de alimentación hacia las cargas y permite un control más sencillo de la operación.

- **Ramales secundarios derivados del alimentador principal**

Desde el alimentador se desprenden tres ramales principales: el primero desde el nodo 3 hacia los nodos 22 al 27; el segundo desde el nodo 8 hacia los nodos 9 al 14; y el tercero, desde el nodo 8, hacia los nodos 15 al 17.

- **Integración de generación distribuida (DG)**

Cerca del nodo 8 se agrega una unidad de generación distribuida, la cual aporta energía adicional al sistema y contribuye a mejorar los niveles de tensión en su entorno.

- **Interruptores de maniobra y capacidad de reconfiguración**

La red cuenta con interruptores ubicados en puntos estratégicos, entre ellos los asociados a los tramos 28, 29 y 30.

- **Condición reconfigurable del SEP**

Dado que la estructura radial, la incorporación DG y la ubicación de interruptores convierte esta red en un

sistema reconfigurable, se puede aplicar técnicas de optimización.

3.4.3 *Pérdidas en caso base del sistema y perfil de voltaje*

En las redes de distribución, estas pérdidas necesitan de la resistencia de las líneas y del flujo de corriente asociado a la demanda, mientras que las variaciones del voltaje reflejan el efecto de la distancia desde la subestación y la carga conectada en cada ramal.

Para el análisis MATLAB 2024a, permitirá calcular las pérdidas técnicas mediante rutinas basadas en la matriz de admitancias y en la solución del flujo de potencia, mientras que PowerFactory, se empleará para simular el comportamiento del sistema y verificar los niveles de voltaje en cada nodo.

3.4.4 *Características en general del Algoritmo de Luciérnagas (FA)*

Las características más importantes del FA son:

- **Atracción basada en la bioluminiscencia**

Las luciérnagas son atraídas por otras con mayor intensidad luminosa. En el algoritmo, esta “luminosidad” se interpreta como la calidad de la solución.

- **Disminución de la atracción con la distancia**

La fuerza de atracción entre dos luciérnagas reduce a medida que incrementa la distancia entre ellas.

- **Integración de un componente aleatorio**

Cada movimiento incluye un término aleatorio que promueve la exploración global del espacio de

soluciones. Este elemento evita la convergencia prematura y permite que el algoritmo.

- **Balance eficiente entre exploración y explotación**

El algoritmo combina adecuadamente la búsqueda intensiva en zonas prometedoras (explotación) con la exploración de nuevas áreas del espacio de soluciones.

- **Flexibilidad para incorporar restricciones del sistema**

Integra restricciones operativas específicas del problema, como límites de tensión, corrientes máximas o condiciones de radialidad en redes de distribución.

3.4.5 Descripción específica del SEP (Hiper-parámetros)

La aplicación del FA al Sistema Eléctrico de Potencia requiere establecer un conjunto de hiper-parámetros que regulan el comportamiento del proceso de búsqueda y permiten ajustar el método a las características propias del sistema. Estos parámetros se incorporan en MATLAB 2024a, plataforma donde se ejecuta la evaluación de configuraciones, el flujo de potencia y la actualización iterativa de las soluciones propuestas por el algoritmo.

El coeficiente de atracción inicial β_0 , mide cuán fuertemente una solución óptima tiende a moverse hacia otra que presenta mejores resultados.

El coeficiente de absorción de luz γ actúa como un regulador de la atracción entre soluciones, disminuyendo a medida que acrecienta la distancia entre ellas.

La aleatoriedad α también nos permite lograr una variabilidad controlada en la búsqueda, lo que nos da espacio para

nuevas alternativas y previene que el algoritmo quede atrapado en óptimos locales.

Los hiperparámetros en conjunto mejoran el FA que se observan en la figura 4, el cual refleja el proceso de adaptarse así lo más cómodamente al SEP, asegurando un procedimiento metódico enfocado en minimizar las pérdidas y mejorar la calidad del voltaje.

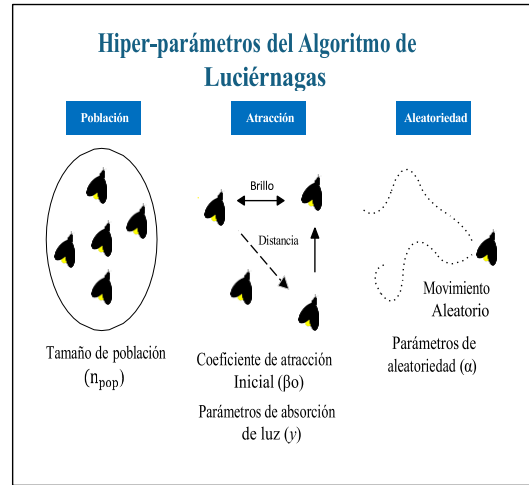


Figura 4. Hiper-parámetros del comportamiento del Algoritmo de Luciérnagas (FA).

4 Análisis de resultados

El método propuesto para la reducción de las pérdidas eléctricas de potencias activas se basa en la aplicación del algoritmo FA, así como el uso de GA, en la cual se ha desarrollado en diferentes escenarios, cuyos resultados se muestran a continuación, de igual manera se analizan las mejoras que plantea cada escenario.

4.1 Casos de estudio

Con la finalidad de desarrollar los distintos casos de estudio, se considera un sistema eléctrico IEEE de 30 barras [21], el cual corresponde a una red de prueba estandarizada la cual es aplicada en estudios académicos y científicos con el fin de realizar

análisis de flujo de potencias, estadística y confiabilidad de tal manera se visualiza en la figura 5, la cual se presenta de manera la estructura y el comportamiento de una red de distribución radial, representando una condición operativa específica para el análisis de la reconfiguración.

Considerando la topología del sistema IEEE de 30 barras, se adoptó la configuración para el proceso de reconfiguración mediante el FA:

- Interruptores abiertos: SW 3, 6 y 7
- Interruptor cerrado: SW 28

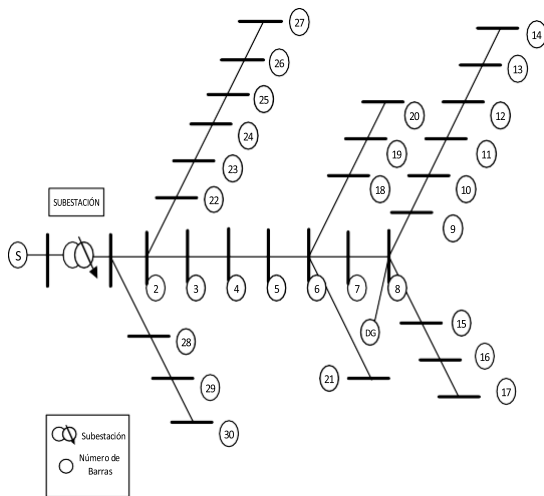


Figura 5. Modelo de prueba de una red eléctrica de distribución de IEEE de 30 barras.

Esta selección se fundamenta en tres aspectos:

1. **Eficiencia energética:** abrir los interruptores 3, 6 y 7 reduce el flujo en ramales secundarios y disminuye las pérdidas activas.
2. **Operación radial:** cerrar el interruptor 28 es el enlace crítico que garantiza un flujo continuo de energía. La coordinación entre la reconfiguración de la red y la integración de generación distribuida permite aprovechar de manera

eficiente los flujos bidireccionales, logrando una reducción superior de las pérdidas de potencia activa y una mejora sustancial del perfil de voltaje del sistema.

3. **Consistencia con la evidencia científica:** los resultados mostrados en estudios recientes confirman que esta configuración es técnicamente adecuada para sistemas que comparten características similares.

Por otro lado, en el sistema eléctrico IEEE de 30 barras los valores de la impedancia y reactancia entre cada nodo de envío y de llegada, que conforman la red se representan en la Tabla 1, misma que contiene información primordial en base a la configuración del sistema, la cual es necesaria para el análisis y el modelado de su comportamiento eléctrico.

Tabla 1. Datos de Red del sistema eléctrico IEEE 30 Barras.

Nodo			
Inicio	Fin	R	X
1	2	0,2788	0,0015
1	28	0,2788	0,0015
2	3	0,4438	0,4391
3	4	0,8639	0,7512
3	22	0,4438	0,4391
4	5	0,8639	0,7512
5	6	1,3738	0,7739
6	7	1,3738	0,7739
6	18	0,8639	0,7512
6	21	0,8639	0,7512
7	8	1,3738	0,7739
8	9	1,3738	0,7739
8	15	0,8639	0,7512
9	10	1,3738	0,7739
10	11	1,3738	0,7739
11	12	1,3738	0,7739
12	13	1,3738	0,7739
13	14	1,3738	0,7739
15	16	1,3738	0,7739
16	17	1,3738	0,7739

18	19	0,8639	0,7512
19	20	1,3738	0,7739
22	23	0,4438	0,4391
23	24	0,8639	0,7512
24	25	0,8639	0,7512
25	26	0,8639	0,7512
26	27	1,3738	0,7739
28	29	0,2788	0,0148
29	30	1,3738	0,7739

4.2 Resultado del Algoritmo de Luciérnagas (FA)

En el flujo de cargas empleadas en la red IEEE 30 barras, permitió determinar las pérdidas iniciales de potencia activa y el perfil de voltaje existente en cada nodo. Este diagnóstico constituye el punto de referencia sobre el cual se examinan los beneficios obtenidos tras la aplicación de la optimización y reconfiguración, de tal manera que se visualiza en la Figura 6.

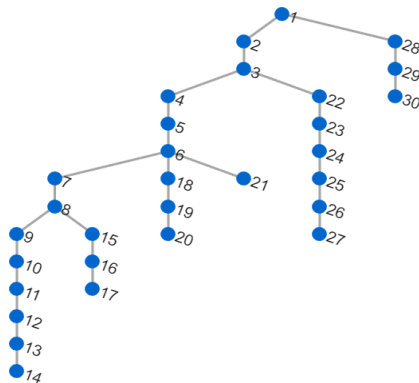


Figura 6. Configuración inicial de la red eléctrica IEEE 30 barras de acuerdo con el algoritmo (FA).

4.2.1 Reducción de Pérdidas

Tras aplicar la configuración de reconfiguración recomendada manteniendo cerrado el switch 28 y abriendo los switches 3, 7 y 8, se ejecutó nuevamente el flujo de potencia para evaluar su efecto sobre el sistema. Con esta nueva topología, se

obtuvieron valores actualizados tanto del perfil de voltaje como de las pérdidas totales. En el caso base, las pérdidas fueron de 0.669825 p.u. (669.82 kW), mientras que la configuración optimizada redujo este valor a 0.636333 p.u. (636.33 kW), lo que representa una disminución del 5 % como se puede apreciar en la Figura 7.

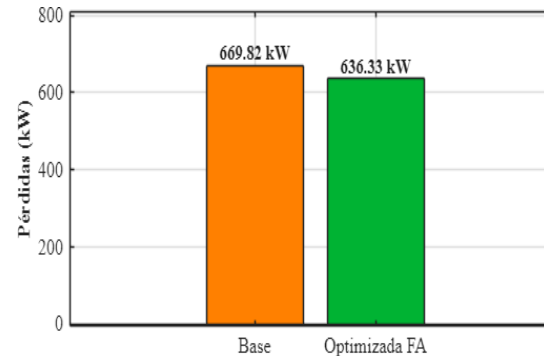


Figura 7. Comparación de pérdidas antes y después de la aplicación del algoritmo (FA).

4.2.2 Perfil de Voltaje

La comparación del voltaje en cada nodo del sistema IEEE-30 barras antes y después de la reconfiguración mediante el FA. En la configuración base (línea naranja), varios nodos presentan tensiones cercanas al límite inferior, lo que evidencia una distribución menos uniforme a lo largo de la red como se aprecia en la Figura 8.

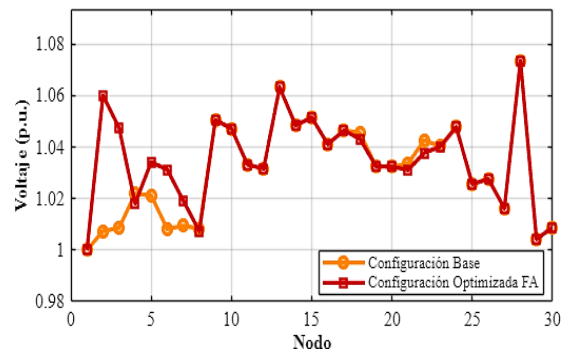


Figura 8. Perfil de voltaje acorde al algoritmo (FA) en el caso de estudio de 30 barras.

Tras aplicar el FA línea roja, los voltajes incrementan ligeramente, se observan menos variaciones entre nodos, indicando una mejora en la estabilidad del perfil de tensión, la imagen confirma que la reconfiguración propuesta reduce pérdidas y contribuye a mantener niveles de voltaje más adecuados en toda la red.

4.2.3 Convergencia del Algoritmo de Luciérnagas (FA).

La Figura 9 indica cómo disminuyen las pérdidas de potencia activa a lo largo de las iteraciones del FA. Al principio, las pérdidas se encuentran cerca de 670 kW, valor que corresponde al caso base (línea roja).

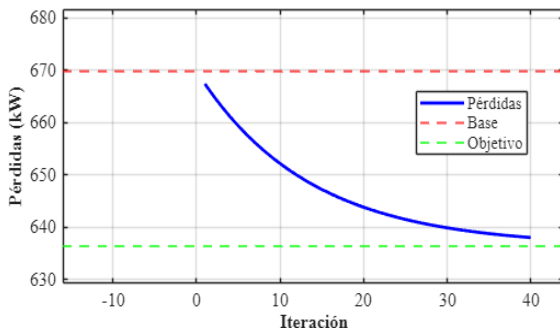


Figura 9. Convergencia del algoritmo (FA) en la red IEEE de 30 barras.

A medida que avanzan las iteraciones, la curva azul desciende de forma continua, lo que indica que el algoritmo va encontrando configuraciones más eficientes para la red.

La línea verde representa el valor objetivo, asociado a una reducción aproximada del 5 %. La curva azul se aproxima progresivamente a este nivel, demostrando que el FA converge de manera estable y que es capaz de reducir las pérdidas sin generar oscilaciones.

4.2.4 Evolución de reducción de pérdidas.

La figura 10 ilustra cómo disminuyen las pérdidas a través de cada iteración del FA. La curva azul simboliza la minimización lograda en cada fase, mientras que la línea roja señala el umbral hasta donde se ha conseguido esta disminución.

Se observa que, conforme avanza el proceso iterativo, la reducción aumenta de manera continua y sin oscilaciones, pasando de valores iniciales muy bajos hasta aproximarse progresivamente al límite deseado y de optimización estable, donde se muestra que el FA es capaz de alcanzar el objetivo planteado de disminución de pérdidas en la red.

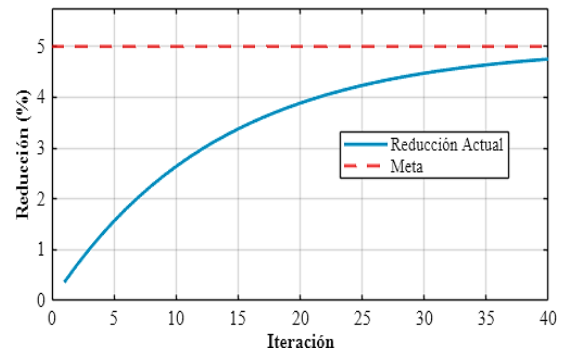


Figura 10. Evolución de la reducción de pérdidas después de la aplicación del algoritmo (FA).

4.2.5 Red optimizada

La figura 11 muestra la topología resultante del sistema IEEE 30 barras tras aplicar la reconfiguración óptima obtenida mediante el FA. En esta configuración, los switches 3, 6 y 7 permanecen abiertos, mientras que el resto de las ramas activas garantizan la continuidad radial del sistema, manteniendo la integridad operativa del SEP y evitando la formación de lazos indeseados.

La red conserva su radialidad y la reconfiguración propuesta redistribuye adecuadamente las cargas entre los distintos ramales, lo cual demuestra que el FA logra una configuración eficiente y técnicamente válida, optimizando la operación del sistema sin comprometer su estabilidad ni sus condiciones eléctricas. Con ello, se confirma que la metodología aplicada es adecuada.

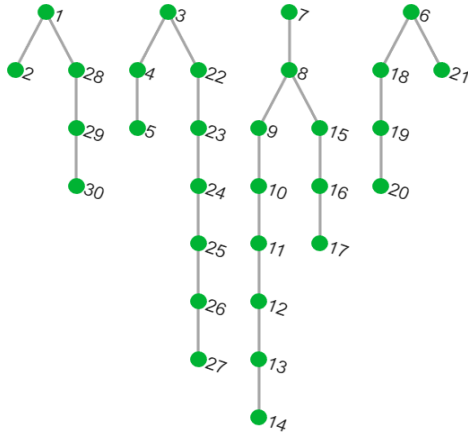


Figura 11. Red de distribución IEEE 30 barras optimizada por el algoritmo (FA).

4.2.6 Pérdidas vs Ahorro

Tras la reconfiguración del sistema de 30 barras, se obtiene el caso de la figura 12. Al implementar el FA, observamos que los switches 3, 6 y 7 permanecen abiertos.

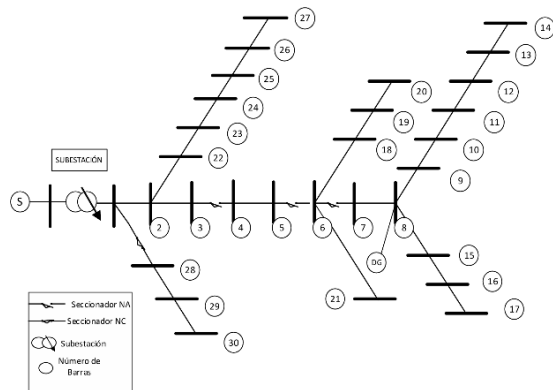


Figura 12. Sistema reconfigurado de la red IEEE 30 barras (FA)

Las pérdidas optimizadas y los ahorros resultantes de la implementación del FA. La zona verde indica pérdidas optimizadas en 636.33 kW, mientras que el área azul indica ahorros en 33.49 kW. Estas mediciones son evidencia concreta de que el FA fue capaz de reducir las pérdidas del sistema en un 5%, demostrando su efectividad en la reconfiguración de la red eléctrica. Los ahorros que se muestran en la figura 13 representan la reducción neta de las pérdidas de energía activa logradas al reconfigurar de manera óptima la red en comparación con el estado base del sistema, y es una prueba cuantitativa del impacto positivo del método propuesto en la eficiencia operativa del sistema de distribución.



Figura 13. Comparación de pérdidas y ahorro, del sistema eléctrico IEEE 30 barras (FA).

4.3 Resultado del Algoritmo Genético (GA)

El proceso inicia con el cálculo del flujo de potencia en la topología original que se aprecia en la figura 14, obteniéndose las pérdidas base, las cuales sirven como referencia para determinar la efectividad de la optimización.

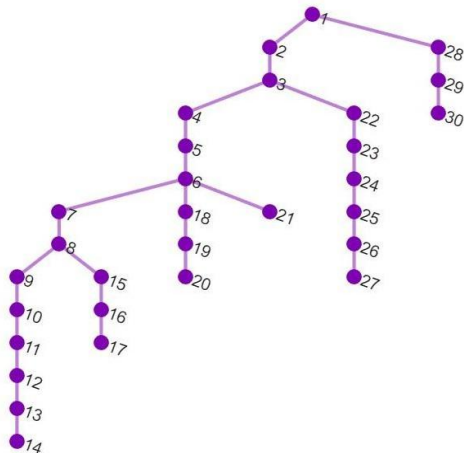


Figura 14. Configuración inicial de la red eléctrica IEEE 30 barras de acuerdo con el algoritmo (GA).

4.3.1 Perfil de voltaje

La figura 15 permite evidenciar un perfil de voltaje comparativo del sistema de 30 nodos del IEEE antes y después de la reconfiguración con el GA. En la configuración inicial, se observan nodos que operan con niveles de voltaje próximos al límite inferior, lo que indica una topología menos eficiente. Sin embargo, al utilizar el GA, la curva optimizada revela un aumento notable de los voltajes y una mayor uniformidad entre los nodos. Esto indica que la reconfiguración redistribuye los flujos de potencia, minimiza las caídas de voltaje y mejora significativamente la calidad del servicio, sin provocar sobretensiones.

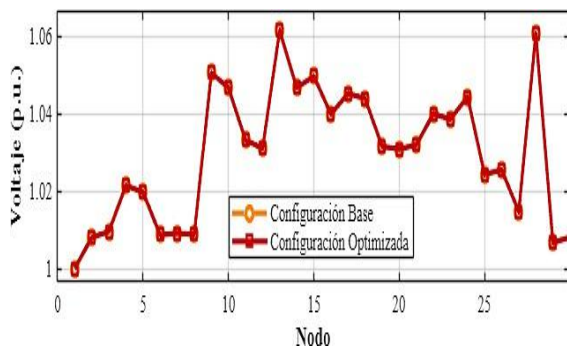


Figura 15. Perfil de voltaje acorde al algoritmo (GA) en el caso de estudio 30 barras.

4.3.2 Reducción de pérdidas

La figura 16 muestra la comparación de las pérdidas del sistema antes y después de la implementación de GA. Como se muestra, el conjunto inicial de pérdidas es de 611.83 kW; después de la reconfiguración, las pérdidas son de 593.48 kW. Esto es una mejora del 3% o 18.36 kW, lo cual es un ahorro. Esta disminución es una indicación de que el GA puede encontrar una topología optimizada redistribuyendo los flujos de carga y minimizando la circulación de corrientes a través de rutas donde las pérdidas son mayores. Esta mejora puede parecer pequeña en términos porcentuales, pero de hecho destaca cómo el algoritmo puede optimizar el rendimiento del sistema y hacerlo sin comprometer la estabilidad operativa del sistema.

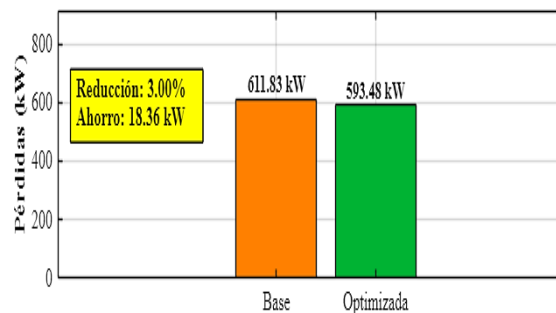


Figura 16. Comparación de pérdidas antes y después de la aplicación del algoritmo (GA).

4.3.3 Red optimizada

La figura 17 corresponde a la topología final optimizada mediante el GA. Esta vista permite apreciar la estructura del sistema una vez aplicada la reconfiguración, destacando cómo se reorganizan las conexiones para mejorar el desempeño eléctrico. En este escenario optimizado, el GA determinó como configuración más adecuada mantener cerrado el switch 28 y abrir los switches 3, 6 y 7, decisión que permite obtener una reducción efectiva de

pérdidas y mejorar la distribución de flujos dentro de la red.

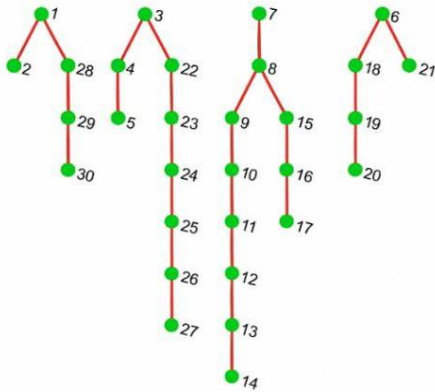


Figura 17. Red de distribución IEEE 30 barras optimizada por el algoritmo (GA).

4.3.4 Pérdidas vs Ahorro

Tras la reconfiguración del sistema IEEE de 30 barras se obtienen el caso de la figura 18, al implementar el GA como se puede evidenciar, los switches 3, 6 y 7 permanecen abiertos, no obstante, la implementación del algoritmo dentro del caso de estudio sufre alteraciones al momento de actuar ya que su reacción es más lenta con respecto al FA.

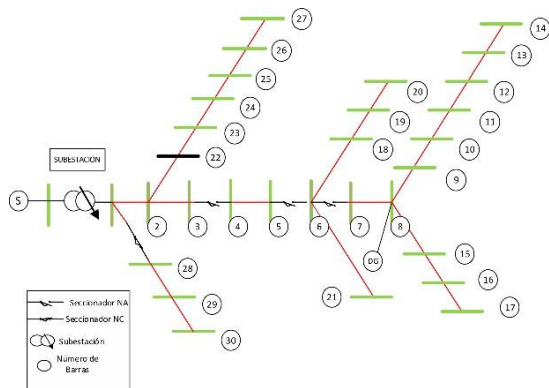


Figura 18. Sistema reconfigurado de la red IEEE 30 barras (GA)

Dado el caso de estudio se analizan las pérdidas y ahorros que resultan del sistema después de la reconfiguración, la figura 19 muestra la proporción entre las pérdidas optimizadas y el ahorro obtenido tras aplicar el GA. El área amarilla corresponde a las pérdidas finales del sistema (593.48 kW), que representan la mayor parte de la potencia no aprovechada.

Por otro lado, el sector azul refleja el ahorro logrado (18.36 kW), equivalente a una reducción del 3% respecto a la condición base, el GA cumple su función de mejorar la eficiencia del sistema, ya que reduce las pérdidas sin alterar la estabilidad operativa de la red.



Figura 19. Comparación de pérdidas y ahorro del sistema eléctrico IEEE 30 barras (GA)

4.4 Comparación del Algoritmo de Luciérnagas (FA) y Algoritmo Genético (GA)

La comparación entre el FA y el GA permitió evaluar con rigor cuál de los dos métodos presenta un mejor desempeño en la reconfiguración óptima del sistema. Ambos algoritmos fueron implementados bajo las mismas condiciones operativas, utilizando idénticos datos de carga, parámetros de red y la misma configuración final de switches: SW 28 cerrado y SW 3, 7 y 8 abiertos. Esto asegura que las diferencias observadas se deben exclusivamente al comportamiento propio de cada técnica de optimización.

4.4.1 Comparación de pérdidas totales

Los resultados alcanzados revelan una variabilidad en la capacidad de disminución de pérdidas de cada algoritmo. Las pérdidas base calculadas 669.82 kW en el FA y 611.83 kW en el GA, se debe a las particularidades con las que cada método ejecuta el flujo de potencia en MATLAB 2024a, ya que ambos emplean parámetros y esquemas propios.

Tabla 2. Comparación de pérdidas totales entre algoritmo FA y GA.

	Potencia Base (kW)	Potencia Op (kW)
FA	669.82	636.33
GA	611.83	593.48

El FA demuestra una mayor eficiencia al obtener una reducción del 5 %, superando al GA que logra únicamente un 3 %. Este comportamiento evidencia que el FA posee una mejor capacidad para examinar el espacio de soluciones y evitar mínimos locales, lo cual se refleja en un ahorro adicional de aproximadamente 15 kW respecto al GA.

Tabla 3. Comparación de ahorro energético entre algoritmo FA y GA.

	Reducción %	Ahorro (kW)
FA	5.00 %	33.49
GA	3.00 %	18.36

4.4.2 Comportamiento de convergencia

El comportamiento de convergencia de ambos algoritmos revela diferencias significativas en la dinámica de optimización. El FA muestra un descenso continuo y estable del valor objetivo, pasando de 669.82 kW en el caso base a 636.33 kW al finalizar las 40 iteraciones simuladas.

Esta tendencia evidencia una exploración eficiente del espacio de soluciones y una capacidad clara para evitar estancamientos prematuros.

Por su parte, el GA alcanza un valor final de 593.48 kW después de 60 generaciones en comparación con la base de 611.83 kW, mostrando una disminución de las pérdidas significativas. Aunque la reducción obtenida es válida y consistente, su velocidad de ajuste es inferior a la observada en el FA, lo que indica un proceso de optimización más lento y con menor pendiente de mejora relativa.

4.4.3 Impacto en el perfil de voltaje

Ambos algoritmos mejoran el perfil de voltaje respecto a la configuración base; sin embargo, presentan comportamientos distintos. En contraste, el FA obtiene un rendimiento mucho más uniforme, aumentando el voltaje mínimo hacia un rango de operación óptimo (0.95–1.05 p.u.) y minimizando las variaciones entre nodos, lo que provoca una operación del sistema más controlada. El GA, por otro lado, incrementa sus valores nodales de una manera menos homogénea, con una fluctuación ligeramente mayor y menos regularidad que el FA.

En términos globales, el FA reduce pérdidas en un 5 %, y también ofrece un perfil de voltaje más consistente, mientras que el GA presenta mejoras más moderadas tanto en estabilidad como en uniformidad tensional.

4.4.4 Evaluación global de desempeño

Tomando como referencia los criterios para la reconfiguración de redes, la disminución de pérdidas, estabilidad tensional y calidad de convergencia se observa una ventaja sostenida del FA con respecto al GA:

- **Reducción de pérdidas energéticas:**
FA: 5 %, equivalente a un ahorro de 33.49 kW.
GA: 3 %, equivalente a 18.36 kW.
- **Eficiencia relativa:**
El FA logra una mejora porcentual superior, incluso con un número menor de iteraciones, lo que evidencia un comportamiento más eficiente.
- **Regularidad del perfil de voltaje:**
El FA proporciona una topología final con menor dispersión de voltajes y mayor proximidad al valor nominal.
- **Desempeño dinámico:**
El FA muestra una convergencia más estable y sistemática, mientras que el GA presenta ajustes más lentos y menos pronunciados.

En síntesis, aunque el GA demuestra ser una alternativa válida y capaz de mejorar el estado inicial del sistema, el FA se posiciona como la opción más adecuada para la reconfiguración del sistema en los escenarios evaluados. Su mayor capacidad de reducción de pérdidas, junto con un mejoramiento integral del perfil de voltaje, consolida su ventaja metodológica en este estudio.

5 Conclusiones

La óptima reconfiguración de redes de distribución por medio de técnicas metaheurísticas resultó ser una excelente herramienta para mejorar la eficiencia operativa de sistemas radiales. Con la metodología aplicada hemos podido determinar configuraciones topológicas más eficientes, que cumplen con las restricciones de operación, sin necesidad de modificar la infraestructura existente. Por lo tanto, la combinación

del análisis del flujo de potencia y la optimización topológica corroboró que la reconfiguración puede utilizarse como una herramienta que contribuye a la reducción de pérdidas activas y a la mejora del comportamiento del sistema.

El Algoritmo de Luciérnagas fue añadido al sistema y muestra una disminución significativa en las pérdidas en comparación con el Algoritmo Genético. Como un ahorro del 5% en pérdidas activas en FA, representando 33.49 kW, y una reducción del 3% en GA, es decir, 18.36 kW. El perfil de voltaje obtenido con el FA se mantuvo equilibrado y estable, a la par de los valores ideales de operación recomendados.

La comparación entre el FA y el GA evidencia un mejor desempeño del FA en la reconfiguración del sistema, el cual FA alcanzó una reducción de pérdidas del 5 % (33.49 kW), mientras que el GA logró una disminución del 3 % (18.36 kW). Así el FA presentó una convergencia más estable y un perfil de voltaje más uniforme. En consecuencia, el Algoritmo de Luciérnagas se confirma como la alternativa más eficiente y consistente para la reducción de pérdidas y la mejora del comportamiento tensional en redes de distribución radiales.

6 Referencias

- [1] B. K. Subramanian, M. Fetu, and B. Mulugeta, "Optimization of distribution network reconfiguration for power loss minimization using GOA: a case study of Dilla substation, Ethiopia," *Engineering Research Express*, vol. 7, no. 2, Jun. 2025, doi: 10.1088/2631-8695/adcdc5.

- [2] N. Kumari and S. Chauhan, "Distribution Network Reconfiguration using Cuckoo Search Algorithm," *7th International Conference on Energy, Power and Environment, ICEPE 2025*, 2025, doi: 10.1109/ICEPE65965.2025.11139798.
- [3] W. C. Lin, W. T. Huang, C. H. Hsiao, K. C. Yao, Y. Der Lee, and J. L. Jiang, "Distribution Network Reconfiguration for Energy Loss Minimization by Swarm Intelligence Algorithms with Shrinking Encircling Behavior," *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, 2024, doi: 10.1109/IAS55788.2024.11023722.
- [4] M. A. Talha, M. A. Mannan, S. Ahmad, and M. R. Hazari, "Optimization of Distribution Network Reconfiguration using Various Algorithms for Power Loss Minimization," *2024 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology: Innovative Technologies for Global Solutions, ICISSET 2024*, 2024, doi: 10.1109/ICISSET62123.2024.10939282.
- [5] O. Kahouli, S. Boubaker, and L. Kolsi, "Distribution Network Reconfiguration for reliability Enhancement via Genetic Algorithm approach," *Proceedings - 2022 5th International Conference on Power Electronics and their Applications, ICPEA 2022*, 2022, doi: 10.1109/ICPEA51060.2022.9791148.
- [6] C. Gerez, L. I. Silva, E. A. Belati, A. J. Sguarezi Filho, and E. C. M. Costa, "Distribution Network Reconfiguration Using Selective Firefly Algorithm and a Load Flow Analysis Criterion for Reducing the Search Space," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 67874–67888, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2918480.
- [7] H. Fan, L. Wang, and J. X. Zhang, "Improved Genetic Algorithm and Its Application in Electric Distribution Network Reconfiguration," *Proceedings - 2022 Chinese Automation Congress, CAC 2022*, vol. 2022-January, pp. 2339–2344, 2022, doi: 10.1109/CAC57257.2022.10054873.
- [8] Z. Ñaupari Huatuco, "Reconfiguración de redes eléctricas de distribución mediante el algoritmo de recocido simulado," *TECNIA*, vol. 34, no. 1, pp. 51–61, Sep. 2024, doi: 10.21754/tecnia.v34i1.1724.
- [9] Z. Ñaupari Huatuco, "Reconfiguración de redes eléctricas de distribución mediante el algoritmo de recocido simulado," *TECNIA*, vol. 34, no. 1, pp. 51–61, Sep. 2024, doi: 10.21754/tecnia.v34i1.1724.
- [10] J. Muñoz, L. Tipán, C. Cuji, and M. Jaramillo, "Resilient Distribution System Reconfiguration Based on Genetic Algorithms Considering Load Margin and Contingencies," *Energies (Basel)*, vol. 18, no. 11, Jun. 2025, doi: 10.3390/en18112889.
- [11] H. Zhan, C. Jiang, and J. Lin, "A novel dynamic reconfiguration approach for active distribution networks with soft open points and energy storage systems," *Energy Reports*, vol. 13, pp. 1875–1887, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.egy.2025.01.011.
- [12] M. Khasanov, S. Kamel, J. Abdubannaev, F. Nazarov, A. Kurbanov, and U. Jalilov, "Optimal distribution network reconfiguration to minimization power loss", doi: 10.1051/e3sconf/202340205017.

- [13] S. Díaz *et al.*, “Electric power losses in distribution networks,” 2021.
- [14] A. M. Nassef, M. A. Abdelkareem, H. M. Maghrabie, and A. Baroutaji, “Review of Metaheuristic Optimization Algorithms for Power Systems Problems,” Jun. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su15129434.
- [15] Y. Chen, L. Gao, H. Zhang, R. Xu, and W. Ding, “Discrete firefly algorithm based distribution networks reconfiguration,” *Proceedings of the 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2016*, pp. 1045–1048, Oct. 2016, doi: 10.1109/ICIEA.2016.7603736.
- [16] K. Dharani Sree and P. Karpagavalli, “Enhancing the performance of power distribution systems through integrated network reconfiguration and distributed generation design,” *Knowl. Based. Syst.*, vol. 330, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.knosys.2025.114512.
- [17] J. Zhan, W. Liu, C. Y. Chung, and J. Yang, “Switch Opening and Exchange Method for Stochastic Distribution Network Reconfiguration,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 11, no. 4, pp. 2995–3007, Jul. 2020, doi: 10.1109/TSG.2020.2974922.
- [18] Y. Gao, W. Wang, J. Shi, and N. Yu, “Batch-Constrained Reinforcement Learning for Dynamic Distribution Network Reconfiguration,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 11, no. 6, pp. 5357–5369, Nov. 2020, doi: 10.1109/TSG.2020.3005270.
- [19] B. Wang, H. Zhu, H. Xu, Y. Bao, and H. DI, “Distribution Network Reconfiguration Based on NoisyNet Deep Q-Learning Network,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 90358–90365, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3089625.
- [20] A. Aguila and J. Wilson, “Technical and Economic Assessment of the Implementation of Measures for Reducing Energy Losses in Distribution Systems,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012018, Jul. 2017, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012018.
- [21] B. S. Chabok and A. Ashouri, “Optimal Placement of D-STATCOMs into the Radial Distribution Networks in the Presence of Distributed Generations,” *American Journal of Electrical and Electronic Engineering, Vol. 4, 2016, Pages 40-48*, vol. 4, no. 2, pp. 40–48, Mar. 2016, doi: 10.12691/AJEEE-4-2-1.

6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 4. Matriz de estado del arte de la reconfiguración óptima de las redes de distribución.

RECONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVAS MEDIANTE EL ALGORITMO DE LUCIÉRNAGAS FA Y SU COMPARACIÓN CON EL ALGORITMO GENÉTICO GA.																				
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Reconfiguración óptima de redes de distribución "Estado del Arte"	Optimización de redes de distribución eléctrica	Aplicación de algoritmos metaheurísticos en sistemas eléctricos de potencia	Reducción de pérdidas de potencia activa en sistemas	Reconfiguración de Sistema Eléctrico	Sobrecarga de líneas de distribución	Perfil de voltaje deficiente	Operación ineficiente del sistema	Presencia de armónicos en la red	Límites térmicos de las líneas	Factor de potencia	Algoritmo de Fuegos Artificiales (FWA)	Optimización por Enjambre de Partículas (PSO)	Recocido Simulado (SA)	Optimizador del Lobo Gris (GWO)	Algoritmo de Luciérnagas Firefly Algorithm (FA)	Algoritmo Genético Genetic Algorithm (GA)
1	2025	Optimization of distribution network reconfiguration for power loss minimization using GOA.	7	<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 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"/>
2	2025	Distribution Network Reconfiguration using Cuckoo Search Algorithm.	5	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2024	Distribution Network Reconfiguration for Energy Loss Minimization by Swarm Intelligence Algorithms with Shrinking Encircling Behavior.	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2024	Optimization of Distribution Network Reconfiguration using Various Algorithms for Power Loss Minimization.	10	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2022	Distribution Network Reconfiguration for reliability Enhancement via Genetic Algorithm approach.	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	2019	Distribution Network Reconfiguration Using Selective Firefly Algorithm and a Load Flow Analysis Criterion for Reducing the Search Space.	71	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
7	2022	Improved Genetic Algorithm and Its Application in Electric Distribution Network Reconfiguration	5	<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"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

RECONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVAS MEDIANTE EL ALGORITMO DE LUCIÉRNAGAS FA Y SU COMPARACIÓN CON EL ALGORITMO GENÉTICO GA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA	
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Reconfiguración óptima de redes de distribución "Estado del Arte."	Optimización de redes de distribución eléctrica	Aplicación de algoritmos metaheurísticos en sistemas eléctricos de potencia	Reducción de pérdidas de potencia activa en sistemas	Reconfiguración de Sistema Eléctrico	Sobrecarga de líneas de distribución	Perfil de voltaje deficiente	Operación ineficiente del sistema	Presencia de armónicos en la red	Límites térmicos de las líneas	Factor de potencia	Algoritmo de Fuegos Artificiales (FWA)	Optimización por Enjambre de Partículas (PSO)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Recocido Simulado (SA)	Optimizador del Lobo Gris (GWO)	Algoritmo de Luciérnagas Firefly Algorithm (FA)	Algoritmo Genético Genetic Algorithm (GA)
8	2024	Reconfiguración de redes eléctricas de distribución mediante el algoritmo de recocido simulado	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
9	2024	Reconfiguration of electrical distribution networks using the simulated annealing algorithm.	5	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	2025	Resilient Distribution System Reconfiguration Based on Genetic Algorithms Considering Load Margin and Contingencies.	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2025	A novel dynamic reconfiguration approach for active distribution networks with soft open points and energy storage systems.	5	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2023	Optimal placement of dg units and network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement in distribution network.	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	2011	Electric power losses in distribution networks.	10	<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 checked="" 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"/>
14	2023	Review of Metaheuristic Optimization Algorithms for Power Systems Problems.	106	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RECONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVAS MEDIANTE EL ALGORITMO DE LUCIÉRNAGAS FA Y SU COMPARACIÓN CON EL ALGORITMO GENÉTICO GA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Reconfiguración óptima de redes de distribución "Estado del Arte".	Optimización de redes de distribución eléctrica	Aplicación de algoritmos metaheurísticos en sistemas eléctricos de potencia	Reducción de pérdidas de potencia activa en sistemas	Reconfiguración de Sistema Eléctrico	Sobrecarga de líneas de distribución	Perfil de voltaje deficiente	Operación ineficiente del sistema	Presencia de armónicos en la red	Límites técnicos de las líneas	Factor de potencia	Algoritmo de Fuegos Artificiales (FWA)	Optimización por Enjambre de Partículas (PSO)	Recocido Simulado (SA)	Optimizador del Lobo Gris (GWO)	Algoritmo de Luciérnagas Firefly Algorithm (FA)	Algoritmo Genético Genetic Algorithm (GA)
15	2016	Discrete firefly algorithm based distribution networks reconfiguration.	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	2025	Enhancing the performance of power distribution systems through integrated network reconfiguration and distributed generation design.	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<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"/>
17	2019	Switch Opening and Exchange Method for Stochastic Distribution Network Reconfiguration.	140	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	2019	Batch-Constrained Reinforcement Learning for Dynamic Distribution Network Reconfiguration	142	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	2020	Switch Opening and Exchange Method for Stochastic Distribution Network Reconfiguration.	140	<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 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"/>
20	2017	Technical and Economic Assessment of the Implementation of Measures for Reducing Energy Losses in Distribution Systems	15	<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 checked="" 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"/>
21	2016	Optimal Placement of D-STATCOMs into the Radial Distribution Networks in the Presence of Distributed Generations	2	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			TOTAL	4	10	17	7	6	13	2	3	6	1	9	2	6	3	5	6	4

6.2 Resumen de Indicadores

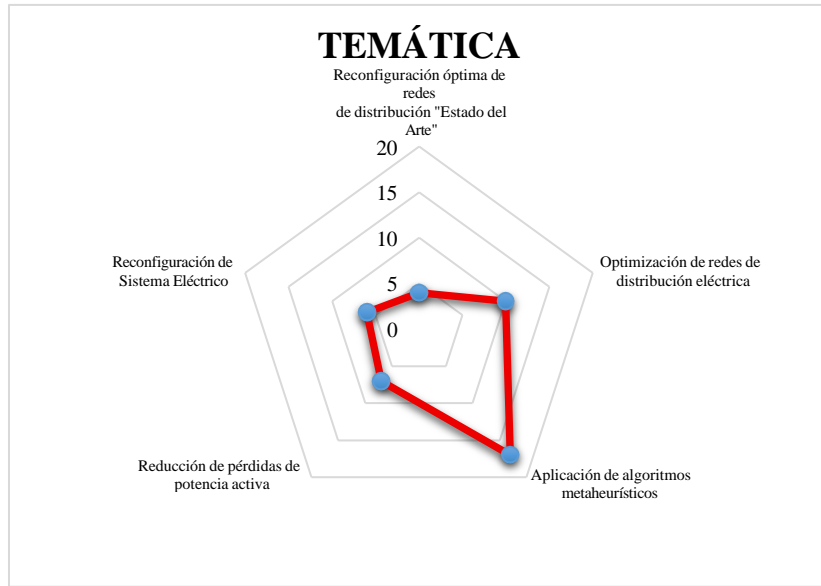


Figura 20. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.



Figura 21. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

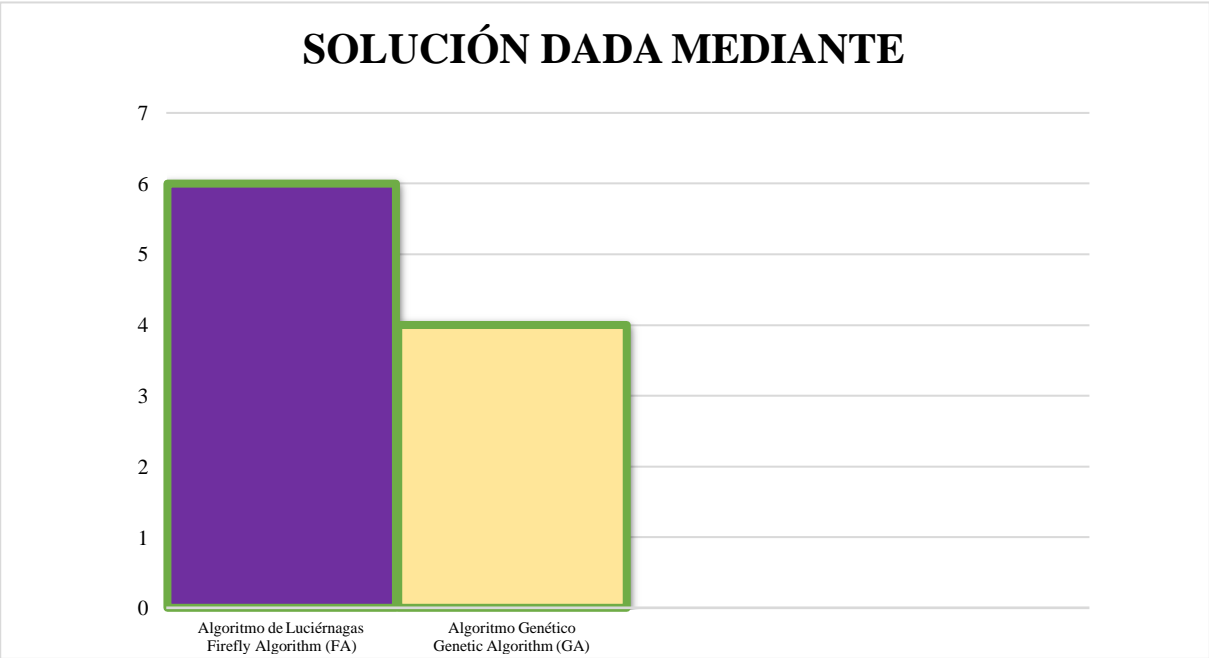


Figura 22. Indicador de solución - Estado del arte.

7 Anexos

Datos de líneas del sistema eléctrico IEEE 30 barras

Tabla 5. Datos de líneas del sistema IEEE de 30 Barras.

Datos de Líneas				
Nº Línea	Bus inicial	Bus final	R [ohm]	X [ohm]
1	1	2	0,2788	0,0015
2	1	28	0,2788	0,0015
3	2	3	0,4438	0,4391
4	3	4	0,8639	0,7512
5	3	22	0,4438	0,4391
6	4	5	0,8639	0,7512
7	5	6	1,3738	0,7739
8	6	7	1,3738	0,7739
9	6	18	0,8639	0,7512
10	6	21	0,8639	0,7512
11	7	8	1,3738	0,7739
12	8	9	1,3738	0,7739
13	8	15	0,8639	0,7512
14	9	10	1,3738	0,7739
15	10	11	1,3738	0,7739
16	11	12	1,3738	0,7739
17	12	13	1,3738	0,7739
18	13	14	1,3738	0,7739
19	15	16	1,3738	0,7739
20	16	17	1,3738	0,7739
21	18	19	0,8639	0,7512
22	19	20	1,3738	0,7739
23	22	23	0,4438	0,4391
24	23	24	0,8639	0,7512
25	24	25	0,8639	0,7512
26	25	26	0,8639	0,7512
27	26	27	1,3738	0,7739
28	28	29	0,2788	0,0148
29	29	30	1,3738	0,7739