

**UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE
GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
CONSIDERANDO 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 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE
GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA**

**AUTOR:
De La Cruz Guanatasig Roger David**

**DIRECTOR:
Tipán Vergara Luis Fernando**

Quito, Junio 2021

Datos de Catalogación Bibliográfica

Roger David De La Cruz Guanatasig

UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2021

Ingeniería Eléctrica



Breve reseña historia e información de contacto:

Roger David De La Cruz Guanatasig (Y'1992-D'12). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Técnico Experimental Salesiano “Don Bosco” (Kennedy). Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el análisis para Ubicación y determinación de la capacidad máxima de generación distribuida en sistemas eléctricos considerando escenarios de demanda rdel3@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



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

Actualmente está involucrado en las áreas de Energías Alternativas y Eficiencia Energética en la Universidad Politécnica Salesiana. Sus intereses de investigación incluyen los métodos de GD con Energías alternativas, el IoT basándose en controladores de bajo consumo. Electrónica de Potencia, entre otros.

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

©2021 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Luis Fernando Tipán Vergara declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación : *UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA* , realizado por Roger David De La Cruz Guanatasig, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito D.M., Junio de 2021



Ing. Luis Fernando Tipán Vergara
C.C.: 1717329005

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Roger David De La Cruz Guanatasig, con documento de identificación N° 1721870861, 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 titulación intitulado: *UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO 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.

Quito, D.M., Junio de 2021



Roger David De La Cruz Guanatasig

C.C.: 1721870861

1. ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico	4
2.1	Generación Distribuida en los sistemas eléctricos de potencia	5
2.1.1	Fuentes de energía en la generación distribuida.....	7
2.2	Impacto de la generación distribuida en la planificación de la distribución	8
2.2.1	Pérdidas relacionadas con la generación distribuida.....	9
2.2.2	Perfil de voltaje con generación distribuida.....	9
2.2.3	Flujos en la red de distribución con generación distribuida.....	10
2.2.4	Protecciones del sistema con generación distribuida	11
2.2.5	Calidad de la energía con la generación distribuida.....	11
3	Modelo de optimización.....	11
3.1	Consideraciones generales	11
3.2	Formulación matemática	12
3.2.1	Función objetivo.....	12
3.2.2	Balance nodal de potencia activa y reactiva.....	13
3.2.3	Restricción sobre límites de voltaje	13
3.2.4	Restricción angular en cada barra del sistema	13
3.2.5	Restricción para límites de enlaces	14
3.2.6	Restricción para límites de potencia del sistema.....	14
3.2.7	Restricción para límites de capacidad de la GD.....	14
3.2.8	Restricción para límites de generación de la GD	15
3.2.9	Restricción para ubicación de generación distribuida.....	15
4	Implementación del Modelo Matemático	15
4.1	Parámetros	15
4.2	Procedimiento de resolución	17
4.3	Casos de estudio	17
5	Análisis de resultados.....	19
5.1	Caso Inicial: Abastecimiento de la demanda sin GD	19
5.2	Caso Dos: Abastecimiento de la demanda con GD.....	21
6	Conclusiones	26
6.1	Trabajos futuros.....	28
7	Referencias	29
7.1	Matriz de Estado del Arte.....	33
7.2	Resumen de Indicadores.....	38

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación distribuida en los sistemas eléctricos de potencia.	4
Figura 2. Ventajas y desventajas de la generación distribuida.....	6
Figura 3. Capacidad y localización de la GD en el sistema eléctrico de potencia.	7
Figura 4. Flujo de potencia hacia la demanda del tramo de distribución.....	10
Figura 5. Diagrama unifilar del sistema IEEE 13 nodos.....	18
Figura 6. Perfil de voltaje por cada escenario de demanda sin GD.	20
Figura 7. Despacho de la S/E para abastecer la demanda del sistema IEEE 13 nodos....	21
Figura 8. Pérdidas del sistema sin GD por escenario de carga	21
Figura 9. Costo operativo en función del escenario de demanda.....	21
Figura 10. Perfil de voltaje con la incorporación de GD – Escenario Base.....	23
Figura 11. Perfil de voltaje con la incorporación de GD – Escenario 1.....	24
Figura 12. Perfil de voltaje con la incorporación de GD – Escenario 2.....	24
Figura 13. Índice de calidad de nivel de voltaje – Escenario Base	25
Figura 14. Índice de calidad de nivel de voltaje – Escenario 1	25
Figura 15. Índice de calidad de nivel de voltaje – Escenario 2.....	25
Figura 16. Pérdidas por escenario de carga y por cantidad de GD.	25
Figura 17. Potencia activa de la S/E por escenario de carga y por cantidad de GD	26
Figura 18. Costo operativo por escenario de carga y por cantidad de GD.....	26
Figura 19. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.	38
Figura 20. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	39
Figura 21. Indicador de solución - Estado del arte.	39

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de la red – IEEE 13 nodos.	15
Tabla 2. Datos técnicos de la carga del sistema.	16
Tabla 3. Datos técnicos de la fuente.....	16
Tabla 4. Algoritmo de resolución.....	17
Tabla 5. Demanda nodal y escenarios de incremento.	18
Tabla 6. Parámetros de la red del sistema IEEE 13 nodos.....	18
Tabla 7. Capacidad de los enlaces del sistema IEEE 13.....	19
Tabla 8. Comparación de variables eléctricas GAMS y DIgSilent.....	19
Tabla 9. Voltaje nodal por cada escenario de demanda.	20
Tabla 10. Índice de calidad de nivel voltaje por escenario de demanda.	20
Tabla 11. Potencia activa y reactiva de la S/E para abastecimiento del sistema.	20
Tabla 12. Pérdidas de potencia en función del escenario de demanda.	21
Tabla 13. Costo operativo en función del escenario de demanda.....	21
Tabla 14. Ubicación de GD por escenario de carga.....	22
Tabla 15. Capacidad y Potencia de la GD seleccionada por escenario de carga.	22
Tabla 16. Voltaje por escenario de demanda y cantidad de GD.	23
Tabla 17. Índice de calidad de nivel de voltaje por cada escenario de carga.....	24
Tabla 18. Pérdidas por escenario de carga y por cantidad de GD.....	25
Tabla 19. Potencia activa de la S/E por escenario de carga y por cantidad de GD.....	26
Tabla 20. Costo operativo por escenario de carga y por cantidad de GD.....	26
Tabla 21. Matriz de estado del arte	33

UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA

Resumen

La presente investigación se enfoca a evaluar la importancia de la utilización de fuentes renovables a través de generación distribuida y su implicación en la operación de sistemas eléctricos, dado que su incorporación tiene una afectación directa en la expansión de la capacidad de las redes, la minimización de pérdidas y el impacto a usuarios finales, todo esto sustentado en el crecimiento de la demanda. Bajo este contexto, el estudio se centra en la incorporación de generación distribuida (GD), tomando escenarios de demanda base, media y punta y la modelación de la red, evaluando posteriormente los índices de calidad de servicio y los costos de operación además de las variables eléctricas del sistema.

Para el efecto, el presente trabajo propone un modelo de optimización a ser resuelto mediante el programa computacional Matlab conjuntamente con GAMS y una programación no lineal entera mixta, determinando la óptima inserción y determinación de capacidad máxima de generadores distribuidos, cumpliendo las restricciones técnicas del sistema y aplicando flujos óptimos de potencia AC.

Palabras Clave: Economía de generación, Generación de energía distribuida, Despacho de generación, Fuentes de energía renovables, Redes de distribución y Recursos energéticos.

Abstract

This research focuses on evaluating the importance of the use of renewable sources through distributed generation and its implication in the operation of electrical systems, given that its incorporation has a direct impact on the expansion of the capacity of the networks, the minimization losses and the impact on end users, all supported by the growth of demand. Under this context, the study focuses on the incorporation of distributed generation (DG), taking scenarios of base, medium and peak demand and the modeling of the network, subsequently evaluating the service quality indices and operating costs in addition to the electrical variables of the system. For this purpose, the present work proposes an optimization model to be solved by means of the Matlab computational program together with GAMS and a mixed integer nonlinear programming, determining the optimal insertion and determination of the maximum capacity of distributed generators, complying with the technical restrictions of the system. and applying optimal AC power flows.

Keywords: Power generation economics, Distributed power generation, Power generation dispatch, Renewable energy sources, Power distribution networks and Energy resources.

1 Introducción

Por más de setenta años, la mayor parte de la electricidad generada ha sido producida por plantas centralizadas a gran escala, propiedad de empresas de servicios públicos y generalmente reguladas por normas estatales; lo citado ha sucedido en Europa, en Estados Unidos y en otros países, sin embargo, en los últimos veinte años las empresas privadas, también apoyadas por accionistas públicos, se han vuelto cada vez más importantes en los mercados energéticos[1].

Al mismo tiempo, se han realizado investigaciones a nivel mundial sobre los nuevos modelos relacionados a la futura arquitectura de los sistemas eléctricos, bajo este contexto ha surgido el análisis sobre la implementación de las plantas de Generación Distribuida (GD), particularmente si son parte de sistemas eléctricos complejos como son los sistemas de distribución y transmisión de electricidad, adicional este tipo de generadores obligan el estudio sobre el impacto de energía entregada y produce un flujo bidireccional de electricidad en las redes, la incertidumbre de las fuentes renovables y los aspectos ambientales están estrictamente integrados .

Los proyectos de generación distribuida incluyen muchas tecnologías con características variables en términos de eficiencia, compatibilidad con la demanda, costos de capital y operativos, niveles de emisión, ocupación del suelo y aceptabilidad social [2], [3].

En la última década también las Plantas Eléctricas Centralizadas (PEC) alimentadas con combustibles fósiles, principalmente por gas natural, han mejorado y alcanzado una eficiencia cercana al 60%, que es aún superior a la de las de Generación Distribuida y comparable con la eficiencia global de una planta de cogeneración (CHP, Combined

Heat and Power) o trigeneración (HCP, heat and cooling) que puede llegar al 80% [4]. Además, el uso de biomasa para alimentar plantas de generación distribuida se ha fomentado en todo el mundo debido al aumento de los precios del petróleo y el gas natural, así como a la posibilidad de reducir las emisiones de CO₂, explotar los recursos locales y mejorar las economías locales, de esta forma también se diversifica el suministro de la energía [5].

Así mismo, con el inminente entorno desregulado en los mercados eléctricos del mundo, las empresas eléctricas han buscado nuevas tecnologías para brindar una calidad de energía aceptable y confiabilidad a sus clientes. En ese sentido, la opción de incorporar generación no convencional de pequeña escala se ha convertido apresuradamente atractiva para los inversionistas dado que estas tecnologías producen energía eléctrica con menor impacto ambiental, son fáciles de ubicar y además son altamente eficientes [6].

La generación distribuida (GD) de mayor y menor escala se puede denominar como “Trasladar Energía a la Carga” o por su terminología en inglés “Taking Power To the Load – TPTL”, la cual asegura generar electricidad con alta eficiencia y baja contaminación. A diferencia de las grandes centrales eléctricas, la GD se puede instalar en la carga o cerca de ella. Las clasificaciones de GD van desde 5 kW hasta 100 MW a nivel mundial [7], adicional el costo de implementación de una unidad de generación distribuida tiene una inversión de bajo costo con respecto a la gran inversión que requieren las centrales de generación eléctrica convencionales y que son centralizadas, complementario a lo indicado el costo de mantenimiento de la GD, como el de ciertas energías renovables, es bajo debido a la ausencia de piezas móviles [8].

Varios desarrollos investigativos han alentado la entrada de la generación distribuida y el almacenamiento de energía a nivel de distribución, entre estos se puede citar [9]:

- Competencia minorista provocada por la estructuración de servicios públicos.
- Opciones para el abastecimiento de los clientes que exigen fuentes de alimentación personalizadas que se adapten a sus necesidades.
- Alternativas para aplazar inversiones de capital en la construcción de nuevas centrales eléctricas y líneas de transmisión.
- Aparición de varias tecnologías con impactos ambientales reducidos y altas eficiencias de conversión.
- Capacidad para controlar eficazmente una serie de componentes y subsistemas utilizando software especializado para administrar demandas, flujos de energía y requisitos del cliente.

Por otra parte, las redes tradicionales de distribución están diseñadas para abastecer los consumos dispuestos de forma radial cuyo flujo de potencia es unidireccional, en tal sentido, las redes eléctricas tradicionales no están diseñadas para la conexión de generadores distribuidos, los cuales conllevaría a la creación de flujos bidireccionales de flujo de potencia lo que repercute en el funcionamiento del sistema eléctrico en particular en elementos tales como los alimentadores primarios, compensadores, transformadores, entre otros [10]. Complemento a lo anterior, el enlace de la GD a la red, podría también ocasionar problemas en la coordinación de aislamiento y protecciones de la red, dado su aporte al cortocircuito y puede provocar perturbaciones en los perfiles de voltaje ya que la inyección de potencia activa y

reactiva de los GD obligarán a una modificación en la operación del sistema [11].

A pesar de los problemas de la incorporación de la GD, la integración de este tipo de generadores en el sistema eléctrico como se visualiza en la Figura 1 podría crear varios beneficios, entre los principales la reducción de pérdida de potencia en la red, disminución de impactos ambientales, descenso de picos, mayor eficiencia energética general, reducción de la congestión de transmisión y distribución, soporte de voltaje e inversiones diferidas para mejorar los sistemas de generación, transmisión y distribución existentes [12].

La influencia de la generación distribuida en la red de distribución se analiza generalmente usando software de simulación, según [13], la influencia del acceso de energía distribuida en las características de estado estacionario de la red de distribución se calcula en base al modelo típico de red de distribución de media tensión. En [14] se propone la capacidad y el modo de suministro de energía distribuida, pero no se realiza el análisis de simulación de series de tiempo. Por otra parte, en el artículo [15] se propone un modelo de carga triangular con fuente de energía distribuida, en [16], se analiza la influencia de la diferente permeabilidad del acceso fotovoltaico distribuido a la red y se obtiene el máximo de capacidad de acceso bajo la condición de limitación de voltaje; por su parte, en [14], se propone una estrategia de ubicación para la red de distribución radial, que asume que la capacidad de GD es la capacidad de carga; así mismo, el tamaño óptimo de GD se trata como un problema de optimización, el cual puede ser resuelto

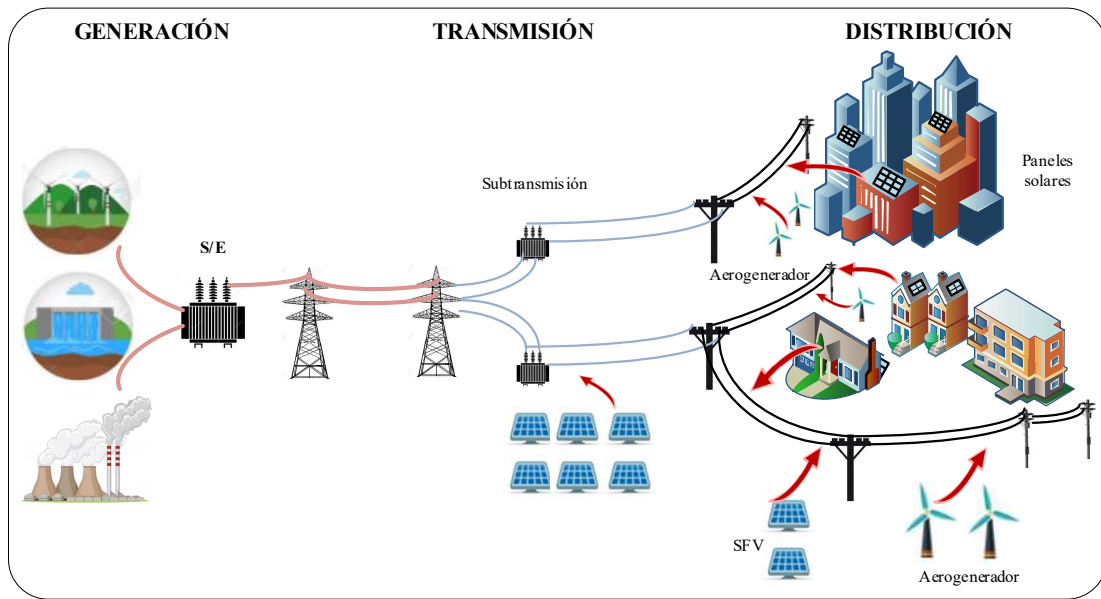


Figura 1. Generación distribuida en los sistemas eléctricos de potencia [autor].

mediante técnicas heurísticas y deterministas según lo establecido en [17]. Los métodos heurísticos utilizados en el intento de resolver el tamaño óptimo de GD fueron el Algoritmo Genético (GA), híbrido GA - Fuzzy y Optimización del enjambre de partículas [18].

Por lo antes descrito, la ubicación y determinación de la capacidad máxima de la generación distribuida permitirá mejorar la operación del sistema de distribución, para el efecto, el desarrollo del trabajo de investigación se detalla en las siguientes secciones: en la Sección 2 contiene el marco teórico orientado a la generación distribuida y la expansión de redes de distribución; la Sección 3 presenta una descripción del modelo matemático que determina una metodología para una óptima inserción y determinación de capacidad máxima de generadores distribuidos; la Sección 4 presenta implementación del modelo matemático; la Sección 5 muestra los análisis de resultados; y, finalmente se puntualizan las conclusiones y trabajos futuros.

2 Marco teórico

A continuación, se describe de forma detallada el impacto que tiene la generación distribuida en el sistema de potencia y directamente en la red de distribución, resaltando principalmente como se beneficia el sistema y consecuentemente los consumidores con un suministro de energía que cumple niveles de calidad y seguridad. Este análisis permite comprender la importancia del desarrollo del presente trabajo, modelo que permite determinar la ubicación y capacidad óptima de las unidades de generación distribuida a incorporarse en el sistema de distribución en función del crecimiento de la demanda, para una mejor operación en los sistemas eléctricos, en cuanto a la flexibilidad en las redes, expansión de la red, la capacidad de reserva reducido del sistema y mejora del servicio a la demanda.

2.1 Generación Distribuida en los sistemas eléctricos de potencia

Los niveles de seguridad y confiabilidad en todo el sistema de potencia deben conservarse y su estructura evolucionar frente al crecimiento de la demanda de los consumidores, es por este motivo que se hace participe la inclusión de la generación distribuida para permitir proporcionar energía adicional eficientemente. Una de las alternativas en la evolución del sistema es la presencia de nuevas fuentes de generación colocadas en puntos cercanos a la carga por ende se conectan al sistema de distribución, llamada generación distribuida [19][20].

Los principales beneficios para el sistema eléctrico con la generación distribuida sobre las grandes generadoras son los costos de inversión que involucran la generación y transmisión de las unidades de generación de gran tamaño, siendo este un factor determinante para modificar la topología del sistema e incluir esta nueva tecnología para abastecer la demanda por medio de unidades pequeñas de generación [21]. Además del costo reducido de inversión, es importante recalcar que el impacto ambiental es menor debido a que políticas que rigen el sector eléctrico incentivan a la inserción de tecnologías limpias. Dentro del ámbito técnico la generación distribuida hace parte de la planificación, es de potencia reducida para áreas en las que se presenta un incremento de carga no representativo como para implementar un generador de gran escala, por ser de reducida potencia y al estar en cercanía al usuario la extensión de redes son de menor tamaño por tanto se minimiza en la red las pérdidas por transporte. Todos estos beneficios al sistema eléctrico descritos permiten mejorar la calidad y confiabilidad en cuanto a fallas perturbaciones esto debido a que la demanda y el generador

distribuido son de carga y capacidad reducida [22], [23].

La inclusión de la generación distribuida brinda eficiencia, flexibilidad y economía óptima, es por esto que es necesario el estudio e inclusión en la planificación considerando aspectos financieros, ambientales, técnicos y tecnológicos para determinar su capacidad y ubicación óptima de las unidades de generación distribuida. Los aspectos generales que se consideran para la incorporación de la generación distribuida son [24]:

- a) *Técnicos*: los sistemas a conectarse deben adaptarse a la red de conexión tanto en las características técnicas de los equipos y sus factores de calidad para el servicio, por lo cual deben estar regulados para poder entregar al sistema para consumos particulares o generales.
- b) *Tecnológicos*: la innovación en el desarrollo de equipos en tecnología a menor escala, de mayor eficiencia y capacidad se conectan al sistema de potencia, así como también el desarrollo de equipos modulares que tienen la ventaja de poder ser agregados y retirados del sistema en función de la configuración que se requiera ajustándose a la demanda actúan como cogeneradores.
- c) *Ambientales*: como se describió existen políticas energéticas que dan un trato preferencial a energías renovables reduciendo la dependencia de unidades que utilizan combustibles contaminantes para la generación.
- d) *Económicos*: a diferencia de las grandes centrales que se encuentran lejos de las redes de distribución donde la transmisión genera pérdidas y la producción debe ser mayor para cubrir la demanda, los precios altos es el resultado del proceso, por ende,

es fundamental resaltar la diferencia de la generación distribuida que abastece a la carga local uniéndose a la red de distribución de forma directa eliminando los costos de transporte y además disminuye la congestión de la red.

En base a lo descrito la solución para el crecimiento dinámico de la demanda y para perturbaciones que puedan causar la pérdida de la energía eléctrica por falta de una respuesta procedente de la generación centralizada, es la generación distribuida bajo un determinado alcance basado en estudios de planificación y para sectores estratégicos, aun así el uso de la generación distribuida causa ciertos inconvenientes a la red por su inserción, a continuación en la

Figura 2 se detallan las ventajas y desventajas de la implementación de la generación distribuida:

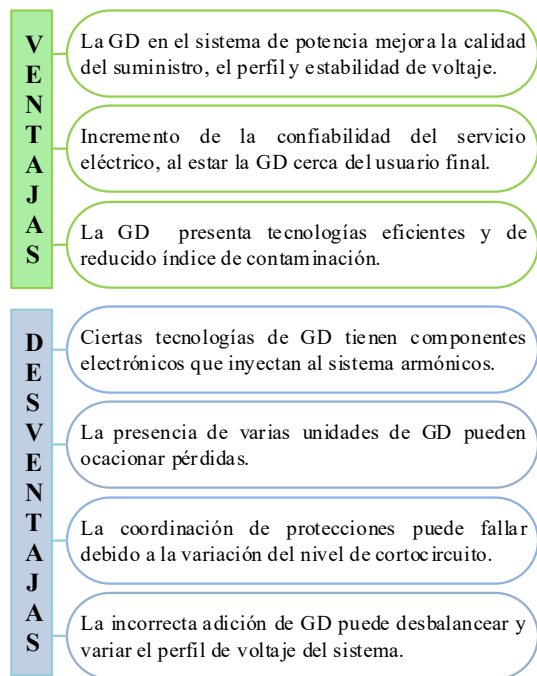


Figura 2. Ventajas y desventajas de la generación distribuida [25].

Considerando los puntos señalados, el dimensionamiento y localización deben ser variables consideradas en el despacho óptimo con el fin de satisfacer las necesidades del sistema y los usuarios, un

ejemplo del proceso de optimización con generación distribuida considerando aspectos económicos es alcanzar precios reducidos entregando energía en horas pico [26].

Típicamente las unidades de generación incorporadas en un sistema eléctrico son de gran escala lo que involucran potencias y voltajes elevados, con la conexión de la generación distribuida se aprovechan los niveles de voltaje disponibles en las diferentes etapas del sistema dinamizándolo para que los usuarios entreguen y reciban energía a la y de la red, todo este proceso como se mencionó comprende de límites de operación, costos y beneficios. La conexión de la generación distribuida a las redes eléctricas depende del tipo de tecnología y al nivel de voltaje que se conectará, por ejemplo según [27], al sistema de transmisión en Ecuador donde el nivel de voltaje es mayor a 138 kV se localizan los sistemas centralizados tradicionales de energía, mientras que en la etapa de subtransmisión pueden integrarse grades unidades de generación hidráulica, fotovoltaica, parques eólicos, geotérmicos, de generación mareomotriz y de biomasa adicional a la interconexión regional, en la etapa de distribución de medio voltaje entre 13,8 a 69 kV se incorporan proyectos medianos eólicos, fotovoltaicos y solar térmico, de biomasa, hidráulicos, plantas de ciclo combinado, seguidamente para la red de distribución de bajo voltaje entre 120 a 220 kV pueden incorporarse sistemas de pequeña y micro generación como sistemas de combustión interna, micro turbinas hidráulicas, paneles solares, etc. En la

Figura 3 se presenta como el subconjunto de recursos distribuidos se localizan en el sistema eléctrico de potencia dependiendo del nivel de voltaje y capacidad, y se visualiza que la ubicación es indefinida en la red de distribución o subtransmisión [28].

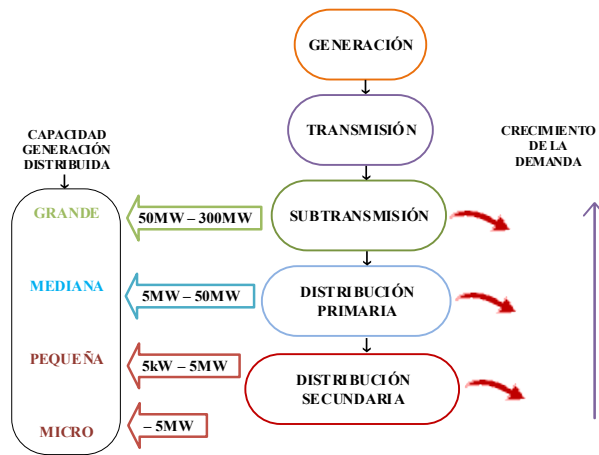


Figura 3. Capacidad y localización de la GD en el sistema eléctrico de potencia [29].

En función a las políticas de cada país en la conexión y carga, la generación distribuida de gran o pequeña capacidad genera costos hasta el punto de conexión a la red y depende de dichas políticas para establecer si el propietario o el sistema asumirán estos cargos en función a estudios. A parte de considerar los costos, es importante en el estudio de planificación y operación conocer y cuantificar los siguientes niveles en la GD [29]:

- Nivel de penetración: es el porcentaje resultante de la relación entre la potencia de la generación distribuida presente con respecto a potencia total de la demanda, la evaluación permite identificar el comportamiento del mercado, cuando es baja inferior al 30% el mercado tiene barreras técnicas y económicas, mayor 50% de la carga la penetración es semi ideal, e ideal significa un 100% de la carga del sistema esta abastecida con generación distribuida, pero si la potencia de la generación distribuida fuese mayor a la demanda la exportación sería posible opción.

- Nivel de esparcimiento o dispersión: se define como la razón entre los nodos con generación distribuida y los nodos con carga, así se puede cuantificarlos si existe más energía centralizada o por el contrario si es compartida con generación distribuida.

Todas las consideraciones puntualizadas son fundamentales para la ubicación y dimensionamiento de capacidad de las unidades de generación, en la planificación se debe integrar normas para la seguridad de las unidades en la instalación y transformación en los nodos de carga, además generar incentivos para los usuarios y el operador para abastecer el consumo local y exportar lo restante de energía y finalmente en el despacho económico según el escenario se considere la penetración de toda o una fracción de las unidades de generación distribuida de forma óptima generando competencia en el mercado eléctrico [30].

2.1.1 Fuentes de energía en la generación distribuida

Existen diversas fuentes de energías utilizadas en la generación distribuida debido al desarrollo tecnológico que existe, pero debido a necesidad de salvaguardar la seguridad y además de reducir el impacto ambiental se incrementa el consumo de energía preferentemente originado de fuentes de energía renovable. Las tecnologías existentes en base a la conversión de energía son [16], [22]:

- Máquinas térmicas de combustión interna: son generadores con motores de combustión de bajo costo, necesariamente requieren de un combustible de origen fósil, gas o compresión de aire; por lo general son usados para situaciones emergentes y su capacidad es menor a los 20 MW,

tienen una eficiencia por debajo de 33% y su desventaja son las elevadas emisiones por el uso de combustibles como el diésel, GPL, etc.

- b) *Hidroeléctricas*: tienen el mismo principio de funcionamiento que una central de gran capacidad usan la energía del agua para alimentar las turbinas y generar energía eléctrica con capacidad menor a 1 MW para micro generación hasta los 30 MW como pequeña para generación distribuida.
- c) *Celdas de combustible*: este proceso genera electricidad por medio de reacciones químicas con oxígeno e hidrógeno, es de alto costo y su nivel de contaminación depende de la fuente que se extraiga el hidrógeno que puede ser del agua como de algún combustible.
- d) *Generación eólica*: es la energía obtenida del viento que al mover las palas de los aerogeneradores transforma dicha energía en electricidad, la tecnología de su estructura ha sido desarrollada para que sea apta para conectarse a la red de distribución beneficiándose de una energía limpia y altamente eficiente [31].
- e) *Generación solar*: por medio de paneles fotovoltaicos se transforma internamente con celdas de material semiconductor la radiación solar en energía eléctrica continua lista para el consumo, puede almacenarse o transformarse por medio de inversores para conectarse al sistema eléctrico. Su costo es elevado, su vida útil larga, puede ser de grande y pequeña capacidad para integrarse como generación distribuida [32].
- f) *Generación mareomotriz*: este tipo de tecnología sigue en desarrollo, aprovecha el movimiento de las olas del mar para producir electricidad,

puede abastecer a una necesidad de demanda limitada debido a su ubicación con respecto a los centros de consumo, pero son potenciales para el futuro crecimiento de la demanda.

- g) *Recurso por biomasa*: los residuos son el recurso de energía pueden ser agrícolas, ganadero o restos de algún proceso de producción, por lo general son centrales de vapor y de alto potencial debido al optimo uso del recurso [23].
- h) *Energía geotérmica*: es un tipo de energía muy específico debido a su localización, pero también es usada como fuente en la generación distribuida.

En la actualidad se realizan esfuerzos por desarrollar la mejor tecnología para aprovechar los recursos renovables en la generación de electricidad, debido a que estas fuentes son de alto potencial en los sistemas de generación distribuida y la generación a gran escala [33].

2.2 Impacto de la generación distribuida en la planificación de la distribución

El crecimiento en aumento de la demanda afecta principalmente a la red de distribución forzándola a operar a su máxima capacidad, generando pérdidas y alterando los niveles de voltaje, sumada las pérdidas que se producen en la transmisión desde las grandes centrales hasta los puntos de consumo se convierte en una problemática que no permite cumplir con el principal objetivo suministrar energía eléctrica de calidad al usuario, por lo tanto se realizan estudios arduos en la planificación en la distribución proyectando la demanda futura sumar la incorporación de la generación distribuida a mayor escala considerando los grandes beneficios de su integración [34].

La combinación de la generación distribuida en el sistema de distribución es provechosa siempre y cuando el dimensionamiento y localización sean óptimas al igual que los costos de la energía. Con lo referente a costos en la venta estos deben ser maximizados para el propietario de la unidad fijando dicho precio para proceder a la determinación de la ubicación y capacidad de las unidades de generación distribuida, para que consecuentemente conducir a la minimización del costo por la compra de energía para el consumidor determinando la proporción de energía tomada de las generadoras centralizadas y la cantidad de energía absorbida de la generación distribuida, este modelo es incluido en la planificación del sistema de distribución en función del pronóstico del crecimiento de la demanda, las metodologías según [35] usadas para abordar esta problemática pueden ser analíticas, algoritmos genéticos, optimización multiobjetivo y programación matemática. En base a lo descrito el presente trabajo desarrolla un modelo de optimización que minimiza los costos operativos, ubicando y determinando la capacidad máxima de las unidades de generación distribuida para analizar el impacto de las mismas en el sistema de distribución. Este análisis permite modelar un mercado eléctrico tradicional y uno con la inserción de la generación distribuida para estudiar la importancia de la inclusión de la misma en la planeación de la expansión de la distribución y como mejora la confiabilidad del sistema eléctrico de potencia [36].

De modo general se ha descrito la influencia de la generación distribuida en la distribución tanto tecnológica, económica, ambiental y ahora se especifica técnicamente los problemas técnicos que se ocasionan con la generación distribuida, como se ven afectados las redes existentes

y que se debe considerar en la planificación de operación y expansión [3], [28].

2.2.1 *Pérdidas relacionadas con la generación distribuida*

La topología de la red de distribución es el camino por donde se transporta la energía eléctrica y donde se presenta la mayor cantidad de pérdidas debido a la resistencia del conductor, es por eso que la ubicación de la generación distribuida está relacionada con la estructura de la red principalmente porque este tipo de generación se caracterizan por estar ubicados en puntos cercanos a las cargas por ende el recorrido de la energía es menor y proporcionalmente las pérdidas se ven reducidas mejorando la transmisión y reduciendo la cargabilidad de los equipos del sistema que lo conforman; pudiendo concluir en que la mayor penetración de recursos distribuidos provoca la disminución de pérdidas contrario al escenario sin generación distribuida, considerando el crecimiento constante de la demanda y dependiendo además de la tecnología que se pretende insertar [37].

2.2.2 *Perfil de voltaje con generación distribuida*

En los flujos de potencia, los elementos del sistema eléctrico están representados por una impedancia lo que vincula directamente una relación con el voltaje en cada nodo o punto de conexión en la red, el perfil de voltaje varía en función de lo distante que sea el nodo de carga a la subestación dependiendo del flujo de potencia y la impedancia de la misma como se ilustra en la Figura 4.

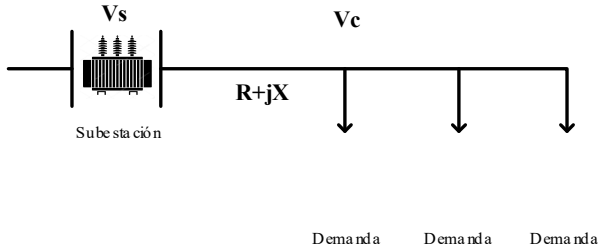


Figura 4. Flujo de potencia hacia la demanda del tramo de distribución [38].

$$V_c = V_s - I(R + jX)$$

$$V_c = V_s - \left(\frac{P - jQ}{V_s} \right) (R + jX) \quad (1)$$

El voltaje medido en el nodo de conexión de la carga como se puede observar en la Figura 4 y en (1) depende de los flujos de potencia tomando de referencia el voltaje de la subestación, lo mismo sucede para cada punto de la demanda a lo largo del tramo. Si se incorpora generación distribuida el impacto en el perfil de voltaje es positivo debido a que actúa como regulador de voltaje siempre que la ubicación sea la adecuada y se considere el diseño de la red en el estudio; en los sistemas tradicionales se opta por el uso de transformadores con taps, capacitores y reguladores para controlar el voltaje y así asegurar un límite de voltaje en la red para el consumo de usuarios y equipos [1]. Por lo tanto la ubicación correcta es ideal, por ejemplo, cuando la generación distribuida esta al extremo de un tramo de la red, el flujo de potencia por la misma disminuye por ende la caída de voltaje, resultando un perfil de voltaje más elevado permitiendo que la demanda pueda tener mayores consumos sin cargar la red ni afectar significativamente al nivel de voltaje; caso contrario los efectos negativos de la

instalación de la generación distribuida se presentan cuando se coloca en el lado de bajo voltaje de un transformador con taps debido a que la inyección de generación reduce la carga y ocasiona que el transformador reduzca el voltaje como efecto mayor caída de voltaje [39].

2.2.3 Flujos en la red de distribución con generación distribuida

La dirección de los flujos de carga en el transporte de energía es cambiante, con la generación distribuida se puede beneficiar a la red con la reducción de la congestión de las líneas en función a distintos escenarios, el primero cuando la capacidad de la unidad de generación distribuida conectada cerca a la carga es de menor capacidad que la requerida por la demanda entonces se abastece con lo disponible y lo restante toma de la red esto permite reducir la congestión de la red pero el flujo mantiene su dirección hacia la carga pero si las pérdidas son reducidas, el siguiente escenario se presenta cuando la potencia del recurso distribuido es mayor que el requerimiento de la demanda entonces no solo se abastece a dicha carga sino que los excedentes son entregados por la red de distribución al sistema eléctrico como reserva, es decir la dirección del flujo en la red cambia pero al igual se transporta energía y existen pérdidas que dependiendo de los excedentes las pérdidas incrementan o disminuyen [40], [41].

Frente a estos eventos se debe considerar los límites de capacidad de los elementos de la red por los efectos térmicos que se pueden producir por la sobrecarga en la absorción como en la entrega de energía, de ingresar generación distribuida se debe salvaguardar el desempeño adecuado del sistema.

2.2.4 Protecciones del sistema con generación distribuida

La planificación y el diseño del sistema de distribución deben prever el impacto de la generación distribuida considerando el flujo bidireccional. Las tecnologías de generación distribuida tienen un nivel de falla que es considerado en el límite de corriente de los elementos de protección para producir una respuesta, la etapa de distribución es variante en función al comportamiento de la demanda; generalmente las unidades de generación incorporadas son pequeñas y el impacto no es significativo, pero si se agregan varias unidades si puede afectar a las tasas de cortocircuito y la coordinación de los elementos de protección [42].

2.2.5 Calidad de la energía con la generación distribuida

La composición de los generadores distribuidos en su mayoría está construida con electrónica de potencia, como los convertidores de potencia de sistemas fotovoltaicos o aerogeneradores, y otras tecnologías que aportan a cargas no lineales cuyo efecto es ocasionar distorsión de las ondas de corriente, de voltaje y contaminación armónica a la red, pero específicamente la generación distribuida perjudica al sistema por los flickers en el voltaje en el ingreso y salida de las unidades de generación distribuida generando una intermitencia en el voltaje por los equipos de control y unidades de corriente continua que interactúan en el evento; e inevitablemente los armónicos en gran cantidad por la electrónica de potencia involucrada en estos equipos afecta la operación del sistema de distribución y consecuentemente al de potencia [43], [44].

A pesar de estos aspectos negativos de la generación distribuida también tiene el potencial de mejorar la calidad de la energía. Cuando la red eléctrica en paralelo

de carga es grande, la generación distribuida se puede poner en uso rápidamente, en la medida de lo posible, para reducir las fallas del sistema y mejorar la estabilidad de toda la red eléctrica, asegurando así la calidad de la energía [22].

3 Modelo de optimización

El acápite siguiente desarrolla el modelo de optimización que permite ubicar y establecer la capacidad máxima de las plantas de generación distribuida a implementarse en sistemas eléctricos para minimizar los costos operativos asociados al abastecimiento de la demanda, cuya resolución será realizada mediante el software GAMS.

Este modelo permite definir la cantidad y capacidad de los generadores distribuidos a incorporar en los sistemas eléctricos a nivel de medio voltaje, considerando las restricciones de balance de potencia activa y reactiva, límite de voltajes en los nodos, restricciones binarias y la máxima capacidad de los enlaces del sistema eléctrico.

3.1 Consideraciones generales

Para la resolución del modelo de optimización, se considerará lo siguiente:

- Aplicación del modelo de optimización para el sistema IEEE de 13 nodos
- Abastecimiento de la carga correspondiente a la establecida en el sistema IEEE de 13 nodos.
- Modelamiento de tres escenarios de carga que corresponde al incremento del 7% de la demanda inicial, por tanto, cada escenario puede denominarse demanda base, media y punta.

- Establecimiento, para cada una de las demandas, la cantidad y capacidad de los generadores distribuidos.
- Para evaluar el costo operativo, el precio de la GD corresponde al precio promedio para el fomento de energía renovable mediante generación distribuida el cual corresponde a 50 USD/MWh. Por su parte, el costo de la energía entregada por el sistema de potencia se valora con la tarifa a usuario final el cual para el análisis corresponderá a 90 USD/MWh.
- Evaluar de manera técnica y económica los costos de abastecimiento de la demanda y evaluar los índices de calidad de voltaje para cada uno de los escenarios de carga, así como el análisis de las diferentes variables eléctricas.

Como se ha mencionado, el estudio considera el sistema de 13 nodos de la IEEE, el cual está constituido por doce (12) enlaces, una carga de alrededor de 48 MW y 34 MVar distribuida en 10 de los 13 nodos. Bajo este contexto, el estudio toma en cuenta diferentes escenarios de carga con un crecimiento del 7% con respecto al escenario inicial. Para cada escenario se ubican la cantidad y capacidad de los generadores distribuidos cuya capacidad máxima es de 10 MW. Adicional, resultado del modelo de optimización se evaluará los parámetros eléctricos del sistema y se determinará el índice de calidad de voltaje según lo establecido en la normativa del sector eléctrico ecuatoriano.

En este sentido, el modelo de optimización considera las restricciones operativas impuestas y se adiciona variables del tipo binario y continuo que determinan a ubicación de la generación

distribuida y la capacidad máxima de los mismos, los cuales interactúan de tal forma de abastecer la demanda bajo condiciones económicas y criterios técnicos.

3.2 Formulación matemática

El modelo matemático considera una optimización no lineal entero mixto, el cual está compuesto por una función objetivo y las restricciones, cuyo detalle se presenta a continuación.

3.2.1 Función objetivo

En modelo de optimización de optimización se establecerá una función objetivo, la cual minimizará los costos operativos asociados al abastecimiento de la demanda.

$$FO: P_{Sis} \cdot P_m + \sum_{i=1}^N LCOE \cdot u_i \cdot PGD_i \quad (2)$$

Donde:

P_m	Precio aplicado a consumidor final (USD/MWh).
P_{Sis}	Potencia activa entregada por el sistema (MWh).
$LCOE$	Precio promedio para el fomento de energía renovable mediante generación distribuida (USD/MWh)
u_i	Variable Binaria de selección de la GD en cada nodo i
PGD_i	Potencia de la GD despachada en cada nodo i (MWh).

El modelo matemático utilizará flujos óptimos de potencia para la minimización de la función objetivo, para el efecto se modelarán restricciones asociadas a la operación estable del sistema eléctrico y las condiciones técnicas de la generación distribuida. Por consiguiente, a

continuación, se especificarán dichas restricciones.

3.2.2 Balance nodal de potencia activa y reactiva

A fin de modelar el flujo de potencia, se procede con el balance nodal de potencia activa y de potencia reactiva, el cual modela las potencias que se inyectan y se retiran en cada nodo del sistema eléctrico, a través del cual se incluirá también a la generación distribuida y su aporte, cuya formulación matemática es la siguiente:

$$\begin{aligned} & \sum P g_i - \sum P d_i + P G D_i \\ & = \sum_{k=1}^n |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \cos \delta_{ik} + b_{ik} \sin \delta_{ik}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \sum Q g_i - \sum Q d_i + Q G D_i \\ & = \sum_{k=1}^n |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \sin \delta_{ik} - b_{ik} \cos \delta_{ik}) \end{aligned} \quad (4)$$

Donde:

- $P g_i$ Potencia activa del generador situado en el nodo i.
- $P d_i$ Potencia activa de la carga situada en el nodo i.
- $Q g_i$ Potencia reactiva del generador situado en el nodo i.
- $Q d_i$ Potencia reactiva de la carga situada en el nodo i.
- V_i, V_k Modulo del voltaje en el nodo i y en el nodo k, respectivamente.
- δ_i, δ_k Ángulo 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.

g_{ik} ik-ésimo elemento de la matriz mutua de conductancia.

b_{ik} ik-ésimo elemento de la matriz mutua de susceptancia.

$P G D_i$ Potencia Activa de la GD situada en el nodo i.

$Q G D_i$ Potencia Reactiva de la GD situada en el nodo i.

3.2.3 Restricción sobre límites de voltaje

Esta restricción garantiza que la variable de los módulos de voltaje se encuentre dentro del límite admisible, los cuales garantizan la estabilidad operacional del sistema eléctrico, la formulación matemática corresponde a la siguiente:

$$V_{min_i} \leq V_i \leq V_{max_i} \quad (5)$$

Donde:

- V_{min_i} Voltaje mínimo en el nodo i del sistema eléctrico
- V_{max_i} Voltaje y máximo en el nodo i del sistema eléctrico

3.2.4 Restricción angular en cada barra del sistema

Esta restricción establece los límites del ángulo del fasor de voltaje en cada uno de los nodos, lo cual garantiza la operación del sistema eléctrico, cuya restricción es descrita a continuación:

$$\delta_{min_i} \leq \delta_i \leq \delta_{max_i} \quad (6)$$

Donde

- δ_{min_i} Ángulo mínimo en el nodo i del sistema

δ_{max_i} Ángulo máximo en el nodo i del sistema

3.2.5 Restricción para límites de enlaces

La restricción modela las capacidades de potencia activa a ser trasladada por cada enlace, lo cual corresponde al límite térmico que no debe superarse y que depende de las leyes físicas en función al flujo óptimo de potencia, cuya modelación matemática es la siguiente:

$$\begin{aligned} & Fmin_{i,j} \\ & \leq V_i^2 \cdot g_{ii} + |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \sin \delta_{ik} \\ & - b_{ik} \cos \delta_{ik}) \leq Fmax_{i,j} \end{aligned} \quad (7)$$

Donde

- $Fmin_{i,j}$ Flujo mínimo de potencia activa entre el nodo i-k
- $Fmax_{i,j}$ Flujo máximo de potencia activa entre el nodo i-k
- V_i, V_k Modulo del voltaje en el nodo i y en el nodo k, respectivamente.
- δ_i, δ_k Ángulo 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.
- g_{ik} ik-ésimo elemento de la matriz mutua de conductancia.
- b_{ik} ik-ésimo elemento de la matriz mutua de susceptancia.

3.2.6 Restricción para límites de potencia del sistema

El sistema a través de la subestación de interconexión permite el abastecimiento a la demanda del sistema de distribución a

nivel de medio voltaje, cuyos límites se ajustan a restricciones operativas en tal sentido, las siguientes restricciones imponen que la potencia activa y reactiva despachada no supere los límites establecidos de forma constitutiva.

$$P_{Sis-min} \leq P_{Sis} \leq P_{Sis-max} \quad (8)$$

$$Q_{Sis-min} \leq Q_{Sis} \leq Q_{Sis-max} \quad (9)$$

Donde:

- $P_{Sis-min}$ Potencia activa mínima del del sistema.
- $P_{Sis-max}$ Potencia activa máxima del del sistema.
- P_{Sis} Potencia activa del sistema a ser despachada.
- $Q_{Sis-min}$ Potencia reactiva mínima del del sistema.
- $Q_{Sis-max}$ Potencia reactiva máxima del del sistema.
- Q_{Sis} Potencia reactiva del sistema a ser despachada.

3.2.7 Restricción para límites de capacidad de la GD

La restricción permite establecer los límites de capacidad de GD a ser implementado en cada nodo, considerando los límites a nivel internacional, cuya formulación matemática es la siguiente:

$$CAPGD_{min} \leq CAPGD_i \leq CAPGD_{max} \quad (10)$$

Donde

- $CAPGD_{min}$ Capacidad mínima de la GD a incorporar en el nodo i
- $CAPGD_{max}$ Capacidad máxima de la GD a incorporar en el nodo i
- $CAPGD_i$ Capacidad de la GD a incorporar en el nodo i

3.2.8 Restricción para límites de generación de la GD

Los generadores distribuidos a ser implementados, en función a su constitución física, mantienen restricciones operativas en relación a la potencia a ser entregada, en tal sentido, las siguientes restricciones imponen que la potencia activa y reactiva despachada no supere los límites establecidos de forma constitutiva.

$$0 \leq PGD_i \leq u_i \cdot CAPGD_i \quad (11)$$

$$QGD_i = PGD_i \cdot \tan(\text{acos}(fp)) \quad (12)$$

Donde:

- PGD_i Potencia Activa de la GD situada en el nodo i
- QGD_i Potencia reactiva de la GD situada en el nodo i
- fp Factor de potencia del GD
- u_i Variable Binaria de selección de la GD en cada nodo i

3.2.9 Restricción para ubicación de generación distribuida

Esta restricción limita la cantidad de generadores distribuidos a ser implementados en la red eléctrica, lo cual se encuentra modelado por la siguiente expresión matemática:

$$\sum_{i=1}^G u_i \leq Nmax \quad (13)$$

Donde:

- u_i Variable de binaria de selección de cada generador distribuido situado en el nodo i

$Nmax$ Número máximo GD a ser implementadas en el sistema.

4 Implementación del Modelo Matemático

Con el propósito de evaluar el modelo de optimización propuesto, se utilizará el modelo de prueba de la IEEE de 13 nodos, el cual cuenta con una fuente de suministro, diez cargas eléctricas y doce líneas que modela la red. Los datos del sistema eléctrico se adquieren de forma sistemática; una vez obtenidos los datos del sistema, se aplicará el modelo de optimización, el cual será resuelto mediante el uso del software GAMS, cuyos resultados ayudaran a evaluar los indicadores de calidad de voltaje del sistema y los parámetros eléctricos del sistema, además de poder establecer la cantidad de generadores distribuidos y la capacidad de los mismos.

4.1 Parámetros

Los parámetros del sistema eléctrico que permitirán la aplicabilidad del modelo de optimización se detallan a continuación:

Tabla 1. Datos de la red – IEEE 13 nodos.

Enlace	NCi	NCf	Rpu	Xpu
L1	1	2	0.0016	0.0129
L2	2	3	0.0652	0.1023
L3	3	4	0.1149	0.1171
L4	2	5	0.12	0.3579
L5	5	6	0.12	0.3579
L6	2	7	0.0018	0.0032
L7	7	8	0.0689	0.0702
L8	8	9	0.0689	0.0702
L9	8	10	0.0599	0.1786
L10	7	11	0.0704	0.0714
L11	11	12	0.1896	0.0724
L12	7	13	0.0728	0.0381

Donde:

Enlace	Corresponde a los enlaces de la red a ser modelada
NCi	Nodo inicial de conexión del enlace
NCf	Nodo final de conexión del enlace
Rpu	Resistencia en por unidad del enlace
Xpu	Reactancia en por unidad del enlace

Así mismo, el sistema eléctrico modelo IEEE 13 nodos contiene las siguientes cargas, cuyo valor de potencia activa y reactiva se muestra a continuación:

Tabla 2. Datos técnicos de la carga del sistema.

Nodo	Nc	Pcar (MW)	Qcar (MVAR)
n1	1	0.00	0.00
n2	2	2.00	1.60
n3	3	0.00	0.00
n4	4	4.00	3.00
n5	5	3.90	1.40
n6	6	3.40	2.55
n7	7	3.35	2.51
n8	8	0.00	0.00
n9	9	5.10	3.83
n10	10	5.60	4.20
n11	11	2.00	1.50
n12	12	4.50	3.38
n13	13	5.70	4.28

Donde:

NC	Nodo de conexión.
Pcar	Potencia activa por cada carga en MW.
Qcar	Potencia reactiva por cada carga en MVAR.

Por su parte, la fuente de energía corresponde a la entregada por la red al sistema de distribución, para el efecto esta

fuerza será modelada como el generador slack y cuyos datos son los siguientes:

Tabla 3. Datos técnicos de la fuente.

	Pmax MW	Pmin MW	Qmax MVAR	Qmin MVAR	Precio USD/MWh
g1	100	0	60	-60	90

Donde:

Pmax	Potencia activa máxima del sistema para abastecer la carga total del sistema de distribución.
Pmin	Potencia activa mínima del sistema para abastecer la carga total del sistema de distribución.
Qmax	Potencia reactiva máxima del sistema para abastecer la carga total del sistema de distribución.
Qmin	Potencia reactiva mínima del sistema para abastecer la carga total del sistema de distribución.
Precio	Precio a usuario final en referencia al sistema de distribución

Finalmente, los potenciales generadores distribuidos a ser usados tendrán una capacidad máxima de 10 MW según lo establecido en la Regulación No. ARCERNR 002/21 denominada “Marco normativo para la participación en generación distribuida de empresas habilitadas para realizar la actividad de generación”.

Tomando en cuenta la función objetivo y las restricciones relacionadas, se llega a señalar que el problema de optimización puede ser resuelto mediante la Programación no Lineal Entera Mixta que por sus siglas en inglés se lo conoce como MINLP, para el efecto se usará el optimizador GAMS (General Algebraic Modeling System).

4.2 Procedimiento de resolución

Para la resolución del problema de optimización, se procederá en primera instancia con la adquisición de datos asociados a las características técnicas de la red del sistema IEEE 13 nodos, valores de la demanda en cada uno de los nodos, capacidad de los enlaces, adicional se incluye la subestación de conexión del sistema de distribución con el sistema de transmisión y se considera a dicha barra como slack del sistema, la entrega de energía de este nodo será valorada a la tarifa promedio de usuario final.

Luego se procederá a la modelación correspondiente tomando en cuenta las restricciones y función objetivo antes descritos. Como se ha citado, se resolverá un problema no lineal entero mixto, determinando el flujo óptimo de potencia, la ubicación de los generadores distribuidos, su capacidad y su despacho, los cuales se han seleccionado de manera técnica y económica para el abastecimiento de la demanda, estableciéndose además las variables eléctricas. En la Tabla 4 se detalla el algoritmo que muestra el proceso de resolución del modelo de optimización.

Tabla 4. Algoritmo de resolución.

Algoritmo_FOP –GD	
Paso 1:	Adquisición de datos técnicos de la red y la barra Slack
Paso 2:	Determinación de la Demanda en cada nodo
Paso 3:	Establecimiento de los precios de energía del sistema y de la generación distribuida.
Paso 4:	Determinación de los límites de capacidad de los potenciales generadores distribuidos.
Paso 5:	Set Capacidades máximas de transferencias en cada enlace.
Paso 6:	Set Y barra del sistema a modelar

Paso 7: Problema de Optimización
Set Condiciones iniciales
Set red eléctrica y modelado Y barra
Set variables continuas:
 $P_g, Q_g, V_i, \delta_i, P_{i,k}, PGD_i, QGD_i, CAPGD_i$
Set variables binarias:

$$\begin{aligned} & \text{Set Restricciones:} \\ & \sum_{k=1}^n P g_i - \sum_{k=1}^n P d_i + PGD_i \\ & = \sum_{k=1}^n |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \cos \delta_{ik} \\ & + b_{ik} \sin \delta_{ik}) \\ & \sum_{k=1}^n Q g_i - \sum_{k=1}^n Q d_i + QGD_i \\ & = \sum_{k=1}^n |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \sin \delta_{ik} \\ & - b_{ik} \cos \delta_{ik}) \end{aligned}$$

$$Vmin_i \leq V_i \leq Vmax_i$$

$$\delta min_i \leq \delta_i \leq \delta max_i$$

$$Fmin_{i,j}$$

$$\leq V_i^2 \cdot g_{ii} + |V_i| \cdot |V_k| \cdot (g_{ik} \sin \delta_{ik} - b_{ik} \cos \delta_{ik}) \leq Fmax_{i,j}$$

$$P_{Sis-min} \leq P_{Sis} \leq P_{Sis-max}$$

$$Q_{Sis-min} \leq Q_{Sis} \leq Q_{Sis-max}$$

$$CAPGD_{min} \leq CAPGD_i \leq CAPGD_{max}$$

$$0 \leq PGD_i \leq u_i \cdot CAPGD_i$$

$$QGD_i = PGD_i \cdot \tan(\text{acos}(fp))$$

$$\sum_{i=1}^G u_i \leq Nmax$$

Función Objetivo:

$$FO = P_{Sis} \cdot P_m + \sum_{i=1}^N LCOE \cdot u_i \cdot PGD_i$$

Paso 8 Análisis de resultados por casos de estudio

Paso 9 Fin

4.3 Casos de estudio

Con el fin establecer aspectos relevantes del estudio y el modelado como tal, se simularán dos casos, el primero en el cual el sistema eléctrico no considera la incorporación de la generación distribuida, es decir que el sistema eléctrico de IEEE de 13 nodos es abastecido únicamente por la subestación de conexión con el sistema

de transmisión, sujetándose al cumplimiento de las restricciones respectivas. Mientras que el segundo caso de estudio considerará la incorporación de la generación distribuida, a través del cual se determinará la capacidad y el despacho de dicha generación, cumpliendo las restricciones, al comparar ambos casos se procederá a validar los beneficios que brinda esta opción, para el efecto se analizará los costos del sistema, las variables eléctricas y los índices de calidad de voltaje conforme la normativa aplicable para Ecuador.

El proceso de resolución comenzará a través de la adquisición de datos asociados a: i) Características y parámetros técnicos de la red a modelar; ii) la demanda de potencia activa y reactiva en cada nodo; iii) Parámetros de la generación distribuida y parámetros económicos para valorar los costos del sistema; y, iv) los parámetros de capacidad máxima de los enlaces, posteriormente se procede con la resolución del modelo de optimización.

Para los casos de estudio propuestos se plantean dos escenarios que consideran el incremento del 7% de la demanda, cuyos valores son los que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Demanda nodal y escenarios de incremento.

Nodo	Escenario Base		Escenario 1		Escenario 2	
	(MW)	(MVar)	(MW)	(MVar)	(MW)	(MVar)
	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar	Pcar	Qcar
n1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n2	2.40	1.92	2.57	2.05	2.75	2.20
n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n4	4.80	3.60	5.14	3.85	5.50	4.12
n5	4.68	1.68	5.01	1.80	5.36	1.92
n6	4.08	3.06	4.37	3.27	4.67	3.50
n7	4.02	3.01	4.30	3.22	4.60	3.45
n8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n9	6.12	4.60	6.55	4.92	7.01	5.27
n10	6.72	5.04	7.19	5.39	7.69	5.77

n11	2.40	1.80	2.57	1.93	2.75	2.06
n12	5.40	4.06	5.78	4.34	6.18	4.65
n13	6.84	5.14	7.32	5.50	7.83	5.88

A fin de esquematizar el sistema, se muestra el diagrama unifilar en la Figura 5:

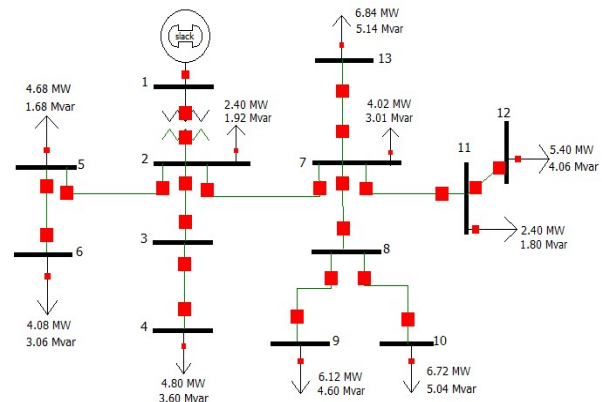


Figura 5. Diagrama unifilar del sistema IEEE 13 nodos.

A fin de modelar el sistema mostrado en la Figura 5 se presenta los parámetros eléctricos los cuales se encuentran tabulados en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de la red del sistema IEEE 13 nodos.

Enlace	Nini	Nfin	Rpu	Xpu
L1	1	2	0.0016	0.0129
L2	2	3	0.0652	0.1023
L3	3	4	0.1149	0.1171
L4	2	5	0.12	0.3579
L5	5	6	0.12	0.3579
L6	2	7	0.0018	0.0032
L7	7	8	0.0689	0.0702
L8	8	9	0.0689	0.0702
L9	8	10	0.0599	0.1786
L10	7	11	0.0704	0.0714
L11	11	12	0.1896	0.0724
L12	7	13	0.0728	0.0381

Complementario a lo señalado, la capacidad de los enlaces corresponde a los datos mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Capacidad de los enlaces del sistema IEEE 13.

Enlace	Nini	Nfin	Cap max (MW)
L1	1	2	60
L2	2	3	10
L3	3	4	10
L4	2	5	15
L5	5	6	10
L6	2	7	40
L7	7	8	20
L8	8	9	10
L9	8	10	10
L10	7	11	15
L11	11	12	10
L12	7	13	10

Con los datos y parámetros mostrados, se procede a realizar el análisis de los casos de estudio y la simulación de los distintos escenarios antes descritos.

5 Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se considerará cada caso de estudio, se iniciará evaluando el sistema sin generación distribuida y tomando en cuenta el crecimiento de la demanda para los dos escenarios. Posteriormente se analizará el segundo caso el cual se basa en la incorporación de generación distribuida y su implicación en las variables eléctricas.

Previo al análisis de los casos, se procede primero a simular el caso inicial mediante el software DIgSilent, y posteriormente se compara la variable del voltaje obtenida con GAMS y el simulador, cuyos valores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Comparación de variables eléctricas GAMS y DIgSilent.

Nodo	Voltaje (pu) - Caso inicial		
	GAMS	DIgSilent	%error
n1	1.0000	1.0000	0.0000%
n2	0.9947	0.9947	0.0003%
n3	0.9877	0.9877	-0.0002%
n4	0.9777	0.9777	0.0005%
n5	0.9654	0.9654	0.0001%
n6	0.9486	0.9487	-0.0004%
n7	0.9933	0.9933	-0.0005%
n8	0.9771	0.9771	0.0001%
n9	0.9695	0.9695	0.0000%
n10	0.9636	0.9636	-0.0002%
n11	0.9834	0.9834	0.0004%
n12	0.9698	0.9698	-0.0003%
n13	0.9863	0.9863	0.0000%

De los resultados se indica que el error obtenido es mínimo para la variable del voltaje, lo cual conlleva a señalar que el modelo de optimización funciona correctamente y por ende se procede a usar para la evaluación de los casos de estudio.

5.1 Caso Inicial: Abastecimiento de la demanda sin GD

Mediante la adquisición de los datos descritos y tomando en cuenta que no se incorpora GD al sistema se procede a resolver el modelo de optimización propuesto, obteniéndose el despacho de generación, el flujo óptimo de potencia y así las variables eléctricas, además el costo operativo del sistema, los resultados para cada escenario de carga son:

Tabla 9. Voltaje nodal por cada escenario de demanda.

Nodo	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2
n1	1.0000	1.0000	1.0000
n2	0.9947	0.9943	0.9939
n3	0.9877	0.9868	0.9858
n4	0.9777	0.9761	0.9744
n5	0.9654	0.9628	0.9601
n6	0.9486	0.9448	0.9407
n7	0.9933	0.9928	0.9923
n8	0.9771	0.9755	0.9737
n9	0.9695	0.9672	0.9648
n10	0.9636	0.9609	0.9580
n11	0.9834	0.9822	0.9809
n12	0.9698	0.9676	0.9652
n13	0.9863	0.9853	0.9842

De la

Tabla 9 se obtiene la

Figura 6, la cual muestra el perfil de voltaje por cada escenario de demanda, denotándose que con el incremento de carga los voltajes se deprimen.

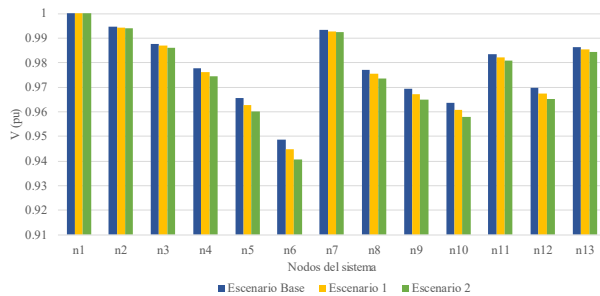


Figura 6. Perfil de voltaje por cada escenario de demanda sin GD.

Tomando en cuenta los valores de voltajes obtenidos, se procede a calcular el índice de calidad de voltaje, por cada escenario de demanda como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Índice de calidad de nivel voltaje por escenario de demanda.

Nodo	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2
n1	0.000%	0.000%	0.000%
n2	-0.534%	-0.573%	-0.615%
n3	-1.231%	-1.320%	-1.416%
n4	-2.227%	-2.387%	-2.560%
n5	-3.458%	-3.717%	-3.993%
n6	-5.135%	-5.518%	-5.930%
n7	-0.670%	-0.718%	-0.771%
n8	-2.287%	-2.453%	-2.633%
n9	-3.055%	-3.277%	-3.517%
n10	-3.643%	-3.908%	-4.195%
n11	-1.663%	-1.783%	-1.912%
n12	-3.022%	-3.241%	-3.476%
n13	-1.373%	-1.472%	-1.578%

La Tabla 10 si bien muestra el índice de calidad de voltaje, los resultados resaltados corresponden a los nodos ubicados al extremo de cada ramal del sistema eléctrico modelado, los cuales servirán para evaluar el impacto de la GD al incorporarse a la red.

Por otra parte, en la Tabla 11 se muestra la cantidad de potencia activa y reactiva que entrega el sistema a través de la subestación, cuyos valores se tabulan en función al escenario de demanda.

Tabla 11. Potencia activa y reactiva de la S/E para abastecimiento del sistema.

Escenarios	P. S/E (MW)	Q. S/E (MVar)
Escenario Base	48.275	35.507
Escenario 1	51.738	38.109
Escenario 2	55.419	40.936

Los resultados mostrados en la Tabla 11 se muestran en la Figura 7, de lo cual se señala que a un incremento de la demanda se produce un incremento en la energía

suministrada por el sistema a través de la subestación de interconexión.

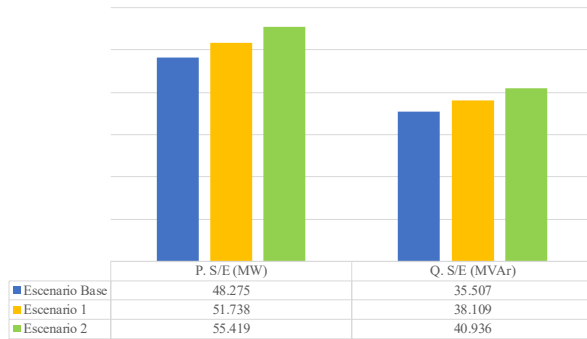


Figura 7. Despacho de la S/E para abastecer la demanda del sistema IEEE 13 nodos.

En la línea de lo señalado, a un incremento de la demanda se producirá también un incremento de las pérdidas, cuando no se considera la inclusión de los GD al sistema, dicho aspecto se muestra en la Tabla 12 y en la Figura 8.

Tabla 12. Pérdidas de potencia en función del escenario de demanda.

Escenarios	Pérdidas (MW)
Escenario Base	0.8152
Escenario 1	0.9380
Escenario 2	1.0792

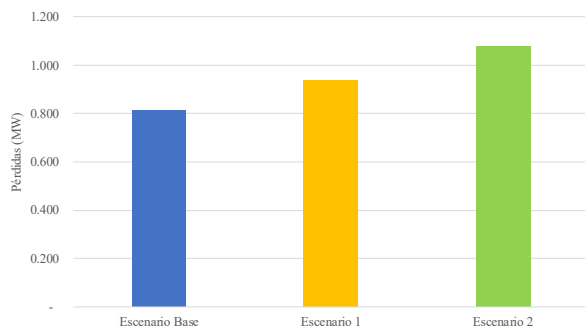


Figura 8. Pérdidas del sistema sin GD por escenario de carga

Finalmente, se obtienen los resultados del costo operativo por cada escenario de demanda, cuyos valores se tabulan en la Tabla 13 y se muestran en la

Figura 9.

Tabla 13. Costo operativo en función del escenario de demanda.

Escenarios	Costo (USD)
Escenario Base	4,344.77
Escenario 1	4,656.42
Escenario 2	4,987.73

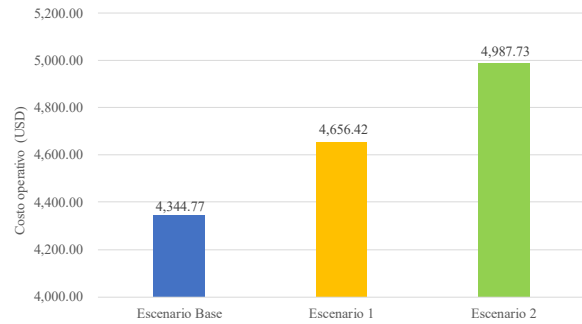


Figura 9. Costo operativo en función del escenario de demanda

De los resultados asociados a los costos se señala que, a un incremento de demanda se produce un incremento en los costos operativos, siempre y cuando no exista la incorporación de la GD.

5.2 Caso Dos: Abastecimiento de la demanda con GD

Dado los tres escenarios de carga, se procede a integrar, por cada uno de dichos escenarios, una cantidad de dos, cuatro y seis generadores distribuidos respectivamente, aspecto que permitirá evaluar los parámetros tanto técnicos como económicos para el sistema modelado tomando en consideración los resultados obtenidos en el caso inicial, en el cual no existe generación distribuida.

En primera instancia se mostrará los resultados de la ubicación de la GD para cada escenario de carga, lo cual se tabula en la Tabla 14.

Tabla 14. Ubicación de GD por escenario de carga.

CON 2 GD			
Nodo	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2
n3	-	1.00	1.00
n5	-	1.00	1.00
n7	1.00	-	-
n11	1.00	-	-

CON 4 GD			
Nodo	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2
n4	1.00	1.00	1.00
n5	1.00	1.00	1.00
n7	1.00	-	-
n9	1.00	1.00	1.00
n12	-	1.00	1.00

CON 6 GD			
Nodo	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2
n2	-	1.00	-
n3	-	1.00	1.00
n4	1.00	1.00	-
n5	-	1.00	1.00
n6	1.00	1.00	1.00
n9	1.00	-	1.00
n10	1.00	-	1.00
n11	-	1.00	-
n12	1.00	-	1.00
n13	1.00	-	-

De la Tabla 14 se puede señalar que dependiendo de la cantidad de potencia activa y reactiva de la carga en cada nodo del sistema, por tanto, a pesar de exista la misma cantidad de generadores distribuidos, la cantidad de carga y los límites de los enlaces serán el factor determinante para la ubicación de los GD, conllevando a que el optimizador establezca en que nodos ubicar la GD, razón por la cual y como se puede apreciar, la ubicación de los GD en los diferentes escenarios de carga son diferentes.

Complementario a lo descrito, a continuación, se muestra la capacidad de los GD seleccionados y su potencia despachada.

Tabla 15. Capacidad y Potencia de la GD seleccionada por escenario de carga.

CON 2 GD			
	Nodo	CAP [MW]	P GD [MW]
Escenario Base	n7	10.00	10.00
	n11	10.00	10.00
Escenario 1	n3	10.00	10.00
	n5	10.00	10.00
Escenario 2	n3	10.00	10.00
	n5	10.00	10.00

CON 4 GD			
	Nodo	CAP [MW]	P GD [MW]
Escenario Base	n4	10.00	10.00
	n5	10.00	10.00
	n7	10.00	10.00
	n9	10.00	10.00
Escenario 1	n4	10.00	10.00
	n5	10.00	10.00
	n9	10.00	10.00
	n12	10.00	10.00
Escenario 2	n4	10.00	10.00
	n5	10.00	10.00
	n9	10.00	10.00

CON 6 GD			
	Nodo	CAP [MW]	P GD [MW]
Escenario Base	n4	9.08	8.08
	n6	10.00	10.00
	n9	8.82	7.49
	n10	10.00	10.00
	n12	8.52	6.74
	n13	10.00	10.00
Escenario 1	n2	10.00	10.00
	n3	10.00	10.00
	n4	8.95	7.16
	n5	10.00	10.00
	n6	10.00	10.00
Escenario 2	n11	10.00	10.00
	n3	10.00	10.00
	n5	10.00	10.00
	n6	10.00	10.00
	n9	10.00	10.00

De la Tabla 15 se puede indicar que la capacidad y el despacho de la GD seleccionada depende del cumplimiento de las restricciones asociadas a la red y de la propia GD y de la minimización de los costos operativos del sistema, razón por la cual, para el escenario base y el escenario 1 cuando se incorporan 2 y 4 GD al sistema, su capacidad y la potencia despachada son idénticas y tienden al máximo valor de la capacidad de la GD, sin embargo, al realizar el análisis cuando se incorporan 6 GD, las restricciones del sistema obligan a que si bien se determine una capacidad menor al capacidad máxima, el despacho de potencia también es inferior, lo cual radica en el cumplimiento de las restricciones de la red y adicional obedece a la capacidad que tiene el sistema de distribución a entregar energía al sistema de transmisión, dichos aspectos se evaluará cuando se analice las variables eléctricas asociadas a la subestación que conecta el sistema de distribución y el sistema de transmisión.

Dados los resultados sobre la ubicación y capacidad de los GD seleccionados, se procede a mostrar los resultados de los módulos de voltaje por cada escenario de carga, considerando la cantidad de GD incorporados.

Tabla 16. Voltaje por escenario de demanda y cantidad de GD.

	SIN GD	2 GD	4 GD	6 GD
Escenario Base				
n1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
n2	0.9947	0.9970	0.9993	1.0007
n3	0.9877	0.9900	1.0066	1.0053
n4	0.9777	0.9801	1.0169	1.0119
n5	0.9654	0.9678	1.0102	1.0112
n6	0.9486	0.9511	0.9942	1.0334
n7	0.9933	0.9965	0.9988	1.0008
n8	0.9771	0.9803	0.9952	1.0064
n9	0.9695	0.9727	0.9999	1.0081
n10	0.9636	0.9668	0.9819	1.0127
n11	0.9834	0.9991	0.9889	0.9995
n12	0.9698	0.9857	0.9754	1.0027
n13	0.9863	0.9894	0.9918	1.0040

Escenario 1				
n1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
n2	0.9943	0.9966	0.9990	1.0007
n3	0.9868	1.0034	1.0057	1.0175
n4	0.9761	0.9929	1.0155	1.0215
n5	0.9628	1.0056	1.0079	1.0460
n6	0.9448	0.9884	0.9907	1.0664
n7	0.9928	0.9952	0.9984	0.9997
n8	0.9755	0.9779	0.9936	0.9825
n9	0.9672	0.9696	0.9978	0.9743
n10	0.9609	0.9634	0.9794	0.9680
n11	0.9822	0.9845	1.0004	1.0016
n12	0.9676	0.9700	1.0105	0.9874
n13	0.9853	0.9877	0.9909	0.9922

Escenario 2				
n1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
n2	0.9939	0.9962	0.9986	1.0007
n3	0.9858	1.0025	1.0049	1.0070
n4	0.9744	0.9913	1.0139	0.9958
n5	0.9601	1.0031	1.0054	1.0442
n6	0.9407	0.9846	0.9870	1.0636
n7	0.9923	0.9947	0.9979	1.0004
n8	0.9737	0.9761	0.9919	1.0068
n9	0.9648	0.9673	0.9956	1.0104
n10	0.9580	0.9605	0.9766	1.0112
n11	0.9809	0.9833	0.9991	1.0014
n12	0.9652	0.9677	1.0084	1.0099
n13	0.9842	0.9866	0.9898	0.9924

Extrayendo lo determinado en la Tabla 16, se puede mostrar el perfil de voltaje por cada uno de los escenarios de carga y tomando en cuenta la incorporación de la GD, conforme lo muestra en las siguientes ilustraciones.

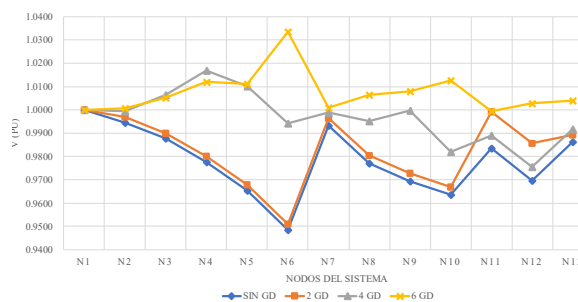


Figura 10. Perfil de voltaje con la incorporación de GD – Escenario Base

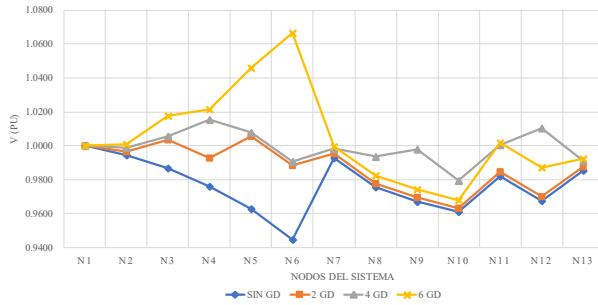


Figura 11. Perfil de voltaje con la incorporación de GD – Escenario 1

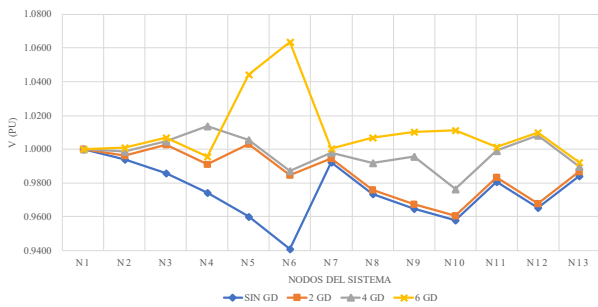


Figura 12. Perfil de voltaje con la incorporación de GD – Escenario 2

De lo mostrado, se puede señalar que, la inclusión de GD en el sistema de distribución mejora el perfil de voltaje independientemente del escenario de carga. Así mismo, se puede señalar que, entre más GD incorporada óptimamente en el sistema, el perfil de voltaje se mejora sustancialmente. En este contexto, es necesario señalar que la ubicación de los GD definida por el optimizador garantiza la adecuada inyección de potencia activa y reactiva, la cual al interactuar con los flujos de potencia del sistema permite una adecuada operación del sistema y garantiza que niveles de voltaje cumplan con el índice de calidad de nivel de voltaje y que sean mejorados a comparación del escenario inicial, lo cual se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Índice de calidad de nivel de voltaje por cada escenario de carga

Escenario Base				
NC	SIN GD	CON 2 GD	CON 4 GD	CON 6 GD
n4	-2.23%	-1.99%	1.69%	1.19%
n5	-3.46%	-3.22%	1.02%	1.12%
n6	-5.14%	-4.89%	-0.58%	3.34%
n9	-3.05%	-2.73%	-0.01%	0.81%
n10	-3.64%	-3.32%	-1.81%	1.27%
n12	-3.02%	-1.43%	-2.46%	0.27%
n13	-1.37%	-1.06%	-0.82%	0.40%

Escenario 1				
NC	SIN GD	CON 2 GD	CON 4 GD	CON 6 GD
n4	-2.39%	-0.71%	1.55%	2.15%
n5	-3.72%	0.56%	0.79%	4.60%
n6	-5.52%	-1.16%	-0.93%	4.64%
n9	-3.28%	-3.04%	-0.22%	-2.57%
n10	-3.91%	-3.66%	-2.06%	-3.20%
n12	-3.24%	-3.00%	1.05%	-1.26%
n13	-1.47%	-1.23%	-0.91%	-0.78%

Escenario 2				
NC	SIN GD	CON 2 GD	CON 4 GD	CON 6 GD
n4	-2.56%	-0.87%	1.39%	-0.42%
n5	-3.99%	0.31%	0.54%	4.42%
n6	-5.93%	-1.54%	-1.30%	5.36%
n9	-3.52%	-3.27%	-0.44%	1.04%
n10	-4.20%	-3.95%	-2.34%	1.12%
n12	-3.48%	-3.23%	0.84%	0.99%
n13	-1.58%	-1.34%	-1.02%	-0.76%

El índice de calidad, determinado según la Regulación No. ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” señala que el índice de calidad de nivel de voltaje evaluado en Medio Voltaje tiene un límite de +/-6%, y por lo general se evalúa en los nodos extremos, para el caso de análisis corresponde a los nodos 4,5,6,9,10,12 y 13, tal sentido y tomando en cuenta los resultados presentados en la Tabla 17, se muestran las siguientes ilustraciones que indican la evaluación de índice de calidad de nivel de voltaje.

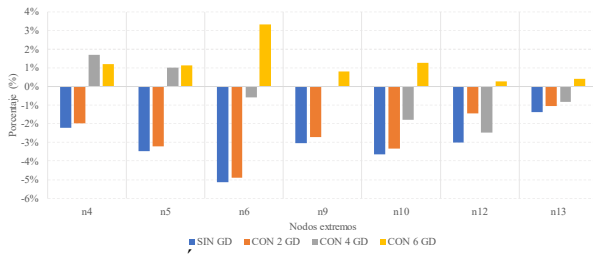


Figura 13. Índice de calidad de nivel de voltaje – Escenario Base

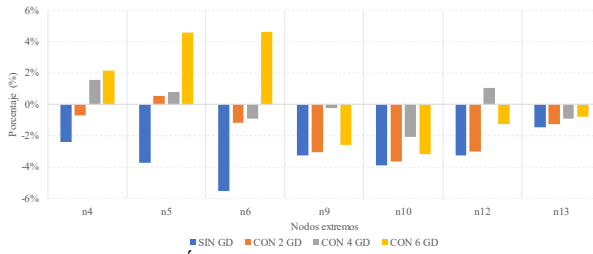


Figura 14. Índice de calidad de nivel de voltaje – Escenario 1

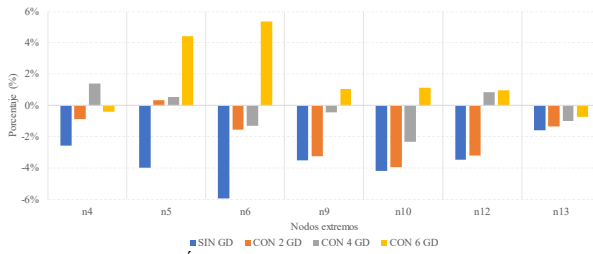


Figura 15. Índice de calidad de nivel de voltaje – Escenario 2

De las Figura 13, Figura 14 y Figura 15, se puede concluir que el índice de calidad del nivel de voltaje evaluado inicialmente en el caso inicial sin GD mejora a comparación con la incorporación de la GD y se encuentra dentro de los límites permitidos según la Regulación No. ARCONEL 005/18, lo cual está relacionado con la mejora del perfil de voltaje, en ese contexto, a mayor incorporación de GD ubicada de forma óptima, recae en la mejora en el índice de calidad antes señalado, inclusive produciéndose un incremento sustancial como se muestra cuando se incorpora 6 GD en el sistema independiente del escenario de demanda.

En correspondencia al análisis del perfil de voltaje y del índice de calidad de nivel de voltaje, se procede a realizar un análisis de las pérdidas del sistema en función de los escenarios de demanda y la cantidad de los GD incorporados, cuyos resultados se tabulan en la Tabla 18 y se muestran en la Figura 16.

Tabla 18. Pérdidas por escenario de carga y por cantidad de GD.

	Pérdidas (MW)			
	SIN GD	CON 2 GD	CON 4 GD	CON 6 GD
Escenario Base	0.82	0.68	0.40	0.15
Escenario 1	0.94	0.74	0.31	0.93
Escenario 2	1.08	0.84	0.32	0.48

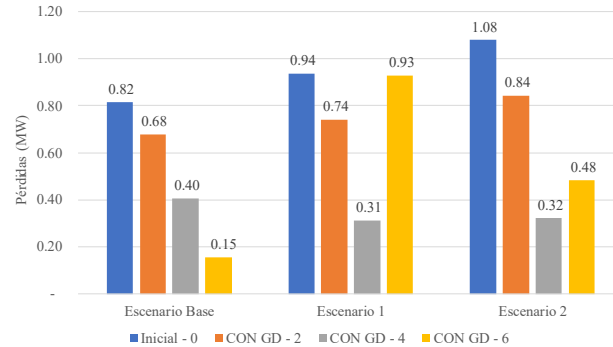


Figura 16. Pérdidas por escenario de carga y por cantidad de GD.

De los resultados obtenidos en relación a las pérdidas se puede señalar que la inclusión de la GD en el sistema tiende en primera instancia a la reducción de pérdidas, sin embargo, a mayor incremento de GD, éstos comienzan a entregar la suficiente energía para abastecer la carga del sistema de distribución, lo que conlleva a incrementar las pérdidas en el sistema de distribución e incluso se puede entregar energía al sistema de transmisión, lo cual se describe en la Tabla 19 y se muestra en la Figura 17.

Tabla 19. Potencia activa de la S/E por escenario de carga y por cantidad de GD

	P - S/E (MW)			
	SIN GD	CON 2 GD	CON 4 GD	CON 6 GD
Escenario Base	48.28	28.14	7.86	-4.69
Escenario 1	51.74	31.54	11.11	-5.43
Escenario 2	55.42	35.18	14.66	-4.88

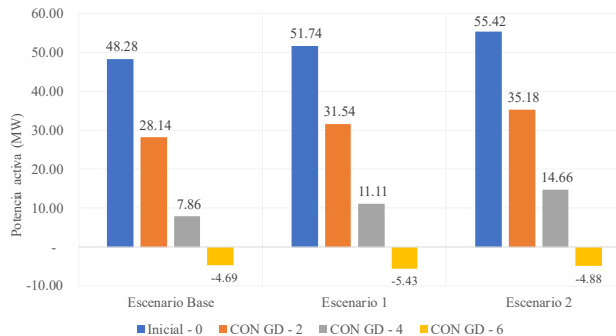


Figura 17. Potencia activa de la S/E por escenario de carga y por cantidad de GD

Los resultados obtenidos de la potencia de la subestación por escenario de carga y por cantidad de GD, conlleva a que a mayor cantidad de GD se requiere menor energía del sistema de potencia, y en el caso de una intensiva penetración de GD, el sistema de distribución entrega energía al sistema de potencia tal como se muestra en la Figura 17 con la implementación de 6 GD independiente del escenario de carga.

Finalmente, con el objeto de evaluar el costo operativo del sistema, se considera que, la energía entregada por el sistema de potencia al sistema de distribución se evalúa a tarifa a usuario final, mientras que la potencia entregada por la GD se evalúa con el precio promedio del Costo Nivelado de Energía por sus siglas en inglés “*Levelized Cost of Energy- LCOE*”, obteniéndose los resultados que se tabulan en la Tabla 20 y se presentan en la Figura 18.

Tabla 20. Costo operativo por escenario de carga y por cantidad de GD.

	COSTO (USD)		
	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2
SIN GD	4,344.77	4,656.42	4,987.73
CON 2 GD	3,532.57	3,838.60	4,166.50
CON 4 GD	2,707.85	3,000.08	3,319.62
CON 6 GD	2,193.09	2,369.28	2,545.80

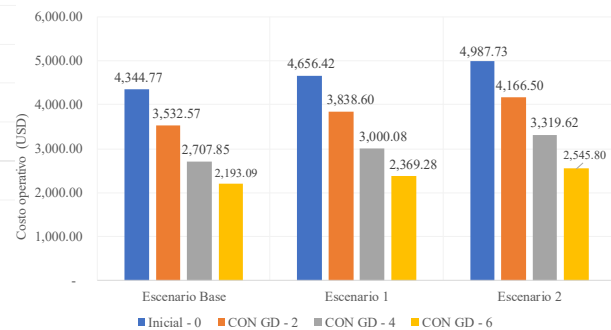


Figura 18. Costo operativo por escenario de carga y por cantidad de GD

El costo operativo es la función objetivo del modelo y como es de esperarse tiende a minimizarse, lo cual se verifica en función de los resultados expuestos, por tanto se señala que, el costo operativo se minimiza en cualquiera de los escenarios de carga independientemente de la cantidad de GD incorporados, lo cual en términos generales de mercado eléctrico, la demanda se beneficia dado que se abastece con recursos de generación más económicos y que no se ven influidos por tarifas adicionales asociadas a peajes de la red u otros adicionales.

6 Conclusiones

Con base a lo descrito a lo largo del documento y en función del análisis de resultados, se presenta las conclusiones relevantes del estudio:

- La resolución del modelo de optimización en el presente estudio ha sido mediante el uso de la programación no lineal entera mixta, el cual arroja como resultado la ubicación y determinación de capacidad máxima de generación distribuida a ser implementada en el sistema de distribución modelado IEEE 13 nodos, aplicando para el efecto flujos óptimos de potencia AC para tres escenarios de carga que corresponden de forma general a las demandas base, media y punta.
- De los resultados obtenidos en relación a las variables eléctricas para los escenarios de carga, se indica que la implementación de GD permite mejorar el perfil de voltaje y con ello el indicador de calidad del nivel de voltaje, evaluado según la Regulación No. ARCONEL 005/18, también es mejorado y además se mantiene dentro del límite de medio voltaje que corresponde al +/-6%. Para el los casos de análisis se puede señalar que en cualquier escenario de demanda sin considerar GD el valor de los índices se encuentra en un promedio del 3.37%, mientras que al implementar la GD estos en promedio se reducen y corresponden al valor de 0.43%, lo que muestra una reducción importante y garantiza un adecuado nivel de voltaje en las barras.
- Como se ha señalado, el modelo de optimización permite ubicar los nodos donde colocar la GD y a su vez determina la capacidad a ser instalada, en tal sentido, al evaluar los costos operativos del sistema se indica que la implementación de GD reduce los costos operativos independientemente del escenario de carga y la cantidad de GD incorporados, lo cual apunta a minimizar los costos de abastecimiento de la demanda. En tal sentido, al evaluar el costo sin GD en cualquiera de los escenarios y casos estudiados el valor promedio asciende a 4662.97 USD, mientras que, al evaluar un valor promedio de los costos en cualquiera de los escenarios con la inclusión de GD, éstos ascienden a 3074.82 USD, lo que representa una disminución del 34.06%, por lo que se ratifica que el modelo cumple la función de minimizar los costos.
- Del marco teórico elaborado, la integración de GD es una alternativa óptima para el abastecimiento de la demanda del sistema de distribución desde dos puntos de vista, el primero asociado a suplir el aumento de la demanda utilizando las redes existentes; y, en segundo lugar impacta de forma positiva las condiciones operativas de la red, siempre y cuando se realice una adecuada ubicación y dimensionamiento de los generadores, lo cual se evidencia al evaluar las variables eléctricas que se han descrito en el documento.
- Como ya se ha descrito, los resultados económicos analizados muestran una reducción de costos operativos del sistema los cuales dependen de la cantidad de GD, en tal sentido, la máxima reducción del costo operativo del caso inicial se obtiene con la incorporación de 6 GD, llegando a un valor del 50 % de reducción, en tal sentido, esa disminución de costos conlleva a un ahorro para la demanda y por tanto se traduce en una minimización en las tarifas a usuarios finales.
- Como se ha citado, el presente documento resuelve un modelo de optimización que tiene como

objetivo minimizar los costos operativos, permitiendo determinar la ubicación de los GD, la capacidad y el despacho de potencia correspondiente, lo cual está directamente relacionado con los límites de transferencia de los enlaces, los niveles de voltaje y las restricciones de la red y de la GD, lo que permite incluso que la GD incorporada a más de abastecer la demanda del sistema de distribución, también entregue energía al sistema de potencia, produciendo flujos bidireccionales de potencia, lo cual se muestra en el análisis de resultados.

- Con respecto a la evaluación de pérdidas, se puede observar que al evaluarlas sin GD en cualquiera de los escenarios y casos estudiados el valor promedio asciende a 0.9466 MW, mientras que, al evaluar un valor promedio de las pérdidas en cualquiera de los escenarios con la inclusión de GD, éstas ascienden a 0.5388 MW, lo que representa una disminución del 43.07%, por lo que se señala que la GD, a más de brindar los beneficios antes descritos, también reduce las pérdidas en el sistema por su flujo bidireccional en las redes.
- Finalmente, se señala que al momento de integrar GD se deben considerar, además de los aspectos técnicos, los costos asociados. Dentro del marco teórico revisado, la gran parte de estudios se centran en temas técnicos de la red, sin importar el costo que tiene asociado a la integración de GD, ni los incentivos económicos brindados, por tanto, se concluye que los dos contextos antes descrito son relevantes al momento de evaluar la tasa de retorno, que en muchos casos puede definir la

viabilidad de un proyecto de generación.

6.1 Trabajos futuros

Dado el ámbito de investigación del presente trabajo y de los análisis efectuados, se sugiere realizar investigaciones adicionales en las siguientes temáticas:

- Control descentralizado para operación de generación distribuida en micro redes.
- Estudio de la calidad de la energía eléctrica considerando la incorporación de sistemas de almacenamiento y generación distribuida.
- Sistema de suministro híbrido AC & DC con generación distribuida en un mercado de energía.
- Modelación matemática de la generación distribuida aplicando pilas de combustible.
- Control de generación distribuida bajo condiciones del mercado energético mediante el control predictivo.
- Planificación de expansión de generación en un entorno desregulado basado en el desarrollo de generación distribuida.
- Ubicación y capacidad óptima de generación distribuida mediante algoritmos genéticos.
- Análisis de la optimización de la potencia reactiva para fuentes de generación distribuida en red de baja tensión.
- Programación óptima de mantenimiento de la generación distribuida en mercados eléctricos.
- Aplicación de la tecnología Blockchain en las transacciones comerciales de la generación distribuida.

7 Referencias

- [1] S. Zhu, L. Geng, J. Zheng, X. Wang, D. Choi, and Y. Li, "Selection method of transformer interconnecting distributed generation and distribution networks," *Transm. Distrib. Conf. Expo. Asia Pacific, T D Asia 2009*, pp. 3–6, 2009.
- [2] W. Li and L. Jun, "Study on Loss Allocation of Power Distribution Network with Distributed Generation," *Integr. Distrib. Gener. Power Syst.*, no. 1129, pp. 678–680, 2010.
- [3] Ieee, "IEEE guide for interfacing dispersed storage and generation facilities with electric utility systems," *ANSI/IEEE Std 1001-1988*, 1989.
- [4] W. Jian, "Distributed Control of Power Generation System," *2012 Int. Conf. Emerg. Trends Electr. Eng. Energy Manag.*, 2012.
- [5] P. Chiradeja, "Benefit of distributed generation: A line loss reduction analysis," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2005, pp. 1–5, 2005.
- [6] J. F. Zhang, S. M. Ding, Y. L. Hang, and H. Guang, "Research on distributed generation source placement," *1st Int. Conf. Sustain. Power Gener. Supply*, pp. 1–4, 2009.
- [7] M. N. Hidayat and F. Li, "Impact of Distributed Generation technologies on generation curtailment," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 4–8, 2013.
- [8] S. Mukhopadhyay and B. Singh, "Distributed generation - Basic policy, perspective planning, and achievement so far in India," *2009 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. PES '09*, 2009.
- [9] L. I. Dulau, M. Abrudean, and D. Bica, "Automation of a Distributed Generation System," *Proc. - 2015 20th Int. Conf. Control Syst. Comput. Sci. CSCS 2015*, pp. 85–89, 2015.
- [10] V. V. Dubaylova, N. D. Mukhlynin, and O. J. Polyakova, "Distributed generation control in energy market conditions using advanced model predictive control," *2019 16th Conf. Electr. Mach. Drives Power Syst. ELMA 2019 - Proc.*, no. June, pp. 6–8, 2019.
- [11] D. Zhao, Y. Li, and Y. Liu, "Optimal design and sensitive analysis of distributed generation system with renewable energy sources," *China Int. Conf. Electr. Distrib. Ciced*, vol. 2014-Decem, no. Ciced, pp. 456–460, 2014.
- [12] B. Liu, X. Qian, J. Li, and Y. Zhang, "Optimal sizing of distributed generation based on chaotic free-search algorithm in an island microgrid," *Proc. - 2017 Chinese Autom. Congr. CAC 2017*, vol. 2017-Janua, no. 515770, pp. 7103–7106, 2017.
- [13] A. H. Parsaeifard, M. Manbachi, M. B. Abaee Kopayi, and M. R. Haghifam, "A market-based Generation Expansion Planning in deregulated environment based on distributed generations development," *2010 IEEE 11th Int. Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst. 2010*, pp. 677–684, 2010.
- [14] M. H. Moradi, M. Abedinie, and H. Bagheri Tolabi, "Optimal multi-distributed generation location and capacity by genetic algorithms," *2010 9th Int. Power Energy Conf. IPEC 2010*, no. June, pp. 614–618, 2010.
- [15] S. K. Sheryazov, M. V. Shelubaev,

- and S. G. Obukhov, "Renewable sources in system distributed generation," *2017 Int. Conf. Ind. Eng. Appl. Manuf. 2017 - Proc.*, pp. 1–4, 2017.
- [16] L. I. Dulau and D. Bica, "Optimization of a power system with distributed generation sources," *2015 13th Int. Conf. Eng. Mod. Electr. Syst. EMES 2015*, pp. 903–906, 2015.
- [17] R. S. Zulpo, R. C. Leborgne, and A. S. Bretas, "Optimal location and sizing of distributed generation based on power losses and voltage deviation," *2014 IEEE PES Transm. Distrib. Conf. Expo. PES T D-LA 2014 - Conf. Proc.*, vol. 2014-Octob, pp. 1–5, 2014.
- [18] L. Cheng *et al.*, "Analysis of access location and capacity of distributed generation based on OpenDSS," *China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED*, no. 201805280000274, pp. 2264–2268, 2018.
- [19] M. M. Shi, B. Zhou, and J. D. Wei, "Simulation research on a novel distributed generation system," *2011 4th Int. Conf. Power Electron. Syst. Appl. PESA 2011*, pp. 5–9, 2011.
- [20] T. Akash and B. Bhupendra, "System Impact Analysis of Renewable Distributed Generation on an Existing Radial Distribution Network," *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 1–4, 2007.
- [21] J. Song, X. Jing, H. Lia, H. Gu, and Q. Liu, "Distributed power generation technology and the effect of it on the accident of large-scale power grids," *Integr. Distrib. Energy Resour. Power Syst.*, 2008.
- [22] F. H. Guan, D. M. Zhao, X. Zhang, B. T. Shan, and Z. Liu, "Research on distributed generation technologies and its impacts on power system," *1st Int. Conf. Sustain. Power Gener. Supply*, pp. 1–6, 2009.
- [23] L. Ievina, A. Vidzups, A. Blumberga, and D. Blumberga, "Mapping of Distributed Power Generation Versus Biomass Availability," *2019 IEEE 60th Annu. Int. Sci. Conf. Power Electr. Eng. Riga Tech. Univ. 2019 - Proc.*, pp. 1–5, 2019.
- [24] V. Cholota, "Impacto de la generación distribuida en redes de distribución, aplicación central hidroeléctrica Mira," *te*, pp. 68–70, 1377.
- [25] B. Meyer, "Distributed Generation: Towards an effective contribution to power system security," *2007 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES*, pp. 1–6, 2007.
- [26] V. Gualotuña and Universidad Politécnica Salesiana, "Ubicación óptima de generación distribuida en sistemas eléctricos de distribución utilizando un algoritmo multiobjetivo considerando despacho," *Tesis*.
- [27] ARCERNNR, "ARCERNNR-014/21-Marco normativo para la participación en generación distribuida de empresas habilitadas para realizar la actividad de generación," *Regist. Of.*, pp. 1–46, 2021.
- [28] S. Vargas and W. Pavón, "Óptimo Dimensionamiento Y Ubicación De Generación Fotovoltaica En Una Microred Georeferenciada Utilizando Generación De Columnas," *Rev. Técnica "energía"*, vol. 17, no. 1, pp. 71–79, 2020.
- [29] E. F. Durán, "La Generación Distribuida: Retos frente al Marco Legal del Mercado Eléctrico Ecuatoriano," *Rev. Técnica*

- “Energía,”* vol. 10, no. 1, pp. 13–27, 2014.
- [30] R. Jain and V. Mahajan, “Benefits of committing Distributed Generation in Energy Market,” *8th IEEE Power India Int. Conf. PIICON 2018*, pp. 1–5, 2018.
- [31] T. Zhou and B. Francois, “Energy management and power control of a hybrid active wind generator for distributed power generation and grid integration,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 95–104, 2011.
- [32] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. V. Timbus, “Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1398–1409, 2006.
- [33] F. Dragomir and O. E. Dragomir, “Distributed power generation from renewable energy resources: A framework for load forecasting in low voltage power grids,” *Proc. - UKSim-AMSS 6th Eur. Model. Symp. EMS 2012*, pp. 299–304, 2012.
- [34] Z. Krishans, A. Mutule, and A. Kutjuns, “Integration of distributed generation in the networks of Latvian power system,” *Integr. Distrib. Gener. Power Syst.*, 2011.
- [35] S. Ghosh, S. P. Ghoshal, and S. Ghosh, “Two analytical approaches for optimal placement of distributed generation unit in power systems,” *2009 Int. Conf. Power Syst. ICPS ’09*, pp. 25–30, 2009.
- [36] J. M. López-Lezama, L. F. Buitrago, and F. Villada, “Ubicación, Dimensionamiento y Precio de Contrato Óptimo de Generación Distribuida en Sistemas de Distribución,” *Inf. Tecnol.*, vol. 26, no. 6, pp. 109–120, 2015.
- [37] S. Bai, “Analysis of the Influence of Distributed Generation Access On the Operation and Management of Distribution Network,” *Proc. 2018 IEEE 4th Inf. Technol. Mechatronics Eng. Conf. ITOEC 2018*, pp. 1477–1480, 2018.
- [38] Z. Jizhong and IEEE, “Optimization of Power System Operation,” 2015. <https://www.wiley.com/en-us/Optimization+of+Power+System+Operation%2C+2nd+Edition-p-9781118854150> (accessed May 27, 2021).
- [39] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE Std 1547a:IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems,” *IEEE Std 1547-2003*, vol. 2014, p. 16, 2014.
- [40] J. Yang, G. Li, D. Wu, and Z. Suo, “The impact of distributed wind power generation on voltage stability in distribution systems,” *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, pp. 4–8, 2013.
- [41] Y. Zhu and K. Tomsovic, “Adaptive power flow method for distribution systems with dispersed generation,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 17, no. 3, pp. 822–827, 2002.
- [42] E. Portales and D. McNabb, “Transient polarity comparison based protection for system with power electronic interfaced distributed generation units,” *Integr. Distrib. Energy Resour. Power Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 437–442, 2003.
- [43] P. Rodriguez *et al.*, “Flexible Active Power Control of Distributed Power Generation Systems During Grid Faults,” vol. 54, no. 5, pp. 2583–2592, 2007.
- [44] V. Quintero-Molina, D. Vega, U. Mora, and A. Pavas, “Impact

assessment of distributed generation on the power quality and reliability of distribution grid,” *2015 IEEE Work. Power Electron. Power Qual. Appl.*, pp. 3–9, 2015.

7.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 21. Matriz de estado del arte

UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA																																						
ITEM	AÑO	DATOS UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				ALGORITMO DE RESOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA																		
				Abastecimiento de la demanda	Integración de Generación Distribuida	Costos de operación	Planificación de corto plazo	Flujo óptimo de potencia AC	Reducción de costos operativos para abastecimiento de la demanda	Implementación de modelos de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Evaluación de las variables técnicas y económicas de los sistemas eléctricos	Optimización de la GD	Límites de potencia de la generación distribuida	Balance nodal de potencia	Cantidad máxima de transferencia en los enlaces	Determinación de la ubicación y capacidad de la GD	Minimización de costos operativos para abasteciendo de la demanda	Determinación de la ubicación y de la capacidad de GD para distintos escenarios de carga	Asignación de la GD a ser incorporada al sistema para distintos escenarios de carga	Determinación de las variables eléctricas y económicas resultantes	Modelo de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Ubicación y determinación de la capacidad de los GD para distintos escenarios de carga	Determinación de parámetros que validen la modelación del sistema	Evaluación técnica y económica para el abastecimiento de la demanda con la incorporación de la GD														
1	2009	Selection method of transformer interconnecting distributed generation and distribution networks	3					☒									☒			☒																		
2	2010	Study on Loss Allocation of Power Distribution Network with Distributed Generation	3	☒		☒			☒					☒	☒					☒							☒	☒									☒	
3	1993	IEEE guide for interfacing dispersed storage and generation facilities with electric utility systems	352		☒		☒			☒						☒	☒																				☒	
4	2021	Distributed Control of Power Generation System	1	☒		☒			☒	☒	☒						☒	☒	☒																			
5	2005	Benefit of distributed generation: A line loss reduction analysis	363		☒					☒																												
6	2009	Research on distributed generation source placement	11		☒		☒										☒	☒																			☒	
7	2013	Impact of Distributed Generation technologies on generation curtailment	17							☒	☒																											
8	2009	Distributed generation - Basic policy, perspective planning, and achievement so far in India	31		☒			☒						☒													☒											
9	2014	Automation of a Distributed Generation System	18		☒			☒						☒														☒										
10	2019	Distributed generation control in energy market conditions using advanced model predictive control	2				☒			☒			☒	☒	☒	☒																						☐

UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	AÑO	DATOS	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				ALGORITMO DE RESOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA			
				Abastecimiento de la demanda	Integración de Generación Distribuida	Costos de operación	Planificación de corto plazo	Flujo óptimo de potencia AC	Reducción de costos operativos para abastecimiento de la demanda	Implementación de modelos de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Evaluación de las variables técnicas y económicas de los sistemas eléctricos	Optimización de la GD	Límites de potencia de la generación distribuida	Balance nodal de potencia	Cantidad máxima de transferencia en los enlaces	Determinación de la ubicación y capacidad de la GD	Minimización de costos operativos para abasteciendo de la demanda	Determinación de la ubicación y de la capacidad de GD para distintos escenarios de carga	Asignación de la GD a ser incorporada al sistema para distintos escenarios de carga	Determinación de las variables eléctricas y económicas resultantes	Modelo de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Ubicación y determinación de la capacidad de los GD para distintos escenarios de carga	Determinación de parámetros que validen la modelación del sistema
11	2014	Optimal design and sensitive analysis of distributed generation system with renewable energy sources	8	<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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	2017	Optimal sizing of distributed generation based on chaotic free-search algorithm in an island microgrid	2	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	2010	A market-based Generation Expansion Planning in deregulated environment based on distributed generations development	12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input 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"/>	
14	2010	Optimal multi-distributed generation location and capacity by genetic algorithms	38	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	2017	Renewable sources in system distributed generation	8	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	2015	Optimization of a power system with distributed generation sources	11	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	2014	Optimal location and sizing of distributed generation based on power losses and voltage deviation	6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>	
18	2018	Analysis of access location and capacity of distributed generation based on OpenDSS	2	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	2011	Simulation research on a novel distributed generation system	1	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	2012	System Impact Analysis of Renewable Distributed Generation on an Existing Radial Distribution Network	17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	AÑO	DATOS	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				ALGORITMO DE RESOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA			
				Abastecimiento de la demanda	Integración de Generación Distribuida	Costos de operación	Planificación de corto plazo	Flujo óptimo de potencia AC	Reducción de costos operativos para abastecimiento de la demanda	Implementación de modelos de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Evaluación de las variables técnicas y económicas de los sistemas eléctricos	Optimización de la GD	Límites de potencia de la generación distribuida	Balance nodal de potencia	Cantidad máxima de transferencia en los enlaces	Determinación de la ubicación y capacidad de la GD	Minimización de costos operativos para abasteciendo de la demanda	Determinación de la ubicación y de la capacidad de GD para distintos escenarios de carga	Asignación de la GD a ser incorporada al sistema para distintos escenarios de carga	Determinación de las variables eléctricas y económicas resultantes	Modelo de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Ubicación y determinación de la capacidad de los GD para distintos escenarios de carga	Determinación de parámetros que validen la modelación del sistema
21	2008	Distributed power generation technology and the effect of it on the accident of large-scale power grids	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2009	Research on distributed generation technologies and its impacts on power system	54	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
23	2019	Mapping of Distributed Power Generation Versus Biomass Availability	0	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	
24	2015	Impacto de la generación distribuida en redes de distribución, aplicación central hidroeléctrica Mira	1	<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 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"/>	
25	2007	Distributed Generation: Towards an effective contribution to power system security	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26	2019	Ubicación óptima de generación distribuida en sistemas eléctricos de distribución utilizando un algoritmo multiobjetivo considerando despacho	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	2021	ARCERNR-014/21-Marco normativo para la participación en generación distribuida de empresas habilitadas para realizar la actividad de generación	0	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	2020	Óptimo Dimensionamiento Y Ubicación De Generación Fotovoltaica En Una Microred Georeferenciada Utilizando Generación De Columnas	0	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
29	2014	La Generación Distribuida: Retos frente al Marco Legal del Mercado Eléctrico Ecuatoriano	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>	
30	2018	Benefits of committing Distributed Generation in Energy Market	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	AÑO	DATOS UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA				
				Abastecimiento de la demanda	Integración de Generación Distribuida	Costos de operación	Planificación de corto plazo	Flujo óptimo de potencia AC	Reducción de costos operativos para abastecimiento de la demanda	Implementación de modelos de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Evaluación de las variables técnicas y económicas de los sistemas eléctricos	Optimización de la GD	Límites de potencia de la generación distribuida	Balance nodal de potencia	Cantidad máxima de transferencia en los enlaces	Determinación de la ubicación y capacidad de la GD	Minimización de costos operativos para abasteciendo de la demanda	Determinación de la ubicación y de la capacidad de GD para distintos escenarios de carga	Asignación de la GD a ser incorporada al sistema para distintos escenarios de carga	Determinación de las variables eléctricas y económicas resultantes	Modelo de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Ubicación y determinación de la capacidad de los GD para distintos escenarios de carga	Determinación de parámetros que validen la modelación del sistema
31	2010	Energy management and power control of a hybrid active wind generator for distributed power generation and grid integration	394	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
32	2006	Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems	5025	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	2012	Distributed power generation from renewable energy resources: A framework for load forecasting in low voltage power grids	2	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	2005	Integration of distributed generation in the networks of Latvian power system	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input 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"/>	
35	2009	Two analytical approaches for optimal placement of distributed generation unit in power systems	14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
36	2015	Ubicación, Dimensionamiento y Precio de Contrato Óptimo de Generación Distribuida en Sistemas de Distribución	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
37	2016	Analysis of the Influence of Distributed Generation Access On the Operation and Management of Distribution Network	10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
38	2014	IEEE Std 1547a:IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	8	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39	2013	The impact of distributed wind power generation on voltage stability in distribution systems	10	<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 checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
40	2002	Adaptive power flow method for distribution systems with dispersed generation	372	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				

UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO ESCENARIOS DE DEMANDA

ITEM	AÑO	DATOS	CITAS	TEMÁTICA					FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA				
				Abastecimiento de la demanda	Integración de Generación Distribuida	Costos de operación	Planificación de corto plazo	Flujo óptimo de potencia AC	Reducción de costos operativos para abastecimiento de la demanda	Implementación de modelos de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Evaluación de las variables técnicas y económicas de los sistemas eléctricos	Optimización de la GD	Límites de potencia de la generación distribuida	Balace nodal de potencia	Cantidad máxima de transferencia en los enlaces	Determinación de la ubicación y capacidad de la GD	Minimización de costos operativos para abasteciendo de la demanda	Determinación de la ubicación y de la capacidad de GD para distintos escenarios de carga	Asignación de la GD a ser incorporada al sistema para distintos escenarios de carga	Determinación de las variables eléctricas y económicas resultantes	Modelo de optimización para la ubicación y determinación de la capacidad de GD	Ubicación y determinación de la capacidad de los GD para distintos escenarios de carga	Determinación de parámetros que validen la modelación del sistema
41	2007	Transient polarity comparison based protection for system with power electronic interfaced distributed generation units	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
42	2007	Flexible Active Power Control of Distributed Power Generation Systems During Grid Faults	772	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
43	2015	Impact assessment of distributed generation on the power quality and reliability of distribution grid	5	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CANTIDAD:				16	6	8	6	12	11	9	6	10	8	8	3	9	13	8	11	11	9	5	11

7.2 Resumen de Indicadores

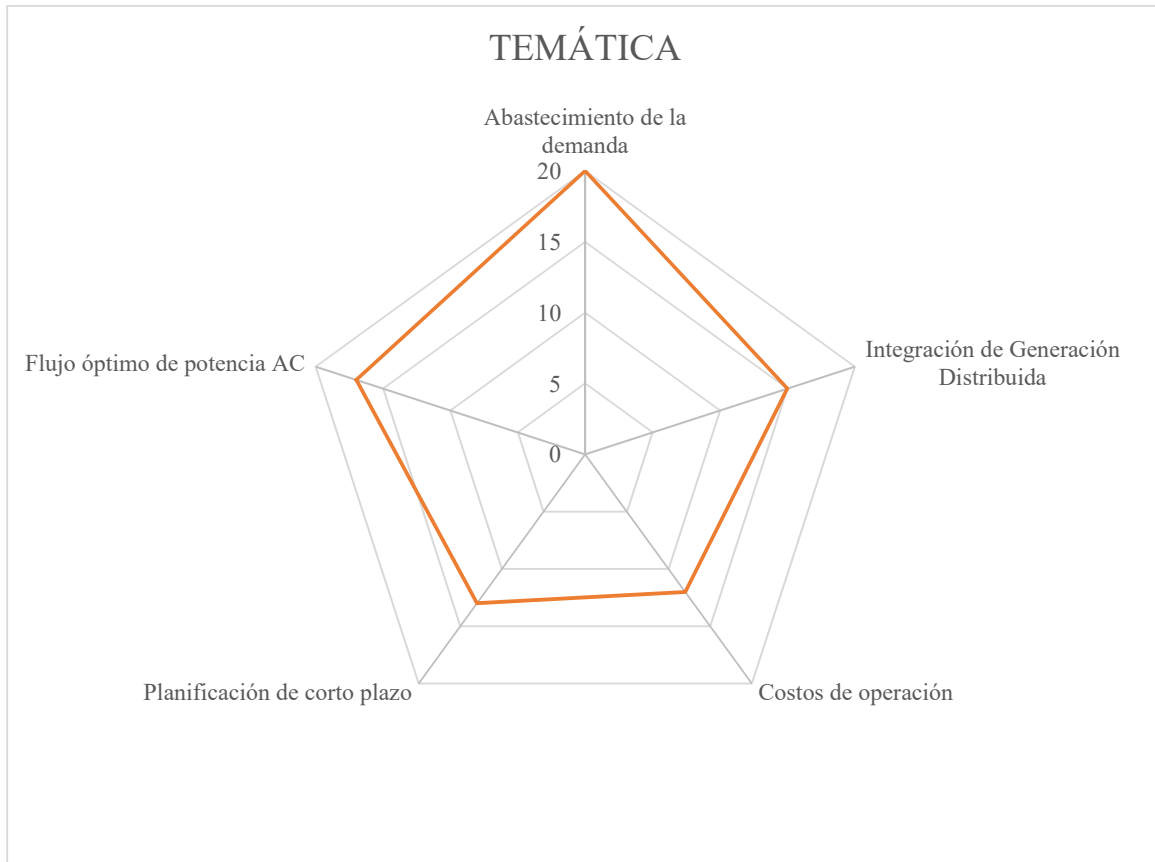


Figura 19. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

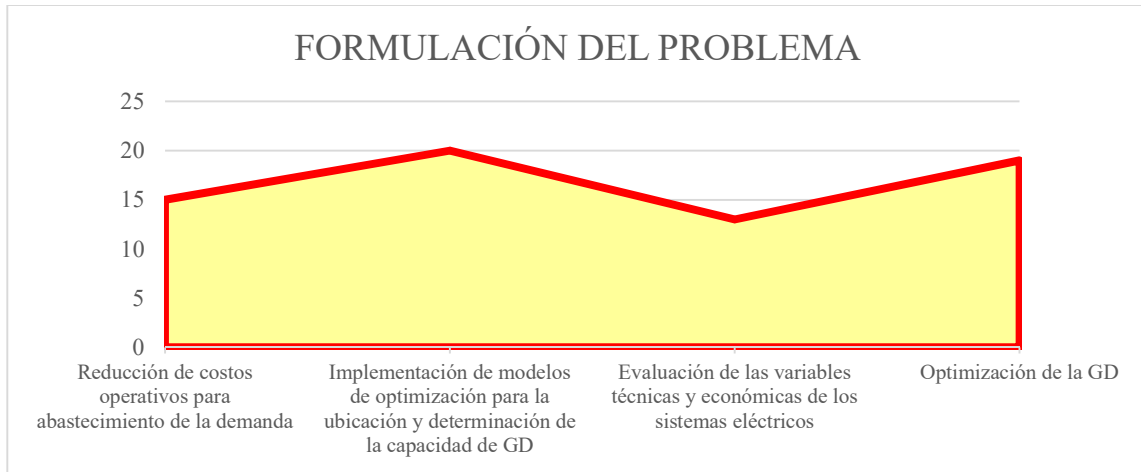


Figura 20. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

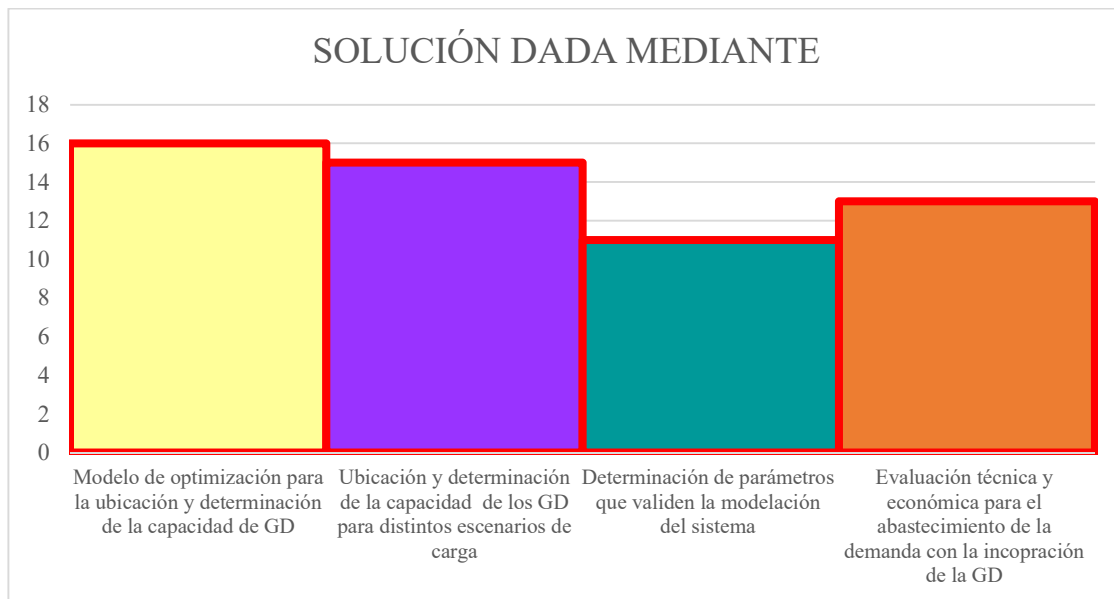


Figura 21. Indicador de solución - Estado del arte.