

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
ÓPTIMO DESPLIEGUE DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BASE A
ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**

**AUTOR:
Byron Andrés Burbano Vásquez**

**TUTOR:
Alex Valenzuela S.**

Quito, Enero 2018

Byron Andrés Burbano Vásquez

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BASE A ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2018

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Byron Andrés Burbano Vásquez (Y'1993 – M'13). Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Hermano Miguel “La Salle” de la ciudad de Tulcán. Egresado de Ingeniería eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en técnicas de optimización y modelado matemático para la inserción de generación distribuida en sistemas eléctricos de distribución. bburbanov@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Alex David Valenzuela Santillán (Y'1989 – M'12). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, donde se graduó de Ingeniero Eléctrico en diciembre 2013, Además realizó estudios de maestría en Newcastle University en el Reino Unido, donde obtuvo el título en Power Distribution Engineering MSc. Actualmente es profesor ocasional tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. avalenzuela@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2018 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Alex David Valenzuela Santillán declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “*Óptimo despliegue de generación distribuida en base a análisis de fallas en sistemas de distribución*”, realizado por Byron Andrés Burbano Vásquez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Enero 2018



Alex David Valenzuela Santillán

Cédula de identidad: 172184864-4

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Byron Andrés Burbano Vásquez, con documento de identificación N° 040175774-5, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “*Óptimo despliegue de generación distribuida en base a análisis de fallas en sistemas de distribución*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniería Eléctrica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Firma



Nombre: Byron Andrés Burbano Vásquez

Cédula: 040175774-5

Fecha: Quito, Enero 2018

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	1
Abstract.....	1
1. Introducción.....	2
2. Generación distribuida.....	3
3. Análisis de cortocircuito.....	4
3.1 Tipos de cortocircuito.....	4
3.2 Fallas Simétricas.....	4
3.3 Fallas Asimétricas.....	5
3.3.1) Cortocircuito monofásico.....	6
3.3.2) Cortocircuito bifásico.....	7
3.3.3) Cortocircuito bifásico a tierra.....	7
3.4 Ocurrencia de fallas.....	8
4. Formulación del problema.....	8
5. Caso de estudio.....	10
6. Optimización por búsqueda combinatoria.....	10
7. Metodología.....	11
7.1 Función objetivo.....	11
7.2 Restricciones.....	11
7.3 Estructura del algoritmo realizado.....	11
8. Resultados.....	12
9. Conclusiones.....	15
10. Referencias.....	16
10.1 Estado del arte.....	18
10.2 Resultados del estado del arte.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de tipos de fallas.....	4
Figura 2. Sistema descompuesto en sus secuencias. a) Componentes en secuencia positiva, b) Componentes en secuencia negativa, c) Componentes en secuencia cero.....	5
Figura 3. Diagrama del generador síncrono de rotor liso.....	5
Figura 4. Diagrama de un cortocircuito monofásico.....	6

Figura 5. Diagrama de un cortocircuito bifásico.....	7
Figura 6. Diagrama de un cortocircuito bifásico a tierra	7
Figura 7. Sistema de 3 barras. a) Sin generación distribuida, b) Con generación distribuida.....	8
Figura 8. Análisis de corrientes de cortocircuito. a) Sin generación distribuida, b) Con generación distribuida.	9
Figura 9. Sistema eléctrico de 13 barras de la IEEE modificado.....	10
Figura 10. Niveles de voltaje con demanda actual y demanda futura.....	12
Figura 11. Nivel de voltaje sin generación distribuida dentro de 5 años.	13
Figura 12. Sistema de 13 barras implementando generación distribuida con unidades de 30 kW	13
Figura 13. Niveles de voltaje con generación distribuida de 30kW.	13
Figura 14. Sistema de 13 barras implementando generación distribuida con unidades de 75 kW.....	13
Figura 15. Niveles de voltaje con generación distribuida de 75kW.	14
Figura 16. Sistema de 13 barras implementando generación distribuida con unidades de 100 kW.....	14
Figura 17. Niveles de voltaje con generación distribuida de 100kW.	14
Figura 18. Análisis de corrientes de cortocircuito monofásico.....	15
Figura 19. Análisis de corrientes de cortocircuito bifásico.....	15
Figura 20. Análisis de corrientes de cortocircuito bifásico a tierra.....	15
Figura 21. Diagrama de la tendencia de la temática encontrada.....	20
Figura 22. Formulación del problema propuesto por la temática encontrada.....	21
Figura 23. Formulación del problema propuesto por la temática encontrada.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Nomenclatura.....	3
Tabla 2: Generación distribuida en base a la tecnología de generación existente.	4
Tabla 3: Ocurrencia de fallas en un sistema eléctrico de distribución.....	8
Tabla 4: Datos de las impedancias en secuencia positiva, negativa y cero.....	12
Tabla 5: Matriz del estado del arte.....	18

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BASE A ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Resumen

El presente documento propone un método de localización óptima de unidades de generación distribuida (GD) en base al análisis de fallas de manera que se mantengan las condiciones de operación del sistema. Además, la función objetivo está sujeta a un control de los niveles de voltaje y potencia, siendo estas las restricciones consideradas para la optimización del sistema. El despliegue de unidades de generación en el sistema de distribución modificará la topología de la red, influyendo directamente en las corrientes de cortocircuito, por tanto se debe considerar como un importante factor la capacidad nominal de todos los elementos que comprenden la red, tales como disyuntores, seccionadores y conductores. Para implementar la metodología propuesta se realiza el análisis en el sistema de 13 barras de la IEEE para sistemas de distribución, en base a dos escenarios. El primer escenario no considera la introducción de GD, con lo cual se establece las corrientes de cortocircuito, que sirven como valores preliminares para determinar las restricciones del sistema, El segundo escenario contempla la implementación del modelo matemático propuesto para el despliegue de GD considerando las restricciones impuestas por el sistema inicial. Los resultados permiten determinar los puntos de localización de generación que cumplen con todas las restricciones, y que optimizan la operación del sistema de distribución.

Palabras Clave: Fallas asimétricas, Generación distribuida, Óptimo flujo de potencia.

Abstract

The document presents an optimal location of distributed generation units (DG) based on unbalanced three phase fault analysis. Unbalanced faults can be classified in line-to-earth fault, line-to-line fault and two lines-to-earth to ground fault. Additionally, another restriction is associated with voltage drop in the entire network. The deployment of DG units into the distribution grid will modify the network's topology, and thus, large short-circuit currents will flow from generator terminals into the fault. Set in this context, the restriction associated with the deployment of DG is based on that short circuit interrupting devices such as circuit breakers, disconnectors and fuses should operate within their ratings. The proposed methodology is implemented in the IEEE radial distribution test feeder. The first scenario considers a traditional network, in these scenario no introduction of distributed generation. This scenario establishes the short-circuit currents, that are used as preliminary values to determine the system's restrictions. The second scenario contemplates the deployment of DG based on a mathematical model, which considers the restrictions imposed by the initial system (nominal rating of power components). The results permit to determine the optimal placement of DG that satisfy with all restrictions, and optimize the operation of the distribution system.

Keywords: Asymmetric faults, Distributed generation, Optimal power flow.

1. Introducción

Las compañías encargadas de los sistemas de distribución de energía eléctrica tienen como objetivo satisfacer la demanda actual y futura de los usuarios, garantizando calidad del producto, servicio técnico y comercial [1]. Por tanto para satisfacer la demanda creciente de energía eléctrica, las empresas distribuidoras se ven obligadas a realizar trabajos de expansión y mejora en los sistemas de distribución [2]. Actualmente para alcanzar los niveles de calidad en todos sus aspectos, las empresas distribuidoras han optado por realizar procesos de automatización dentro de los sistemas, además de invertir principalmente en nuevos modelos de generación alternativa cuya instalación sea más cercana al consumidor, lo cual es una solución económicamente factible gracias a los avances tecnológicos que se han desarrollado en estos últimos años [3].

Tradicionalmente, la GD fue implementada para satisfacer la demanda de usuarios dentro de áreas aisladas que no están conectadas al sistema de distribución [4]. Sin embargo, actualmente los sistemas de GD se conectan directamente a la red de distribución para mejorar los niveles de calidad del producto del suministro de energía. La conexión directa a la red trae beneficios ambientales y económicos [3]. La implementación de fuentes de generación en base a energía renovable, permiten disminuir la cantidad de CO₂ que se libera en el medio ambiente por parte de las unidades de generación tradicionales provenientes de derivados del petróleo y carbón. Por otra parte los beneficios económicos no solo están ligados a la disminución del uso de derivados de petróleo, sino también se reflejan beneficios al descongestionar y disminuir las pérdidas eléctricas en las redes de distribución, aumentando la rentabilidad

de las empresas distribuidoras y de los operadores de transmisión [5], [6], [7].

Retos y nuevos desafíos se tienen debido a la implementación de GD, debido a que su despliegue podría provocar fluctuaciones de voltaje, cambios en la topología de la red que modifican las impedancias de fallas, incremento de armónicos en la red. Al considerar que la GD en la actualidad es una realidad, el estudio de la óptima localización de unidades de GD en base a corrientes de cortocircuito es de vital importancia debido a que se debe asegurar la correcta operación dentro de la capacidad de los equipos de corte y seccionamiento, sin incurrir en gastos adicionales como la repotenciación de disyuntores y reconectores [8], [9].

Dentro de los diversos estudios de GD realizados, se encuentran diferentes métodos de optimización dependiendo de las restricciones impuestas al sistema. En [10] y [11], se propone la óptima ubicación de GD en base a un óptimo flujo de potencia; en el artículo [12] se realiza la ubicación óptima en base a los niveles de voltaje en cada una de las líneas por medio de Wavelets.

Por lo anteriormente expuesto, introducir GD a la red, es una opción adecuada para mejorar los niveles de calidad de energía de un sistema eléctrico de distribución [13]. Al implementar GD se expone el sistema a niveles de cortocircuito elevados causados por las nuevas impedancias de falla generadas al insertar unidades de GD [10], [11], es por esto que en el presente artículo se propone una metodología que permita encontrar la óptima ubicación de las unidades de GD en base a un análisis de corrientes de cortocircuito, dicha metodología se realiza con el objetivo de introducir GD en un sistema eléctrico de distribución en donde todos los elementos de corte y seccionamiento operen dentro de su

capacidad nominal, por ende sean capaces de interrumpir cualquier tipo de falla. El documento está dividido de la siguiente manera: Sección II: se presenta una descripción de GD Sección III: se realiza un análisis de corrientes de cortocircuito; Sección IV: describe el caso de estudio; Sección V: se expone el desarrollo de la metodología propuesta para la óptima ubicación de GD; Sección VI: indica los resultados obtenidos; Sección VII: conclusiones.

Tabla 1: Nomenclatura.

<i>Nomenclatura</i>	
V	Voltaje.
θ	Angulo del voltaje.
nb	Número de barras.
nG	Número de generadores conectados
P	Potencia activa.
Q	Potencia reactiva.
g	Conductancia.
b	Susceptancia.
a	Operador de desplazamiento entre fases
i	Número de barras desde 1 hasta 13
E	Voltaje inducido por la máquina
Ea	Voltaje fase a.
Eb	Voltaje fase b.
Ec	Voltaje fase c.
$E1$	Voltaje en secuencia positiva.
$E2$	Voltaje en secuencia negativa.
$E0$	Voltaje en secuencia cero.
Ia	Corriente de la fase a.
Ib	Corriente de la fase b.
Ic	Corriente de la fase c.
$I1$	Corriente en secuencia positiva.
$I2$	Corriente en secuencia negativa.
$I0$	Corriente en secuencia cero.
In	Corriente del neutro del sistema.
$Icc1\phi$	Corriente de cortocircuito monofásica.
$Icc2\phi$	Corriente de cortocircuito bifásica.
$Icc2\phi T$	Corriente de cortocircuito bifásica a tierra.
Za	Impedancia fase a.
Zb	Impedancia fase b.
Zc	Impedancia fase c.
$Z1$	Impedancia en secuencia positiva.
$Z2$	Impedancia en secuencia negativa.
$Z0$	Impedancia en secuencia cero.
R	Variable de almacenamiento
$Ropt1$	Respuesta del primer escenario
$Ropt2$	Respuesta del segundo escenario
$Resp$	Respuesta

2. Generación distribuida

La implementación de GD ha crecido en los últimos años debido a que minimiza costos de inversión y es de mucha utilidad para el sistema mejorando los índices de calidad del servicio eléctrico, además de que representa una alternativa eco-amigable [5], Este tipo de generación también es conocida como generación dispersa o difusa, ya que su aplicación descentraliza los sistemas de generación tradicionales, lo cual impone nuevos retos relacionados con estabilidad y seguridad de los sistemas de potencia, además de calidad en el suministro de energía eléctrica [2], [5]. La aplicación de GD puede ser conectada en circuitos primarios (redes de medio voltaje) y en circuitos secundarios (redes de bajo voltaje), dependiendo del tamaño y tipo de generación que se utiliza [4], [12].

La GD generalmente se encuentra conectada a nivel de distribución con el objetivo de satisfacer la demanda eléctrica en sectores que se encuentran alejados del sistema o zonas no conectadas al sistema eléctrico de distribución [5]. Actualmente, se considera GD a todas las pequeñas fuentes de generación de energía eléctrica menores a 1MW [6]. Al estar ubicada cerca del centro de carga el tamaño del sistema de GD depende directamente del usuario. Un sistema de GD pequeño es utilizado para abastecer una vivienda, sistemas de bombeo de agua entre otros, mientras que un sistema de GD grande es capaz de abastecer grupos de viviendas e incluso poblaciones [5], [6].

Para implementar GD se considera la fuente de energía que se utiliza, el tipo de usuario al que se abastece y la localización geográfica [5]. La conexión de GD en el sistema eléctrico afecta a uno o varios nodos del sistema, por lo que la adecuada gestión y almacenamiento de energía proporciona un soporte a la red, mejorando

la operación del sistema [17]. La Tabla 2 presenta la capacidad de potencia de varias unidades de GD considerando la tecnología utilizada, para el presente proyecto únicamente se enfocará en aquellos que utilizan máquinas sincrónicas como componentes de generación de electricidad [5].

Tabla 2: Generación distribuida en base a la tecnología de generación existente.

Tecnología	Rango de aplicaciones	Tipo de máquina
Turbinas de gas de ciclo combinado	Entre 1MW - 20MW	MS
Motores de combustión interna (gasóleo)	Entre 20kW - 10MW	MS
Motores de combustión interna (gas)	Entre 5kW - 5MW	MS
Microturbinas	Entre 30kW - 1MW	MS
Pequeña Hidroenergía	Entre 1MW - 100MW	MS
Micro Hidroenergía	Entre 25kW - 1MW	MS
Turbina eólica	Entre 200W - 3MW	MI
Solar fotovoltaica	Entre 20W - 10kW	ME
Solar térmica (captador central)	Entre 1MW - 10MW	MS
Biomasa (gasificación)	Entre 100kW - 20MW	MS
Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC)	Entre 200kW - 2MW	ME
Pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC)	Entre 50kW - 2MW	ME
Pilas de combustible poliméricas (PEMFC)	Entre 1kW - 250kW	ME
Pilas de combustible de óxido sólido (SOFC)	Entre 1kW - 5MW	ME
Geotérmica	Entre 5MW - 100MW	MS
Energía de mar	Entre 100kW - 1MW	MS

MS = Máquina sincrónica, MI = Máquina de inducción, ME = Máquina estática.

3. Análisis de cortocircuito

Todo sistema eléctrico se encuentra expuesto a fallas, las cuales producen cambios en una o varias características del sistema eléctrico alterando la operación del sistema eléctrico [12]. Un cortocircuito es una falla eléctrica, que se produce cuando la corriente circula de un conductor a otro provocando el incremento de la magnitud de la corriente eléctrica hacia infinito, por lo general las corrientes de cortocircuito se generan por la degradación del material aislante en elementos de sistema o por fenómenos naturales. Las corrientes de cortocircuito siempre estarán presentes en un sistema eléctrico por lo que un análisis de corrientes de cortocircuito es necesario para realizar la configuración del sistema de protecciones [18].

3.1 Tipos de cortocircuito

Los cortocircuitos se clasifican de la siguiente forma:

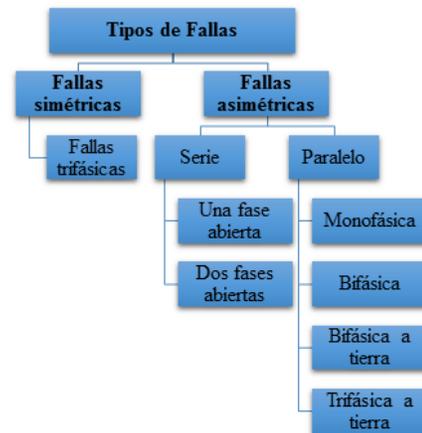


Figura 1. Diagrama de tipos de fallas.

3.2 Fallas Simétricas

En sistemas eléctricos las fallas simétricas son aquellas en las cuales intervienen las tres fases, y no causan desbalance de corriente o voltaje entre las mismas. Este tipo de fallas son las menos usuales y la experiencia ha mostrado que únicamente el

3% de fallas son de este tipo en los sistemas de potencia [19].

3.3 Fallas Asimétricas

Las fallas asimétricas son aquellas en las que al producirse no existe un desbalance de corrientes y voltajes entre las tres fases del sistema. El modelamiento y solución de fallas asimétricas presentes en sistemas de potencia, está basado en el método de componentes simétricas desarrollado por Fortescue. Esta metodología permite resolver sistemas desbalanceados (falla asimétrica) por medio de la suma de las componentes simétricas del fasor original. Por tanto, el análisis de fallas se realiza por medio de la descomposición de fasores de secuencia positiva, negativa y cero para voltajes y corrientes [12]. Para formar las secuencias positiva, negativa y cero de un sistema asimétrico, los voltajes y corrientes tienen que tener igual magnitud e igual ángulo entre fases [18], [20], como se indica en la Figura 2 [18].

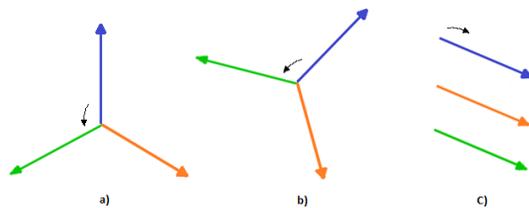


Figura 2. Sistema descompuesto en sus secuencias. a) Componentes en secuencia positiva. b) Componentes en secuencia negativa. c) Componentes en secuencia cero.

Para realizar el análisis de corrientes de cortocircuito se considera un generador sincrónico de rotor liso que se encuentra conectado a la red en estrella como se muestra en la Figura 3. Las corrientes que circulan por las líneas son I_a , I_b e I_c y la corriente que circula por el neutro se denomina I_n [20], [21]. Para describir el comportamiento de las corrientes de línea se las divide en sus componentes simétricas por lo que se utilizan las secuencias positiva, negativa y cero; aun

cuando el generador se encuentre ante operaciones asimétricas, lo cual es válido para el estudio [20].

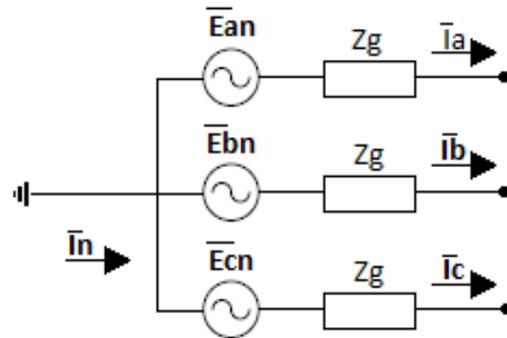


Figura 3. Diagrama del generador sincrónico de rotor liso.

Las componentes de secuencia positiva, negativa y cero vienen dadas por:

$$E1 = Ea - Z1 * I1 \quad (1)$$

$$E2 = -Z2 * I2 \quad (2)$$

$$E0 = -(Zn + Z0) * I0 \quad (3)$$

Para la interpretación de la ecuación (1) se ha tomado en cuenta la secuencia positiva del generador, en donde encontramos el voltaje interno inducido por la máquina, la impedancia positiva y la componente positiva de la corriente; la ecuación (2) es la secuencia negativa de la máquina, donde se considera la impedancia negativa y la componente negativa de la corriente; finalmente la ecuación (3) interpreta la secuencia cero de la máquina, donde se considera la impedancia cero y la corriente en secuencia cero [20], [21], [22].

Si las ecuaciones (1), (2) y (3) son expresadas en forma de matriz se tiene:

$$\begin{bmatrix} Ea0 \\ Ea1 \\ Ea2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Ea \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z0 & 0 & 0 \\ 0 & Z1 & 0 \\ 0 & 0 & Z2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I0 \\ I1 \\ I2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Gracias a la teoría de Componentes Simétricas la ecuación (4) puede ser

utilizada para cualquier tipo de falla a implementarse [20].

De igual manera las corrientes pueden ser descompuestas en sus componentes simétricas por medio de la siguiente ecuación:

$$I_{sim} = \frac{1}{3} * A * I_{asim} \quad (5)$$

Para la implementación de los fasores del sistema se hace uso del operador a , el cual denota un desplazamiento de 120° entre cada fase y una magnitud igual a la unidad, por lo que a es un fasor de módulo 1 y con un ángulo de 120° y a^2 tiene un módulo 1 con un ángulo de 240° .

Si la ecuación (5) se expresa en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} I0 \\ I1 \\ I2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Ia \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix} \quad (6)$$

La ecuación (6) puede ser utilizada para la determinación de las corrientes de cortocircuito en cualquier tipo de falla desbalanceada [20], [21].

3.3.1 Cortocircuito monofásico

Un cortocircuito monofásico se da cuando una de las líneas del sistema se une con tierra, provocando alteraciones en las corrientes del sistema [17], [20], [21], [23].

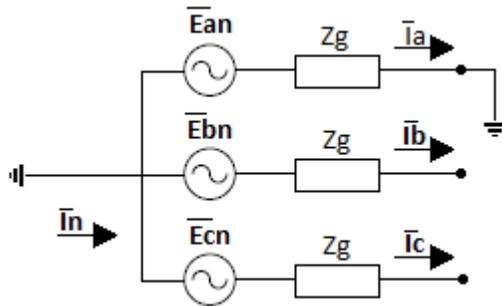


Figura 4. Diagrama de un cortocircuito monofásico.

Al momento de ocurrir una falla monofásica se establecen restricciones de falla, las cuales son:

$$Ia = I_{cc1} \phi \quad (7)$$

$$Ib = Ic = 0 \quad (8)$$

$$Ea = 0 \quad (9)$$

Reemplazando la ecuación (7), (8) y (9) en la ecuación (6) se tiene:

$$\begin{bmatrix} I0 \\ I1 \\ I2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Ia \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Por lo tanto de la ecuación (10) se genera:

$$I0 = I1 = I2 = \frac{Ia}{3} = \frac{I_{cc1} \phi}{3} \quad (13)$$

Reemplazando la ecuación (13) en la ecuación (4) se tiene:

$$\begin{bmatrix} E0 \\ E1 \\ E2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Ea \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z0 & 0 & 0 \\ 0 & Z1 & 0 \\ 0 & 0 & Z2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I1 \\ I1 \\ I1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Aplicando la teoría de componentes simétricas en la ecuación (14) se tiene:

$$\begin{bmatrix} Ea \\ Eb \\ Ec \end{bmatrix} = A * \begin{bmatrix} E0 \\ E1 \\ E2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E0 + E1 + E2 \\ E0 + a^2 * E1 + a * E2 \\ E0 + a * E1 + a^2 * E2 \end{bmatrix}$$

Reemplazando la ecuación (15) en (14) se tiene:

$$I1 = \frac{Ea}{Z0 + Z1 + Z2} \quad (16)$$

Finalmente para calcular la corriente monofásica, reemplazamos la ecuación (16) en la ecuación (13) se tiene [17], [21], [23]:

$$I_{cc1\phi} = \frac{3 * E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (17)$$

La ecuación (17) permite calcular la corriente de cortocircuito monofásico.

3.3.2) Cortocircuito bifásico.

Un cortocircuito bifásico es cuando dos de los conductores del sistema eléctrico entran en contacto, provocando un evento de falla [17], [20], [21], [23], como se indica en la Figura 5 [20].

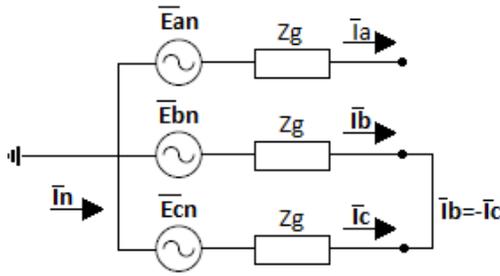


Figura 5. Diagrama de un cortocircuito bifásico.

Las restricciones de falla, generadas por la falla bifásica son:

$$I_b = -I_c = I_{cc2\phi} \quad (17)$$

$$I_a = 0 \quad (18)$$

$$E_b = E_c \quad (19)$$

Reemplazando las ecuaciones (17) y (18) en la ecuación (6) se tiene:

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix} \quad (20)$$

Por lo tanto de la ecuación (20) se genera:

$$I_0 = 0 \quad (21)$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{1}{3} * (a - a^2) * I_b \quad (22)$$

Si se reemplaza la ecuación (20) en la ecuación (4) se tiene:

$$\begin{bmatrix} E_0 \\ E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * A * \begin{bmatrix} E_a \\ E_b \\ E_c \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} E_0 \\ E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} * (E_a + 2E_b) \\ \frac{1}{3} * (E_a + a * E_b + a^2 * E_b) \\ \frac{1}{3} * (E_a + a * E_b + a^2 * E_b) \end{bmatrix}$$

Por lo tanto:

$$I_{cc2\phi} = I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \quad (22)$$

La ecuación (22) permite calcular la corriente de cortocircuito bifásico [17], [21], [23].

3.3.3) Cortocircuito bifásico a tierra

Un cortocircuito bifásico a tierra es cuando dos conductores del sistema eléctrico están en contacto directo entre ellos y con tierra [17], [20], [21], [23], como se indica en la Figura 6 [20].

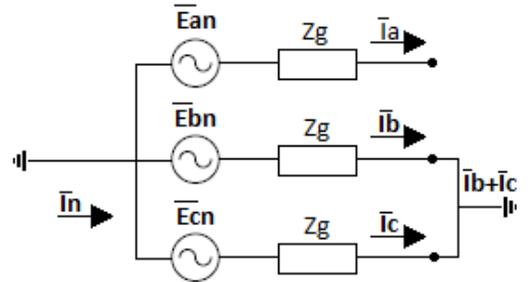


Figura 6. Diagrama de un cortocircuito bifásico a tierra.

Las ecuaciones de las condiciones de falla generadas por el cortocircuito bifásico a tierra son:

$$I_{cc2\phi T} = I_b + I_c \quad (23)$$

$$I_a = 0 \quad (24)$$

$$E_b = E_c = 0 \quad (25)$$

Reemplazando la ecuación (25) en la ecuación (4) se tiene:

$$\begin{bmatrix} E0 \\ E1 \\ E2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Ea \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z0 & 0 & 0 \\ 0 & Z1 & 0 \\ 0 & 0 & Z2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I0 \\ I1 \\ I2 \end{bmatrix} \quad (26)$$

De donde se obtiene que:

$$V0 = V1 = V2 = \frac{1}{3} * Ea \quad (27)$$

Reemplazando las ecuaciones (23) y (24) en la ecuación (6) se da.

$$\begin{bmatrix} I0 \\ I1 \\ I2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix} \quad (28)$$

De la ecuación (28) obtenemos:

$$\begin{bmatrix} I0 \\ I1 \\ I2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} * (Ib + Ic) \\ \frac{1}{3} * (a * Ib + a^2 * Ic) \\ \frac{1}{3} * (a^2 * Ib + a * Ic) \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$I2 = -(I1 + I0) \quad (30)$$

Para el análisis de las corrientes de cortocircuito bifásico a tierra las secuencias positiva, negativa y cero se conectan en paralelo, por lo que se obtiene [17], [21], [23]:

$$I_{cc2T} = I1 = \frac{Ea}{Z1+Z2||Z0} \quad (30)$$

La ecuación (30) permite calcular la corriente de cortocircuito bifásico a tierra.

3.4 Ocurrencia de fallas

Dentro de los sistemas eléctricos, en la etapa de distribución de energía eléctrica, es donde ocurren mayores eventos de falla (80%) y dentro de este, los porcentajes de ocurrencias según los tipos de fallas son descritos en la siguiente tabla [3]:

Tabla 3: Ocurrencia de fallas en un sistema eléctrico de distribución.

Tipo de fallas	Ocurrencia de falla
Monofásica	Entre 70%-80%
Bifásica a tierra	Entre 10%-17%
Bifásica	Entre 8%-10%
Trifásica	Entre 2%-3%

Para el presente artículo se considera solo las fallas monofásicas, bifásicas y bifásicas a tierra, ya que son las que más altos índices de ocurrencia presentan dentro del sistema eléctrico de distribución.

4. Formulación del problema

La implementación de nuevas unidades de generación causa alteraciones en el sistema, por lo que es necesario realizar diversos cambios como reemplazo de conductores debido a que la energía que circulara en ellos cambia y una reconfiguración en el sistema de protecciones ya que las corrientes de cortocircuito aumentan, lo que a su vez generara una mayor inversión; es por eso que en el modelo propuesto para la ubicación de GD estará limitado por la infraestructura existente, es decir no será necesario realizar ningún cambio en el sistema [23].

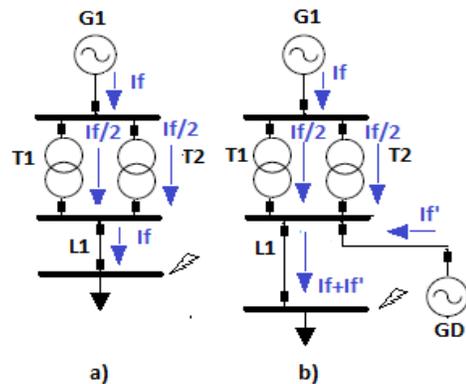


Figura 7. Sistema de 3 barras. a) Sin generación distribuida. b) Con generación distribuida.

Al insertar GD en el sistema de distribución las corrientes de cortocircuito aumentan debido a que en el momento que ocurre una falla las fuentes que aportan corrientes de cortocircuito son las unidades de generación [19]. En la Figura 7 se presenta un sistema eléctrico con dos escenarios, el escenario a) considera un sistema tradicional, mientras que el escenario b) contempla la introducción de una unidad de GD. Ambos escenarios son sometidos al mismo tipo de falla en el mismo punto, sin embargo se tienen diferentes aportes de corriente debido principalmente a que en una red tradicional la corriente de cortocircuito fluye del generador hacia el punto de falla, mientras que en una red de GD el aporte de corriente de falla es la suma de los aportes individuales, obteniendo una corriente de falla más alta que en anterior escenario [18].

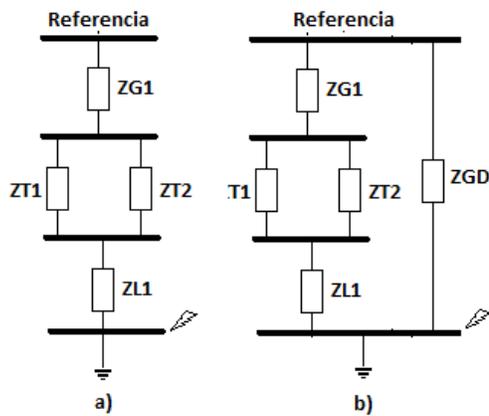


Figura 8. Análisis de corrientes de cortocircuito. a) Sin generación distribuida. b) Con generación distribuida.

Una vez ocurrida una falla en el sistema, la única restricción que tiene la corriente para llegar al punto de falla es la impedancia del sistema [18]. En la Figura 8 observamos las impedancias de falla para ambos escenarios; el primer escenario muestra la impedancia de falla del sistema la cual se obtiene de las impedancias de las máquinas y las impedancias de los demás

elementos (red de distribución y transformadores), mientras que en el segundo escenario al tener la presencia de una unidad de GD todas las impedancias de las máquinas y las líneas se encuentran en paralelo a la impedancia del generador de GD por lo que se obtiene una impedancia de falla menor [18], [19]. Las ecuaciones (31) y (32) indican la impedancia de falla del sistema.

$$Z_{falla \text{ sin } GD} = Z_{G1} + (Z_{T1} || Z_{T2}) + Z_{L1} \quad (31)$$

$$Z_{falla \text{ con } GD} = [Z_{G1} + (Z_{T1} || Z_{T2}) + Z_{L1}] || Z_{GD} \quad (32)$$

Al ser la corriente inversamente proporcional a la impedancia se obtiene que las corrientes de falla del primer escenario son menor que las corrientes de falla del segundo escenario como se indica en la ecuación (34) [19]:

$$Z_{falla \text{ sin } GD} > Z_{falla \text{ con } GD} \quad (33)$$

$$I_{falla \text{ sin } GD} < I_{falla \text{ con } GD} \quad (34)$$

Basados en el análisis anteriormente descrito, el ingreso de unidades de generación modificara la impedancia total del sistema, por tanto el despliegue masivo de GD obligaría a una reconfiguración y repotenciación de los equipos de corte y seccionamiento. Razón por la cual, este artículo propone una óptima localización de unidades de GD en base a un análisis de corrientes de cortocircuito, evitando realizar una reconfiguración, repotenciación o expansión del sistema eléctrico, manteniendo a los equipos de corte y seccionamiento en capacidad de operar a las corrientes de cortocircuito impuestas por las unidades de GD [3].

5. Caso de estudio

El sistema de 13 barras para análisis en sistema de distribución, proporciona información de un alimentador de energía eléctrica compuesto por diferentes elementos de una red distribución. Este sistema permite realizar un análisis completo que luego podría ser utilizado en otras redes a nivel de distribución [21], [22].

Para el estudio del presente artículo se han realizado modificaciones al sistema de pruebas de 13 barras de la IEEE como se indica en la Figura 9 [9]. Los sistemas de distribución son desbalanceados y radiales por naturaleza, sin embargo para el presente análisis se considera un sistema trifásico balanceado como se propone en [9], [10], [26], [27].

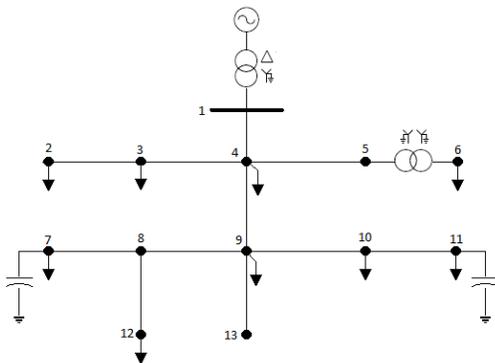


Figura 9. Sistema eléctrico de 13 barras de la IEEE modificado.

Para el presente análisis se considera dos escenarios de operación, el primero contempla la demanda actual del primario de distribución, mientras que el segundo escenario considera el crecimiento de la demanda en 5 años. La demanda de energía eléctrica en un sistema de distribución tiende a aumentar un 25% por año en ciudades que se encuentran en vías de desarrollo [21], por lo que para el análisis del presente artículo se estima un crecimiento aproximado del 80% de demanda en cada uno de los nodos con

relación al escenario de demanda actual, generando así un sistema sobresaturado [28]. En la Figura 9 se observa el sistema modificado, donde se tiene alimentación principal localizada en la barra 1. La alimentación principal es representada por una subestación de distribución, con un transformador, el cual tiene una conexión delta-estrella, convirtiendo los niveles de voltaje de 115kV a 4.16kV con una potencia de 5MVA, una resistencia de 1% y reactancia de 8% tanto en secuencia positiva, negativa y cero. El transformador ubicado entre las barras 5 y 6 representa un transformador de distribución con conexión estrella-estrella, el cual convierte los niveles de voltaje de 4.16kV a 0.48kV con una potencia de 0.5 MVA, y sus valores de resistencia y reactancia son de 1.1% y 2% respectivamente tanto en secuencia positiva, negativa y cero [21], [22], [24]; los capacitores conectados a las barras 7 y 11 inyectan reactivos al sistema de distribución y su capacidad es de 200kVAr cada uno [28].

Las unidades de GD que se inserten en el sistema anteriormente expuesto son máquinas sincrónicas, por lo que para el análisis de corrientes de cortocircuito es necesario contar con valores representativos sobre las impedancias tanto de secuencia positiva, negativa y cero. Para las máquinas sincrónicas las impedancias de secuencia positiva están entre 1 y 2.3, la secuencia negativa entre 0.15 y 0.4 y la secuencia cero entre 0.12 y 0.25 considerando generadores con una potencia entre 15kW y 100kW [19].

6. Optimización por búsqueda combinatoria

La optimización por búsqueda combinatoria o fuerza bruta consiste en realizar una matriz con todos los posibles estados que se generan para obtener una solución, y así por medio de una

comparación simple seleccionar la solución que mejor satisfaga el problema. Para este artículo se ha seleccionado este método de optimización por su simplicidad y gran facilidad para cambiar su código y adaptarlo según su aplicación, por lo que es considerado como un método base para comparar el desempeño de otros métodos [10], [24].

7. Metodología

La óptima ubicación de GD se realiza mediante flujos de potencia, para lo cual se utiliza el método de Newton Raphson desacoplado [11]. Para el desarrollo de los flujos de potencia se consideran las cargas como barras PQ y las barras en las que se conecta GD como barras PV. El modelo de optimización considera diversas restricciones, con la finalidad de poder analizar las corrientes de cortocircuito circulantes en la red, al introducir GD y así analizar el impacto asociado ante fallas asimétricas del sistema [10], [24], [25].

Para realizar la inserción de potencia tanto activa como reactiva se consideran las ecuaciones (35) y (36) [19].

$$P_i(V, \theta) = V_i \sum_{j=1}^{nb} [V_j \{g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)\}] \quad (35)$$

$$Q_i(V, \theta) = V_i \sum_{j=1}^{nb} [V_j \{g_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) + b_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)\}] \quad (36)$$

Las ecuaciones (35) y (36) se encuentran limitadas por los resultados impuestos por el flujo de potencia.

7.1 Función objetivo

Para este estudio la función objetivo requerida es maximizar la cantidad de potencia introducida al sistema sin sobrepasar las restricciones impuestas [11].

$$Max \sum_{i=1}^{13} f(P_i) \quad (37)$$

7.2 Restricciones

Las restricciones del sistema deben cumplir con niveles de voltaje dentro del límite de 0.95 p.u. y 1.05 p.u., lo cual permite estar dentro de los márgenes o límites permisibles para las empresas distribuidoras. Adicionalmente se considera que las corrientes de cortocircuito al introducir GD deben ser únicamente 25% mayores a los valores de corrientes de cortocircuitos sin GD. Esta restricción está basada en que los componentes de los sistemas eléctricos como disyuntores, reconectores y cables operan bajo sus capacidades nominales, e incluso podrían operar adecuadamente cuando las corrientes de cortocircuito sobrepasan sus valores nominales por tiempos reducidos [26], [27], [28].

Las ecuaciones desde la (38) a la (41) describen las restricciones mencionadas anteriormente [11], [17], [19].

$$0.95pu \leq V_i \leq 1.05pu \quad (38)$$

$$I_{cc1\phi} \text{ con GD} \leq 1.25 I_{cc1\phi} \text{ sin GD} \quad (39)$$

$$I_{cc2\phi} \text{ con GD} \leq 1.25 I_{cc2\phi} \text{ sin GD} \quad (40)$$

$$I_{cc2\phi T} \text{ con GD} \leq 1.25 I_{cc2\phi T} \text{ sin GD} \quad (41)$$

7.3 Estructura del algoritmo realizado

El algoritmo implementado para realizar el análisis de fallas asimétricas en un sistema eléctrico con GD es:

Algoritmo de resolución	
Paso 1:	Entradas / Salidas. Me, nb, nG, V, θ , P, Q, $I_{cc1\phi}$, $I_{cc2\phi}$, $I_{cc2T\phi}$, R, Ropt1, Ropt2, Resp.
Paso 2:	Creación de la matriz de estados. $n = 2^{nb-1}$ Para todo $j=1:nG$ $a=0$; Para todo $b=1:n/2$ Para todo $i=1:a$ $Me(i+a,j)=0$; Fin Para todo $k=(i+1):(2*i)$

```

Me(i+a,j)=1;
Fin
Fin
Para
todo:
w=1:n
Paso 3: Selección del caso.
Me(:,w)
Paso 4: Flujo de potencia.
Para todo: i=1:nB

$$P_i(V, \theta) = V_i \sum_{j=1}^{nb} [V_j \{g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)\}]$$


$$Q_i(V, \theta) = V_i \sum_{j=1}^{nb} [V_j \{g_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) + b_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)\}]$$

Fin
Paso 6: Calculo de corrientes de cortocircuito.
Para todo: i=1:nb

$$I_{cc1\phi} = \frac{3 * E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$


$$I_{cc2T} = I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 || Z_0}$$


$$I_{cc2\phi} = I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$$

Ropt(i,:)= [ Icc1φ, Icc2φ, Icc2Tφ ]
Fin
Paso 7: Calcular el número de posibles formas en las que pueden ser conectados los generadores.
Paso 8: Selección de respuesta óptima
Si w=1
Ropt1=Ropt2
Fin
Para todo: i=1:nb
Si  $0.95 \geq V(i,1) \leq 1.05$  &
Ropt < 1.25 * Ropt2
Si R < Ropt2 &
nG(w,1) < nG(w,1)
Resp=Ropt2
R=Ropt2
Fin
Fin
Fin
Fin
Fin

```

8. Resultados

Para el análisis de resultados se ha considerado el uso de dos escenarios de operación; el primer escenario toma en consideración la demanda actual en condiciones iniciales, el segundo escenario

contempla una demanda futura en donde se implementarán tres casos de estudio que consisten en la incorporación de unidades de GD de 30kW para el primer caso, 75kW para el segundo caso y 100kW para el tercer caso. Los valores de las reactancias de las unidades de GD se indican en la Tabla 4:

Tabla 4: Datos de las impedancias en secuencia positiva, negativa y cero.

	Secuencia positiva	Secuencia negativa	Secuencia cero
30kW	1i	0.15i	0.12i
75kW	1.6i	0.33i	0.18i
100kW	2.3i	0.45i	0.5i

La Figura 10 indica los niveles de voltaje del primer y segundo escenario, para el caso de una demanda actual (primer escenario) los niveles de voltaje del sistema se encuentran dentro de los límites de operación, mientras que para el caso de una demanda futura (segundo escenario) se tiene que más del 50% de las barras del sistema se encuentran fuera del rango de operación de voltaje.

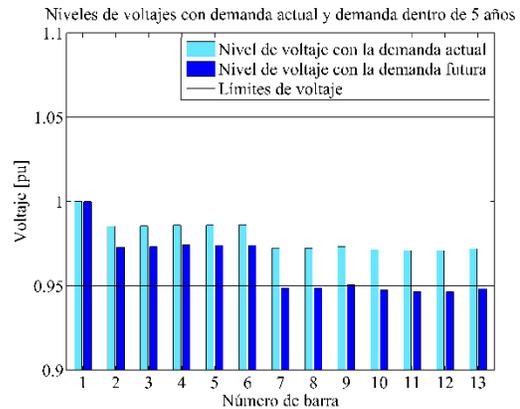


Figura 10. Niveles de voltaje con demanda actual y demanda futura.

En la Figura 11 se observa que en el segundo escenario las barras de la 7, 8 y de la 9 a la 13 no se encuentran dentro de los límites de voltaje, esto se debe a una

demanda que ha crecido un 80% durante 5 años lo que es común en todos los sistemas. Las barras que presenta problemas son las que se encuentran más alejadas de la fuente de generación como se observa en la Figura 9 esto se debe a que se producen pérdidas en las líneas causadas por la larga trayectoria de circulación de energía para llegar al punto de consumo.

Con el objetivo de dar solución al problema que se genera en los niveles de voltaje al presentarse un escenario futuro se ha implementado el método de optimización propuesto en el segundo escenario. Los resultados obtenidos para los tres casos descritos anteriormente se detallan a continuación:

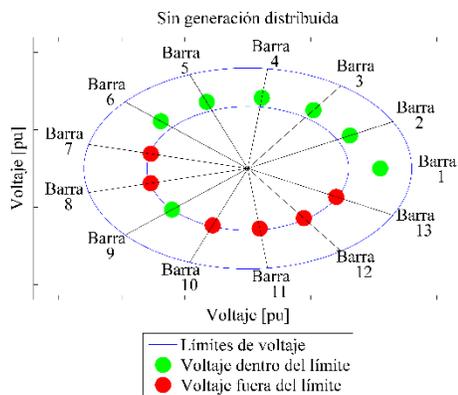


Figura 11. Nivel de voltaje sin generación distribuida dentro de 5 años.

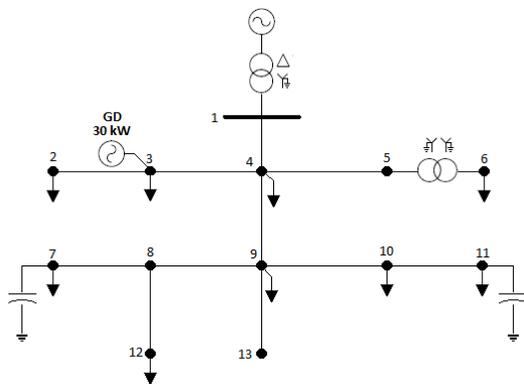


Figura 12. Sistema de 13 barras implementando generación distribuida con unidades de 30kW.

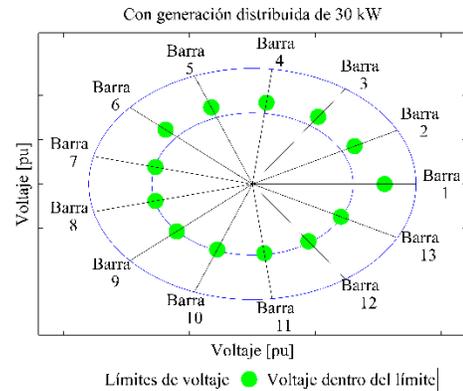


Figura 13. Niveles de voltaje con generación distribuida de 30kW.

Para el primer caso se debe considerar la implementación de un generador de 30kW conectado a la barra 3, como se muestra en la Figura 12, obteniendo así como resultado un sistema que opera dentro de los límites de voltaje como se indica en la Figura 13.

En el segundo caso se obtienen como resultado que se debe conectar un generador de 75kW en la barra 2 como se muestra en la Figura 14. Obteniendo así como resultado un sistema que opera dentro de los límites de voltaje como se indica en la Figura 15.

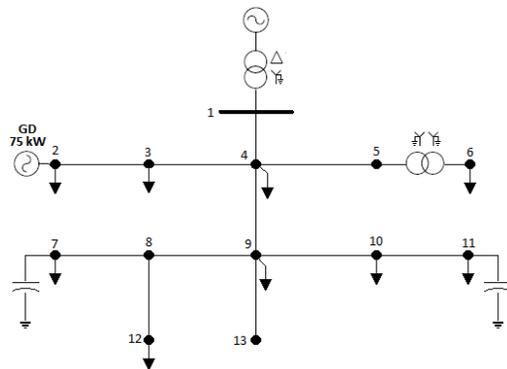


Figura 14. Sistema de 13 barras implementando generación distribuida con unidades de 75kW.

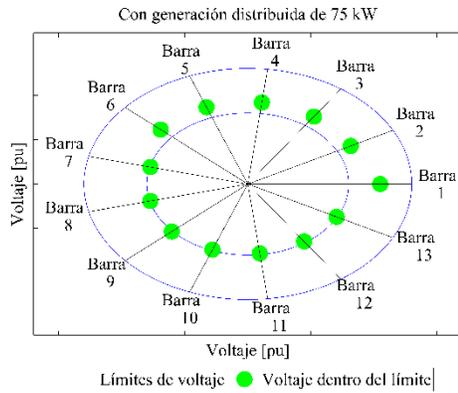


Figura 15. Niveles de voltaje con generación distribuida de 75kW.

En el tercer caso se disponen de unidades de 100kW obteniendo como resultado que los generadores pueden ser conectados es en las barras 3, 4 y 9 como se observa en la Figura 16. Obteniendo así como resultado un sistema que opera dentro de los límites de voltaje como se indica en la Figura 17.

Como se muestra en los resultados expuestos anteriormente la óptima ubicación de unidades de generación no siempre será la misma ya que dentro de las restricciones se consideran las corrientes de cortocircuito que se generan al introducir GD. Al introducir 100kW al sistema aumenta el número de generadores que pueden ser conectados al sistema ya que las impedancias del generador es mayor que en los otros casos, por lo que al conectar una impedancia mayor en determinada sección del sistema hace que la disminución de la impedancia de falla sea más ligera permitiendo así conectar más unidades de generación.

Basados en las restricciones impuestas, se muestra en las Figuras 18, 19 y 20 las corrientes de cortocircuito, las cuales aumentan en valor, pero cumplen el requerimiento de no sobrepasar el 25% las corrientes de cortocircuito sin GD.

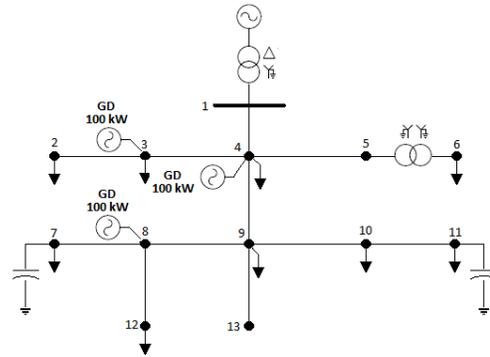


Figura 16. Sistema de 13 barras implementando generación distribuida con unidades de 100kW.

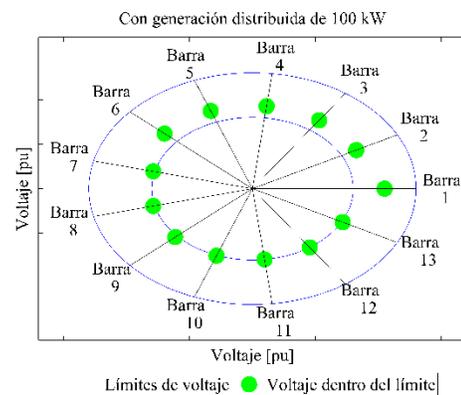


Figura 17. Niveles de voltaje con generación distribuida de 100kW.

Las corrientes de cortocircuito monofásicas son las que presentan una mayor magnitud con relación a las corrientes bifásicas y bifásicas a tierra. De los resultados se desprende que no son necesarias tareas de reconfiguración, repotenciación o expansión del sistema eléctrico (conductores, equipo corte y seccionamiento), ya que serían capaces de soportar las corrientes de cortocircuito con la inserción de GD.

El resultado final de todo lo anteriormente expuesto son tres sistemas eléctricos de distribución con la inclusión de GD, los cuales cumplen con los niveles de voltaje impuestos para dar un producto de calidad y cuyos elementos de protección existentes sean capaces de interrumpir cualquier falla sin la necesidad

de realizar una reconfiguración del sistema de protecciones.

9. Conclusiones

La integración de GD es una solución a los problemas técnicos que se presente en un sistema, permitiendo mejorar los niveles de calidad del producto y seguridad del sistema de distribución, sin embargo la integración masiva de GD disminuye las impedancias en el sistema eléctrico, incrementando las corrientes de cortocircuito, lo cual podría provocar que los componentes operen sobre sus capacidades nominales.

La proliferación de GD en un sistema eléctrico, provoca el incremento de los valores de las corrientes de cortocircuito, lo cual se genera debido a que las impedancias de falla del sistema disminuyen. Por lo que al considerar las restricciones de corrientes de cortocircuito al momento de implementar GD se puede incrementar los niveles de voltaje en cada una de las barras del sistema mejorando la calidad del producto, y así cumplir los límites permisibles de voltaje impuestos por las entidades de regulación y control, lo cual se ver reflejado en mejores índices de calidad.

La impedancia en las unidades de GD (máquinas sincrónicas) depende de la potencia de la máquina, por lo que entre mayor sea la bobina de la maquina mayor es la impedancia. De manera que al considerar unidades de GD de mayor tamaño no afectara tan drásticamente la impedancia de falla del sistema, y al ser la impedancia inversamente proporcional a la corriente, las corrientes de falla aumentarán en menor magnitud, por lo que entre mayor sea la potencia de la unidad de GD, la corriente de cortocircuito será menor que si se colocan unidades de GD de una menor potencia.

Esta investigación es una herramienta que permite determinar el óptimo emplazamiento de las unidad de GD en base a un análisis de corrientes de

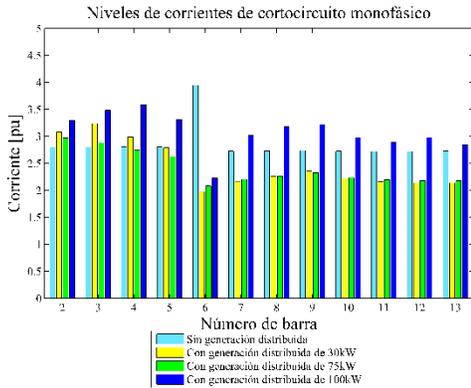


Figura 18. Análisis de corrientes de cortocircuito monofásico.

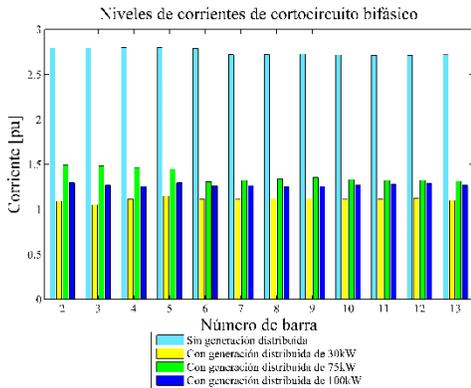


Figura 19. Análisis de corrientes de cortocircuito bifásico.

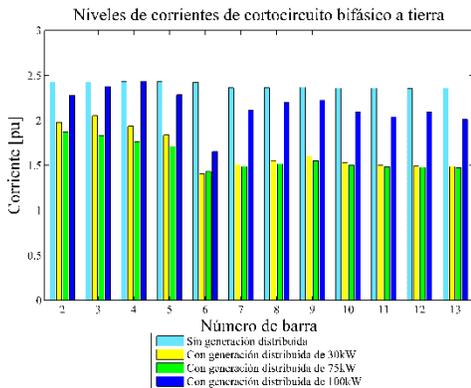


Figura 20. Análisis de corrientes de cortocircuito bifásico a tierra.

cortocircuito manteniendo un óptimo funcionamiento de los sistemas de protección y las capacidades de los equipos, dicha metodología es una opción viable ante la creciente demanda que existen en los sistemas eléctricos de distribución y ante los cambios impredecibles de las condiciones medioambientales, y a su vez convirtiéndose en una mejor opción para inversiones económicas.

10. Referencias

- [1] E. Azad-Farsani, “Loss minimization in distribution systems based on LMP calculation using honey bee mating optimization and point estimate method,” *Energy*, vol. 140, pp. 1–9, 2017.
- [2] S. Montoya-Bueno, J. I. Muñoz-Hernández, and J. Contreras, “Uncertainty management of renewable distributed generation,” *J. Clean. Prod.*, vol. 138, pp. 103–118, 2016.
- [3] J. Mora, Flórez; Juan, “Localización de faltas en sistemas de distribución de energía eléctrica usando métodos basados en el modelo y métodos basados en el conocimiento,” *DugiDoc*, p. 151, 2006.
- [4] M. Pesaran H.A, P. D. Huy, and V. K. Ramachandaramurthy, “A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, no. October 2016, pp. 293–312, 2017.
- [5] G. J. Correa-henao and J. C. Rojas-zerpa, “Marco de referencia para la planificación de generación distribuida en zonas no interconectadas,” *Iteckne*, vol. 14, pp. 70–87, 2017.
- [6] Z. Abdmouleh, A. Gastli, L. Ben-Brahim, M. Haouari, and N. A. Al-Emadi, “Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources,” *Renew. Energy*, vol. 113, pp. 266–280, 2017.
- [7] A. Valenzuela, I. Montalvo, and C. Barrera-singaña, “Electrical Vehicle : Facing Future Challenges in Quito,” 2017.
- [8] A. Bedoya Cadena, J. Mora Flórez, and S. Pérez Londoño, “Extended Application of a Sequence Impedance Based Fault Location Technique Applied To Power Distribution Systems,” *Dyna*, vol. 80, no. 179, pp. 165–175, 2013.
- [9] U. Sur and G. Sarkar, “A Sufficient Condition for Multiple Load Flow Solutions Existence in Three Phase Unbalanced Active Distribution Networks,” *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. 7747, no. c, pp. 1–1, 2017.
- [10] M. Emmanuel and R. Rayudu, “The impact of single-phase grid-connected distributed photovoltaic systems on the distribution network using P-Q and P-V models,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 91, pp. 20–33, 2017.
- [11] J. María, L. Lezama, A. Padilha, Feltrin, L. A. Gallego, and Pareja, “Optimal placement of distributed generation in electric power system,” *Ing. y Cienc.*, vol. 5, no. 9, pp. 9–23, 2009.
- [12] S. Kumar and M. Kumar, “Distribution System Faults Classification And Location Based On Wavelet Transform,” *Int. J. Adv. Comput. Theory Eng.*, no. 4, pp. 86–91, 2013.
- [13] S. Daiva, G. Saulius, and A. Liudmila, “Energy Distribution Planning Models Taxonomy and

- Methods of Distributed Generation Systems,” *Energy Procedia*, vol. 107, no. September 2016, pp. 275–283, 2017.
- [14] T. Adefarati and R. C. Bansal, “Reliability assessment of distribution system with the integration of renewable distributed generation,” *Appl. Energy*, vol. 185, pp. 158–171, 2017.
- [15] Q. Zhang and M. Sahraei-Ardakani, “Distributed DCOPF with flexible transmission,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 154, pp. 37–47, 2018.
- [16] S. P. de la F. D. Fonseca, Irina Salazar and G. T. Guerrero, “Reconfiguración multiobjetivo en sistemas de distribución primaria de energía,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 25, pp. 196–204, 2017.
- [17] W. H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*, CRC Press. London, 2012.
- [18] K. L. Anaya and M. G. Pollitt, “Going smarter in the connection of distributed generation,” *Energy Policy*, vol. 105, no. January, pp. 608–617, 2017.
- [19] W. D. Grainger, John J., Stevenson, *Power system analysis*, Energy, Po. 2350, 1994.
- [20] G. Cablea, P. Granjon, and C. Bérenguer, “Three-phase electrical signals analysis for mechanical faults monitoring in rotating machine systems,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 92, pp. 278–292, 2017.
- [21] F. Gonzalez Longatt, “Fallas Asimétricas,” vol. 1, no. 1, p. 163, 2008.
- [22] F. Gonzalez Longatt, “Tipos de Fallas Asimétricas,” p. 103, 2010.
- [23] C. A. Orozco Henao, J. Mora Florez, and S. M. Pérez Londoño, “Método de localización de fallas basado en impedancia aparente para sistemas de distribución con generación distribuida,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 23, no. 3, pp. 348–360, 2015.
- [24] R. Anilkumar, G. Devriese, and A. K. Srivastava, “Voltage and Reactive Power Control to Maximize the Energy Savings in Power Distribution System with Wind Energy,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 9994, no. c, 2017.
- [25] G. Ye, S. Member, Y. Xiang, and M. Nijhuis, “Bayesian-Inference-Based Voltage Dip State Estimation,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 66, no. 11, pp. 2977–2987, 2017.
- [26] F. Zhang and C. . Cheng, “A modified Newton method for radial distribution system power flow analysis,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 389–397, 1997.
- [27] H. A. Cifuentes Chaves, D. F. Patiño Ipus, and J. J. Mora Flórez, “Fault location in power distribution systems considering a dynamic load model,” *Ing. e Investig.*, vol. 35, no. 1Sup, pp. 34–41, 2015.
- [28] IEEE Distribution Planning Working Group, “Report: Radial distribution test feeders,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 975–985, 1991.

10.1 Estado del arte

Tabla 5: Matriz del estado del arte.

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BASE A UN ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN																											
DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA						
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Generación distribuida	Óptima localización de GD	Corrientes de cortocircuito	Óptimo flujo de potencia	Impedancia eléctrica	Sistemas eléctricos de distribución	Localización de GD	Fallas asimétricas	Flujo de potencia	Simulación de fallas	Niveles de voltaje	Topología del sistema	Fallas eléctricas en la red	Impedancia de cortocircuito	Niveles de voltaje en las barras	Óptima ubicación de GD	Flujos de potencia	Disminución de corrientes de cortocircuito	Sistema más robusto	Determinación de ocurrencia de falla	Óptima ubicación de GD	Flujos de potencia	Disminución de corrientes de cortocircuito	Estabilidad de voltaje
1	2018	Distributed DCOPTF with flexible transmission	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2017	Going smarter in the connection of distributed generation	5	<input checked="" 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 checked="" 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 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"/>
3	2017	The impact of single-phase grid-connected distributed photovoltaic systems on the distribution network using P-Q and P-V models	2	<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 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 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"/>
4	2017	Reliability assessment of distribution system with the integration of renewable distributed generation	11	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2017	Loss minimization in distribution systems based on LMP calculation using honey bee mating optimization and point estimate method	2	<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 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 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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	2017	Three-phase electrical signal analysis for mechanical faults monitoring in rotating machine systems	3	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2017	Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources	4	<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 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"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	2017	A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms	6	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	2017	Energy distribution planning models taxonomy and methods of distributed generation systems	1	<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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	2017	Reconfiguración multiobjetivo en sistemas de distribución primaria de energía	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BASE A UN ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA							
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CTAS	Generación distribuida	Óptima localización de GD	Corrientes de cortocircuito	Óptimo flujo de potencia	Impedancia eléctrica	Sistemas eléctricos de distribución	Localización de GD	Fallas asimétricas	Flujo de potencia	Simulación de fallas	Niveles de voltaje	Topología del sistema	Fallas eléctricas en la red	Impedancia de cortocircuito	Niveles de voltaje en las barras	Óptima ubicación de GD	Flujos de potencia	Disminución de corrientes de cortocircuito	Sistema más robusto	Determinación de ocurrencia de falla	Óptima ubicación de GD	Flujos de potencia	Disminución de corrientes de cortocircuito	Estabilidad de voltaje	
11	2017	Bayesian - inference - based voltage dip state estimation	1	<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 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"/>	<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"/>
12	2017	Voltage and reactive power control to maximize the energy savings in power distribution system with wind energy	1	<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 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"/>	<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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	2017	A sufficient condition for multiple load flow solutions existence in three phase unbalance active distribution networks	2	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	2017	Marco de referencia para la planificación de generación distribuida en zonas no interconectadas	2	<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 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"/>	<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"/>
15	2016	Uncertainty management of renewable distributed generation	3	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2015	Dynamic reconfiguration of electrical power distribution systems with distributed generation and storage	1	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	2015	Método de localización de fallas basado en impedancia aparente para sistemas de distribución con generación distribuida	2	<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 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 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"/>
18	2015	Fault location in power distribution systems considering a dynamic load model	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2013	Distribution system faults classification and location based on wavelet transform	3	<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 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"/>	<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"/>
20	2013	Aplicación extendida de una técnica de impedancia de secuencia a la localización de fallas en sistemas de distribución	1	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ÓPTIMO DESPLIEGUE DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BASE A UN ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN																													
DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA							
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Generación distribuida	Óptima localización de GD	Corrientes de cortocircuito	Óptimo flujo de potencia	Impedancia eléctrica	Sistemas eléctricos de distribución	Localización de GD	Fallas asimétricas	Flujo de potencia	Simulación de fallas	Niveles de voltaje	Topología del sistema	Fallas eléctricas en la red	Impedancia de cortocircuito	Niveles de voltaje en las barras	Óptima ubicación de GD	Fujos de potencia	Disminución de corrientes de cortocircuito	Sistema más robusto	Determinación de ocurrencia de falla	Óptima ubicación de GD	Fujos de potencia	Disminución de corrientes de cortocircuito	Estabilidad de voltaje		
21	2012	Distribution system modeling and analysis	1416	<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 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 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"/>	
22	2009	Ubicación optima de generación distribuida en sistemas de energía eléctrica	20	<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 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 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 checked="" type="checkbox"/>	
23	2008	Fallas asimétricas	100	<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 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"/>	<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"/>	
24	2006	Localización de faltas en sistemas de distribución de energía eléctrica usando métodos basados en el modelo y métodos basados en el conocimiento	77	<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 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"/>	<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 type="checkbox"/>
25	2001	Report: Radial distribution test feeders	700	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26	1994	Power system analysis	2353	<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"/>	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
27	2017	Electric vehicle: Facing Future Challenges in Quito	0	<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CANTIDAD:				20	19	8	13	9	15	20	12	13	11	11	19	13	12	16	14	18	12	6	8	20	14	17	8		

10.2 Resultados del estado del arte

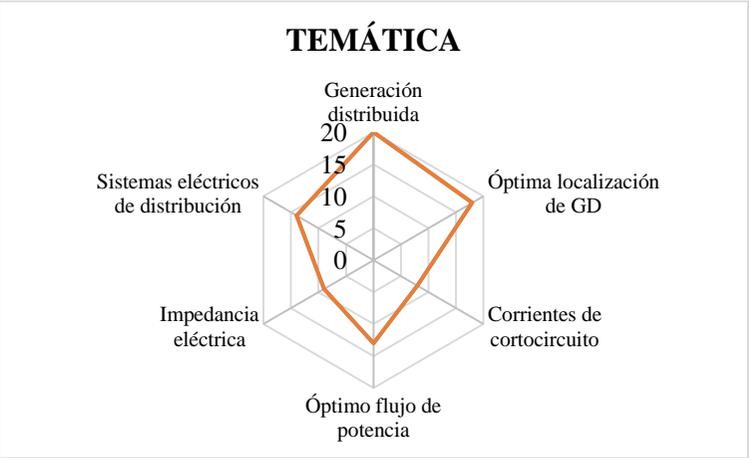


Figura 21. Diagrama de la tendencia de la temática encontrada.

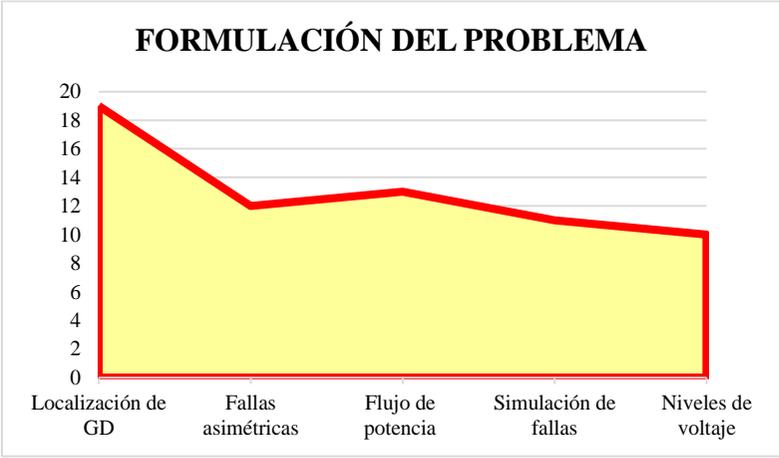


Figura 22. Formulación del problema propuesto por la temática encontrada.

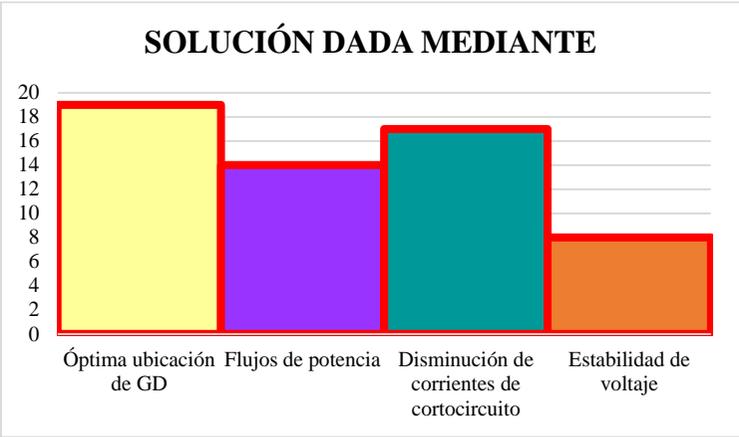


Figura 23. Formulación del problema propuesto por la temática encontrada