

**ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN
DISTRIBUIDA USANDO MICRO TURBINAS**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN
DISTRIBUIDA USANDO MICRO TURBINAS**

**AUTOR:
JIMMY RAFAEL ZAMBRANO HERRERA**

**TUTOR:
JUAN ALBERTO BUCHELI ÁVILA**

Quito, enero 2019

Jimmy Rafael Zambrano Herrera

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA USANDO MICRO TURBINAS

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2019

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto:



Jimmy Rafael Zambrano Herrera (Y'1989-M'01). Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional Mixto "Santo Domingo de los Colorados" en la especialidad de Físico Matemáticas. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el Despliegue de Redes de Distribución con la instalación de Generación Distribuida con el uso hídrico.

jzambranoh@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Juan Alberto Bucheli Ávila (Y'1960-M'01). Se graduó de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana y Magister en Gestión de Energías en la Universidad Técnica del Cotopaxi. Actualmente se desempeña como Docente titular auxiliar nivel 1 en la Universidad Politécnica Salesiana. Áreas de interés: Energía eólica, Energía renovable, Máquinas eléctricas, Generación distribuida, Energía fotovoltaica.

jbucheli@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.

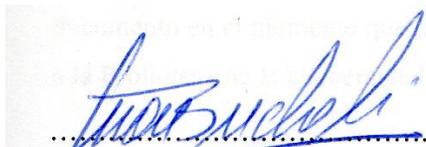
DERECHOS RESERVADOS

©2019 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Juan Alberto Bucheli Ávila declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*Óptimo Despliegue de Redes de Distribución con Generación Distribuida usando Micro Turbinas*” realizado por Jimmy Rafael Zambrano Herrera, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., enero 2019



Juan Alberto Bucheli Ávila
C.C.:1706576210

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, JIMMY RAFAEL ZAMBRANO HERRERA, con documento de identificación N° 1722915319, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA USANDO MICRO TURBINAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Jimmy Rafael Zambrano Herrera

C.C.: 1722915319

Fecha: Quito, enero 2019

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	1
Abstract	1
1. Introducción	2
2. Marco Teórico	3
2.1 Integración de Generación Distribuida	3
2.2 Redes de Distribución	5
2.3 Micro Turbinas Hídricas.....	5
2.4 Árbol de Expansión Mínima	6
2.5 Técnica de Clusterización	6
3. Planteamiento del Problema.....	7
4. Análisis de Resultados	10
4.1 Análisis Despliegue Primer Escenario	10
4.2 Condiciones Nominales	10
4.3 Análisis Despliegue Segundo Escenario.....	11
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	12
5.1 Recomendaciones	13
6. Referencias Bibliográficas	13
7. Estado del Arte	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Despliegue Óptimo de Redes de Distribución con Generación Distribuida.....	3
Figura 2. Escala Geométrica de la Estructura.....	6
Figura 3. Flujograma K-Means.....	7
Figura 4. Diagrama de Nodos de Generación.....	7
Figura 5. Ubicación de Nodos de Generación Geo-referenciados.....	7
Figura 6. Despliegue de Nodos de Generación.....	10
Figura 7. Costos en el Despliegue de RD.....	11
Figura 8. Potencia Activa sin Nodos de Generación.....	11
Figura 9. Potencia Activa con Nodos de Generación.....	11
Figura 10. Nuevo Esquema Segundo Escenario.....	12
Figura 11. Despliegue de Nodos de Generación.....	12
Figura 12. Costos en el Despliegue de RD.....	12
Figura 13. Potencia Activa sin Nodos de Generación.....	12
Figura 14. Potencia Activa con Nodos de Generación.....	12
Figura 15. Diagrama de Tendencia de la Temática.....	21
Figura 16. Formulación del Problema.....	21
Figura 17. Solución del Problema.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Centrales de Pequeña Escala	4
Tabla 2. Características de Generación Distribuida	4
Tabla 3. Rango de Operación de GD por su tamaño	4
Tabla 4. Escala de Caudales	6
Tabla 5. Notaciones.....	9
Tabla 6. Valores Nodos de Generación Caso 1	10
Tabla 7. Valores Nodos Generación Segundo Escenario	11
Tabla 8. Matriz de Estado del Arte.....	20

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA USANDO MICRO TURBINAS

Resumen

El documento muestra el método para resolver problemas de Despliegue de Redes de Distribución (RD) con Generación Distribuida (GD), debido al continuo crecimiento urbanístico que genera inconvenientes en la planificación de las mismas, la solución del despliegue óptimo considera minimizar costos de conectividad reduciendo las pérdidas de tensión con la incorporación de GD. Se usa la heurística k-means para dividir a los usuarios, luego mediante el análisis de las distancias mínimas se logra generar las rutas óptimas para las redes con el uso de árbol mínimo de expansión de Steiner Tree (MST), permitiéndonos unir la GD mediante un despliegue óptimo en un sistema radial.

En este trabajo nos enfocamos en determinar la ruta óptima de las redes considerando los aspectos técnicos y económicos, reduciendo costos por despliegue y mejorando la confiabilidad del sistema. Se propone una solución al despliegue óptimo de redes de distribución con generación distribuida minimizando distancia y reduciendo costos en nuevas RD, además la heurística fue desarrollada con el simulador MATLAB, considerando un sistema de 7 nodos de generación aleatorios en un plano XY.

Palabras Clave: Redes de Distribución (RD), Generación Distribuida (GD), Steiner Tree, Óptima, Clusterización.

Abstract

This document shows the method to solve Distribution Network Deployment (DND) with Distributed Generation (DG), because of the constant urban increase that generates inconvenients in the process of planning the solution of the optimum deployment considers to minimize the connectivity costs reducing the pension losses with the GD incorporation. It is used the k-mean heuristic to divide users with the respective nodes, then through the analysis of minimal distances it is able to generate ideal routes to networks with the use of Steiner Tree's minimal expansion tree Alison is to connect the DG through an ideal deployment in a radial system.

In this paper work we focus in determining the optimum rout of networks thinking about the technical and economic aspects, reducing deployment costs and improving the system's trust. A distribution network to the optimum deployment is proposed with distributed generation minimizing distance and reducing costs in new RD, also heuristic was developed with the MATLAB simulator considering a 7 random generation nodes system in an XY plane.

Keywords: Distribution Network Deployment, Distributed Generation, Steiner Tree, Optimum, Clusterization.

1. Introducción

Para mejorar la estabilidad en las redes de distribución eléctrica, es necesario mejorar la matriz energética en el país, brindando calidad y confiabilidad del servicio eléctrico de forma continua, sin afectar al ambiente por el uso de combustibles fósiles en la generación, permitiendo la inclusión de Generación Distribuida (GD), para mejorar las Redes de Distribución (RD) [1]. Últimamente con el desarrollo mundial, cambios por el aumento en la demanda y la escasez de los combustibles fósiles, se implementa la generación eléctrica a pequeña escala cerca de los puntos de consumo, por ser económica y amigable con el ambiente, [2], [3]. Reduciendo los costos por la generación, mejorando la calidad de tensión y confiabilidad, ayudando a la reducción de emisiones y alivio de carga en la red eléctrica [4], [5]. El desarrollo de GD es un medio efectivo en la integración de energías renovables, su organización y la debida operación, deben alcanzar varios objetivos: reducir costos de implementación, minimizar pérdidas de potencia, permitiendo reducir la inversión de generación, mejorando la confiabilidad conectándose con voltajes a los niveles de distribución [6]–[8]. El desarrollo de las RD, la GD se convierte en preferencia al futuro [4], fijando una penetración más sólida de fuentes renovables de pequeña y mediana escala, conectándose al sistema de distribución o directamente a la carga, siendo las tecnologías más usadas: turbinas hídricas, turbinas eólicas, celdas fotovoltaicas, biomasa, celdas de combustible [9]–[12]. Con la incorporación de GD en el sistema de distribución se dan nuevos retos y oportunidades en la gestión de RD, encontrando caminos óptimos en el despliegue, despachando de manera eficiente la energía suministrando energía a la red [10]. La GD tiene libre acceso, que permite al sistema comportarse de manera estable, reduciendo los costos en transmisión, aumento en la capacidad de

transferencia para las RD, minimizando la carga de las mismas, generando un gran aporte al desarrollo energético, hoy en día la GD ha ido reemplazando ampliamente a la generación centralizada, siendo una gran opción para mejorar los niveles de energía en el sistema de distribución [13]–[16]. El diseño de RD se usa modelos matemáticos para resolver los problemas de despliegue de posibles rutas óptimas, por el aumento de puntos de demanda, los mismos que necesitan tiempos computacionales superiores, considerando el uso de heurísticas encontrando la solución óptima [17]. Para encontrar el óptimo despliegue de RD, se cuenta con varios métodos como una heurística basada en los Árbol de Expansión siendo una solución para un despliegue óptimo buscando caminos mínimos y conectando los nodos uno con otros, logrando minimizar los costos y obtener el árbol mínimo de Steiner [18], [19]. Además se conoce que el Árbol de Steiner tiene como objetivo encontrar un árbol de conexión con una longitud mínima, logrando reducir el costo en el despliegue encontrando la ruta más óptima en la RD [20], [21].

Al contar con la implementación de fuentes renovables se disminuye la contaminación al ambiente, además permitiendo descongestionar el sistema eléctrico y aumentando la rentabilidad en la distribución [22]–[24]. En la actualidad las Micro Turbinas (MT), nueva tecnología innovadora por su alta eficiencia [5], aprovechando el recurso renovable hídrico al mínimo costo en la instalación, las cuales se puede instalar en las cuencas de los ríos por estar sujeta a bajas fuerzas de caudales, impulsando a la zona urbana o usuarios fuera de la red, dotando de energía de forma ilimitada. Las turbinas hídricas usan el principio natural del vórtice (flujo turbulento en rotación espiral) con gran eficiencia, siendo la turbina la única parte móvil, su costo de mantenimiento son mínimos por la ausencia de partes móviles, fácil de

reparar y no requieren de gran conocimiento, siendo una alternativa

verde en la generación de energía [10], [25], [26].



Figura 1. Despliegue Óptimo de Redes de Distribución con Generación Distribuida.

En [8] se analiza la ubicación de GD con el método de k-means siendo una técnica de clusterización para considerar el crecimiento en la demanda de un sector evitando el congestionamiento en la red ya existente, obteniendo la ubicación de la GD.

En [27] se emplea el algoritmo de Branch and Bound formando rutas de RD con criterios económicos y técnicos, al mínimo costo mediante una programación no lineal entera mixta MINLP. En [28] se despliega una heurística de árboles de distribución, cerca del comportamiento del análisis de los árboles mínimos de expansión de Steiner (MST) [29]–[31]. En [32] se presenta un algoritmo tomando los MST en la planeación óptima de la RD, reduciendo el tiempo de los cálculos, garantizando una solución factible.

En esta investigación se propone un despliegue encontrando la ruta óptima para RD, mediante los arboles de Steiner Tree, delimitando los parámetros técnicos y económicos con un mínimo óptimo mediante una búsqueda inteligente.

2. Marco Teórico

En el estudio para el despliegue de Redes de Distribución y la reducción de costos se considera el uso de heurísticas, sabiendo que son algoritmos que aproximan la solución de un problema, como método para tener un despliegue óptimo en un sistema de nodos de generación teniendo rutas óptimas en su conexión.

2.1 Integración de Generación Distribuida

Los sistemas de GD son más conocidos también como generación descentralizada, es el proceso de generación y distribución eléctrica a pequeña y mediana escala de tipo renovable y convencional, estando cerca de las cargas y conectándose paralelamente, reduciendo las pérdidas y costos en la RD, mejorando los niveles de calidad del servicio, adaptándose al sistema de distribución sus tamaños pueden variar de 5kW-100MW [10]–[12].

Las hidroeléctricas pequeñas y grandes son las principales fuentes de generación eléctrica renovable proveyendo más del 15% de energía en el mundo [33], la

energía a pequeña escala se diferencia de la centralizada por su generación menor de 10 MW, como se muestra en la Tabla 1 [11].

Tabla 1. Tipos de Centrales de Pequeña Escala

Tipo de Hidráulicas	Generación
Pico Hidráulica	< 5 kW
Micro Hidráulica	< 100 kW
Mini Hidráulica	< 1000 kW
Pequeña Hidráulica	< 10.000 kW

Con una adecuada planificación de GD se logra aumentar la confiabilidad del sistema, mejorando su rendimiento y reduciendo los costos en la entrega de energía, además se puede regular con los sistemas de almacenamiento para brindar una mayor flexibilidad de suministro adicional, modificando las características en los sistemas de distribución de esta forma se aprovecha los recursos renovables, para el consumo o venta de energía a las distribuidoras dando paso a escenarios eficientes y confiables [8], [10], [34].

La ubicación de GD tiene distintos impactos al sistema, puede ayudar como también perjudicar la calidad de voltaje, así como disminuir o aumentar las pérdidas por el sentido del flujo de potencia y su ubicación, esto es muy importante para las pérdidas y la calidad del voltaje, garantizando un buen rendimiento en la distribución [14], [35].

Es un gran apoyo en el sistema por lo que se reduce la implementación de más líneas de transmisión y distribución; dotando mayor seguridad en el servicio eléctrico. Las tecnologías usadas pueden ser: micro turbinas hídras, eólica, turbinas a gas, sistemas fotovoltaicos, con diferentes tipos de potencias como se muestra en la tabla 2 [36].

Tabla 2. Características de Generación Distribuida

Tipo de Tecnología	Eficiencia (%)	Potencia Nominal
Micro turbina	14-30	30kW-400kW
Turbinas de Gas Natural	21-40	500kW-30Mw
Celda de Combustible	36-42	100-200kW
Celda Fotovoltaica	15	2kWp - Residencial 50kWp - Comercial 50kWp - Industrial
Generador Eólico	15-30	>5MW
Cogeneración	40-60	>20MW

Por otra parte permite solucionar más rápido los problemas ante cambios en la demanda, siendo un sistema que se agrega de forma inmediata [37]. En general, está conectada al sistemas de distribución, de forma principal para satisfacer las cargas donde se esté expandiendo la red o lugares alejados, su tamaño va a depender directamente de la potencia que se va a abastecer como observamos en la tabla 3, así como su localización [24], [37].

Tabla 3. Rango de Operación de GD por su tamaño

Tipo de Generación	Rango de Operación
Micro generación	< 5 kW
Mini generación	5 kW < 5 MW
Generación Media Escala	5 MW < 50 MW
Generación Gran Escala	50 MW < 300 MW

La incorporación de GD se puede aplicar de cuatro formas: aislada, soporte de la red, carga base y generación en horas pico, reduciendo el costo de energía mediante la incorporación de GD [11], [38], además permite que los flujos sean inversos y que la red ya no se comporte como un circuito pasivo pasando a ser un circuito activo, los flujos y tensiones se definen por la interacción de generación y carga [39], [40].

Este modelo de generación con el uso del recurso hídrico; permite aprovechar los caudales para la generación, considerando a la GD como soporte para la red [22], [38].

Además, habrá un cambio en el sistema, por el flujo de carga en ambas direcciones por la incorporación de GD a la red [5], que influye al incremento del nivel de voltaje en el sistema, al igual ayuda a reducir las pérdidas al minimizar las distancias en los puntos de generación.

2.2 Redes de Distribución

Los sistemas de distribución son los encargados de transportar la energía eléctrica a los sitios de carga, las RD generalmente se construyen como una red mallada [41]. La inversión y operación en los sistemas de distribución son sustanciales, así como un método eficaz en el diseño óptimo [32], la energía renovable se proyecta al futuro con dispositivos descentralizados y conectados a las RD, las mismas que disminuyen costos de infraestructura y pérdidas de distribución donde se consume [26], [42], la minimización de pérdidas de energía se debe considerar en la planeación y operación, las mismas que tienen importantes implicaciones técnicas y económicas, los niveles van a ser diferentes en cada país. Las pérdidas en RD se consideran el 10% de energía suministrada a la red como aceptable técnicamente. En varios países desarrollados llegan a alcanzar niveles que no exceden al 5%, sin embargo en el sector público el 10% es difícil de alcanzar en muchos países, llegando a tener niveles de pérdidas de un 15% [43]. Las RD operan con una configuración radial teniendo una coordinación segura en los esquemas de protección, reduciendo los niveles de fallas [44].

Debido al incremento en zonas urbanas, se genera inconvenientes a la planeación de nuevas RD, en los últimos tiempos se ha percibido a las redes tener un aumento en la demanda, con la incorporación GD

en pequeña escala se determina una ruta óptima en los sistemas de distribución [8], [45], siendo más eficientes, menor costos en la implementación y el uso de los recursos renovables: turbinas hídricas, sistemas fotovoltaicos, turbinas eólicas. En Tailandia este tipo de generación tiene una producción neta igual a 10MW, además en un sistemas de distribución radial hay que considerar que puede ocasionar una desconexión de algunos consumidores por sus componentes individuales [39].

2.3 Micro Turbinas Hídricas

En el avance tecnológico de las micro turbinas hídricas, siendo fuentes de generación energética con alta velocidad de rotación presentando grandes ventajas: pequeñas, electricidad a bajo costo, peso ligero, alta eficiencia, amigable con el ambiente; aprovechando los potenciales hídricos de poca altura y dotando de energía ilimitada, valiéndose de convertidores electrónicos de potencia confiables para el respectivo funcionamiento, la misma que puede conectarse a la red de distribución o directamente a la carga [10], [26], [36], [46].

Puede llegar a tener una producción de 15-100 kW, y gracias a su tamaño compacto se las puede usar en los diferentes caudales indicando la potencia que produce tabla 4, valiéndose de los vórtices que se originan figura 2 dotando de energía a pequeñas comunidades, se las puede usar para complementar con los sistemas fotovoltaicos, o instalar varias micro turbinas en serie aguas abajo permitiendo generar entre 3-20 MW, sin aumentar los costos operacionales de las Micro Hidroeléctricas, proporcionando energía limpia, confiable y accesible.

La Generación Distribuida con Micro Turbinas (GD-MT) pueden llegar a tener una eficiencia del 55%, resistente a los escombros por el espacio que existe entre los alabes permitiendo su paso, siendo una

alternativa verde y descentralizada de generación [26].

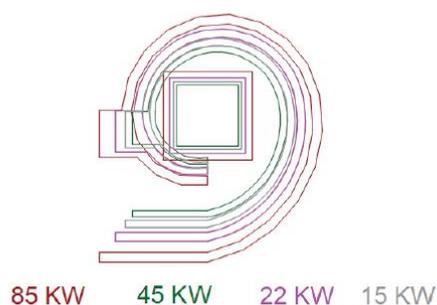


Figura 2. Escala Geométrica de la Estructura

Tabla 4. Escala de Caudales

Altura (M)	Caudal (m ³ /s)	Potencia (kW)
1.5 - 2	1.2 - 2	15
1.5 - 2.7	1.5 - 3.2	22
1.8 - 3.0	2.5 - 3.8	45
2.2 - 3	3.5 - 4.8	85

2.4 Árbol de Expansión Mínima

Un árbol de expansión mínima nos permite conectar todos los nodos de una red, determinando la rutas más cortas entre los nodos existentes logrando conectarse entre sí, para encontrar la interconexión más óptima, existen muchas aplicaciones que se relacionan, sabiendo que el algoritmo de árbol de expansión mínima es importante en la teoría de gráficos [32], cubriendo un gran conjunto con los mínimos elementos posibles, localizando la ruta más corta en la conexión de los diferentes elementos, al considerar un árbol de expansión se lograría minimizar costos en la RD para la conexión de GD [29], [30], [44], [47]. Se ha comprobado que puede resolver de manera eficaz la planificación óptima de las rutas con el uso del algoritmo, obteniendo resultados óptimos de costos mínimos totales ya sea locales como globales, en la construcción del árbol mínimo de expansión toma un nodo (vértice) como el principal, luego con el próximo vértice más cercano uniendo todos de esta manera al nodo principal [32].

2.5 Técnica de Clusterización

Los métodos jerárquicos y algoritmos de agrupación nos permiten encontrar resultados óptimos.

2.5.1 Steiner Tree

El método se presenta a las empresas distribuidoras, para mejorar la calidad en el servicio, mediante la ubicación de GD en lugares óptimos de la red [15]. El árbol de Steiner, una técnica de gráficos, existiendo muchas aplicaciones que se relacionan, sabiendo que el algoritmo de árbol de expansión mínimo (MST) es importante teoría de gráficos [32], cubriendo un gran conjunto con los mínimos elementos posibles, localizando la ruta más corta en la conexión para unir varios puntos, al considerar un MST se lograría minimizar costos en RD para la conexión de GD [29], [30], [44], [47].

Se ha comprobado que puede resolver de manera eficaz la planificación de las rutas, en la que se esté usando el algoritmo, obteniendo resultados óptimos de costos mínimos totales, tanto locales como globales [32].

2.5.2 K-Means

Los métodos por agrupación se los ha usado con gran éxito en los sistemas de distribución; ya sea para evaluar las pérdidas de energía, ubicación de unidades de medida fasoriales (PMU), o ubicación óptima de fuentes de GD [8]. La función es poder identificar los principales elementos comunes en un universo que pueden ser directas o indirectas [48], nos permite agrupar los objetos en serie de grupos k (número entero positivo), admitiendo la agrupación de elementos con las distancias mínimas y el centroide al conjunto que le corresponda [8].

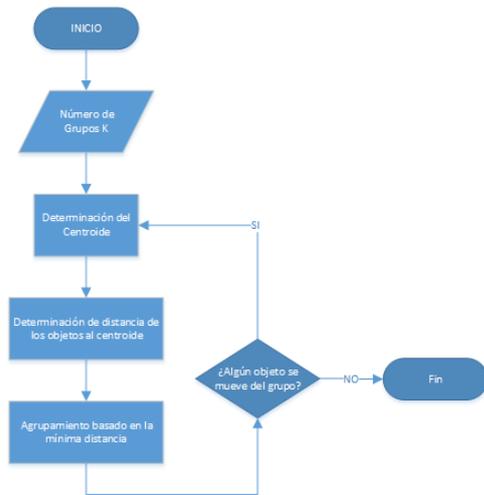


Figura 3. Flujograma K-Means

$$\min(E) = \min \left(\sum_{i=1}^K \sum_{x \in C_i} d(x, z_i) \right) \quad (1)$$

Donde:

z_i : Centro de los grupos C_i

$d(x, z_i)$: Distancia Euclidiana entre los puntos x y z_i .

Por tal razón, la función E minimizara la distancia con cada punto, considerando la distancia euclidiana [43].

3. Planteamiento del Problema

Debido al incremento de cargas, hoy en día el sistema eléctrico es afectado de forma directa, teniendo costos en el despliegue de nuevas RD, para lo cual se presenta nuevos métodos a las empresas distribuidoras para la incorporación de nuevos sistemas de distribución, la ecuación (1) nos permite efectuar un despliegue óptimo minimizando las distancias, permitiendo reducir los costos para el despliegue, se inicia con el primario de la subestación existe y los niveles de media tensión están en las medidas óptimas de calidad, cumpliendo las características técnicas establecidas por las distribuidoras. Permitiendo determinar el despliegue óptimo de RD con un sistema de nodos de generación,

usando los arboles mínimos de expansión; se reduce costos y pérdidas de tensión. Para poder realizar el despliegue se considera cuidadosamente criterios económicos y técnicos de forma que se pueda ubicar los nodos de generación en lugares donde el costo por el despliegue sea el mínimo mejorando la potencia en el sistema de distribución.

A continuación, para nuestro estudio se presenta la descripción de un sistema de distribución de 7 nodos de generación como se muestra en la figura 5.

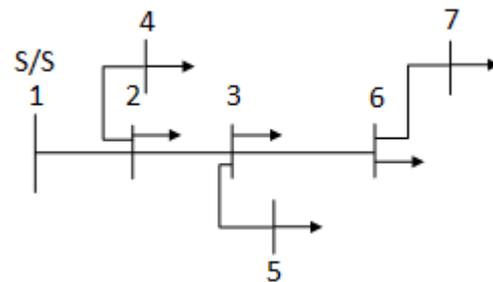


Figura 4. Diagrama de Nodos de Generación.

Además, en la figura 4 se presenta la ubicación de los nodos de generación teniendo un parque de generación micro hidráulico en un plano geo-referenciado, el mismo que va poder conectarse al sistema de distribución; ya sea como soporte o para mejorar los perfiles de tensión.

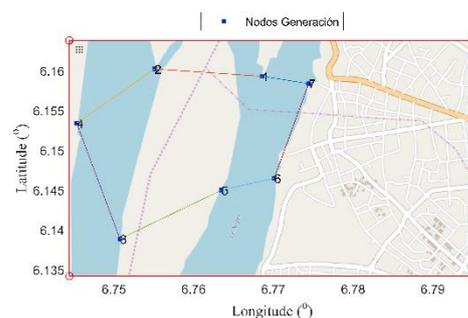


Figura 5. Ubicación de Nodos de Generación Geo-referenciados.

Partiendo de la hipótesis del crecimiento de usuarios y el incremento de cargas ecuación (2) en una zona urbana, se toma en consideración en un plano XY, ubicando los nodos de generación, diseñando un modelo genérico.

$$N = [x_i, y_j] \forall x_i \in [x_i, y_n] \wedge y_j [y_i, y_n] \quad (2)$$

Donde:

N : Cantidad de usuarios.

x_i : La i ésima coordenada del eje X.

y_j : La j ésima coordenada del eje Y

En cada nodo de generación están ubicados las micro turbinas, teniendo en cuenta los criterios técnicos y económicos para despliegue de las redes, minimizando la distancia y mejorando el servicio. Además se toma en consideración el factor de potencia en los transformadores de 0.8 para encontrar la carga equivalente por medio de la ecuación (4), teniendo en cuenta su valor eficaz en los transformadores que este conectados a los nodos [49].

$$K = \sqrt{\frac{L_1^2 * t_1 + L_2^2 * t_2 + \dots + L_u^2 * t_u}{t_1 + t_2 + \dots + t_u}} \quad (3)$$

$$K = \frac{1}{2} * \sqrt{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + L_4^2} \quad (4)$$

Donde:

K : Carga Equivalente o Valor Eficaz en una hora.

L_1, L_2, \dots, L_u : Pasos de Carga en % por unidad, en kVA reales.

$t_1, t_2 \dots t_u$: Duraciones respectivas de Cargas.

Para ubicar los nodos de generación óptima usamos la técnica de clusterización k-means, considerando la capacidad de cada nodo de generación, usando el siguiente Algoritmo 1 [15], obteniendo los 7 nodos de generación posibles donde se ubiquen las micro turbinas hidráulicas fijando en el plano XY permitiendo enrutar los 7 puntos de generación para nuestro estudio.

Algoritmo 1: Algoritmo k-means

Paso 1: Inicialización del centro de los clusters

$$u_i = \text{algún valor}; i = 1, 2, \dots, k$$

Paso 2: Selección centroide más cercano a cada elemento:

$$c_i = \{j: d(x_j, u_i) \leq d(x_j, u_l), l \neq i, j = 1, \dots, n\}$$

Paso 3: Establecer los elementos de cada cluster

$$u_i = \frac{1}{|c_i|} \sum_{j \in c_i} x_j, \forall i$$

Paso 4: Repetir desde los pasos 2 y 3 hasta converger

Paso 5: Visualización de resultados

Paso 6: Fin

Aplicando k-means como herramienta para el cálculo de distancias mínimas en el enrutamiento a menor distancia de la red, considerando las variables cuantitativas y la distancia euclidiana ecuación (5), diferenciando cada elemento, si tienen la mínima distancia cuadrática euclidiana e igual a un solo objeto, llegan a formar un clúster con un centroide, siendo el centro de las distancias menores de cada elemento del clúster.

$$d(x_i, x'_i) = \sum_{j=i}^p \|x_i - x'_i\|^2 \quad (5)$$

Donde:

$d(x_i, x'_i)$: Distancia cuadrática euclidiana.

x_i : punto inicial.

x'_i : punto final.

p : cantidad de usuarios a estudiar.

Las metodologías para seleccionar los clusters se puede elegir dos, partición aleatoria y el método Forgy. Las variables empleadas del modelo para el despliegue de RD con el uso de la heurística se pueden denotar en la Tabla 5.

Tabla 5. Notaciones

Símbolo	Descripción
N	Número de Usuarios
cap_maxtrafo	Potencia Nominal Transformador
cap_mred	Capacidad Generación (KW) Micro Red (mred)
pdbarra	Demanda del Nodo
cost_Trans	Costo Transmitir Energía
Cap_tot	Potencia Total Carga cada Nodo
Cap_Lt_mred	Potencia recibe cada nodo mred
Cost_tot	Costo Total Carga cada Nodo
Cost_mred	Costo Transmitido cada Nodo
Cost_t	Costo Energía Suministrado mred cada Nodo
Idx	Partición mred
C	Centro Agrupación K (localización la mred)
FP	Factor de Potencia

En el enrutamiento de las líneas de distribución se diseña el modelo de optimización mediante la heurística de Steiner Tree, localizando rutas más cortas de conexión disminuyendo los costos de implementación de la RD [44], [50].

Algoritmo 2: Ubicación óptima de los Nodos de Generación

Paso 1: Inicialización

K=1;

Paso 2: Entrada

N=7;
cap_maxtrafo (1, n);
cap_mred (1, n);
cost_Trans (1, n);
pdbarra (1, n);

Salida;

Idx;
C;

Paso 3: Clusterización (Ubicación -# de mred)

[idx, c]=k- means ([X, Y], k);

Paso 4: Restricciones (Si no cumple retorno paso 3)

for i=1 - # clúster(C)
da= # barras enlazada al clúster(i);
pdemanda=da*pdbarra(i)-cap_mred;
end_for

If Max(pdemanda)>Max(cap_maxtrafo) *0.9
j=0;
k=k+1;
Else contrario
break;
end_if

If k==3
break;
end_if

Paso 5: Visualización de resultados

Paso 4: Fin

Algoritmo 3 Despliegue Óptimo Steiner Tree

Paso 1: Inicialización

N=7;
cap_maxtrafo (1, n);
cap_mred (1, n);
cost_Trans (1, n);
pdbarra (1, n);
idx;
C;
FP;

Salida;

Cap_tot (1, n);
Cap_mred (1, n);
Cap_Lt_mred (1, n);
Cost_tot (1, n);
Cost_mred (1, n);
Cost_t (1, n);

Paso 2: Cálculo de la Distancia

for i
for j
dist (i, j) = sqrt((x)^2+(y) ^2);
end_for_j
end_for_i

If dist>1
Dist = inf;
end_if

If dist==0
Dist = inf;
end_if

Paso 3: Ruteo:

for i
di(i)=0;
[ruta, costo]=Steiner (dist, ini, dest);
for j
plot(x(ruta(j)), x(ruta(j))), [y(ruta(j)),
y(ruta(j+1))];
end_for_j
cost(i)=costo;

end_for_i

Paso 4: Capacidad

```
c_trafo=cap_maxtrafo *FP;  
Cap_tot=pdbarra / c_trafo;  
C_eqv_trafo= 0.5*sqrt (c_carga^2);
```

For i

```
Cap_Lt_mred= (pdbarra-cap_mred) /  
(sum(idx==i)*cap_maxtrafo);  
Cap_m=cap_mred/sum(idx==i);
```

End_for_i

```
Cost_tot= pdbarra(i)* cost_Trans;  
Cost_t= Cap_Lt_mred* cost_Trans;  
Cost_mred= Cap_m / sum(idx==i)
```

Paso 5: Visualización de resultados

Paso 6: Fin

4. Análisis de Resultados

El actual trabajo se enfoca en realizar el estudio para el despliegue de RD, con un sistema de nodos de generación, mostrando un modelo de optimización capaz de resolver el despliegue.

4.1 Análisis Despliegue Primer Escenario

Se analizó el escenario ubicando los 7 nodos de generación geo-referenciados, aplicando el algoritmo 2 se ubica las Micro Redes para la instalación de las MT. El modelo empleado realiza la búsqueda en el sistema de distribución radial encontrando la mejor ruta para el despliegue permitiendo mejorar: costos, potencia activa y vida útil, además tener mayor estabilidad en el sistema de distribución, minimizando las pérdidas y reduciendo la carga en el sistema, cumpliendo los requisitos del sistema de distribución del escenario ya mencionado anteriormente.

Una vez ubicados los nodos de generación dentro del plano geo-referenciado, se toma en consideración como un todo en base a nuestro estudio, aplicando el algoritmo (3), que nos

permite localizar la ruta óptima para el despliegue de RD, teniendo en cuenta la ubicación de la subestación principal donde estará conectadas las MT.

4.2 Condiciones Nominales

En la Tabla 5 se presenta los parámetros iniciales para cada uno de los nodos en nuestro caso 1 que aplicamos para valorar y exhibir los resultados de un despliegue.

Tabla 6. Valores Nodos de Generación Caso 1

Capacidad de Nodos Generación (KVA)	Demanda (KVA)	Capacidad Micro Red (KVA)
15	11	
20	16	
20	17	
15	13	5
20	15	
15	13	
20	16	

En la figura 6 se puede apreciar la ruta óptima en el despliegue de RD considerando el enrutamiento con la mínima distancia de la red, logrando minimizar el costo.

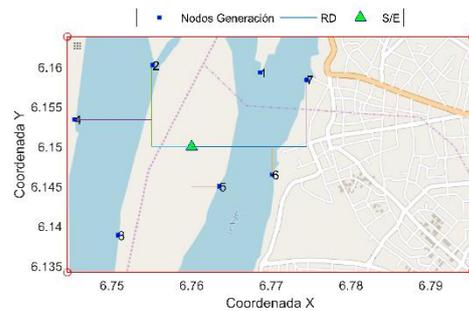


Figura 6. Despliegue de Nodos de Generación.

De forma preliminar simularemos el costo de la demanda que puede tener cada nodo de generación sin la incorporación de las MT, con el propósito de analizar los resultados que se logra de la simulación, se consigue validar que los costos de despliegue se logran minimizar como se muestra en la figura 7.

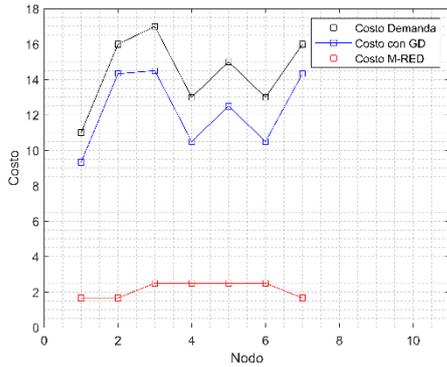


Figura 7. Costos en el Despliegue de RD.

Con la simulación de la curva de demanda los costos disminuyen al contar con un despliegue óptimo del parque de generación hídrico, minimizando las pérdidas generadas en cada nodo; mejorando la estabilidad del sistema, además se disminuye los costos en el despliegue al tener una ruta óptima.

4.2.1 Análisis de Carga en el Despliegue de RD

De la misma manera se observa la potencia en cada nodo de generación sin el despliegue en figura 8, antes de la incorporación de micro central, teniendo en cuenta que en algunos se pasa del límite de operación admisible, mostrando la capacidad de potencia activa en cada uno de los nodos.

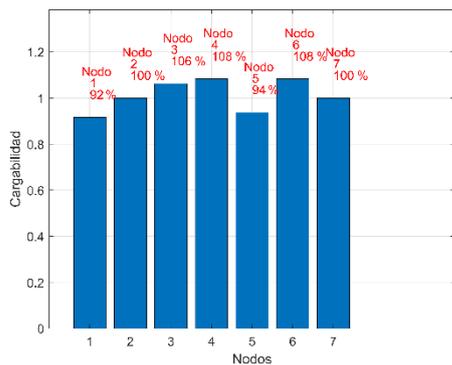


Figura 8. Potencia Activa sin Nodos de Generación.

Mientras que en la figura 9 se logra verificar por medio del despliegue óptimo y del ingreso de la micro central, se disminuye la potencia en cada uno de los nodos mejorando: perfiles de voltaje, vida útil, potencia activa; de esta manera se logra tener un mejor desempeño de la

micro central logrando disminuir el trabajo en cada nodo de generación teniendo un mayor desempeño en la micro central.

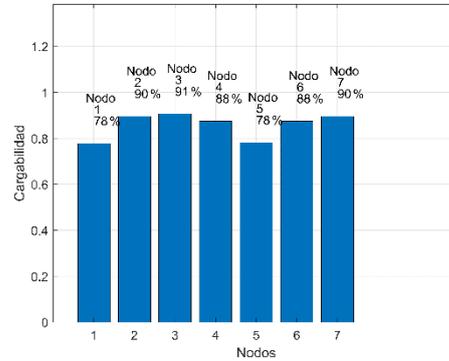


Figura 9. Potencia Activa con Nodos de Generación.

4.3 Análisis Despliegue Segundo Escenario

En un nuevo análisis se considera un nuevo esquema, en la Tabla 6 se presenta los parámetros a analizarse, que se aplica para valorar y exhibir los resultados en un nuevo despliegue.

Tabla 7. Valores Nodos Generación Segundo Escenario

Capacidad Nodos Generación (KVA)	Demanda Barra (KVA)	Capacidad Micro Red (KVA)
15	12	
20	15	
15	12	
15	14	4
20	16	
15	13	
20	14	

Para el análisis se tiene un nuevo sistema figura 10, ubicando las MT en un plano geo-referenciado mediante el cual se presenta un nuevo despliegue.

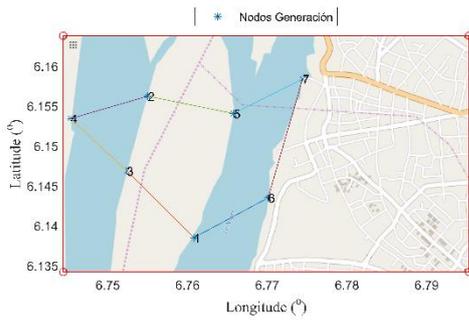


Figura 10. Nuevo Esquema Segundo Escenario

En la figura 11 se puede comprobar que al tener una nueva ubicación de las MT el algoritmo busca la ruta óptima para realizar el despliegue teniendo en cuenta las distancias y las rutas que va a tener la red de distribución para disminuir costos en la conexión de las MT.



Figura 11. Despliegue de Nodos de Generación

En la figura 12 se observa una simulación de costos de demanda y con el ingreso de la micro central se logra minimizar los costos de pérdidas con cada nodo de generación, así como también tener la mejor ruta de despliegue disminuyendo su costo en el tendido de la red.

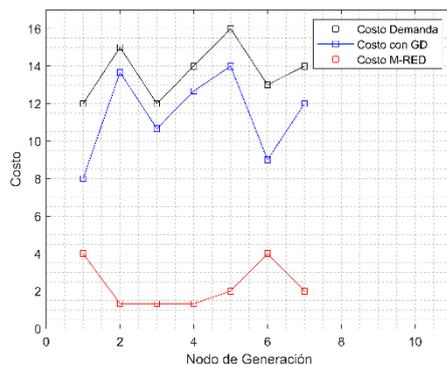


Figura 12. Costos en el Despliegue de RD

4.3.1 Análisis de Carga en el Despliegue de RD

En la figura 13 visualizamos la potencia de cada nodo generación sin el despliegue, mostrando como varía en cada uno de ellos, mostrando la capacidad en el sistema de distribución con mayor demanda.

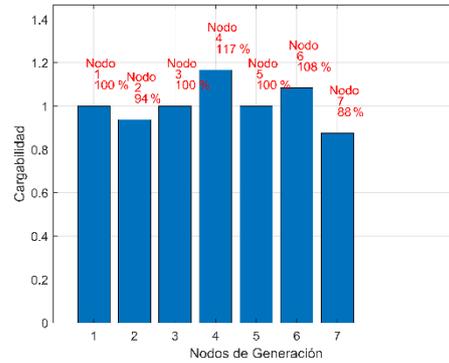


Figura 13. Potencia Activa sin Nodos de Generación

En la figura 14 observamos por medio del despliegue, se logra reducir la potencia que se producen en los nodos. Además, al contar con un despliegue de conexión con las MT se permite reducir las pérdidas que se generan minimizando los costos por el conductor, garantizando un mejor servicio en el sistema de distribución.

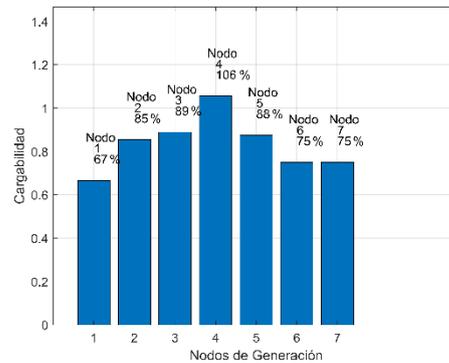


Figura 14. Potencia Activa con Nodos de Generación

5. Conclusión y Recomendación

En el algoritmo propuesto se encontró la ruta óptima para el despliegue de RD en el sistema de distribución con el mínimo costo a lo largo del sistema eléctrico, hallando una topología de árbol de expansión para enlazar todos los nodos de generación, reduciendo el costo por despliegue que se analiza para el sistema de la red de distribución. Con el óptimo

despliegue de RD para la conectividad de la GD-MT en el sistema de distribución, logrando minimizar los costos y distancias por el despliegue.

Al tener una mejor ruta para el despliegue de RD y con el uso de GD-MT en los sistemas de distribución, nos ayuda para implementar en el sistema de distribución o un autoconsumo residencial, reduciendo los perfiles de potencia en cada nodo de generación, minimizando los costos al contar con la ruta óptima para la incorporación de centros de GD-MT, abasteciendo la mayor cantidad de nodos. Además, con el uso de la heurística se integra para optimizar el despliegue de RD, y con la GD nos permite mejorar la confiabilidad y estabilidad del sistema de distribución, teniendo un ahorro económico y permitiendo aumentar la vida útil de los equipos.

Al contar con la ruta óptima de RD el sistema se logra comportar de forma más eficiente proviniendo de fuentes renovables, ayudando en la reducción de costos de construcción y operación de grandes sistemas de generación, ya que mediante el uso de GD-MT se las puede ubicar en lugares próximos a los usuarios mejorando sustancialmente la confiabilidad y estabilidad del sistema de distribución.

5.1 Recomendaciones

Con esta revisión se puede desarrollar trabajos posteriores en el despliegue de las redes de distribución, teniendo en consideración más restricciones.

- Se propone analizar el aumento de potencia para el ingreso en baja tensión y sus efectos en media tensión.
- Análisis del flujo de potencia en ambas direcciones considerando los niveles de voltajes del sistema y sus efectos al usuario final.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] D. P. Bernardon, A. P. C. Mello, L. L. Pfitscher, L. N. Canha, A. R. Abaide, and A. A. B. Ferreira, "Real-time reconfiguration of distribution network with distributed generation," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 107, pp. 59–67, Feb. 2014.
- [2] W. Qian, L. Jun, D. Jiandong, and T. Wangjing, "Analysis of the impact of distributed generation on grounding method of distribution network," *J. Eng.*, vol. 2017, no. 13, pp. 907–910, 2017.
- [3] L. I. Dulău, M. Abrudean, and D. Bică, "Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems," *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 681–686, 2014.
- [4] J. Li, X. Song, F. Gao, S. Zhao, and Y. Zhang, "Research on penetration of distributed generation considering fluctuation and load frequency characteristics," *J. Eng.*, vol. 2017, no. 13, pp. 2319–2323, 2017.
- [5] Meng Junxia, Guo Binqing, Liu Fuchao, and Du Peidong, "Study on power loss of distribution network with distributed generation and its reactive power optimization problem," in *2014 International Conference on Power System Technology*, 2014, no. 648, pp. 1213–1216.
- [6] H. Wang, L. Shi, and Y. Ni, "Distribution system planning incorporating distributed generation and cyber system vulnerability," *J. Eng.*, vol. 2017, no. 13, pp. 2198–2202, 2017.
- [7] X. Xu, K. Li, H. Jia, X. Yu, J. Deng, and Y. Mu, "Data-Driven Dynamic Modeling of Coupled Thermal and Electric Outputs of Microturbines," *IEEE Trans.*

- Smart Grid*, vol. 9, no. 2, pp. 1387–1396, Mar. 2018.
- [8] F. Scarlatache, G. Grigoras, G. Chicco, and G. Cartina, “Using k-means clustering method in determination of the optimal placement of distributed generation sources in electrical distribution systems,” in *2012 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, 2012, pp. 953–958.
- [9] K. . b Mahmoud, N. . Yorino, and A. . Ahmed, “Optimal Distributed Generation Allocation in Distribution Systems for Loss Minimization,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 2, pp. 960–969, 2016.
- [10] S. Grillo, S. Massucco, A. Morini, A. Pitto, and F. Silvestro, “Microturbine Control Modeling to Investigate the Effects of Distributed Generation in Electric Energy Networks,” *IEEE Syst. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 303–312, Sep. 2010.
- [11] D. A. Balaguera, A. F. Cortes, and M. A. Uruena, “Distributed generation scheme analysis, as an option for Bogota electrical system,” in *2012 IEEE International Symposium on Alternative Energies and Energy Quality (SIFAE)*, 2012, pp. 1–6.
- [12] L. Hongkai, X. Chenghong, S. Jinghui, and Y. Yuexi, “Green power generation technology for distributed power supply,” in *2008 China International Conference on Electricity Distribution*, 2008, no. 4, pp. 1–4.
- [13] F. Castillo, A. Aguila, and J. González, “Analysis of Stability of Tension and Losses of Electric Power in Distribution Networks with Distributed Generation,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 11, pp. 4491–4498, 2016.
- [14] M. Esmaili, E. C. Firozjaee, and H. A. Shayanfar, “Optimal placement of distributed generations considering voltage stability and power losses with observing voltage-related constraints,” *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1252–1260, Jan. 2014.
- [15] D. Carrión, Garcia E Marcelo, J. W. González, and G. J. López, “Método Heurístico de Ubicación Óptima de Centros de Transformación y Enrutamiento de Redes Eléctricas de Distribución,” no. January, pp. 90–96, 2017.
- [16] S. Daiva, G. Saulius, and A. Liudmila, “Energy Distribution Planning Models Taxonomy and Methods of Distributed Generation Systems,” *Energy Procedia*, vol. 107, no. September 2016, pp. 275–283, Feb. 2017.
- [17] L. Ortiz-Matos, A. Aguila-Tellez, R. C. Hincapié-Reyes, and J. . González-Sanchez, “Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012020, Jul. 2017.
- [18] A. Capone, D. Corti, L. Gianoli, and B. Sansó, “An optimization framework for the energy management of carrier ethernet networks with Multiple Spanning Trees,” *Comput. Networks*, vol. 56, no. 17, pp. 3666–3681, Nov. 2012.
- [19] A. Bouchachia and M. Prosegger, “A hybrid ensemble approach for the Steiner tree problem in large graphs: A geographical application,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 11, no. 8, pp. 5745–5754, Dec. 2011.
- [20] G. Robins and A. Zelikovsky, “Minimum Steiner Tree Construction*,” in *Handbook of*

- Algorithms for Physical Design Automation*, Auerbach Publications, 2008, pp. 487–508.
- [21] E. M. García, A. Águila, I. Isaac, J. W. González, and G. López, “Analysis of voltage profile to determine energy demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC),” *Proc. - 2016 51st Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2016*, vol. 2017–January, no. Mcmc, pp. 1–6, 2017.
- [22] A. Valenzuela, I. Montalvo, and C. Barrera-Singana, “Electrical vehicle: Facing future challenges in quito,” in *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*, 2017, pp. 1–6.
- [23] Z. Abdmouleh, A. Gastli, L. Ben-Brahim, M. Haouari, and N. A. Al-Emadi, “Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources,” *Renew. Energy*, vol. 113, pp. 266–280, Dec. 2017.
- [24] G. J. Correa-Henao and J. C. Rojas-Zerpa, “Marco de referencia para la planificación de generación distribuida en zonas no interconectadas,” *Iteckne*, vol. 14, no. 1, pp. 70–87, 2017.
- [25] P. Chiradeja, “Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis,” *2005 IEEE/PES Transm. & Distrib. Conf. & Expo. Asia Pacific*, pp. 1–5, 2005.
- [26] G. Slachmuylders and F. Vallaey, “Turbulent Website – Turbulent micro hydropower,” 2015. [Online]. Available: <https://www.turbulent.be/?lang=es>. [Accessed: 23-Apr-2018].
- [27] M. J. Rider, A. V. Garcia, and R. Romero, “Transmission system expansion planning by a branch-and-bound algorithm,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 2, no. 1, p. 90, 2008.
- [28] V. Parada, J. A. Ferland, M. Arias, P. Schwarzenberg, and L. Vargas, “Heuristic Determination of Distribution Trees,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 2, pp. 861–869, Apr. 2010.
- [29] T. D. Sudhakar, “Power Restoration in Distribution Network Using MST Algorithms,” in *New Frontiers in Graph Theory*, InTech, 2012.
- [30] E. Inga, D. Carrion, A. Aguila, E. Garcia, R. Hincapie, and J. W. Gonzalez, “Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System based on MST Algorithm,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 5, pp. 2264–2270, May 2016.
- [31] A. Nagarajan and R. Ayyanar, “Application of Minimum Spanning Tree algorithm for network reduction of distribution systems,” in *2014 North American Power Symposium (NAPS)*, 2014, pp. 1–5.
- [32] Y. Li and X. Chang, “A MST-based and new GA supported distribution network planning,” in *2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 2011, pp. 2534–2538.
- [33] D. Biner, V. Hasmatuchi, F. Avellan, and C. Munch-Alligne, “Design & performance of a hydraulic micro-turbine with counter-rotating runners,” in *2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, 2015, pp. 1–10.
- [34] D. Carrión and L. Ortiz, “Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos,” *Ingenius*, vol. 10, no. 10, pp. 44–48, Dec. 2013.
- [35] V. Villa and A. Águila, “Óptima

- Gestión Y Regulación De Voltaje En Microredes De Distribución Con Generación Distribuida Y Almacenamiento De Energía.,” 2017.
- [36] F. M. González-longatt, “Tecnologías de Generación Distribuida : Costos y Eficiencia,” 2004.
- [37] J. Driesen and R. Belmans, “Distributed Generation: Challenges and Possible Solutions,” *2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, p. 8 pp., 2006.
- [38] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D’haeseleer, “Distributed generation: definition, benefits and issues,” *Energy Policy*, vol. 33, no. 6, pp. 787–798, Apr. 2005.
- [39] N. Sabpayakom and S. Sirisumrannukul, “Power Losses Reduction and Reliability Improvement in Distribution System with Very Small Power Producers,” *Energy Procedia*, vol. 100, no. September, pp. 388–395, Nov. 2016.
- [40] J. Inachonta and A. Águila, “Óptimo Flujo De Potencia Reactiva En Redes Eléctricas De Distribución Con Generación Distribuida,” 2017.
- [41] T. D. Sudhakar and K. N. Srinivas, “Power system reconfiguration based on Prim’s algorithm,” in *2011 1st International Conference on Electrical Energy Systems*, 2011, no. i, pp. 12–20.
- [42] F. Castillo and A. Águila, “Análisis de estabilidad de tensión en redes de distribución con generación distribuida,” 2016.
- [43] G. Grigoros, G. Cartina, and F. Rotaru, “Using K-Means Clustering Method in Determination of the Energy Losses Levels from Electric Distribution Systems,” *Math. METHODS Comput. Tech. Electr. Eng.*, pp. 52–56, 2012.
- [44] D. P. Montoya and J. M. Ramirez, “A minimal spanning tree algorithm for distribution networks configuration,” in *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2012, pp. 1–7.
- [45] A. Águila Téllez, G. López, I. Isaac, and J. W. González, “Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review,” *Heliyon*, vol. 4, no. 8, 2018.
- [46] R. Perez, A. Aguila, and C. Vasquez, “Classification of the status of the voltage supply in induction motors using Support Vector Machines,” *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2016–July, 2016.
- [47] M. A. Rios and O. Gomez, “Identification of coherent groups and PMU placement for inter-area monitoring based on graph theory,” in *2011 IEEE PES CONFERENCE ON INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES LATIN AMERICA (ISGT LA)*, 2011, pp. 1–7.
- [48] D. Carrion, E. Inga, J. W. Gonzalez, and R. Hincapie, “Optimal geographical placement of phasor measurement units based on clustering techniques,” in *2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2016, pp. 1–6.
- [49] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, “GTC 50.Transformadores de distribución sumergidos en líquido refrigerante con 65 °C de calentamiento en los devanados.

- Guía de cargabilidad,” p. 34, 1997.
- [50] A. Cárcamo-Gallardo, L. García Santander, and J. E. Pezoa, “RECONFIGURACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA TENSIÓN BASADA EN EL ALGORITMO DE PRIM,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 15, no. 1, pp. 83–91, Apr. 2007.

7. Estado del Arte

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA USANDO MICROTURBINAS.																													
ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACION DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Generación Distribuida	Óptima Localización	Incorporación de GD	Minimun Steiner Tree	Sistemas de Distribución	Despliegue Redes de Distribución	Localización de GD	Energía Suministrada con GD	Minimización Perdidas	Despliegue de Redes de Distribución	Impacto sobre la Red	Topología del Sistema GD	Despliegue Óptimo	Frecuencia	Niveles de Potencia	Tecnico-Costos	Óptima Ubicación de GD	Programación Dinamica	Algoritmo de Optimización	Modelo Matemático	Ubicación óptima de GD	Despliegue Óptimo	Aprovechamiento de Energía	Árbol de Expansión	Estabilidad de Voltaje	
1	2016	Analysis of Stability of Tension and Losses of Electric Power in Distribution Networks with Distributed Generation	3	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
2	2017	Analysis of the Impact of Distributed Generation on Grounding Method of Distribution Network	0	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒
3	2005	Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis	0	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒
4	2001	Distributed generation: a definition	2506	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒
5	2005	Distributed generation: Definition, benefits and issues	1408	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒
6	2012	Distributed Generation Scheme Analysis, as an Option for Bogota Electrical System	4	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒
7	2017	Distribution system planning incorporating distributed generation and cyber system vulnerability	0	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐
8	2006	Distributed Generation: Challenges and Possible Solutions	220	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
9	2014	Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems	40	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒
10	2017	Electrical Vehicle: Facing Future Challenges in Quito	1	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
11	2017	Energy Distribution Planning Models Taxonomy and Methods of Distributed Generation Systems	0	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA USANDO MICROTURBINAS.																										
12	2013	Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos	1	✗	□	✗	□	□	□	□	✗	□	□	✗	□	□	□	✗	□	✗	□	✗	□	✗	□	✗
13	2008	Green Power Generation Technology for Distributed Power Supply	14	✗	□	□	□	✗	□	□	✗	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	✗	□	✗	□	✗
14	2017	Marco de referencia para la planificación de generación distribuida en zonas no interconectadas	2	✗	✗	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	✗
15	2016	Optimal Distributed Generation Allocation in Distribution Systems for Loss Minimization	63	□	□	✗	□	✗	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	□
16	2014	Optimal Placement of Distributed Generations Considering Voltage Stability and Power Losses with Observing Voltage-Related Constraints	72	✗	□	□	□	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗
17	2014	Real-time reconfiguration of distribution network with distributed generation	54	✗	□	✗	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
18	2017	Research on Penetration of Distributed Generation Considering Fluctuation and Load Frequency Characteristics	0	✗	□	✗	□	□	□	✗	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
19	2012	Using K-Means Clustering Method in Determination of the Energy Losses Levels from Electric Distribution Systems	5	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
20	2017	Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources	16	✗	✗	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
21	2014	Study on Power Loss of Distribution Network with Distributed Generation and its Reactive Power Optimization Problem	1	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
22	2004	Tecnologías de Generación Distribuida : Costos y Eficiencia	3	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
23	2018	Data-driven dynamic modeling of coupled thermal and electric outputs of microturbines	1	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
24	2010	Microturbine control modeling to investigate the effects of distributed generation in electric energy networks	25	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
25	2011	A MST-Based and New GA Supported Distribution Network Planning	5	□	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
26	2014	Application of Minimum Spanning Tree Algorithm for Network Reduction of Distribution Systems	7	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
27	2010	Heuristic Determination of Distribution Trees	10	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
28	2017	Método Heurístico de Ubicación Óptima de Centros de Transformación y Enrutamiento de Redes Eléctricas de Distribución	4	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
29	2016	Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System Based on MST Algorithm	5	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
30	2016	Power Losses Reduction and Reliability Improvement in Distribution System with Very Small Power Producers	3	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
31	2012	Power Restoration in Distribution Network Using MST Algorithms	8	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA USANDO MICROTURBINAS.																												
32	2007	Reconfiguración de Redes Eléctricas de Media Tensión Basada en el Algoritmo de PRIM	11	<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"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	2008	Transmission System Expansion Planning by a Branch-and-Bound Algorithm	31	<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 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"/>	
34	2012	A Minimal Spanning Tree Algorithm for distribution networks configuration	10	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35	2011	Identification of Coherent Groups and PMU placement for Inter-Area Monitoring Based on Graph Theory	12	<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"/>	<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"/>	
36	2016	Optimal Geographical Placement of Phasor Measurement Units based on Clustering Techniques	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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 type="checkbox"/>	
37	2011	Power system reconfiguration based on Prim's algorithm	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<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"/>	
38	2014	Using Clonal Selection Algorithm to Optimal Placement with Varying Number of Distributed Generation Units and Multi Objective Function	0	<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 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"/>	
39	2007	Using k-Means Clustering Method in Determination of the Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Electrical Distribution Systems	4	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
40	2012	An optimization framework for the energy management of carrier ethernet networks with multiple spanning trees	13	<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"/>	<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"/>	
41	2011	A hybrid ensemble approach for the Steiner tree problem in large graphs: A geographical application	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<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"/>	
42	2008	Minimum steiner tree construction	20	<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"/>	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
43	2015	Design and performance of a hydraulic micro-turbine with counter-rotating runners	2	<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"/>	<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"/>	
44	2016	Classification of the status of the voltage supply in induction motors using Support Vector Machines	3	<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 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"/>	
45	2016	Analysis of voltage profile to determine energy demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC)	2	<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"/>	<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"/>	
46	2018	Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review	1	<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 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"/>	
47	2016	Análisis de estabilidad de tensión en redes de distribución con generación distribuida	4	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
48	2017	Óptima gestión y regulación de voltaje en microredes de distribución con generación distribuida y almacenamiento de energía	2	<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"/>	<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"/>	
49	2017	Óptimo flujo de potencia reactiva en redes eléctricas de distribución con generación distribuida.	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<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"/>	
50	2017	Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method	3	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	
CANTIDAD:				25	9	16	13	16	2	11	8	17	5	18	11	15	5	7	12	12	9	14	16	17	14	13	9	28

Tabla 8. Matriz de Estado del Arte

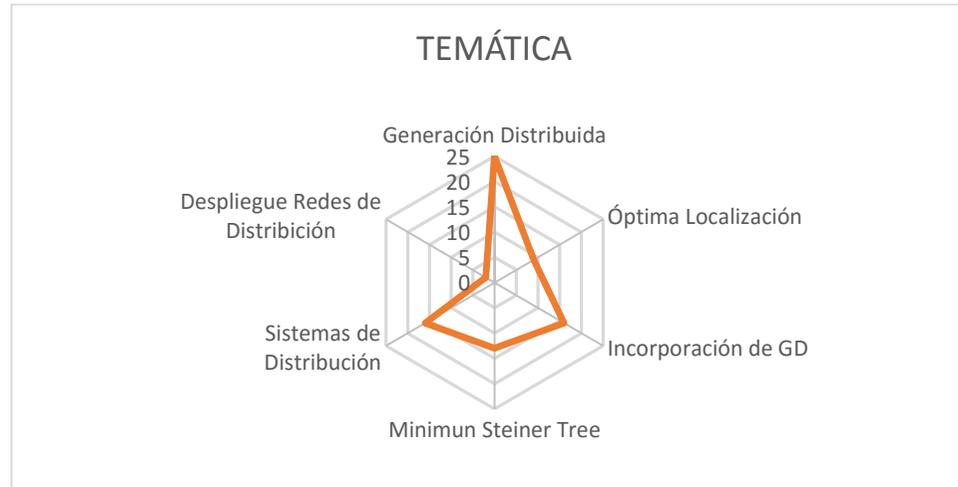


Figura 15. Diagrama de Tendencia de la Temática

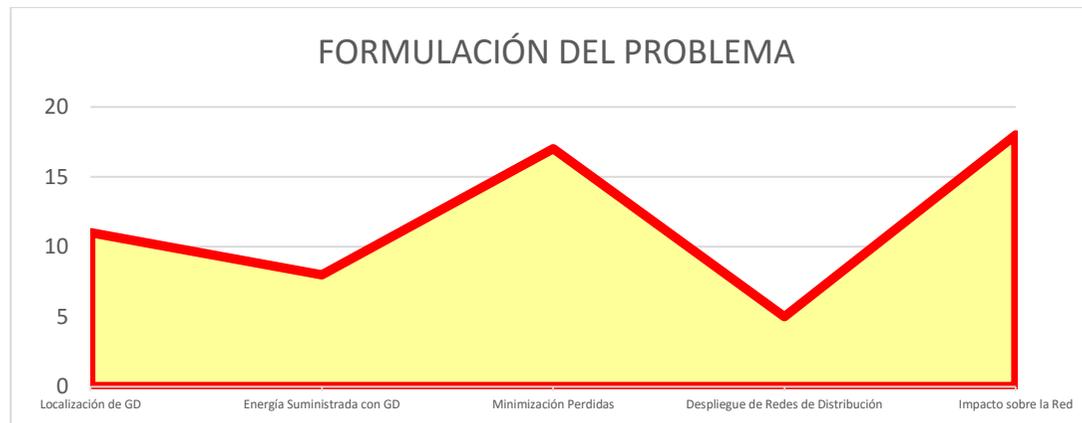


Figura 16. Formulación del Problema

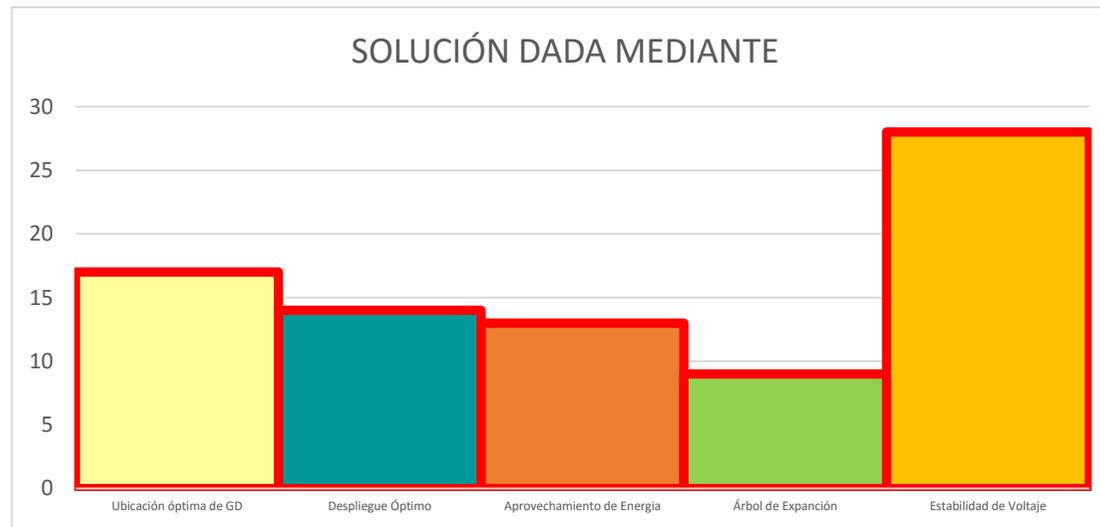


Figura 17. Solución del Problema

