

**UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN
DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS
HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA.**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN
DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS
HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA.**

**AUTOR:
JORDY HERNAN FELICITA ASIPUELA**

**TUTOR:
ALEXANDER ÁGUILA TÉLLEZ**

Quito, Agosto 2020

Jordy Hernan Felicita Asipuela

**UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN
DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO
TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE
DEMANDA.**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2020
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Jordy Hernan Felicita Asipuela (Y'1993 – M'02) Realizó sus estudios de nivel secundario en la Unidad Educativa Experimental “Manuela Cañizares” de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la ubicación y dimensionamiento óptimo de generación distribuida en Redes Eléctricas de Distribución. jfelicitita@est.ups.edu.ec

Dirigido por



Alexander Águila Téllez (Y'1981 – M'09) recibió el título de Ingeniero Eléctrico y el de Máster en Eficiencia Energética en los años 2005 y 2010 respectivamente. Actualmente se encuentra estudiando para obtener su título de Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana - Colombia-Medellín, es miembro del Grupo de Investigación GIREI. Sus principales intereses de investigación incluyen la compensación VOLT-VAR en redes de distribución eléctrica, redes inteligentes, minimización de pérdidas de energía, las energías renovables y la eficiencia energética. Es profesor investigador de la Universidad Politécnica Salesiana- Ecuador. aaguila@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.

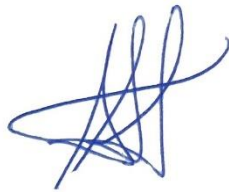
DERECHOS RESERVADOS

©2020 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Alexander Águila Téllez declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA” realizado por Jordy Hernan Felicita Asipuela, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto 2020




.....
Alexander Águila Téllez

175598318-4

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jordy Hernan Felicita Asipuela, con documento de identificación N° 172023613-0, 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: “UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA”, 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 digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Jordy Hernan Felicita Asipuela

CI: 172023613-0

Quito, D. M., agosto 2020

Índice de Contenido

Resumen.....	10
Abstract	10
1. Introducción	12
2. Sistemas Eléctricos de Distribución.....	14
2.1 Planeación de GD en Sistemas de Distribución	15
2.2 Integración de GD en el Sistema Eléctrico.	15
2.3 Estabilidad de Voltaje.....	16
2.4 Límites Máximos y Mínimos de Voltaje en el Sistema de Distribución.	17
2.5 Pérdidas en los Sistemas de Distribución.....	17
3. Modelamiento del Sistema	18
3.1 Modelación Matemática de Flujos de Potencia Para GD.....	18
3.2 Modelo de Optimización	19
3.3 Procedimiento de Resolución	20
4. Casos de Estudio.....	21
4.1 Modelo IEEE 13 barras	21
4.2 Modelo IEEE 34 barras	22
5. Análisis de Resultados.....	23
5.1 Perfiles de Tensión Modelo IEEE 13 barras.....	23
5.2 Minimización de Costos Modelo IEEE 13 barras.....	24
5.3 Minimización de Pérdidas Modelo IEEE 13 barras	24
5.4 Perfiles de Tensión Modelo IEEE 34 barras.....	24
5.5 Minimización de Costos Modelo IEEE 34 barras.....	26
5.6 Minimización de Pérdidas Modelo IEEE 34 barras	26
5.6 Factor de Potencia en los Sistemas con Generación Solar.....	26
6. Conclusiones	27
7. Trabajos Futuros	29
8. Referencias.....	29
9. Estado del Arte.....	33
10. Anexos.....	42

Índice de Figuras

Figura 1. Sistema de distribución con implementación de GD	11
Figura 2. Modelo IEEE 13 barras.....	21
Figura 3. Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda baja.....	21
Figura 4. Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda media	21
Figura 5. Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda alta	22
Figura 6. Modelo IEEE 34 barras.....	22
Figura 7. Ubicación de GD del sistema de 34 barras en demanda baja.....	22
Figura 8. Ubicación de GD del sistema de 34 barras en demanda media	22
Figura 9. Ubicación de GD del sistema de 34 barras en demanda alta	22
Figura 10. Perfil de tensión para sistema de 13 barras en demanda baja	23
Figura 11. Perfil de tensión para sistema de 13 barras en demanda media	23
Figura 12. Perfil de tensión para sistema de 13 barras en demanda alta.....	23
Figura 13. Perfil de tensión para sistema de 13 barras sin GD	23
Figura 14. Perfil de tensión para sistema de 13 barras con GD.....	23
Figura 15. Perfil de tensión para sistema de 13 barras con y sin GD	24
Figura 16. Costos de implementación de GD del sistema de 13 barras	24
Figura 17. Pérdidas de potencia del sistema de 13 barras	24
Figura 18. Perfil de tensión para sistema de 34 barras en demanda baja	25
Figura 19. Perfil de tensión para sistema de 34 barras en demanda media	25
Figura 20. Perfil de tensión para sistema de 34 barras en demanda alta.....	25
Figura 21. Perfil de tensión para sistema de 34 barras sin GD	25
Figura 22. Perfil de tensión para sistema de 34 barras con GD.....	25
Figura 23. Perfil de tensión para sistema de 34 barras con y sin GD	25
Figura 24. Costos de implementación de GD del sistema de 34 barras	26
Figura 25. Pérdidas de potencia del sistema de 34 barras	26
Figura 26. Factor de potencia del sistema de 13 barras en demanda media ...	27
Figura 27. Factor de potencia del sistema de 13 barras en demanda alta.....	27
Figura 28. Factor de potencia del sistema de 34 barras en demanda media ...	27
Figura 29. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte	39
Figura 30. Indicador de formulación del problema - Estado del arte	40
Figura 31. Indicador de solución - Estado del arte	41

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de la Generación Distribuida	16
Tabla 2. Simbología de ecuaciones	18
Tabla 3. Costos de implementación de GD del sistema de 13 barras.....	24
Tabla 4. Pérdidas de potencia del sistema de 13 barras.....	24
Tabla 5. Costos de implementación de GD del sistema de 34 barras.....	26
Tabla 6. Pérdidas de potencia del sistema de 34 barras.....	26
Tabla 7. Factor de potencia en la demanda media del sistema de 13 barras...	26
Tabla 8. Factor de potencia en la demanda alta del sistema de 13 barras	27
Tabla 9. Factor de potencia en la demanda media del sistema de 34 barras...	27
Tabla 10. Cargas en los nodos de un sistema de 13 barras.....	42
Tabla 11. Perfiles tensión para un sistema de 13 barras.....	43
Tabla 12. Cargas en los nodos de un sistema de 34 barras.....	44
Tabla 13. Perfiles tensión para un sistema de 34 barras.....	46

UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDAS

Resumen

El presente artículo establece una metodología para la ubicación y dimensionamiento óptimo de las unidades de Generación Distribuida (GD) usando técnicas heurísticas, para esto se consideró la energía eólica y solar como fuentes primarias de energía para la generación voltaje en un sistema eléctrico de distribución, logrando resolver variables como perfil de voltaje y pérdidas del sistema. El propósito es encontrar la mejor capacidad y ubicación fija adecuada para la GD, a fin garantizar que la GD se utilice para el funcionamiento correcto del sistema ante cualquier escenario de demanda. Posteriormente, se aplicó un algoritmo de optimización que está asociado al cumplimiento de las restricciones de balance de potencia y al cumplimiento de los límites teóricos de las variables de calidad y eficiencia para escenarios de mínima, media y máxima demanda, implementando límites teóricos para las variables de calidad y eficiencia. De esta manera, el algoritmo de optimización permitió resolver el problema seleccionando la mejor barra y la capacidad de la generación distribuida, para instalar en los modelos IEEE 13 y 34 Barras. Con este fin, la función objetivo trata de minimizar los costos asociados con producción de energía.

Abstract

This article establishes a methodology for the optimal location and dimensioning of Distributed Generation (GD) units using heuristic techniques. For this, wind and solar energy are considered as primary sources of energy for the generation of voltage in an electrical system of distribution, managing to solve variables such as voltage profile and system losses. The purpose is to find the best capacity and suitable fixed location for the GD, in order to identify the GD, it is used for the correct operation of the system in any demand scenario. Subsequently, an optimization algorithm was applied that is associated with compliance with the power balance restrictions and with compliance with the limits of the quality and efficiency variables for the minimum, means and maximum demand limitations, the implementation of theory for quality and efficiency variables. In this way, the optimization algorithm solved the problem by selecting the best bus and the capacity of the distributed generation, to install in the IEEE 13 and 34 Bus models. To this end, the objective function tries to minimize the costs associated with energy production.

Por lo expuesto, los resultados obtenidos se verificaron mediante simulación con la ayuda del software DigSilent Power Factory. Para la implementación del algoritmo de optimización y descripción de métricas y resultados se empleó los softwares GAMS y Matlab.

Palabras Clave: Generación distribuida, optimización, ubicación, perfil de voltaje, redes de distribución.

For these reasons, the results obtained are verified by simulation with the help of DigSilent Power Factory software. For the implementation of the optimization algorithm and description of metrics and results, the GAMS and Matlab software were used.

Keywords: Distributed generation, optimization, Location, voltage profile, distribution networks.

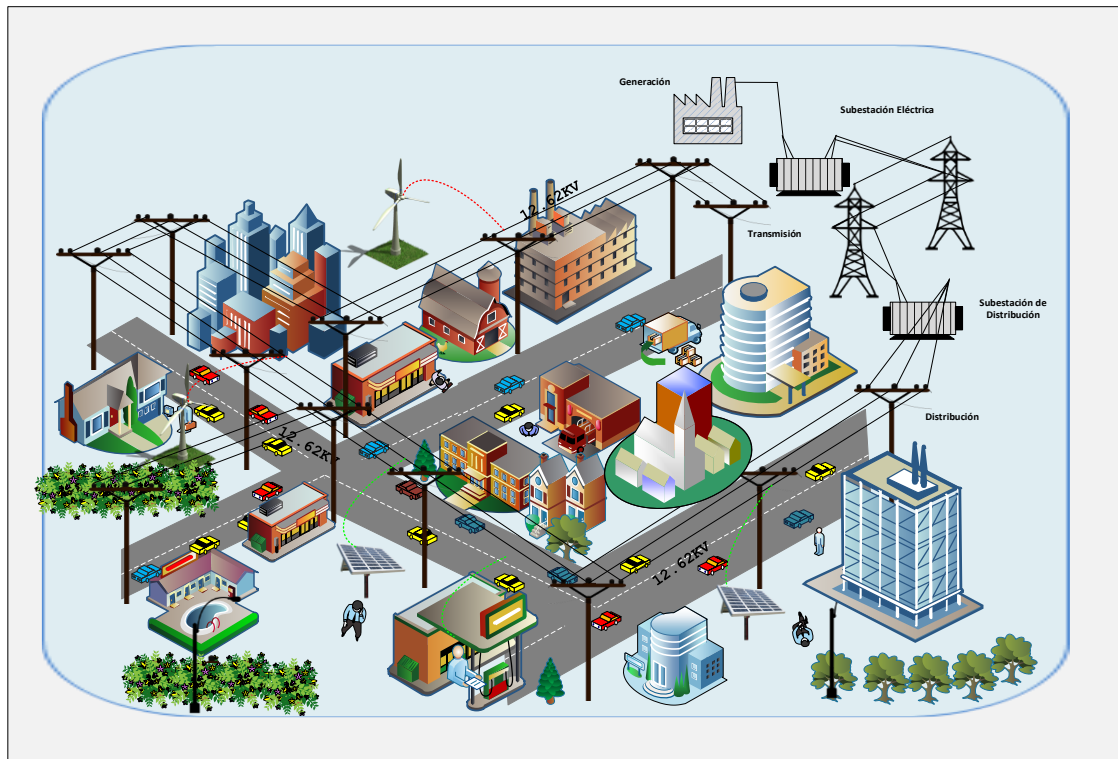


Figura 1. Sistema de distribución con implementación de GD

1. Introducción

La tendencia a utilizar tecnologías renovables como la energía solar, eólica y las celdas de combustible, ha aumentado en la generación de energía, principalmente porque son recursos ecológicos inagotables [1]. El uso de este tipo de sistema tiene algunos inconvenientes, tales como: baja eficiencia, alto costo, etc. Sin embargo, se han realizado estudios para superar estas dificultades [1]. La ubicación óptima de la GD en la red es un aspecto muy importante, y se debe llevar a cabo una planificación adecuada, de lo contrario los problemas con la pérdida de energía y la inestabilidad del voltaje aumentarán [1].

El sistema de distribución de energía está sujeto a cambios significativos cada año debido a la creciente demanda, Dado que los usuarios han cambiado su consumo a temas intensivos y de uso frecuente, como las cocinas de inducción, el calentamiento de agua y el transporte. Otro factor que también influye en la creciente demanda del sistema es el desarrollo de tecnología y la fácil accesibilidad de los consumidores, lo que conduce a una alta dependencia de los usuarios de dispositivos electrónicos [2].

Se han tomado muchos métodos para colocar de manera óptima la GD en la red. Muchas empresas de servicios públicos de todo el mundo, están transformando su estructura empresarial de poder de monopolio en un mecanismo competitivo [3]. En el mercado energético altamente competitivo, debido a consideraciones ambientales y económicas, las empresas de servicios públicos están haciendo un uso completo de sus recursos. Bajo la presión de los problemas ambientales, las empresas de servicios públicos están pasando de la generación de energía tradicional a la generación de energía

renovable. Esto ha llevado a la integración de generadores distribuidos (GD), en el sistema de distribución de energía [4].

Debido a las razones mencionadas anteriormente, el aumento de la demanda hace que la red de distribución del sistema, opere con frecuencia a su capacidad máxima [5] y se acerque al límite de inestabilidad de voltaje, lo que resulta en un aumento de la potencia y las pérdidas de energía del sistema [6].

La ubicación y el tamaño óptimos de GD pueden eliminar los defectos causados por una instalación inadecuada de la unidad GD. Estos defectos tienen problemas como una mayor pérdida del sistema y una calidad de energía reducida, que muchos investigadores llaman la atención [7]. El voltaje al final del alimentador aumenta, etc. [8]. Las redes de distribución de energía modernas siempre enfrentan una demanda de carga cada vez mayor, y se puede observar que bajo ciertas condiciones críticas de carga, los sistemas de distribución de voltaje colapsarán en ciertas áreas [9]. Del mismo modo, bajo cargas pesadas, el flujo de potencia reactiva se vuelve muy importante, lo que resulta en una mayor pérdida de potencia real [10]. La razón fundamental detrás de estas enormes pérdidas de energía son las pérdidas de resistencia, al igual que el voltaje operativo de un sistema de distribución de energía es mucho más bajo que el de un sistema de transmisión [11], [12].

Los efectos positivos proporcionados por GD son realmente importantes como: congestionar la red, cambiar la dirección de la fuente de alimentación, estabilizar el voltaje, reducir costos, reducir pérdidas, etc., pero también pueden reflejar los efectos adversos, porque la mayoría de los sistemas de distribución hoy en día son radiales, en los cuales la energía es

unidireccional y su infraestructura no está diseñada para admitir inyección de energía en sitios que implementan GD [12].

A pesar de los numerosos beneficios de la GD, la introducción de GD sin una investigación previa puede afectar la operación de la infraestructura tradicional del sistema. También afectará la estabilidad del sistema, cambiando así el ángulo, la frecuencia y la estabilidad del voltaje [13], lo que cambiará la confiabilidad operativa del sistema eléctrico de distribución de energía, que no favorece los intereses de la ingeniería eléctrica [13].

Las GD corresponde a un grupo electrógeno pequeño o mediano en paralelo con un sistema de carga o distribución, y su tamaño puede variar de 5 kW a 100 MW. Las principales tecnologías utilizadas para este tipo de generación de energía son turbinas eólicas, celdas fotovoltaicas, microturbinas, celdas de combustible y biomasa. [14]; algunos todavía están en investigación y desarrollo, mientras que otros pueden dominar el mercado de la electricidad debido a sus características ecológicas y abundantes recursos.[14].

Del mismo modo, debido a que la GD está cerca de la carga, se eliminan los peajes de transmisión y se ahorran costos de energía. Además, la capacidad de transferencia de energía a través de líneas de transmisión y líneas de distribución tiende a aumentar debido a que su capacidad de recarga disminuye, lo que implícitamente conduce a una reducción en la pérdida de energía y un aumento en la distribución de voltaje. El sistema de distribución de energía mejora la calidad y la seguridad de los servicios eléctricos [15]. Del mismo modo, en ciertas épocas del año, el suministro puede interrumpirse debido a una falla del sistema o

interrupción del suministro debido a una mayor demanda, porque están cerca de los consumidores, por lo que pueden suministrarse rápidamente y el proceso de conexión es demasiado rápido [16].

La GD promete producir electricidad con alta eficiencia y baja contaminación, con costos de mantenimiento relativamente bajos debido a la falta de piezas móviles [17].

Una de las principales ventajas es reducir la gran inversión en el proceso de expansión de la red, ya que al evitar el uso de la red del sistema actual para actualizar el conductor sin cambios importantes, se puede reducir el presupuesto de infraestructura y los materiales. Otra ventaja importante es la reducción de las emisiones de CO₂ porque es un modelo de generación de energía basado en el uso de recursos renovables no convencionales [18].

La GD solar es muy importante para reducir el impacto ambiental, y también es adecuada para inyectar energía activa en el sistema porque reduce la dependencia de la energía reactiva. Siempre debemos considerar la adopción de métodos apropiados para la compensación de potencia reactiva, para mejorar el uso efectivo de energía de alta calidad, porque existen diferentes tipos de recursos distribuidos que utilizan diferentes fuentes de energía [9].

Este método se basará en la implementación de un algoritmo de optimización que actuará sobre el flujo de energía en el sistema de distribución y tratará de resolver variables tales como curvas de voltaje y pérdidas para cada escenario de demanda considerado. Para escenarios de demanda mínima, media y máxima, el plan de optimización se asociará con la realización de los límites de equilibrio de potencia y la realización de los límites teóricos de las variables de

calidad y eficiencia, con un costo mínimo como criterio principal. Como estudio de caso para la aplicación del modelo propuesto, se utilizará un modelo IEEE con 13 y 34 barras de distribución. Los resultados obtenidos serán verificados por simulación con la ayuda del software DigSilent Power Factory. Para implementar algoritmos de optimización y medición y descripción de resultados, se utilizarán GAMS y Matlab. El propósito es encontrar la capacidad óptima y la ubicación fija de la generación de energía distribuida para garantizar el funcionamiento correcto del sistema de generación de energía bajo cualquier demanda.

En adelante el artículo se estructura de la siguiente manera; la Sección I consta de la introducción del artículo, en la Sección II se presenta los sistemas eléctricos de distribución, planeación de GD en sistemas de distribución, integración de generación distribuida en el sistema eléctrico, los aspectos conceptuales sobre la estabilidad de voltaje, los límites de voltaje normados y los aspectos conceptuales sobre la estabilidad de voltaje, pérdidas en los sistemas de distribución.; la Sección III se establece una metodología para la ubicación y dimensionamiento óptimo de la GD, también se describe procedimiento de resolución de optimización para los sistemas de distribución propuesto para la ubicación y dimensionamiento óptimo de las unidades de GD; en la sección IV se describe el caso en estudio; finalmente en las Secciones V y VI muestran los análisis de resultados y conclusiones, respectivamente.

2. Sistemas Eléctricos de Distribución.

Un sistema de distribución de energía es un grupo de dispositivos que permite que un cierto número de cargas se alimente de manera segura y confiable a un cierto nivel de voltaje, ubicados generalmente en diferentes lugares.

Los sistemas de distribución de energía a menudo se usan para simplificar el diseño, operación y colocación de dispositivos de protección. Al subir y bajar el voltaje para minimizar la pérdida de energía en el sistema de transmisión, el flujo de energía fluye unidireccionalmente desde la estación de energía hasta el usuario [12].

Esta es la razón por la cual las compañías eléctricas gastan la mayor parte de sus presupuestos en estos sistemas para proporcionar servicios de calidad. Como se sabe, el sistema de distribución clásico tiene una subestación principal, un sistema de subtransmisión, una subestación de distribución, un alimentador principal, un transformador de distribución, secundario y de servicio [19].

Tenemos dos sistemas de distribución que nos permiten llevar la energía que necesitamos a los consumidores. Para este fin, tenemos un sistema radial con un solo flujo de energía a la carga, mientras que el sistema mallado tiene un sistema radial con flujo de energía a la carga [20].

En la actualidad, se han gestionado sistemas con bajo impacto ambiental, como el concepto de generación de energía distribuida, que está diseñado para implementarse en un nuevo modelo de ciudad autosostenible con energía limpia que ayuda al impacto ambiental [20].

2.1 Planeación de GD en Sistemas de Distribución

La estrategia de la empresa de distribución debe tener en cuenta los desafíos actuales, incluida la diversificación del sector, la entrada de pequeños generadores y la calidad de los servicios energéticos [9]. También hay consideraciones más importantes para la investigación de pronósticos de demanda [21], que pueden ayudar en la planificación a largo plazo, generalmente dichas planificaciones suelen tener una duración de 10 años [22], [23].

Aunque el sistema de distribución de energía puede permanecer estable, no tiene nada que ver con fallas causadas por varios factores externos, como fuertes lluvias y lluvias complejas que provocan la caída del controlador, como un sistema de distribución de energía más potente [22][24], al igual que la salida de la línea de media tensión causada por animales en subestaciones.

Una de las ventajas de GD es que puede evitar cualquier tipo de falla y reducir el número de usuarios afectados, mejorando así la calidad del servicio. A medida que la carga comienza a aumentar, la capacidad del sistema eléctrico comienza a acercarse a su límite, por lo que es necesario aumentar su tamaño [25]. Esto se puede lograr aumentando la capacidad de las subestaciones y las líneas de transmisión y distribución, lo que generalmente significa construir nuevos alimentadores [25].

Por lo tanto, se debe tener extremo cuidado al implementar esta tecnología en los sistemas de distribución de energía.

2.2 Integración de GD en el Sistema Eléctrico.

Estas unidades pueden utilizar una variedad de recursos, ya sean renovables o no renovables. Cada GD debe tener tres características: conexión cerca de la carga, generación de energía a gran escala y conexión a la red de distribución, esta última no es necesaria en algunos casos [26]. Uno de los problemas que surgen es que la red opera a su límite de capacidad, y la alta relación R/X del sistema de distribución de energía, puede causar grandes caídas de voltaje e inestabilidad del sistema [27].

Hoy en día, es más común observar pequeños generadores cerca de los centros de consumo [28]. La importancia de reducir el consumo de recursos no renovables como los combustibles fósiles ayudará a hacer un mejor uso de los recursos renovables. Por esta razón, la energía eólica y la energía solar han promovido el desarrollo de diversas tecnologías [29]–[31].

El sistema GD también se llama generación de energía descentralizada, porque básicamente implica generar electricidad mediante el uso de muchas fuentes de energía pequeñas conectadas en paralelo, lo más cerca posible de la carga [15]. De esta manera, reduce las pérdidas y los costos de recuperación ante desastres, y mejora la calidad del servicio del sistema de distribución. Su tamaño puede ser Desde 5kW-100MW [14].

Muchas tecnologías de GD utilizan combustibles fósiles, como turbinas de gas, cámaras de combustión y motores de combustión interna. Emiten sustancias tóxicas para el medio ambiente, pero debido a su pequeño tamaño, sus emisiones son más bajas en comparación con las grandes plantas convencionales [32]. Entre las tecnologías más utilizadas en GD, podemos mencionar la energía

eólica, solar, microturbinas, turbinas de gas y celdas de combustible. Su generación de energía típica se muestra en la Tabla 1. [32].

Tabla 1. Características de la Generación Distribuida

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

La incorporación de GD se puede aplicar de cuatro maneras: aislamiento, soporte de red, carga base y generación de energía durante las horas pico. La fusión GD puede reducir los costos de energía porque no es un circuito pasivo y también puede revertir el flujo de la red [33]. Al igual que el circuito fuente, el flujo y el voltaje están definidos por la interacción de la generación de energía y la carga [33].

Al tratar de integrar la unidad GD en el sistema de distribución de energía, debido a la discontinuidad de la fuente GD, comienzan a aparecer problemas de confiabilidad, calidad y estabilidad en la red, porque la energía fluctuará debido a la disponibilidad de la fuente principal [29], [34]. Un factor importante que ha causado una preocupación generalizada por la GD, es que reduce en gran medida el impacto ambiental negativo [35].

Los beneficios de esta generación se han observado de varias maneras, pero la más importante es usar GD para inyectar energía en el sistema y mejorar la confiabilidad, obteniendo mejores resultados al proponer su mejor posición en el sistema de distribución [36]. Por lo tanto, la entrada GD modifica la estructura radial característico del sistema eléctrico, porque la bidireccionalidad del flujo de energía afectará el aumento del nivel de voltaje del sistema, pero de esta manera, el sistema también ayuda a reducir la pérdida de nivel debido a la existencia de cada nodo [37].

2.3 Estabilidad de Voltaje

Dentro del sistema eléctrico, existe un rango operativo que puede transferir energía eléctrica, desde el punto de generación hasta el punto de carga, por lo que el servicio tiene una seguridad y confiabilidad aceptables.

Los resultados del análisis en [38]–[40] indican que la estabilidad del voltaje es la capacidad que tiene el sistema de energía, para mantener un nivel aceptable de este tamaño en todas las barras del sistema, en condiciones normales de operación y posteriormente al problema.

Cuando la condición del sistema cambia y la caída de voltaje no se puede controlar, se produce inestabilidad de voltaje, lo que hace que el sistema no pueda cumplir con el equilibrio de la generación de energía y la demanda de energía, o no puede transferir energía desde el punto de generación al centro de carga [13]. En los sistemas de energía reales, hay muchos factores que pueden causar el colapso del voltaje, como la capacidad de transmisión de potencia reactiva del generador y las características de carga, también influye el límite de potencia reactiva del generador y las características de potencia [41].

En los sistemas eléctricos de potencia activa, existen otros factores que pueden causar la falla del sistema y reducir la estabilidad, como la capacidad de transmisión de potencia reactiva del generador y las múltiples características de la carga, así como el límite de potencia reactiva [42]. Y características de potencia reactiva del dispositivo de compensación [21].

Del mismo modo, a través de diferentes técnicas, tratando de determinar el impacto de las razones anteriores, se encuentra la curva PV, que de la misma manera el voltaje en la barra del sistema está relacionado con la potencia activa consumida por la carga [10]. La curva QV se utiliza para obtener potencia reactiva. Esta curva se utiliza en el análisis modal de QV. La curva se incluye en el método estocástico de análisis de estabilidad de voltaje, porque utiliza los resultados instantáneos de variables eléctricas en el sistema de potencia en diferentes estados de tiempo, para determinar el estado condicional. Sin afectar cada una de las funciones mencionadas, el análisis de indicadores preestablecidos también se incluye en la tecnología [43].

2.4 Límites Máximos y Mínimos de Voltaje en el Sistema de Distribución.

En este caso la variación de voltaje en el sistema de distribución de energía debe estar dentro del rango normalmente determinado por la agencia reguladora de cada país. El rango de voltaje, reconocido internacionalmente de los sistemas eléctricos de potencia, es de 0.95 pu a 1.05 pu, mientras que el rango de voltaje del sistema de distribución de potencia es de 0.9 pu a 1.1 pu [44].

2.5 Pérdidas en los Sistemas de Distribución.

Las pérdidas de energía en la red de distribución, están relacionadas principalmente con la conversión de energía eléctrica en calor, y la energía eléctrica circula a través de conductores eléctricos, fenómeno que se denomina efecto Joule [34], [45].

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n I_i^2 * R_i \quad (1)$$

Donde: n es el número de nodos en el sistema, I_i es el valor actual en el nodo i y R_i es la resistencia en el nodo i .

Aunque los circuitos de distribución tienen características de carga típicas, son principalmente inductivos debido a sus distancias cortas y niveles de voltaje medio, que es una estructura aérea comúnmente utilizada.

Por lo tanto, la carga asociada con cada transformador de distribución, requiere consumo de energía reactiva, para poder generar corriente inductiva sin generar trabajo útil, al consumir este tipo de energía [34], [46], [47]. Esta potencia reactiva en sistemas trifásicos para un nodo viene dada por:

$$Q_i = \sqrt{3} * V_i * I_i * \sin \theta \quad (2)$$

Donde V_i e I_i son el voltaje y la corriente en el nodo i , θ es el ángulo entre el voltaje y la corriente en el nodo i .

Las pérdidas del sistema eléctrico es un problema que afecta continuamente la operación de las compañías de distribución, y es un problema que provoca altos costos, lo que afecta directamente el precio de la electricidad [3][48].

3. Modelamiento del Sistema

El modelo de optimización propuesto está basado esencialmente en un flujo óptimo de potencia, por tal motivo se tiene que conocer ciertos valores iniciales con el motivo de simular un flujo óptimo de potencia.

Los resultados serán una pauta para la utilización del modelo matemático planteado, con el fin de cumplir el objetivo en los casos de estudio planteados.

3.1 Modelación Matemática de Flujos de Potencia Para GD

Un flujo óptimo de potencia es un método matemático, existen 2 tipos de resolución de un flujo óptimo de potencia los cuales son por el método AC, donde este tipo de método se obtiene datos resultantes más precisos, pero con un tiempo mayor de resolución debido a sus iteraciones de Taylor.

El segundo método de resolución por estudio de flujos DC, este tipo de método tiene menor tiempo de resolución, pero sus datos resultantes son más imprecisos.

Para el presente estudio se utilizará el método por flujos AC, se utilizará este método debido a que los datos de las magnitudes, ángulos, potencia reactiva y activa son más precisos o simulan a un flujo real en el sistema eléctrico de potencia.

Como datos iniciales para la simulación de un flujo de potencia, se necesita conocer ciertos parámetros iniciales como las impedancias y susceptancias de todos los elementos en el sistema eléctrico, por tal motivo se obtiene la matriz de admitancias conocida como Ybarra.

Para el estudio la simbología utilizada esta mostrada en la Tabla 2.

Tabla 2. Simbología de ecuaciones

Simbología	significado
P_i	Flujo de potencia activa del nodo i hacia los demás nodos adyacentes.
Pg_i	Potencia activa del generador ubicado en el nodo i.
Pd_i	Potencia activa de la carga ubicada en el nodo i.
Q_i	Flujo de potencia reactiva del nodo i hacia los demás nodos adyacentes.
Qg_i	Potencia reactiva del generador ubicado en el nodo i.
Qd_i	Potencia reactiva de la carga ubicada en el nodo i.
V_i, V_k	Voltaje en el nodo i y en el nodo k, respectivamente.
δ_i, δ_k	Angulo de voltaje en el nodo i y en el nodo k, respectivamente.
g_{ii}	ii-ésimo elemento de la matriz propia de conductancia.
b_{ii}	ii-ésimo elemento de la matriz propia de susceptancia.
n	Cantidad total de nodos del sistema.
g_{ik}	ik-ésimo elemento de la matriz mutua de conductancia.
b_{ik}	ik-ésimo elemento de la matriz mutua de susceptancia.

Las ecuaciones gobernantes para obtener las admitancias de los elementos están dadas por (3), (4) y (5). La Ybarra se divide en admitancias mutuas y propias como se define las ecuaciones (6) y (7) y la admitancia propia se muestra en la ecuación (8) [49].

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} - j|Y_{ij}| \sin \theta_{ij} = B_{ij} + jB_{ij} \quad (3)$$

$$B_{ij} = -\frac{x}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (4)$$

$$G_{ij} = \frac{R}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (5)$$

$$[Y_{in}] = -Y_{in} \angle \theta_{ij} \quad (6)$$

$$Y_{in} = \begin{bmatrix} 0 & -Y_{in} & \dots & -Y_{in} \\ -Y_{in} & 0 & -Y_{in} & \vdots \\ \vdots & -Y_{in} & 0 & -Y_{in} \\ -Y_{in} & \dots & -Y_{in} & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[Y_{ii}] = \sum_{j=1}^N -Y_{in} \angle \theta_{in} \quad (8)$$

El voltaje en cada nodo será dado por la siguiente ecuación (9).

$$V_i = V_i \angle \theta_i = |V_i| \cos \theta_i + j|V_i| \sin \theta_i \quad (9)$$

Mediante el uso de la ecuación (10) y (11) se determina la potencia activa y reactiva mediante la inyección de corriente, a cada barra para así estar interrelacionadas entre sí.

$$\begin{bmatrix} I_{ij} & \dots & I_{ij} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{ij} & \dots & I_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i Y_{ii} & -V_n Y_{in} & \dots & -V_n Y_{in} \\ -V_n Y_{in} & \ddots & -V_n Y_{in} & \vdots \\ \vdots & -V_n Y_{in} & 0 & -V_n Y_{in} \\ -V_n Y_{in} & \dots & -V_n Y_{in} & V_i Y_{ii} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$I_i = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 \dots Y_{in} V_n = Y_{ij} V_i + \sum_{n=1}^N Y_{in} V_n, i \in N \quad (11)$$

$$P_i - Q_i = Y_{ii} V_i^2 + V_i * \sum_{n=1}^N Y_{in} V_n, i \in N \quad (12)$$

$$P_i - jQ_i = |Y_{ii} V_i^2| \angle \theta_{ii} + \sum_{n=1}^N V_i Y_{in} V_n \angle (\theta_{in} + \delta_n + \delta_i, i \in N) \quad (13)$$

Al igualar los componentes reales e imaginarios de la ecuación (12) y (13) se obtiene como resultados las ecuaciones (14) y (15), las cuales permiten calcular la potencia activa y reactiva, respectivamente, que se transfiere del nodo i hacia los demás nodos adyacentes.

$$P_i(V, \delta) = \sum_{k=1}^N |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \cos \delta_{ik} + b_{ik} \sin \delta_{ik}) \quad (14)$$

$$Q_i(V, \delta) = \sum_{k=1}^N |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \sin \delta_{ik} - b_{ik} \cos \delta_{ik}) \quad (15)$$

3.2 Modelo de Optimización

El presente paper propone un modelo de optimización, donde la función objetivo del sistema es la minimización de costos, para la implementación de un generador como se muestra en la ecuación (16) y cuya función objetivo está sujeta a restricciones de voltajes nominales y de potencias.

$$\min \sum_{j=1}^J P g_j * CV \quad (16)$$

Por tal motivo un balance de potencia activa y reactiva es una restricción primordial y cuyas ecuaciones se muestran en (17) y (18).

$$P_{i,k}^e = V_i^2 \cdot g_{ii}^e - |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik}^e \cos \delta_{ik} + b_{ik}^e \sin \delta_{ik}) \quad (17)$$

$$Q_{i,k}^e = -V_i^2 \cdot b_{ii}^e - |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik}^e \sin \delta_{ik} - b_{ik}^e \cos \delta_{ik}) \quad (18)$$

Los límites de voltajes y ángulos mínimos y máximos están dados por (19) y (20).

$$Vmin_i \leq V_i \leq Vmax_i \quad (19)$$

$$\delta min_i \leq \delta_i \leq \delta max_i \quad (20)$$

El límite de potencia de generación para este caso de estudio está directamente relacionado con el factor de utilidad, como se muestra en las ecuaciones (21) y (22).

$$\begin{aligned} Pgmin_j * FU &\leq Pg_j \\ &\leq Pgmax_j * FU \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} Qgmin_j * FU &\leq Qg_j \\ &\leq Qgmax_j * FU \end{aligned} \quad (22)$$

La variable de decisión para la ubicación óptima del generador está dado por la ecuación (23).

$$\sum_{i=1}^n u(i) = Nmax \quad (23)$$

3.3 Procedimiento de Resolución

El algoritmo de resolución del modelo planteado requiere la utilización del software GAMS, el cual a través de los datos iniciales como son: las características de los generadores, de los nodos y líneas, para así formar la matriz de admitancia de los casos de estudio.

La minimización de costos y la simulación de un flujo óptimo de potencia, será realizado por el software GAMS y mediante los resultados obtenidos se simula en el software Digisilent el sistema eléctrico propuesto.

A continuación, se presenta el algoritmo de resolución del modelo planteado.

Algoritmo de solución	
Paso 1	Adquisición de los datos del sistema eléctrico.
Paso 2	Valores iniciales de las variables eléctricas. Determinación de la Y de bus $Y_{ij} = Y_{ij} \cos \delta_{ij} + j Y_{ij} \sin \delta_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$
	Donde:
	$G_{ij} = \frac{X}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$
Paso 3	$B_{ij} = \frac{R}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$ Matriz de Admitancia Mutua $[Y_{in}] = -Y_{in} \angle \delta_{in}$ Matriz de Admitancia Propia $[Y_{ii}] = \sum_{j=1}^N -Y_{in} \angle \delta_{in}$
	Flujo óptimo de potencia y balance de potencia
Paso 4	$P_{i,k}^e = V_i^2 \cdot g_{ii}^e - V_i \cdot V_k \cdot (g_{ik}^e \cos \delta_{ik} + b_{ik}^e \sin \delta_{ik})$ $Q_{i,k}^e = -V_i^2 \cdot b_{ii}^e - V_i \cdot V_k \cdot (g_{ik}^e \sin \delta_{ik} - b_{ik}^e \cos \delta_{ik})$
	Set de límites de voltaje, ángulos de desfase, potencias activas y reactiva
Paso 5	$V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max}$ $\delta_{i,min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,max}$ $Pgmin_j * FU \leq Pg_j \leq Pgmax_j * FU$ $Qgmin_j * FU \leq Qg_j \leq Qgmax_j * FU$
Paso 6	Calculo variable binaria para generador $\sum_{i=1}^n u(i) = Nmax$
Paso 7	Minimización de función objetivo $\min \sum_{j=1}^J Pg_j * CV$
Paso 8	Validación: $P, Q, V, d, BP, BQ, PL, QL, Costo, u;$
Paso 9	Retorna: $G_{ii}, B_{ii}, G_{ij}, B_{ij};$

4. Casos de Estudio

Para los casos de estudio se lo realizará en 2 sistemas eléctricos de potencias, el primer sistema conformado por el modelo IEEE 13 barras como se muestra en la Figura 2 y el segundo sistema está conformado por el modelo IEEE de 34 barras como se muestra en la Figura 6. Para cada sistema se tomará 3 casos de estudio los cuales son demanda baja, demanda media y demanda alta.

4.1 Modelo IEEE 13 barras

El sistema de 13 barras está compuesto, por 12 líneas, 7 cargas y un generador como se lo muestra en la Figura 2.

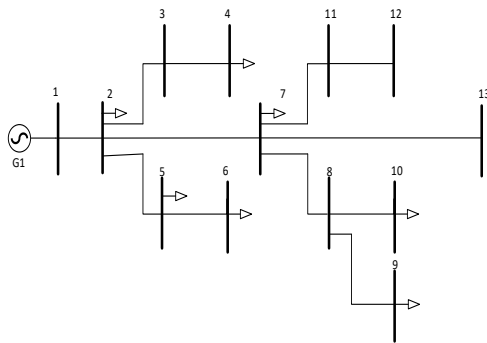


Figura 2. Modelo IEEE 13 barras

En el primer caso se toma las demandas bajas con una demanda total de 2.39 pu de potencia activa, así como de potencia reactiva 1.45 pu mostradas en el anexo en la Tabla 10 y en la Figura 3 se muestra la ubicación óptima del generador.

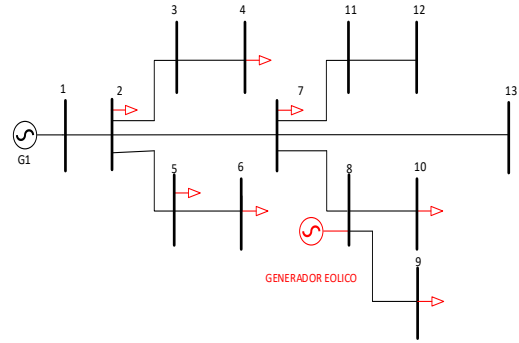


Figura 3. Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda baja

Para el segundo caso se toma como demanda media se toma los valores de demanda total de 10 pu de potencia activa, como 8 pu de potencia reactiva como se muestra en el anexo en la Tabla 10 y en la Figura 4 la ubicación óptima.

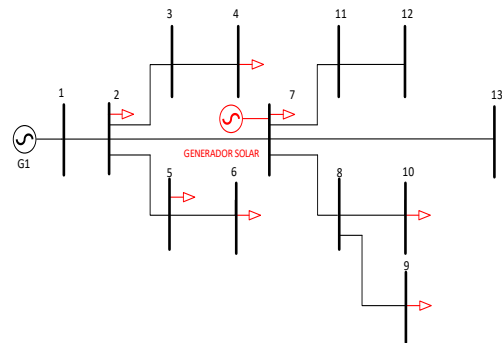


Figura 4. Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda media

Por último en el caso 3 tomada como demanda alta, se encuentra entre los valores de 15 pu de potencia activa, así como de 12 pu de potencia reactiva, en el anexo se muestra los datos de cargas para cada nodo en Tabla 10 y la ubicación óptima se observa en la Figura 5.

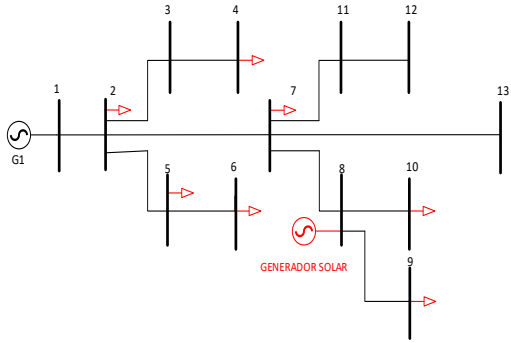


Figura 5. Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda alta

4.2 Modelo IEEE 34 barras

El sistema de 34 barras está conformado por 33 líneas, 29 cargas y un generador como se muestra en la Figura 6.

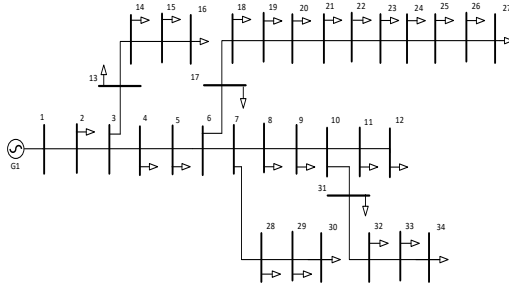


Figura 6. Modelo IEEE 34 barras

En el primer caso se toma las demandas bajas con una demanda total de 4.63 pu de potencia activa, así como de potencia reactiva 2.94 pu mostradas en el anexo en la Tabla 12 y en la Figura 7 se muestra la ubicación óptima del generador.

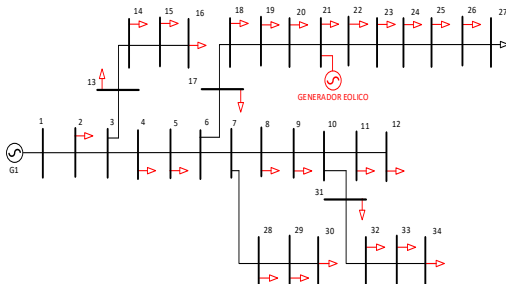


Figura 7. Ubicación de GD del sistema de 34 barras en demanda baja

Para el segundo caso tomada como demanda media, se toma los valores de demanda total de 10 pu de potencia activa como 8 pu de potencia reactiva, como se muestra en el anexo en la Tabla 12 y en la Figura 8 la ubicación óptima.

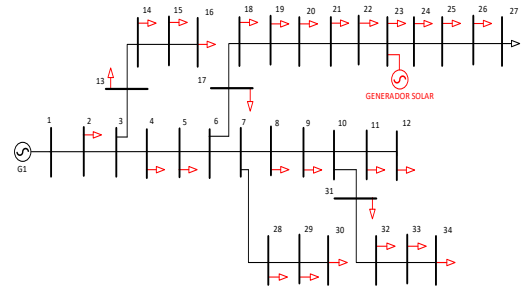


Figura 8. Ubicación de GD del sistema de 34 barras en demanda media

Por último en el caso 3 tomada como demanda alta, se encuentra entre los valores de 15 pu de potencia activa, así como de 12 pu de potencia reactiva, en el anexo se muestra los datos de cargas para cada nodo en Tabla 12 y la ubicación óptima se observa en la Figura 9.

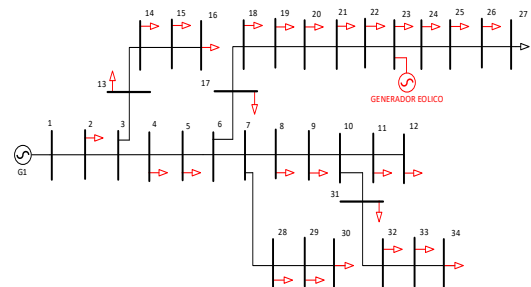


Figura 9. Ubicación de GD del sistema de 34 barras en demanda alta

5. Análisis de Resultados

5.1 Perfiles de Tensión Modelo IEEE 13 barras

En el anexo en la Tabla 11 se muestra los perfiles de voltaje, para todos los casos comparados en digisilent, donde se puede observar las mejoras notables en los niveles de voltaje en cada nodo.

En la Figura 10 se muestra los perfiles de tensión, para la demanda baja con generación distribuida y sin la generación distribuida.

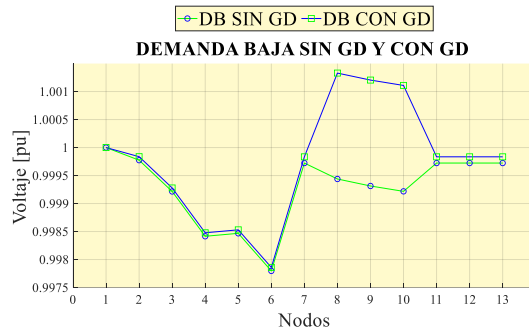


Figura 10. Perfil de tensión para sistema de 13 barras en demanda baja

En la Figura 11 se muestra los perfiles de tensión, para la demanda media con la generación distribuida y sin la generación distribuida.

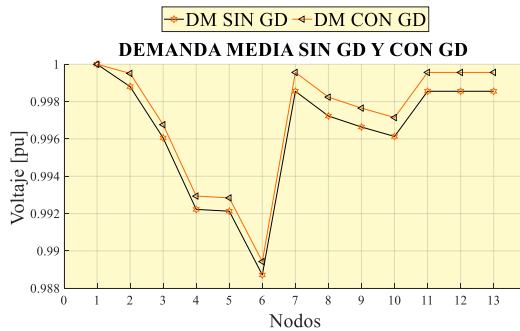


Figura 11. Perfil de tensión para sistema de 13 barras en demanda media

En la Figura 12 se muestra los perfiles de tensión, para la demanda alta con la generación distribuida y sin la generación distribuida.

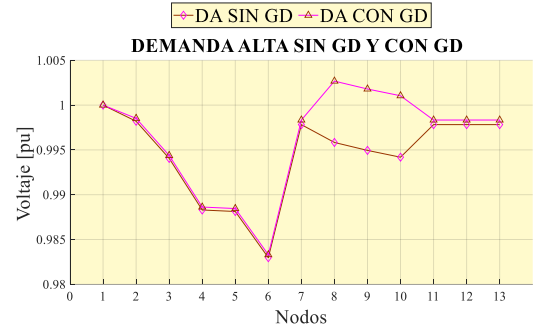


Figura 12. Perfil de tensión para sistema de 13 barras en demanda alta

En la Figura 13 se muestra los perfiles de tensión de los 3 casos, sin considerar una generación distribuida.

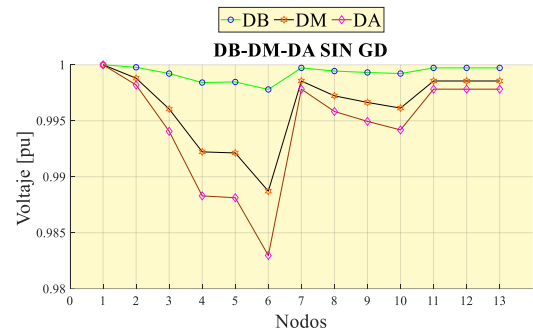


Figura 13. Perfil de tensión para sistema de 13 barras sin GD

En la Figura 14 se muestra el resultado de los perfiles de tensión, ya utilizando el modelo para la generación distribuida.

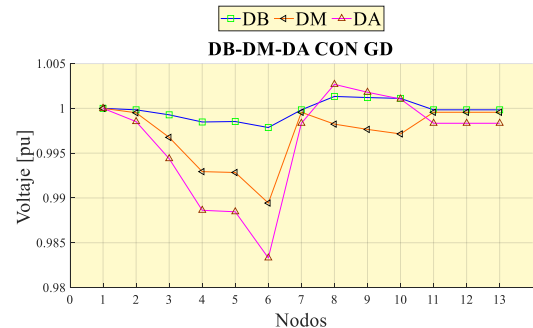


Figura 14. Perfil de tensión para sistema de 13 barras con GD

En la Figura 15 se muestra la comparación de los perfiles de tensión de los 3 casos con y sin generación distribuida.

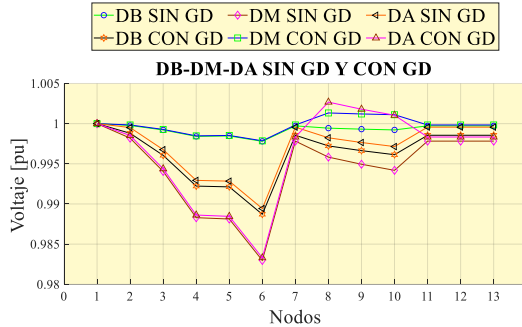


Figura 15. Perfil de tensión para sistema de 13 barras con y sin GD

5.2 Minimización de Costos Modelo IEEE 13 barras

El costo relacionado con la implementación del modelo en los 3 casos de estudio se puede observar en la Tabla 3. y en la Figura 16, que la minimización de costos es considerable.

Tabla 3. Costos de implementación de GD del sistema de 13 barras

	USD
SIN GD DEMANDA BAJA	10,7595
CON 1 GD DEMANDA BAJA	3,5908
SIN GD DEMANDA MEDIA	45,0982
CON 1 GD DEMANDA MEDIA	22,5835
SIN GD DEMANDA ALTA	67,7181
CON 1 GD DEMANDA ALTA	44,9901

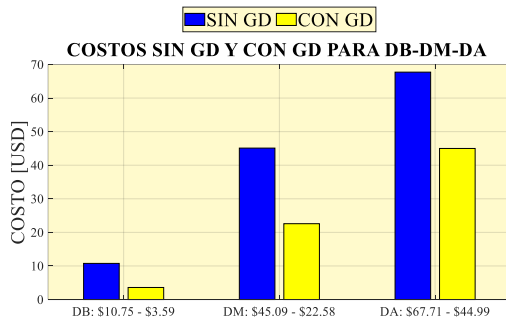


Figura 16. Costos de implementación de GD del sistema de 13 barras

5.3 Minimización de Pérdidas Modelo IEEE 13 barras

Las pérdidas de potencia se muestran en la Tabla 4 y en la Figura 17, donde al incremento de un generador las pérdidas se minimizan considerablemente.

Tabla 4. Pérdidas de potencia del sistema de 13 barras

	MW
SIN GD DEMANDA BAJA	0,0281
CON 1 GD DEMANDA BAJA	0,0114
SIN GD DEMANDA MEDIA	0,02118
CON 1 GD DEMANDA MEDIA	0,00856
SIN GD DEMANDA ALTA	0,234
CON 1 GD DEMANDA ALTA	0,194

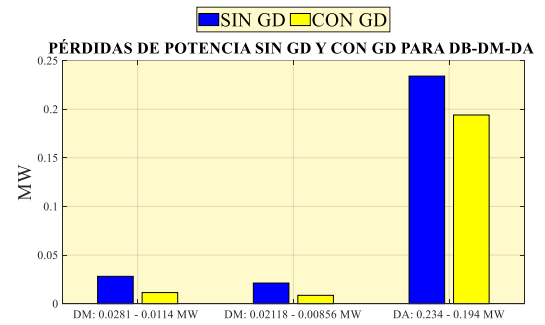


Figura 17. Pérdidas de potencia del sistema de 13 barras

5.4 Perfiles de Tensión Modelo IEEE 34 barras

En el anexo en la Tabla 13 se muestra los perfiles de voltaje, para todos los casos comparados en digisilent, donde se puede observar mejoras notables en los niveles de voltaje en cada nodo.

En la Figura 18 se muestra los perfiles de tensión, para la demanda baja con generación distribuida y sin la generación distribuida.

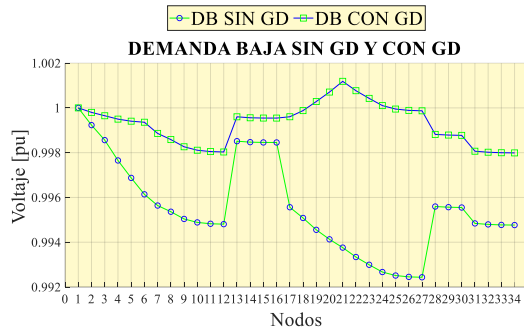


Figura 18. Perfil de tensión para sistema de 34 barras en demanda baja

En la Figura 19 se muestra los perfiles de tensión, para la demanda media con la generación distribuida y sin la generación distribuida.

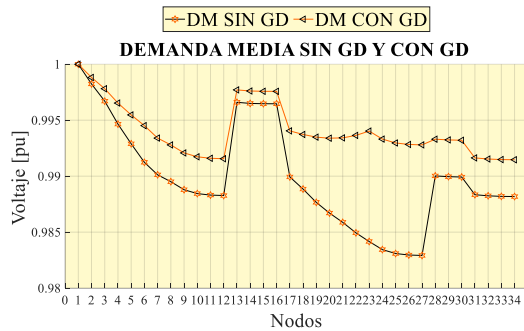


Figura 19. Perfil de tensión para sistema de 34 barras en demanda media

En la Figura 20 se muestra los perfiles de tensión, para la demanda alta con la generación distribuida y sin la generación distribuida.

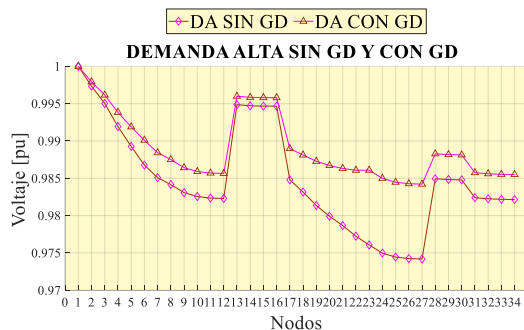


Figura 20. Perfil de tensión para sistema de 34 barras en demanda alta

En la Figura 21 se muestra los perfiles de tensión de los 3 casos, sin considerar una generación distribuida.

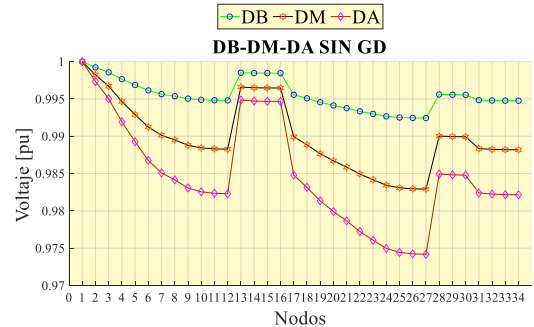


Figura 21. Perfil de tensión para sistema de 34 barras sin GD

En la Figura 22 se muestra el resultado de los perfiles de tensión, ya utilizando el modelo para la generación distribuida.

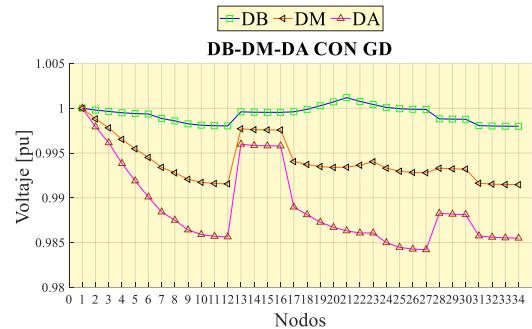


Figura 22. Perfil de tensión para sistema de 34 barras con GD

En la Figura 23 se muestra la comparación de los perfiles de tensión de los 3 casos con y sin generación distribuida.

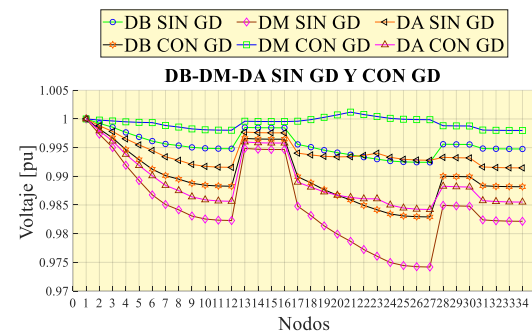


Figura 23. Perfil de tensión para sistema de 34 barras con y sin GD

5.5 Minimización de Costos Modelo IEEE 34 barras

El costo relacionado con la implementación del modelo en los 3 casos de estudio se puede observar en la Tabla 5 y en la Figura 24, donde se puede apreciar que la minimización de costos es considerable.

Tabla 5. Costos de implementación de GD del sistema de 34 barras

	USD
SIN GD DEMANDA BAJA	20,9894
CON 1 GD DEMANDA BAJA	10,0976
SIN GD DEMANDA MEDIA	45,6803
CON 1 GD DEMANDA MEDIA	34,4677
SIN GD DEMANDA ALTA	57,5381
CON 1 GD DEMANDA ALTA	69,0618

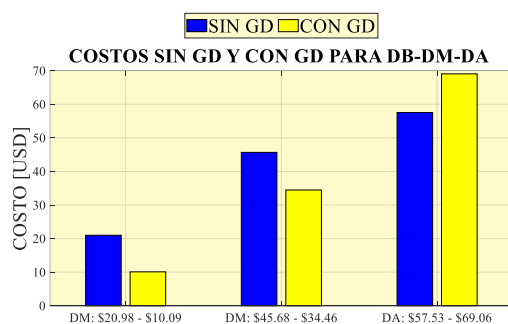


Figura 24. Costos de implementación de GD del sistema de 34 barras

5.6 Minimización de Pérdidas Modelo IEEE 34 barras

Las pérdidas de potencia se muestran en la Tabla 6 y en la Figura 25, donde al incremento de un generador las pérdidas se minimizan considerablemente.

Tabla 6. Pérdidas de potencia del sistema de 34 barras

	MW
SIN GD DEMANDA BAJA	0,02783
CON 1 GD DEMANDA BAJA	0,01822
SIN GD DEMANDA MEDIA	0,01531
CON 1 GD DEMANDA MEDIA	0,00614
SIN GD DEMANDA ALTA	0,249
CON 1 GD DEMANDA ALTA	0,1782

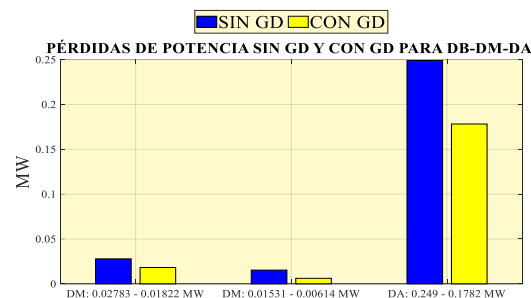


Figura 25. Pérdidas de potencia del sistema de 34 barras

5.6 Factor de Potencia en los Sistemas con Generación Solar

El factor de potencia se empieza a deteriorar en el G1, en la Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda baja, como se muestran los resultados en la Tabla 7. Factor de potencia en la demanda media del sistema de 13 barras y en la Figura 26 y en la Ubicación de GD del sistema de 13 barras en demanda alta, como se muestran los resultados en la Tabla 8 y en la Figura 27, al incorporar en este sistema GD solar. De igual manera en la Ubicación de GD del sistema de 34 barras en demanda media, cuyos valores del factor de potencia en el G1, se muestran en la Tabla 9 y en la Figura 28, en el que se da cuenta de la necesidad de compensación de reactivos.

Tabla 7. Factor de potencia en la demanda media del sistema de 13 barras

	FP
G1 SIN GD DEMANDA MEDIA	0,7794
G1 CON GD DEMANDA MEDIA	0,2669
GD SIN GD DEMANDA MEDIA	0
GD CON GD DEMANDA MEDIA	0,9000

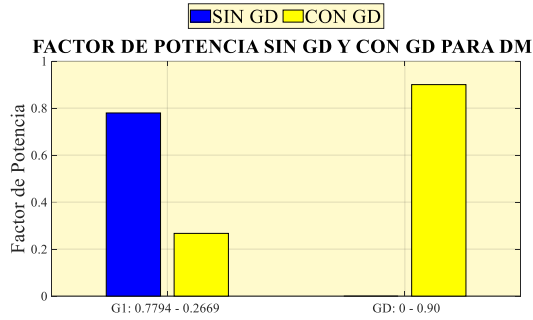


Figura 26. Factor de potencia del sistema de 13 barras en demanda media

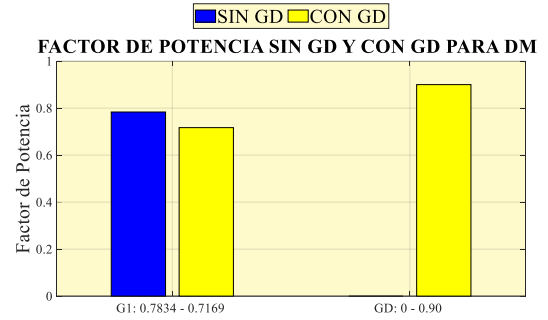


Figura 28. Factor de potencia del sistema de 34 barras en demanda media

Tabla 8. Factor de potencia en la demanda alta del sistema de 13 barras

	FP
G1 SIN GD DEMANDA ALTA	0,7786
G1 CON GD DEMANDA ALTA	0,5779
GD SIN GD DEMANDA ALTA	0
GD CON GD DEMANDA ALTA	0,9790

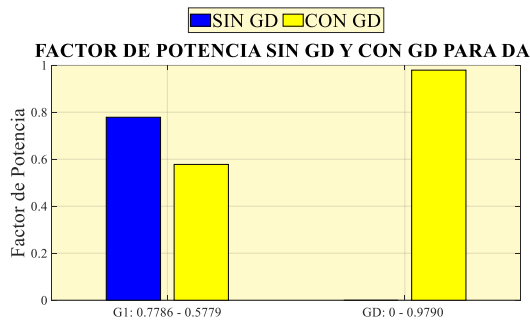


Figura 27. Factor de potencia del sistema de 13 barras en demanda alta

Tabla 9. Factor de potencia en la demanda media del sistema de 34 barras

	FP
G1 SIN GD DEMANDA MEDIA	0,7834
G1 CON GD DEMANDA MEDIA	0,7169
GD SIN GD DEMANDA ALTA	0
GD CON GD DEMANDA ALTA	0,9000

6. Conclusiones

A través del análisis realizado en el trabajo actual y en base a los resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

Al comparar con el software DIGSILENT Power Factory, se verifica el método basado en tecnología heurística, se obtiene un valor de voltaje similar en cada nodo, lo que promueve la realización del algoritmo de optimización y optimiza la ubicación de GD en el sistema eléctricos de distribución. Logrando de esta manera que el perfil de voltaje alcance el nivel de operación óptima.

Verificamos el comportamiento de las variables de eficiencia y calidad en función de la ubicación de la generación distribuida, mejorando la estabilidad de voltaje, reduciendo los costos de producción de energía en la mayor medida, y cumplimos con la función objetivo recomendada, lo que demuestra la inclusión de GD en el sistema de distribución.

Cumplimos con los límites teóricos de las variables de calidad y eficiencia para escenarios de mínima, media y máxima demanda, manteniendo sus parámetros dentro de los límites, aunque la potencia de demanda aumente, esto sucede porque cumple con las condiciones establecidas, caso contrario cambiará la confiabilidad operativa que no favorece los intereses del sistema eléctrico de distribución.

La solución más favorable en este análisis es la "baja demanda", porque puede reducir el costo de generación de energía distribuida en un 50% y reducir la pérdida de energía en comparación con otros escenarios de demanda. Esto se debe a que cuando la demanda es baja, la curva de voltaje debe mantenerse en un cierto nivel, debido al bajo consumo de energía del usuario. Cuando la demanda es alta, la curva de voltaje tiende a repetirse, debido al aumento de la carga y la capacidad del usuario. El propósito de incluir GD en tales situaciones es aumentar estas curvas de voltaje para que el sistema funcione de manera estable.

Al presentar los factores de potencia de los sistemas que integraron a su sistema GD solar, permite verificar que cuando se coloca GD solar en el sistema eléctrico, esta GD solar inyecta potencia activa (P) que siempre trabaja con factores de potencia unitarios, reduce la dependencia de potencia reactiva (Q) de la red manteniéndose constante, debido al deterioro del factor de potencia.

Para los sistemas de generación distribuida que usan la energía eólica y solar como las principales fuentes de energía, la investigación técnica y climática debe realizarse al mismo tiempo, debido a que el sol, es una fuente de energía renovable, que se obtiene mediante el uso de la radiación electromagnética del sol y el viento es una energía cinética de las masas de aires, que son fuentes principales de producción y es el componente básico de análisis y cálculo en este artículo.

Sin embargo, debe recordarse que de acuerdo con el análisis que deseamos realizar, no debemos exceder el límite permisible de GD, porque no solo excederá el límite de estabilidad de voltaje, sino que también generará altos costos de generación distribuida, esto hará que no sea el mejor modelo óptimo de GD, para el análisis que realizamos, lo que hará que GD tenga el efecto contrario y la curva de voltaje no mostrará cambios, que contribuyan al funcionamiento óptimo del sistema eléctrico de distribución.

Finalmente, el método realizado ayuda a obtener un tamaño adecuado y la ubicación óptima de las GD en el sistema de distribución, esto ayuda a la reducción de pérdidas y la mejora del perfil de voltaje. El método utilizado en este paper se basa en una sola GD, en comparación con el método de Optimización de Enjambre de partículas (PSO), porque para este método, se deben implementar múltiples GD para cumplir con los objetivos propuestos y mejorar el perfil de voltaje en los sistemas eléctricos de distribución.

7. Trabajos Futuros

Mediante el análisis de este trabajo, se pueden formular nuevas investigaciones, tales como:

Ubicación y dimensionamiento óptimo de la GD, implementando múltiple GD con inyección de potencia reactiva en escenarios de demanda.

Ubicación y dimensionamiento óptimo de la GD utilizando tecnologías de almacenamiento, guardando la generación producida y utilizarla en escenarios de demanda alta, elevando condiciones de eficiencia energética.

8. Referencias

- [1] D. B. Prakash and C. Lakshminarayana, "Multiple DG Placements in Distribution System for Power Loss Reduction Using PSO Algorithm," *Procedia Technol.*, vol. 25, no. Raerest, pp. 785–792, 2016.
- [2] S. Ray, A. Bhattacharya, and S. Bhattacharjee, "Optimal placement of switches in a radial distribution network for reliability improvement," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 76, pp. 53–68, 2016.
- [3] D. Q. Hung and N. Mithulananthan, "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 4, pp. 1700–1708, Apr. 2013.
- [4] P. V. Babu and R. Dahiya, "Direct search approach for multiple distributed generator allocation in radial distribution systems," *Proc. 6th IEEE Power India Int. Conf. PIICON 2014*, vol. 3, pp. 1–6, 2014.
- [5] Y. M. Atwa and E. F. El-Saadany, "Optimal allocation of ESS in distribution systems with a high penetration of wind energy," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 4, pp. 1815–1822, 2010.
- [6] H. Li, S. Ge, and H. Liu, "Analysis of the Effect of Distributed Generation on Power Grid," *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf.*, pp. 1–5, 2012.
- [7] V. Villa and A. Águila, "Óptima Gestión Y Regulación De Voltaje En Microredes De Distribución Con Generación Distribuida Y Almacenamiento De Energía.," *Univ. Politécnica Sales.*, 2017.
- [8] V. K. Shrivastava, O. P. Rahi, V. K. Gupta, and S. K. Singh, "Optimal location of distribution generation source in power system network," *2012 IEEE 5th Power India Conf. PICONF 2012*, pp. 1–6, 2012.
- [9] D. Gonzales and A. Águila, "Ubicación de Recursos Distribuidos Basado en Flujos de Potencia Usando Optimización por Enjambre de Patriculas," 2018.
- [10] S. Sultana and P. K. Roy, "Krill herd algorithm for optimal location of distributed generator in radial distribution system," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 40, pp. 391–404, 2016.
- [11] 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.

- [12] R. Rajaram, K. Sathish Kumar, and N. Rajasekar, "Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG)," *Energy Reports*, vol. 1, pp. 116–122, 2015.
- [13] N. Mourad and B. Mohamed, "Impact of increased distributed photovoltaic generation on radial distribution networks," *Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2016*, pp. 292–295, 2016.
- [14] L. Hongkai, X. Chenghong, S. Jinghui, and Y. Yuexi, "Green power generation technology for distributed power supply," *2008 China Int. Conf. Electr. Distrib.*, no. 4, pp. 1–4, 2014.
- [15] 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, 2014.
- [16] A. Valenzuela, I. Montalvo, and C. B. Singaña, "Electrical vehicle: Facing future challenges in Quito," *2017 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. - Lat. Am. ISGT Lat. Am. 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2017.
- [17] P. Chiradeja, "Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis," *2005 IEEE/PES Transm. Distrib. Conf. Expo. Asia Pacific*, pp. 1–5, 2015.
- [18] 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, 2015.
- [19] J. J. Mora-Flórez, R. A. Herrera-Orozco, and A. F. Bedoya-Cadena, "Fault location considering load uncertainty and distributed generation in power distribution systems," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 9, no. 3, pp. 287–295, 2015.
- [20] J. D. Vargas and G. Ramos, "Fault locator implementation for radial distribution systems," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 12, no. 8, pp. 1473–1478, 2014.
- [21] E. M. García Torres, 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)," in *Power Engineering Conference (UPEC), 2016 51st International Universities*, 2016, no. Mcmc, pp. 1–6.
- [22] H. Falaghi and M. R. Haghifam, "Distributed generation impacts on electric distribution systems reliability; sensitivity analysis," *EUROCON 2005 - Int. Conf. Comput. as a Tool*, vol. II, pp. 1465–1468, 2015.
- [23] S. M. Medina and A. Aguilá, "Óptima Compensación de Potencia Reactiva en Redes de Distribución Radiales considerando periodo de diseño Optimal Compensation of Reactive Power in Radial Distribution Networks considering design period," *2019 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 108–115, 2019.
- [24] J. Vasco and A. Aguilá, "Design of Automatic Reclosing scheme in distribution feeders," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 8, pp.

- 2587–2593, 2015.
- [25] W. El-Khattam, Y. Hegazy, and M. Salama, “An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning,” *2005 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, vol. 3, no. 2, p. 2392, 2015.
- [26] L. I. Dulău, M. Abrudean, and D. Bică, “Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems,” *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 681–686, 2014.
- [27] S. K. Injeti and N. Prema Kumar, “A novel approach to identify optimal access point and capacity of multiple DGs in a small, medium and large scale radial distribution systems,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 45, no. 1, pp. 142–151, 2013.
- [28] L. F. Buitrago Arroyave and J. M. López Lezama, “Valoración de los impactos técnicos de la generación distribuida en sistemas de energía eléctrica,” *Rev. Tecnura*, vol. 17, no. 36, p. 50, 2013.
- [29] E. J. Coster, J. M. A. Myrzik, B. Kruimer, and W. L. Kling, “Integration issues of distributed generation in distribution grids,” *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 28–39, 2011.
- [30] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Aguila, J. W. Gonz, I. Isaac, and J. L. Gabriel, “Heliyon Hybrid AC / DC microgrid test system simulation : grid-connected mode,” *Heliyon*, vol. 5, no. August, p. 21, 2019.
- [31] L. Ortiz, L. B. Guti, J. W. Gonz, and A. Aguila, “A novel strategy for dynamic identification in AC/DC microgrids based on ARX and Petri Nets,” *Heliyon*, vol. 6, no. February 2019, 2020.
- [32] F. M. González-longatt, “Tecnologías de Generación Distribuida : Costos y Eficiencia,” 2014.
- [33] 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, 2016.
- [34] 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, p. e00746, Aug. 2018.
- [35] K. Nadhir, D. Chabane, and B. Tarek, “Firefly algorithm based energy loss minimization approach for optimal sizing & placement of distributed generation,” *2013 5th Int. Conf. Model. Simul. Appl. Optim. ICMSAO 2013*, 2013.
- [36] J. Driesen and R. Belmans, “Distributed generation: challenges and possible solutions,” *2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–8, 2012.
- [37] D. A. Balaguera, A. F. Cortes, and M. A. Uruena, “Distributed generation scheme analysis, as an option for Bogota electrical system,” *2012 IEEE Int. Symp. Altern. Energies Energy Qual. SIFAE 2012 - Conf. Proc.*, 2012.
- [38] L.-A. Dessaint, I. Kamwa, and T. Zabaïou, “Preventive control approach for voltage stability improvement using voltage stability constrained optimal power flow based on static line voltage stability indices,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 8, no. 5, pp. 924–934, 2014.

- [39] F. A. Althowibi and M. W. Mustafa, "Line voltage stability calculations in power systems," *PECon2010 - 2010 IEEE Int. Conf. Power Energy*, pp. 396–401, 2011.
- [40] F. A. Castillo Munoz, A. Aguila Tellez, and J. W. Gonzalez Sanchez, "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.
- [41] V. V. S. N. Murty and A. Kumar, "Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 69, pp. 246–256, 2015.
- [42] H. Hedayati, S. A. Nabaviniaki, and A. Akbarimajd, "A new method for placement of DG units in distribution networks," *2006 IEEE PES Power Syst. Conf. Expo. PSCE 2006 - Proc.*, pp. 1904–1909, 2014.
- [43] V. Vita, T. Alimardan, and L. Ekonomou, "The impact of distributed generation in the distribution networks' voltage profile and energy losses," *Proc. - EMS 2015 UKSim-AMSS 9th IEEE Eur. Model. Symp. Comput. Model. Simul.*, pp. 260–265, 2016.
- [44] Z. W. Khan and S. Khan, "Analyzing the impacts of Distributed Generation on power losses and voltage profile," *Proc. 2015 Int. Conf. Emerg. Technol. ICET 2015*, pp. 1–4, 2016.
- [45] A. A. Tellez, D. F. C. Galarza, and L. O. Matos, "Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015.
- [46] A. A. Téllez, A. Robayo, I. Isaac, G. López, and J. González, "Optimal sizing of distribution transformers using exhaustive search algorithm," *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conf. - Living energy Transit.*, 2019.
- [47] R. Pérez, R. Rodrigues, and A. Aguila, "Analysis and Simulation of Ferroresonance in Power Transformers using Simulink," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 2, pp. 460–466, 2018.
- [48] V. Orejuela, D. Arias, and A. Aguila, "Response of Residential Electricity Demand Against Price Signals in Ecuador," in *PROCEEDINGS of the 2015 IEEE Thirty Fifth Central American and Panama Convention*, 2015, no. Concapan XXXV, pp. 373–378.
- [49] G. Gutierrez, A. Aguila, D. González, and L. Ortiz, "Optimum location and sizing of capacitor banks using VOLT VAR compensation in micro-grids," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 3, pp. 465–472, 2020.

9. Estado del Arte

UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA																									
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA						
			Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Generación Distribuida (GD)	Impacto de GD en redes de distribución	Mejoramiento del perfil de voltaje	Ubicación óptima	Perdidas de Potencia	Perfil de voltaje	Perdidas de Potencia	Minimización de pérdidas	Ubicación de GD	Planeación de GD	Balance de potencia	Límites de ángulos y voltajes	Fallas Eléctricas en la Red	Costos	Algoritmo de Optimización	Minimización de pérdidas de potencia	Ubicación óptima de GD	Flujo de Potencia	Ubicación óptima de GD	Mejorar perfil de voltaje	Flujos óptimos
1	2016	Multiple DG Placements in Distribution System for Power Loss Reduction Using PSO Algorithm	\cite{Prakash2016}	42			✗		✗		✗	✗		✗	✗			✗	✗	✗		✗			
2	2016	Optimal placement of switches in a radial distribution network for reliability improvement	\cite{Ray2016}	43	✗		✗				✗			✗	✗				✗			✗			✗
3	2013	Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction	\cite{Hung2013}	619		✗	✗				✗		✗					✗	✗				✗		
4	2014	Direct search approach for multiple distributed generator allocation in radial distribution systems	\cite{Babu2014}	1			✗		✗	✗	✗					✗							✗		
5	2010	Optimal allocation of ESS in distribution systems with a high penetration of wind energy	\cite{Atwa2010}	443	✗		✗				✗		✗										✗		
6	2012	Analysis of the Effect of Distributed Generation on Power Grid	\cite{Li2012}	7			✗	✗	✗		✗								✗			✗		✗	

UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Generación Distribuida (GD)	Impacto de GD en redes de distribución	Mejoramiento del perfil de voltaje	Ubicación óptima	Perdidas de Potencia	Perfil de voltaje	Perdidas de Potencia	Minimización de pérdidas	Ubicación de GD	Planeación de GD	Balance de potencia	Límites de ángulos y voltajes	Fallas Eléctricas en la Red	Costos	Algoritmo de Optimización	Minimización de pérdidas de potencia	Ubicación óptima de GD	Flujo de Potencia	Ubicación óptima de GD	Mejorar perfil de voltaje	Flujos óptimos	Dimensionamiento óptimo de GD
7	2012	Optimal location of distribution generation source in power system network	\cite{Shrivastava2012}	18		☒	☒	☒		☒		☒						☒					☒	☒		
8	2016	Krill herd algorithm for optimal location of distributed generator in radial distribution system	\cite{Sultana2016}	95		☒		☒		☒			☒										☒			☒
9	2015	Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG)	\cite{Rajaram2015}	123		☒			☒		☒			☒							☒					
10	2016	Impact of increased distributed photovoltaic generation on radial distribution networks	\cite{Mourad2016}	7		☒						☒		☒			☒				☒		☒	☒	☒	
11	2014	A new method for placement of DG units in distribution networks	\cite{Hedayati2014}	28				☒					☒													
12	2014	Green power generation technology for distributed power supply	\cite{Hongkai2014}	22	☒	☒		☒			☒			☒			☒		☒	☒			☒	☒		

UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Generación Distribuida (GD)	Impacto de GD en redes de distribución	Mejoramiento del perfil de voltaje	Ubicación óptima	Perdidas de Potencia	Perfil de voltaje	Perdidas de Potencia	Minimización de pérdidas	Ubicación de GD	Planeación de GD	Balance de potencia	Límites de ángulos y voltajes	Fallas Eléctricas en la Red	Costos	Algoritmo de Optimización	Minimización de pérdidas de potencia	Ubicación óptima de GD	Flujo de Potencia	Ubicación óptima de GD	Mejorar perfil de voltaje	Flujos óptimos	Dimensionamiento óptimo de GD
13	2014	Optimal placement of distributed generations considering voltage stability and power losses with observing voltage-related constraints	\cite{Esmaili2014}	127	☒	☒	☒					☒	☒		☒				☒			☒	☒			☒
14	2017	Electrical vehicle: Facing future challenges in Quito	\cite{Valenzuela2017a}	10		☒		☒	☒								☒									
15	2015	Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis	\cite{Chiradeja2015}	340	☒							☒								☒			☒			☒
16	2015	Distributed generation: Definition, benefits and issues	\cite{Pepermans2015}	1912	☒	☒		☒	☒																☒	☒
17	2015	Fault location considering load uncertainty and distributed generation in power distribution systems	\cite{Mora-Florez2015}	42	☒		☒	☒	☒			☒			☒			☒								
18	2014	Fault locator implementation for radial distribution systems	\cite{Vargas2014}	4		☒	☒	☒		☒						☒		☒					☒			
19	2015	Distributed generation impacts on electric distribution systems reliability; sensitivity analysis	\cite{Falaghi2015}	72	☒		☒		☒		☒											☒				☒

UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Generación Distribuida (GD)	Impacto de GD en redes de distribución	Mejoramiento del perfil de voltaje	Ubicación óptima	Perdidas de Potencia	Perfil de voltaje	Perdidas de Potencia	Minimización de pérdidas	Ubicación de GD	Planeación de GD	Balance de potencia	Límites de ángulos y voltajes	Fallas Eléctricas en la Red	Costos	Algoritmo de Optimización	Minimización de pérdidas de potencia	Ubicación óptima de GD	Flujo de Potencia	Ubicación óptima de GD	Mejorar perfil de voltaje	Flujos óptimos	Dimensionamiento óptimo de GD
20	2015	An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning	\cite{El-Khattam2015}	599	☒		☒	☒		☒					☒		☒		☒						☒	
21	2014	Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems	\cite{Dulau2014}	78	☒	☒		☒		☒					☒											
22	2013	A novel approach to identify optimal access point and capacity of multiple DGs in a small, medium and large scale radial distribution systems	\cite{Injeti2013}	209	☒		☒					☒			☒			☒			☒				☒	
23	2013	Valoración de los impactos técnicos de la generación distribuida en sistemas de energía eléctrica	\cite{BuitragoArroyave2013}	1	☒		☒									☒					☒		☒			
24	2011	Integration issues of distributed generation in distribution grids	\cite{Coster2011}	368	☒	☒			☒	☒																☒
25	2014	Tecnologías de Generación Distribuida : Costos y Eficiencia	\cite{Gonzalez-longatt2014}	12	☒	☒			☒	☒		☒			☒										☒	

UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Generación Distribuida (GD)	Impacto de GD en redes de distribución	Mejoramiento del perfil de voltaje	Ubicación optima	Perdidas de Potencia	Perfil de voltaje	Perdidas de Potencia	Minimización de pérdidas	Ubicación de GD	Planeación de GD	Balance de potencia	Límites de ángulos y voltajes	Fallas Eléctricas en la Red	Costos	Algoritmo de Optimización	Minimización de pérdidas de potencia	Ubicación optima de GD	Flujo de Potencia	Ubicación optima de GD	Mejorar perfil de voltaje	Flujos óptimos	Dimensionamiento óptimo de GD
26	2016	Power Losses Reduction and Reliability Improvement in Distribution System with Very Small Power Producers	\cite{Sabpayakom2016}	11	☒	☒	☒	☒	☒	☒													☒			☒
27	2013	Firefly algorithm based energy loss minimization approach for optimal sizing & placement of distributed generation	\cite{Nadhir2013}	26	☒			☒			☒		☒													
28	2012	Distributed generation: challenges and possible solutions	\cite{Driesen2012}	280	☒			☒	☒										☒				☒			☒
29	2012	Distributed generation scheme analysis, as an option for Bogota electrical system	\cite{Balaguera2012}	5	☒	☒		☒				☒			☒				☒				☒			
30	2014	Preventive control approach for voltage stability improvement using voltage stability constrained optimal power flow based on static line voltage stability indices	\cite{Dessaint2014}	90		☒		☒			☒	☒										☒	☒			
31	2011	Line voltage stability calculations in power systems	\cite{Althowibi2011}	22			☒		☒			☒													☒	

UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS HEURÍSTICAS BASADAS EN ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	DATOS			TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA										
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendelley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Generación Distribuida (GD)	Impacto de GD en redes de distribución	Mejoramiento del perfil de voltaje	Ubicación óptima	Perdidas de Potencia	Perfil de voltaje	Perdidas de Potencia	Minimización de pérdidas	Ubicación de GD	Planeación de GD	Balance de potencia	Límites de ángulos y voltajes	Fallas Eléctricas en la Red	Costos	Algoritmo de Optimización	Minimización de pérdidas de potencia	Ubicación óptima de GD	Flujo de Potencia	Ubicación óptima de GD	Mejorar perfil de voltaje	Flujos óptimos	Dimensionamiento óptimo de GD
32	2015	Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth	\cite{Murty2015}	181	☒	☒		☒		☒		☒	☒										☒			
33	2016	Analysis of voltage profile to determine energy demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC)	\cite{Garcia2016}	37			☒	☒				☒	☒						☒							
34	2016	The impact of distributed generation in the distribution networks' voltage profile and energy losses	\cite{Vita2016}	50	☒	☒			☒		☒						☒							☒		
35	2016	Analyzing the impacts of Distributed Generation on power losses and voltage profile	\cite{Khan2016}	17	☒			☒						☒									☒			☒
36	2018	Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review	\cite{AguilaTellez2018}	21			☒	☒		☒		☒					☒	☒			☒			☒	☒	
				CANTIDAD:	21	17	17	19	16	12	7	12	11	7	11	6	2	11	6	7	7	3	17	6	10	10

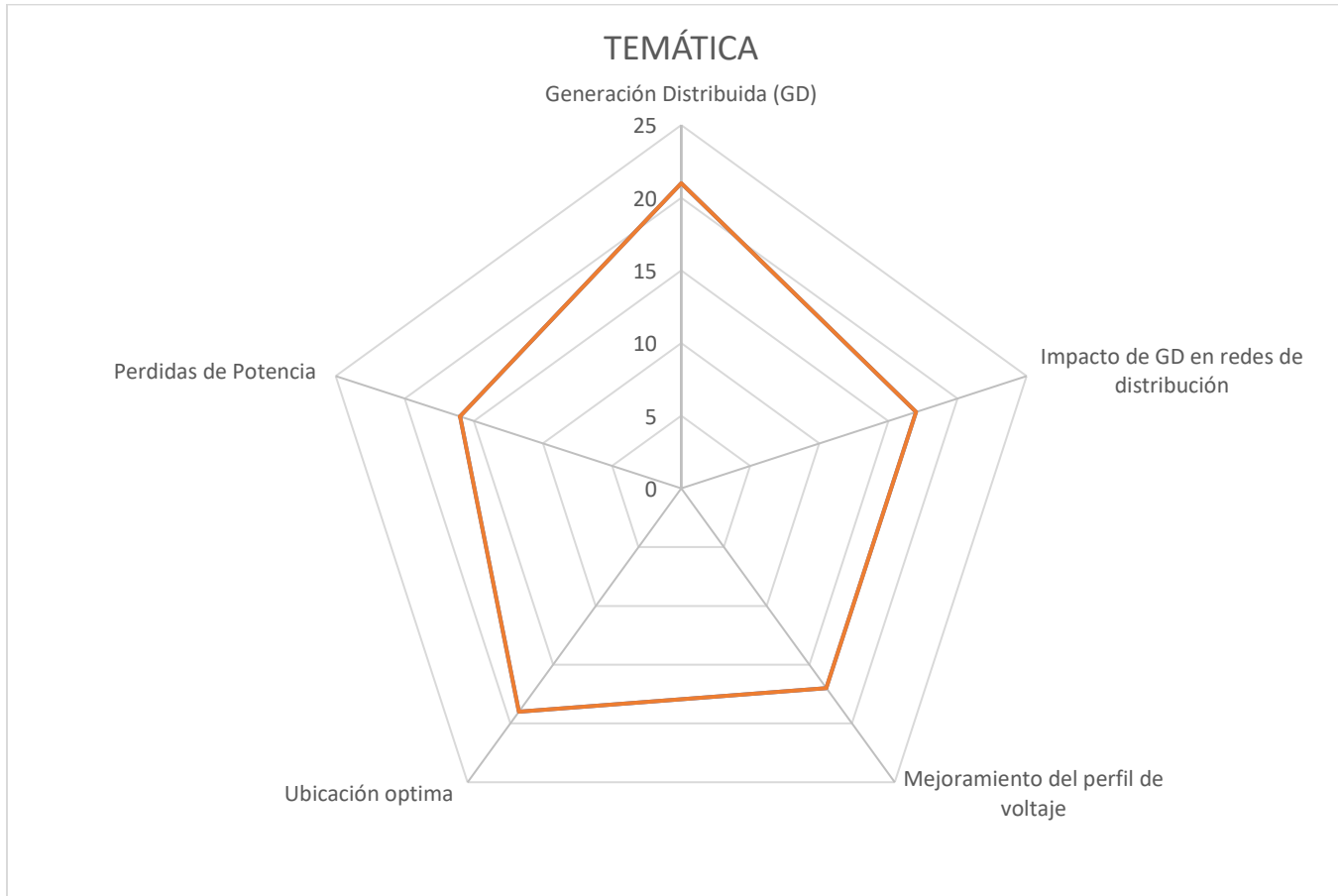


Figura 29. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte

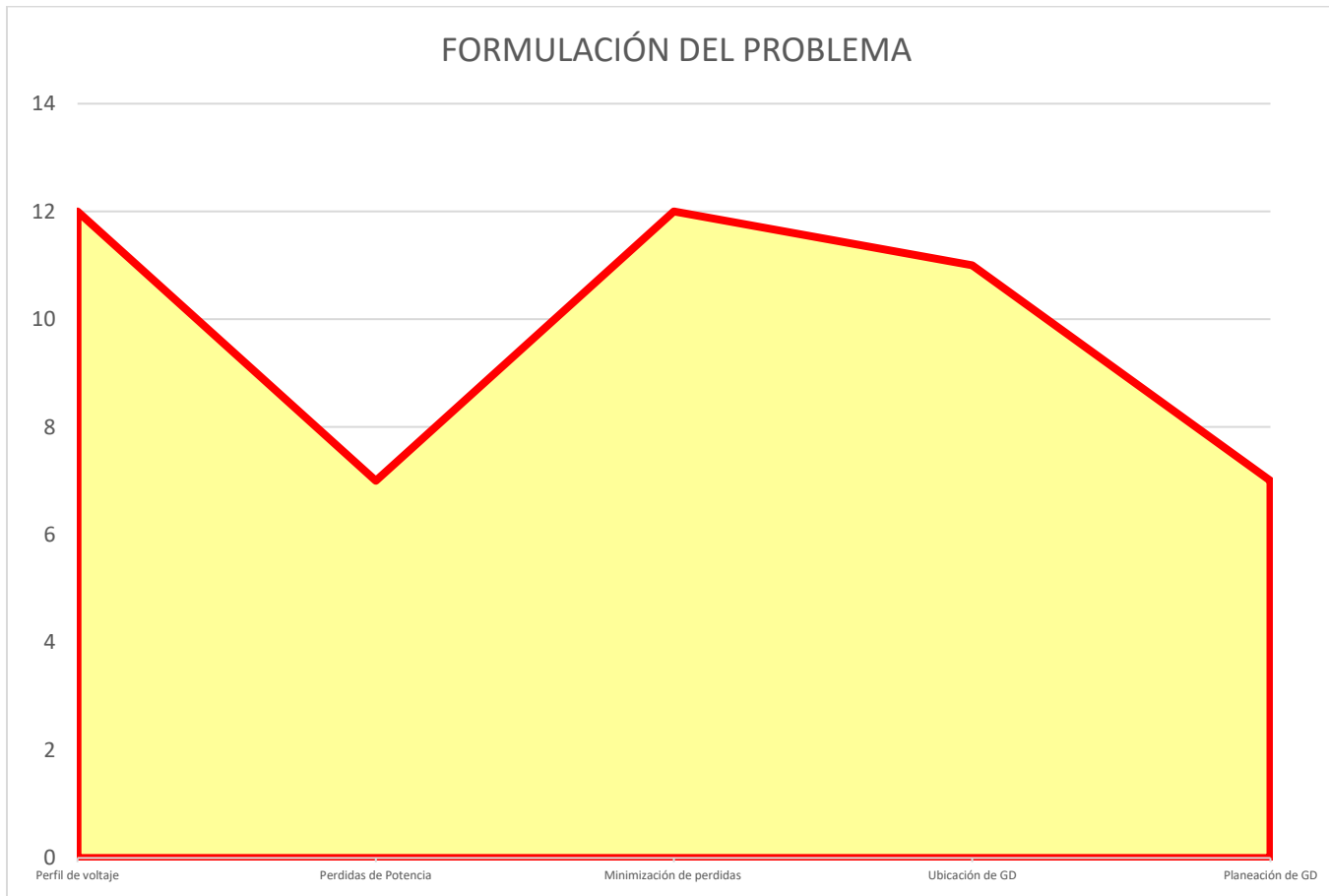


Figura 30. Indicador de formulación del problema - Estado del arte

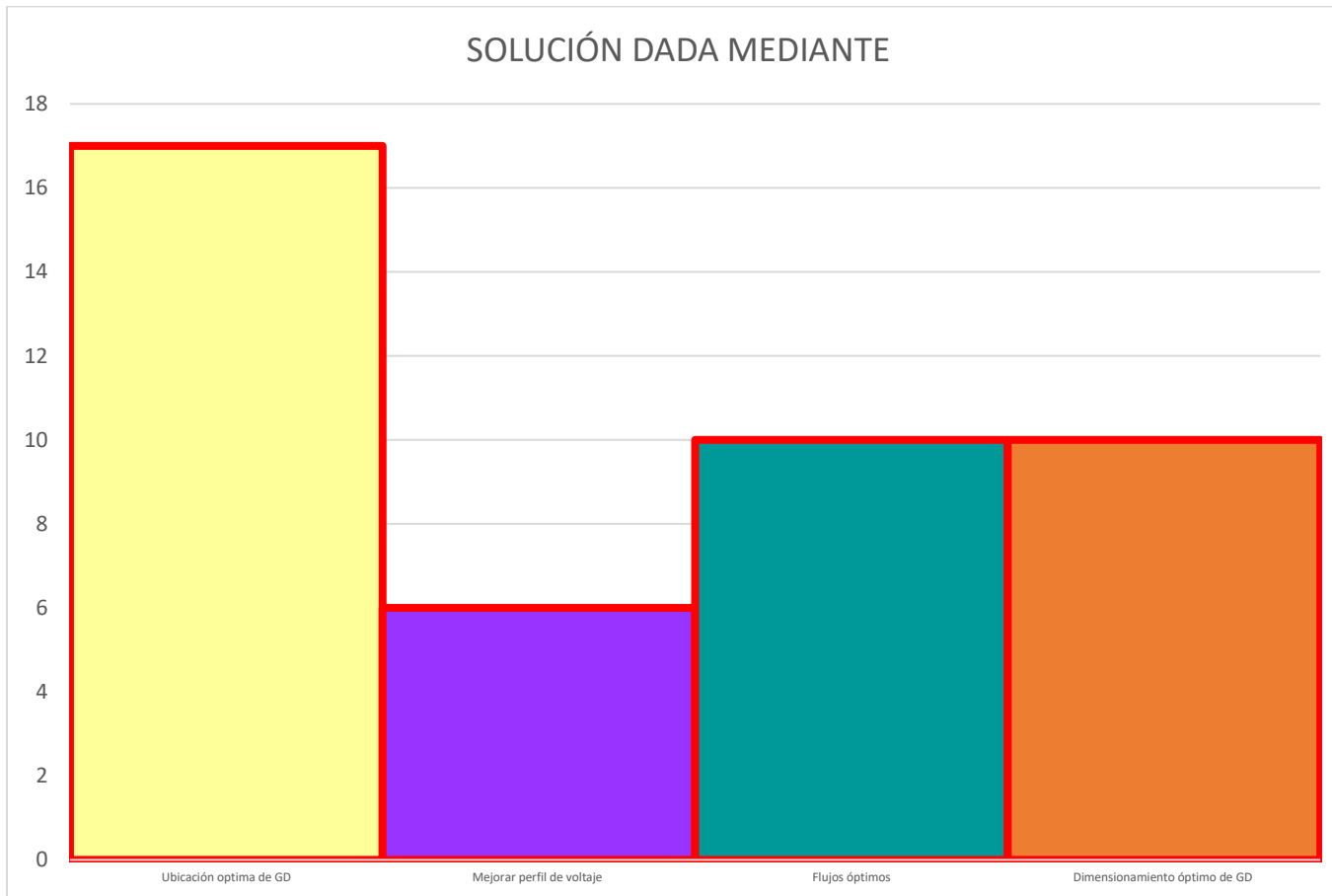


Figura 31. Indicador de solución - Estado del arte

10. Anexos

Tabla 10. Cargas en los nodos de un sistema de 13 barras.

NODO	DEMANDA BAJA		DEMANDA MEDIA		DEMANDA ALTA		
	Nc	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar
1		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
2		0,2	0,12	0,837	0,662	1,255	0,993
3		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
4		0,4	0,29	1,674	1,600	2,510	2,400
5		0,17	0,12	0,711	0,662	1,067	0,993
6		0,2	0,12	0,837	0,662	1,255	0,993
7		1,15	0,66	4,812	3,641	7,218	5,462
8		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
9		0,11	0,07	0,460	0,386	0,690	0,579
10		0,16	0,07	0,669	0,386	1,004	0,579
11		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
12		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
13		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL		2,39	1,45	10	8	15	12

Tabla 11. Perfiles tensión para un sistema de 13 barras

	SIN GD DEMANDA BAJA		SIN GD DEMANDA MEDIA		SIN GD DEMANDA ALTA		CON 1 GD DEMANDA BAJA NODO 8 GDEÓLICA		CON 1 GD DEMANDA MEDIA NODO 7 GDFV		CON 1 GD DEMANDA ALTA NODO 8 GD EÓLICA	
	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT
n1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
n2	0,9998	0,9998	0,9988	0,9988	0,9982	0,9982	0,9998	0,9998	0,9995	0,9995	0,9985	0,9985
n3	0,9992	0,9992	0,9961	0,9961	0,9941	0,9941	0,9993	0,9993	0,9968	0,9968	0,9944	0,9944
n4	0,9984	0,9984	0,9922	0,9922	0,9883	0,9883	0,9985	0,9985	0,9929	0,9929	0,9886	0,9886
n5	0,9985	0,9985	0,9921	0,9921	0,9881	0,9881	0,9985	0,9985	0,9928	0,9928	0,9885	0,9885
n6	0,9978	0,9978	0,9887	0,9887	0,9830	0,9830	0,9979	0,9979	0,9894	0,9894	0,9833	0,9833
n7	0,9997	0,9997	0,9986	0,9986	0,9978	0,9978	0,9998	0,9998	0,9996	0,9996	0,9983	0,9983
n8	0,9994	0,9994	0,9972	0,9972	0,9958	0,9958	1,0013	1,0013	0,9982	0,9982	1,0027	1,0027
n9	0,9993	0,9993	0,9966	0,9966	0,9949	0,9947	1,0012	1,0012	0,9976	0,9976	1,0018	1,0016
n10	0,9992	0,9992	0,9961	0,9961	0,9942	0,9944	1,0011	1,0011	0,9971	0,9971	1,0010	1,0012
n11	0,9997	0,9997	0,9986	0,9986	0,9978	0,9978	0,9998	0,9998	0,9996	0,9996	0,9983	0,9983
n12	0,9997	0,9997	0,9986	0,9986	0,9978	0,9978	0,9998	0,9998	0,9996	0,9996	0,9983	0,9983
n13	0,9997	0,9997	0,9986	0,9986	0,9978	0,9978	0,9998	0,9998	0,9996	0,9996	0,9983	0,9983

Tabla 12. Cargas en los nodos de un sistema de 34 barras.

NODOS	DEMANDA BAJA		DEMANDA MEDIA		DEMANDA ALTA		
	Nc	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar
1		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
2		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
3		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
4		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
5		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
6		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
7		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
8		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
9		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
10		0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
11		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
12		0,137	0,084	0,295	0,228	0,443	0,343
13		0,072	0,045	0,155	0,122	0,233	0,184
14		0,072	0,045	0,155	0,122	0,233	0,184
15		0,072	0,045	0,155	0,122	0,233	0,184
16		0,0135	0,075	0,029	0,204	0,044	0,306
17		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
18		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
19		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
20		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
21		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
22		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
23		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
24		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
25		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
26		0,23	0,1425	0,496	0,388	0,744	0,581
27		0,137	0,085	0,295	0,231	0,443	0,347
28		0,075	0,048	0,162	0,131	0,243	0,196
29		0,075	0,048	0,162	0,131	0,243	0,196
30		0,075	0,048	0,162	0,131	0,243	0,196
31		0,057	0,0345	0,123	0,094	0,184	0,141

NODOS	DEMANDA BAJA		DEMANDA MEDIA		DEMANDA ALTA	
	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar
32	0,057	0,0345	0,123	0,094	0,184	0,141
33	0,057	0,0345	0,123	0,094	0,184	0,141
34	0,057	0,0345	0,123	0,094	0,184	0,141
TOTAL	4,6365	2,941	10	8	15	12

Tabla 13. Perfiles tensión para un sistema de 34 barras

	SIN GD DEMANDA BAJA		SIN GD DEMANDA MEDIA		SIN GD DEMANDA ALTA		CON 1 GD DEMANDA BAJA NODO 21 GDEÓLICA		CON 1 GD DEMANDA MEDIA NODO 23 GD EÓLICA		CON 1 GD DEMANDA ALTA NODO 23 GD EÓLICA	
	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT
n1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
n2	0,99923	0,99923	0,99824	0,99823	0,99734	0,99734	0,99980	0,99980	0,99882	0,99881	0,99793	0,99793
n3	0,99856	0,99856	0,99670	0,99669	0,99502	0,99502	0,99965	0,99965	0,99781	0,99780	0,99615	0,99615
n4	0,99765	0,99765	0,99465	0,99464	0,99192	0,99192	0,99950	0,99950	0,99653	0,99652	0,99384	0,99384
n5	0,99687	0,99687	0,99289	0,99288	0,98927	0,98927	0,99941	0,99941	0,99547	0,99546	0,99189	0,99189
n6	0,99614	0,99614	0,99124	0,99122	0,98676	0,98676	0,99936	0,99936	0,99451	0,99450	0,99010	0,99010
n7	0,99564	0,99564	0,99012	0,99010	0,98508	0,98508	0,99886	0,99886	0,99340	0,99338	0,98842	0,98842
n8	0,99536	0,99536	0,98951	0,98948	0,98416	0,98416	0,99859	0,99858	0,99279	0,99277	0,98750	0,98750
n9	0,99504	0,99504	0,98879	0,98876	0,98307	0,98307	0,99826	0,99826	0,99208	0,99205	0,98642	0,98642
n10	0,99488	0,99489	0,98844	0,98841	0,98255	0,98255	0,99811	0,99811	0,99173	0,99170	0,98590	0,98590
n11	0,99483	0,99483	0,98831	0,98828	0,98235	0,98235	0,99805	0,99805	0,99160	0,99156	0,98570	0,98570
n12	0,99481	0,99481	0,98827	0,98824	0,98229	0,98229	0,99803	0,99803	0,99156	0,99152	0,98564	0,98564
n13	0,99851	0,99851	0,99660	0,99659	0,99486	0,99486	0,99960	0,99960	0,99771	0,99770	0,99599	0,99599
n14	0,99847	0,99847	0,99650	0,99649	0,99472	0,99472	0,99956	0,99956	0,99761	0,99760	0,99584	0,99584
n15	0,99846	0,99846	0,99647	0,99646	0,99467	0,99467	0,99955	0,99955	0,99758	0,99757	0,99580	0,99580
n16	0,99846	0,99846	0,99647	0,99646	0,99467	0,99467	0,99954	0,99954	0,99758	0,99757	0,99580	0,99580
n17	0,99556	0,99556	0,98993	0,98991	0,98479	0,98479	0,99960	0,99960	0,99404	0,99403	0,98897	0,98897
n18	0,99508	0,99508	0,98885	0,98883	0,98315	0,98316	0,99988	0,99988	0,99373	0,99371	0,98811	0,98811
n19	0,99455	0,99455	0,98766	0,98764	0,98136	0,98136	1,00028	1,00028	0,99349	0,99347	0,98728	0,98728
n20	0,99413	0,99413	0,98670	0,98669	0,97991	0,97991	1,00071	1,00071	0,99339	0,99337	0,98670	0,98670
n21	0,99376	0,99376	0,98587	0,98586	0,97866	0,97866	1,00119	1,00118	0,99342	0,99340	0,98632	0,98632
n22	0,99334	0,99334	0,98494	0,98492	0,97723	0,97724	1,00077	1,00077	0,99364	0,99362	0,98607	0,98607
n23	0,99299	0,99299	0,98416	0,98415	0,97607	0,97607	1,00042	1,00042	0,99403	0,99401	0,98608	0,98608
n24	0,99267	0,99267	0,98344	0,98342	0,97497	0,97497	1,00010	1,00010	0,99331	0,99329	0,98499	0,98499
n25	0,99251	0,99251	0,98309	0,98307	0,97444	0,97444	0,99995	0,99995	0,99297	0,99295	0,98447	0,98447
n26	0,99245	0,99245	0,98296	0,98294	0,97424	0,97424	0,99989	0,99989	0,99283	0,99282	0,98427	0,98427
n27	0,99243	0,99243	0,98292	0,98290	0,97418	0,97418	0,99987	0,99987	0,99279	0,99278	0,98421	0,98421
n28	0,99559	0,99559	0,99002	0,99000	0,98493	0,98493	0,99882	0,99882	0,99330	0,99328	0,98827	0,98827
n29	0,99556	0,99557	0,98996	0,98993	0,98483	0,98483	0,99879	0,99879	0,99324	0,99322	0,98817	0,98817
n30	0,99555	0,99555	0,98992	0,98990	0,98478	0,98478	0,99877	0,99877	0,99321	0,99318	0,98813	0,98813
n31	0,99484	0,99484	0,98834	0,98831	0,98240	0,98240	0,99806	0,99806	0,99163	0,99160	0,98575	0,98575

	SIN GD DEMANDA BAJA		SIN GD DEMANDA MEDIA		SIN GD DEMANDA ALTA		CON 1 GD DEMANDA BAJA NODO 21 GDEÓLICA		CON 1 GD DEMANDA MEDIA NODO 23 GD EÓLICA		CON 1 GD DEMANDA ALTA NODO 23 GD EÓLICA	
	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT
n32	0,99480	0,99480	0,98824	0,98821	0,98225	0,98225	0,99802	0,99802	0,99153	0,99150	0,98560	0,98560
n33	0,99477	0,99477	0,98820	0,98816	0,98218	0,98218	0,99800	0,99800	0,99148	0,99145	0,98553	0,98553
n34	0,99477	0,99477	0,98818	0,98815	0,98215	0,98215	0,99799	0,99799	0,99147	0,99144	0,98550	0,98550