

**ÓPTIMA UBICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS ANTE
CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
ÓPTIMA UBICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS ANTE
CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES**

**AUTOR:
MICHAEL ALEXIS PARRA ORBEA**

**TUTOR:
ALEX DAVID VALENZUELA SANTILLÁN**

Quito D.M., septiembre 2020

MICHAEL ALEXIS PARRA ORBEA

**ÓPTIMA UBICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS ANTE
CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2020

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



MICHAEL ALEXIS PARRA ORBEA (Y'1992).

Culminó sus estudios de bachillerato en el Colegio Unidad Educativa “Borja 3” de la ciudad de Quito, obteniendo el título en Ciencias Físicas - Matemáticas. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el estudio de la óptima ubicación de Grupos Electrónicos en las Redes de Distribución Eléctrica. mparrao@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



ALEX DAVID VALENZUELA SANTILLÁN (Y'1989).

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 a 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

©2020 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 “*ÓPTIMA UBICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS ANTE CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES*” realizado por Michael Alexis Parra Orbea, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., septiembre de 2020



.....
Alex David Valenzuela Santillán

C.C.: 1721848644

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Michael Alexis Parra Orbea, con documento de identificación N° 1718165705, 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 intitulado: *ÓPTIMA UBICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS ANTE CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES*, 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., septiembre de 2020



.....
Michael Alexis Parra Orbea
C.C.: 1718165705

1. ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Grupos Electrógenos	4
2.2. Grupos Electrógenos en la Industria	4
2.3. Grupos Electrógenos en las Redes Eléctricas	5
2.4. Aspectos para la óptima ubicación de Grupos Electrógenos en una red de distribución.....	5
2.5. Desastres Naturales en las Redes Eléctricas de Distribución.....	6
2.6. Método para determinar la óptima ubicación de Grupos Electrógenos	6
2.7. Algoritmo de Fuerza Bruta para determinar la óptima ubicación de Grupos Electrógenos en el lugar más Idóneo.	8
3. PLANTEAMIENTO Y SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	10
3.1. Casos de Estudio	10
3.1.1. Sistema en condiciones normales.	10
3.1.2. Escenario 1, para cuando un ramal principal del escenario sea afectado por un desastre natural.....	12
3.1.3. Escenario 2, cuando los ramales secundarios son afectados por un desastre natural.	14
3.1.4. Escenario 3, cuando un el desastre natural afecta a la red en distintos puntos cercanos a la red y distantes la red.....	18
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	20
5. CONCLUSIONES.....	23
6. REFERENCIAS	24
6.1. Estado del Arte	28
6.2. Resumen de Indicadores.....	30

2. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de Óptima Ubicación de los Grupos Electrógenos en las diferentes etapas de estudio.	3
Figura 2. Desarrollo para la Ubicación de manera Óptima de Grupos Electrógenos.	6
Figura 3. Sistema de Ejemplo con Zona de Desastre Natural.	6
Figura 4. Red de Distribución en Medio Voltaje creada para el respectivo Análisis en Matlab partiendo de un mapa en OSM. (Red de Distribución en Condiciones Normales).	11
Figura 5. Topología de la Red, partiendo de la Matriz de Conectividad en Condiciones Normales y sin influencia de un Desastre Natural.	11
Figura 6. Red de Distribución en Medio Voltaje con influencia de un Desastre Natural (Escenario 1).	12
Figura 7. Topología de la Red, con influencia de un Desastre Natural sobre los Alimentadores (Escenario 1).	12
Figura 8. Topología de la Red de Zonas Desconectadas por afectación del Desastre Natural en el Escenario 1.	13
Figura 9. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 1 en el Escenario 1.	13
Figura 10. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 2 en el Escenario 1.	14
Figura 11. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 3 en el Escenario 1.	14
Figura 12. Topología con la incorporación de Grupos Electrógenos obtenida en Matlab para el Escenario 1.	14
Figura 13. Red de distribución en Medio Voltaje con influencia de un Desastre Natural (Escenario 2).	14
Figura 14. Topología de la Red, con influencia de un Desastre Natural sobre los Alimentadores (Escenario 2).	15
Figura 15. Topología de la Red de Zonas Desconectadas por afectación del Desastre Natural en el Escenario 2.	16
Figura 16. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 1 en el Escenario 2.	16
Figura 17. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 2 en el Escenario 2.	16
Figura 18. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 3 en el Escenario 2.	16
Figura 19. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 4 en el Escenario 2.	17
Figura 20. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 5 en el Escenario 2.	17
Figura 21. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 6 en el Escenario 2.	17
Figura 22. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 7 en el Escenario 2.	17
Figura 23. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 8 en el Escenario 2.	17
Figura 24. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 9 en el Escenario 2.	17
Figura 25. Topología con incorporación de Grupos Electrógenos obtenida en Matlab para el Escenario2	17
Figura 26. Red de Distribución en Medio Voltaje con influencia de un Desastre Natural (Escenario 3).	18

Figura 27. Topología de la Red, con influencia Desastre Natural sobre los Alimentadores (Escenario 3).	19
Figura 28. Topología de la Red de Zonas Desconectadas por afectación del Desastre Natural en el Escenario 3.	19
Figura 29. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 1 en el Escenario 3.	19
Figura 30. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 2 en el Escenario 3.	20
Figura 31. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 3 en el Escenario 3.	20
Figura 32. Topología con incorporación de Grupos Electrónicos obtenida en Matlab para el Escenario 3	20
Figura 33. Resumen de Indicador de la Temática - Estado del Arte.....	30
Figura 34. Indicador de Formulación del Problema - Estado del Arte.	31
Figura 35. Indicador de Solución - Estado del Arte.....	31

3. INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Conectividad antes del Desastre Natural para el Ejemplo.....	7
Tabla 2: Matriz de Conectividad después del Desastre Natural para el Ejemplo.	7
Tabla 3: Variables Consideradas.....	9
Tabla 4: Seudocódigo para la Ubicación Óptima de Grupos Electrógenos	9
Tabla 5: Implementación de Grupos Electrógenos en el Escenario 1.....	20
Tabla 6: Implementación de Grupos Electrógenos en el Escenario 2.....	21
Tabla 7: Implementación de Grupos Electrógenos en el Escenario 3.....	22
Tabla 8: Selección de Grupos Electrógenos por Capacidades de la Red simulada.	22
Tabla 9: Matriz de Estado del Arte	28

ÓPTIMA UBICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS ANTE CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES

Resumen

En este artículo se desarrolla la ubicación óptima de grupos electrógenos ante contingencias en desastres naturales considerando los elementos que salieron fuera de servicio dentro de una red de medio de voltaje simulados con algoritmos en Matlab y DigSilent PowerFactory.

Se considera como caso de estudio un sistema georreferenciado obtenido del Open Street Map (OSM) y analizado a través del software de Matlab, en el cual se establece la mejor posición para conectar los grupos electrógenos tomando en cuenta los parámetros técnicos más adecuados para la selección los mismos, reestableciendo el suministro de energía eléctrica en la zona considerada como vulnerable. Simulaciones de la red en estado estable permitirán determinar la factibilidad de la conexión de los sistemas de generación a la red de distribución dentro de los valores tolerables y permitidos para una red eléctrica de medio voltaje, seleccionando los grupos electrógenos que representen menores pérdidas en el sistema analizado a través de un flujo de potencia.

De esta forma se busca solventar de forma óptima el déficit en generación eléctrica del sector afectado por consecuencia de una eventualidad no predecible, conocido como desastre natural.

Palabras Clave: *Red de Medio Voltaje, Grupos Electrógenos, Déficit de Generación Eléctrica, Red en Estado Estable, Flujo de Potencia, Desastres Naturales.*

Abstract

This article develops the optimal location of generator sets in the event of natural disasters is made considering the elements that went out of service within a medium voltage network simulated with algorithms in Matlab and DigSilent PowerFactory.

It is considered as a case study a georeferenced system obtained from the Open Street Map (OSM) and analyzed through the Matlab software, which establishes the best position to connect generators taking into account the most appropriate technical parameters for their selection, re-establishing the power supply in the area considered vulnerable. Simulations of the grid in a stable state will allow determining the feasibility of connecting the generation systems to the distribution grid within the tolerable and permitted values for a medium voltage electrical grid, selecting the generating sets that represent the lowest losses in the system analyzed through a power flow.

In this way, the aim is to optimally solve the deficit in electricity generation in the sector affected by an unpredictable eventuality, known as a natural disaster.

Keywords: *Medium Voltage Grid, Generator Sets, Electricity Generation Deficit, Grid in a Stable State, Power Flow, Natural Disasters.*

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema eléctrico de potencia (SEP) está constituido de varias fases tales como: generación, transmisión y distribución, donde su objetivo primordial es transportar energía eléctrica desde la primera fase de generación hasta que llegue al usuario con las debidas condiciones de calidad y confiabilidad. Estas etapas que componen al SEP y su operación correcta y normal tiene un gran impacto en el ámbito tecnológico y socio-económico de una nación, mismas etapas que han sido diseñadas para resistir a diversas eventualidades tomando en cuenta criterios de seguridad [1], para continuar operando sin ninguna novedad y poder reponerse ante toda adversidad. Existen sucesos no predecibles que pueden poner en riesgo al sistema eléctrico como los desastres naturales; ya que dejarían a ciertas áreas sin este bien útil y necesario, mismos que deben ser considerados ya que siempre estarán presentes; ya que por lo general las afectaciones y daños causados son físicos, es por ello que en el sector eléctrico existen los grupos electrógenos que son capaces de proveer de energía eléctrica a un sector afectado de forma momentánea y segura hasta la recuperación del sistema eléctrico [2].

Los Grupos Electrógenos (GE) tienen un rol importante en las redes de distribución, debido a que estos compensan la falta de energía en áreas muy apartadas, con difícil acceso donde no es rentable transportar energía eléctrica de forma tradicional, así como también permite la resiliencia ante daños importantes en la infraestructura de la red eléctrica, [3] cuando se conectan los GE a una red eléctrica lo hacen a través de una conexión de forma aislada donde estos tienen la ventaja de trabajar durante 24 horas continuas como generación base,

para cubrir picos de consumo o la más usual como abastecedor provisional de electricidad ante contingencias; ya que vienen a ser generadores a diésel [4].

Los desastres naturales son propiamente eventos no predecibles de carácter repentino y en su gran mayoría son inesperados e incontrolables, ya que las ocurrencias de estos no se pueden decir en qué momento se van a llevar a cabo, en los últimos años el índice de ocurrencia de estas eventualidades ha incrementado produciendo daños por todo el mundo [5]. De suceder un desastre natural este afectaría de forma directa al Sistema Eléctrico y en mayor magnitud a la etapa de Distribución dentro del SEP ya que puede producir daños en las redes de poca y gran consideración [6].

El sistema de distribución es la parte más grande dentro de un SEP, ya que se considera tanto distribución primaria como distribución secundaria, es decir medio y bajo voltaje respectivamente, los cuales comprenden los 2/3 del SEP y es considerado como el gigante invisible dentro del sector eléctrico [7], [8], dentro del sistema de distribución el elemento más importante viene a ser las líneas ya que se encarga de transportar el suministro eléctrico a diferentes zonas y a todos los usuarios que hagan uso del servicio eléctrico ya que si una afectación directa por alguna causa no predecible desconectaría una línea dejaría sin electricidad al área donde se de dicha eventualidad se produjo, afectando de manera directa a los usuarios [9].

El planeamiento de la reconstrucción y recuperación de una red de distribución, en una zona afectada por un desastre natural, se centran principalmente en la magnitud de la afectación considerando costos y tiempo tanto de reconstrucción como de recuperación del servicio eléctrico, este manejo de la reconstrucción también considera el uso de GE los

cuales permiten mejorar y recuperar de manera provisional a toda un área que fue afectada para proveerla de energía eléctrica en el menor tiempo [10].

De acuerdo a lo antes mencionado se ha visto como una posible solución o como parte de ella a los GE y su ubicación más óptima ante contingencias en desastres naturales. Ya que los GE están presentes para poder conectarse a la red de medio voltaje dentro del sistema de distribución y volver a brindar el servicio eléctrico a la zona que se encuentre afectada y sin suministro del mismo [11].

Para determinar la mejor ubicación de los GE que se procederá a conectar, se debe tener en cuenta el estado de la red y las pérdidas que se tendrían al ingresar estos elementos, ya que no es lo mismo conectar a los GE a un ramal principal que a una troncal de una red de distribución tanto por factores de pérdidas y caídas de voltajes en las líneas como a su vez por criterios de diseño y construcción de los elementos de dicha red que ya se encuentran dimensionados [9], [12]. Por medio de simulaciones la red que se encuentre conectada, a través de un flujo de potencia se determina qué elementos se encuentran fuera de servicio, o si están conectados o no, y obtener los parámetros para determinar la mejor ubicación en la que deberían ser

conectados los GE, ya que deben cumplir con ciertos parámetros dictados por el fabricante; para así reducir pérdidas y sobrecargas en los GE que se encontraran operando [13].

Para optimizar de manera adecuada la ubicación de los GE se considera una red de distribución por lo general del tipo radial y también los parámetros técnicos, como niveles de voltaje y potencia de operación de los GE, con el fin de ayudar en la precisa selección de estos. Tras la pérdida del suministro por consecuencia de un desastre natural, se realiza una selección adecuada para colocarlos en un lugar preciso logrando de esta manera reducir pérdidas y costos, mientras estos Grupos Electrógénos estén proveyendo de suministro de energía eléctrica [4], [9].

El enfoque principal de este análisis se visualiza en la Figura 1, teniendo como punto de partida un sistema de distribución de tipo soterrado que opera en condiciones normales y se encuentra entregando el suministro de energía con total normalidad. Al suscitarse una contingencia causada por un desastre natural, deja elementos fuera de servicio y consecuentemente cambiando la topología de la red, el mismo cambio produce el aislamiento del servicio eléctrico en la red en área de afectación.

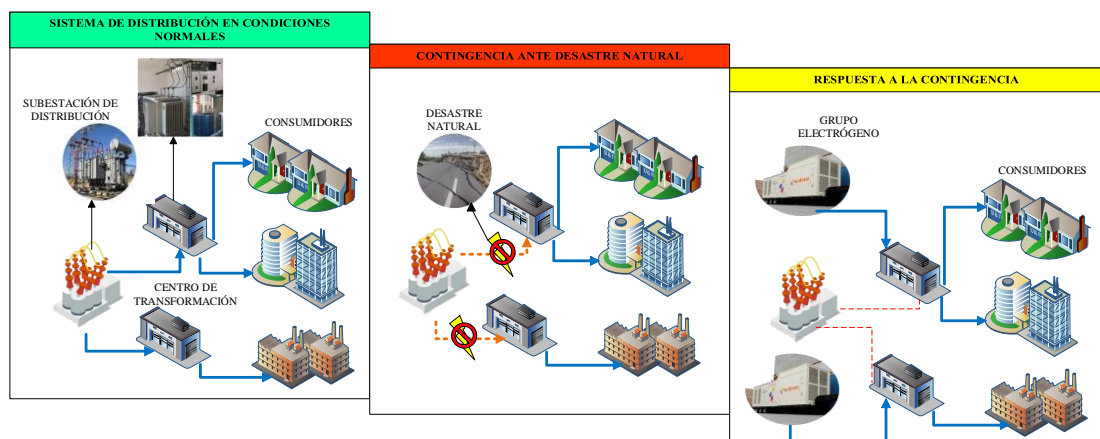


Figura 1. Proceso de Óptima Ubicación de los Grupos Electrógénos en las diferentes etapas de estudio.

Posteriormente y como respuesta a la contingencia se simula la conexión del GE en todos los posibles lugares obteniendo los valores de pérdidas y caídas de voltaje en la red que quedo aislada por consecuencia del desastre natural, se determina el lugar más adecuado u óptimo, en el que se conectara los GE con el fin de reestablecer el suministro de energía de forma provisional hasta la reconstrucción de la red [13].

En el apartado 2 se describe los tipos de GE presentes en el mercado y con los que se realiza este estudio, parámetros y características técnicas dictadas por el fabricante que se deben tener en cuenta para el análisis, además de explicar las simulaciones a realizarse en los distintos softwares y el respectivo método de cálculo, en el apartado 3 explica la problemática del tema y cómo dar solución, de la misma manera se prueba el algoritmo con 3 casos de estudio, donde en el apartado 4 se realiza un análisis de los resultados con respecto al caso inicial de condiciones normales y se describen recomendaciones a tener en cuenta en cada uno de los diferentes casos de estudio [14]–[16].

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Grupos Electrónicos

Los Grupos Electrónicos, es un generador eléctrico que realiza su operación por medio de un motor de combustión interna, también son llamados generadores a diésel, que por lo regular son utilizados cuando existe un déficit de energía eléctrica de un área específica, o cuando las interrupciones en el suministro eléctrico son muy frecuentes [10].

Los GE pueden ser empleados como fuente principal o como fuente auxiliar, para responder a las necesidades energéticas, de forma creíble y

eficiente, en cualquiera que sea necesaria su aplicación.

El funcionamiento de los GE; se componen por un por un generador, para ponerlo en marcha este generador basa su principio de funcionamiento en la combustión interna en el motor con ayuda del alternador a través del combustible que este puede ser: diésel, gas natural, biogás, entre otros [17], [18].

Los Grupos Electrónicos están compuestos por:

- Alternador.
- Motor.
- Carrocería.
- Marco de Transferencia de Carga.
- Panel de Control.
- Bancada.

2.2. Grupos Electrónicos en la Industria

Un grupo electrónico se lo puede asumir como un elemento fundamental para cualquiera que sea la aplicación o proyecto. Por ejemplo, en la generación de un proyecto industrial o en el área de la construcción donde una de las necesidades es asegurar un suministro continuo y confiable de energía ya que un fallo de suministro de energía puede conllevar a muchos daños tanto materiales como económicos, y en ese contexto los GE serán la respuesta para hacer frente a esa necesidad, pues son extremadamente confiables y robustos para cumplir esta función [10], [19].

A su vez los GE se los puede emplear como un servicio de emergencia para los hospitales, de igual manera en centros comerciales; los GE son estrictamente necesarios su implementación ya que no debe producirse ningún fallo energético por la masiva cantidad de equipos eléctricos en los mismos.

2.3. Grupos Electr6genos en las Redes El6ctricas

Los GE son empleados, para salvaguardar los cortes de energa, donde la ausencia de esta genera daos considerables, asu como tambu6n no es rentable la aplicaci6n de redes tradicionales en grandes distancias, por ejemplo: pequeas poblaciones apartadas o el caso de islas [10], [20].

Tambu6n se los emplea moviliz6ndolos ante contingencias en desastres naturales en distintas zonas donde por efecto de la eventualidad de car6cter no predecible se llegue a tener un difu6cil energ6tico.

La norma ISO 85282 establece que los GE tienen dos regu6menes de operaci6n:

- Operaci6n para generaci6n o producci6n.
- Operaci6n para emergencia.

La conexi6n de los GE a una red el6ctrica es de forma aislada o de varias unidades en paralelo como un banco de bateras; estas formas de conexi6n generan en la red consecuencias t6cnicas, tales como:

- Producen cortocircuitos en varias direcciones.
- Recambio en el sistema de las protecciones para garantizar la calidad energ6tica tanto en condiciones de operaci6n normal y de emergencia.
- Perdidas por ca6da de voltaje en las l6neas el6ctricas ya que suelen ser las m6s afectadas en problemas de 6ndole natural.

Las oscilaciones de voltaje en la red, que son m6s conocidas como titilaciones o parpadeo (flicker) y con mayor afluencia se producen y observa dentro de la iluminaci6n el6ctrica. Con respecto al flicker cabe destacar que son un conjunto de variaciones de voltaje, producidas estas en la magnitud de la corriente de carga por variaciones continuas y r6pidas [21].

En general una oscilaci6n de voltaje es una manifestaci6n electromagn6tica, en tanto que el parpadeo o flicker es el resultado no deseado de una variaci6n de voltaje en cargas desbalanceadas [22].

La introducci6n de los GE ante las contingencias provocadas por una situaci6n de origen no predecible (Desastre Natural) dentro del sistema el6ctrico tomando en cuenta esta situaci6n de car6cter de emergencia obliga a la necesidad de analizar este concepto con m6s profundidad, teniendo en cuenta el servicio que desempea6n los GE [4].

Los GE a di6sel son considerados un tipo de generaci6n distribuida, en el Ecuador se emplean para trabajar en emergencia, independientemente de la frecuencia de la red; y en producci6n de energa, aislado o en paralelo considerando en esta la sincronizaci6n a la red [23].

Cuando los GE operan sincronizados a la red, en caso de que la red quede sin energa estos pueden suministrar a una parte del sistema el6ctrico. En este estado los GE pueden operar para aliviar la demanda en horarios picos [24].

2.4. Aspectos para la 6ptima ubicaci6n de Grupos Electr6genos en una red de distribuci6n

Una 6ptima ubicaci6n de GE es un proceso donde se definen los puntos m6s id6neos considerando el estado y p6rdidas que existan en la red el6ctrica, con el objetivo de permitir el ingreso de los GE en la red priorizando el estado actual de la red minimizando los tiempos de traslado de estos al punto y reestableciendo el suministro energ6tico de manera pronta, eficiente y garantizando este servicio [20].



Figura 2. Desarrollo para la Ubicación de manera Óptima de Grupos Electrógenos.

En la Figura 2. Se indica un diagrama resumido del desarrollo para la ubicación de manera óptima de los GE ante contingencias en desastres naturales [25].

Para la ubicación de los GE en la red es necesario analizar las condiciones del sistema, con el propósito de identificar la operatividad de los elementos que se encuentren fuera de servicio, considerando topología y también simulando los desastres naturales, y lo que puedan ocasionar estos a la red de distribución [25], [26]. Consecuentemente se puede identificar las zonas de la red que estén aisladas y desenergizadas, procediendo a realizar conexiones de los GE en los puntos principales de la red de distribución [6], [20].

Tomando en cuenta lo antes mencionado se establece que la función principal de la ubicación óptima de GE, será la total selectividad con la máxima

exactitud del punto de ubicación óptimo, pero considerando distancias, pérdidas de potencial y caídas de voltaje, en el elemento principal de la red que tiene mayor índice de sufrir daños como lo son las líneas de distribución [4].

2.5. Desastres Naturales en las Redes Eléctricas de Distribución

Los desastres naturales son eventualidades no predecibles, es decir que no se puede determinar a ciencia exacta de la ocurrencia de estos. Los desastres naturales también se considera aquellos que con más frecuencia se presentan afectando indeterminada área de un país, ya que estas eventualidades poseen la magnitud suficiente para alterar la infraestructura y el desarrollo normal de la población, ocasionando víctimas y agravio de bienes materiales, servicios básicos [27]. Si de las Redes Eléctricas se trata se tiene daños en su infraestructura esencialmente [28].

2.6. Método para determinar la óptima ubicación de Grupos Electrógenos

En este apartado se explica el método de óptima ubicación empleado en el proyecto. En la Figura 3 se representa un sistema a manera de ejemplo, los datos que se obtienen a través de una simulación de flujo de potencia y obteniendo la Matriz de Conectividad como se muestra en la Tabla 1.

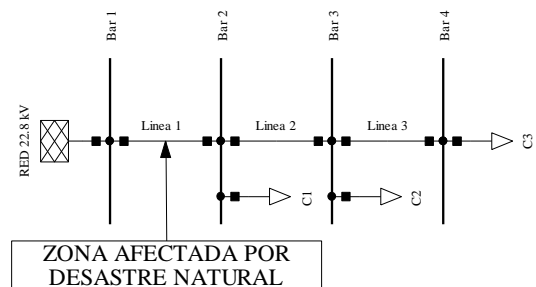


Figura 3. Sistema de Ejemplo con Zona de Desastre Natural.

Para determinar el estado de la red a través de simulaciones realizadas en

DigSilent Power Factory y obtener los valores por la simulación del flujo de potencia para de esta manera implementar en Matlab con el fin de obtener un modelo de red de distribución en medio voltaje donde se cuenta con los elementos tales como: líneas, transformadores y transformador principal, los cuales están representados a través de una matriz de estados, mismos que se simularan cuando tengan fallas aleatorias representando los eventos no predecibles como lo son los desastres naturales y observando los efectos que causan a los mismos; en 3 diferentes casos de estudio mismo análisis que se realizara en el software de DigSilent Power Factory [14], y llevando estos análisis de pérdidas en líneas de distribución y caídas de voltaje que son los principales valores que se deben tomar en cuenta para la inserción de los GE, por motivo de las variaciones de voltaje que estos infieren en la red restante que no sufrió mayor daño o afectación [16], [29].

La Matriz de conectividad es obtenida tras realizar las respectivas simulaciones en DigSilent Power Factory con el fin de obtener tanto los elementos que se encuentren interconectados y su respectivo estado de funcionamiento ya sea que esté conectado; es decir que el elemento se encuentra en servicio y operando con normalidad, o desconectado; [16] si el elemento de la red se encuentra fuera de servicio debido a fallas o desconexiones de índole natural o por algún acontecimiento no predecible. En la Matriz de conectividad como se observa en la Tabla 1. Se destaca como las líneas se encuentran conectadas entre sí, junto con los transformadores que se encuentran en las barras representados por las cargas; formando una red de distribución en medio voltaje como se denota en la Figura 3.

Tabla 1: Matriz de Conectividad antes del Desastre Natural para el Ejemplo.

	Bar1	Bar2	Bar3	Bar4
Bar1	0	1	0	0
Bar2	1	0	1	0
Bar3	0	1	0	1
Bar4	0	0	1	0

Una vez obtenida la matriz de conectividad y los valores de cada elemento tras establecer por programación interna del DigSilent Power Factory denominada Programación DLP [14], se obtiene los valores de operación y funcionamiento normal que servirán como base para el presente estudio y tras simular en distintos casos donde surjan desastres naturales aleatorios obtendremos distintos valores y cambios en la matriz de conectividad ya que por influencia de estos acontecimientos aleatorios no predecibles saldrán de servicio y en muchos de los casos quedaran obsoletos y desconectados, como se muestra en la Tabla 2, hasta realizar una reparación del área afectada. Mientras que en las partes del sistema donde aún permanezcan conectadas deberán cumplir con seguir proveyendo de electricidad hacia sus beneficiarios ya que es un servicio básico necesario [30].

Tabla 2: Matriz de Conectividad después del Desastre Natural para el Ejemplo.

	Bar1	Bar2	Bar3	Bar4
Bar1	0	0	0	0
Bar2	0	0	1	0
Bar3	0	1	0	1
Bar4	0	0	1	0

Un algoritmo realizado en Matlab permitirá establecer el punto más idóneo para insertar los GE y reestablecer el suministro eléctrico en el menor tiempo y con menores pérdidas y caídas de voltaje en la red que no haya sufrido daño y permita el

no corte de la energía por largos periodos de tiempo que suelen tardar estas reparaciones. El estudio se centra en el algoritmo de fuerza bruta ya que este permite detectar la óptima ubicación de los GE [31], considerando varios datos obtenidos de los elementos de la red, tras las simulaciones en el software DigSilent Power Factory de los cuales se selecciona la que menos pérdidas y caídas de voltaje presente dentro de la red para la correcta operación y establecer a través de criterios de selección los GE más adecuados [19], [27].

Debido a esto la recopilación de datos en las simulaciones de la red se consideran las pérdidas, caídas de voltaje y potencial eléctrico en los tramos de red que aún se mantengan en estado de operación, estos datos son de mucha consideración para determinar el lugar más óptimo y que represente menores pérdidas para el mejor funcionamiento de los GE; [10], [32] el corte del servicio eléctrico en la zona afectada se reestablece de manera más rápida y eficiente con los GE evitando daños prematuros en ellos por no considerar un punto de conexión óptimo, tomando en cuenta todo anterior, tenemos la ecuación (1) que menciona:

$$\sum_{n+1}^n \% \text{ Pérdidas en el sistema} \cong \% \text{ Pérdidas con G.E. conectado} \quad (1)$$

Donde la ecuación (2) es:

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{\text{Pérdidas de energía}}{\text{Energía suministrada al sistema}} \times 100 \quad (2)$$

Por tanto, las caídas de voltaje total deben ser la sumatoria para cada línea comprendida en la red como menciona la ecuación (3):

$$\sum_{n+1}^n (L1 + L2 + \dots + Ln) \quad (3)$$

Sabiendo que la caída de voltaje como se muestra en la ecuación (4), es:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * P * L}{C * S * V} \quad (4)$$

Donde:

ΔV : *Caída de Tensión.*

P : *Potencia.*

L : *Longitud.*

C : *Conductividad.*

S : *Sección.*

V : *Tensión.*

Entonces se menciona que la ecuación (5) resulta:

$$\sum_{n+1}^n (\Delta V1 + \Delta V2 + \dots + \Delta Vn) \leq 5\% \quad (5)$$

Para determinar una óptima ubicación de los GE a insertar a la red de la zona con afectación, su sumatoria de caídas de voltaje en las líneas no debe ser superior al 5%, ya que de lo contrario podría verse afectado el GE con daños prematuros antes mencionados y una reducción de su tiempo de vida útil [33].

Por tanto, el método de fuerza bruta considera uno o varios vectores donde a través de una selección del elemento más idóneo determina el GE que mejor opere respectivamente en la simulación de software DigSilent Power Factory.

2.7. Algoritmo de Fuerza Bruta para determinar la óptima ubicación de Grupos Electrónicos en el lugar más Idóneo.

En esta sección se explica detalladamente el algoritmo utilizado para la selección y ubicación de los GE después de ocurrida una afectación de desastre natural en la infraestructura de la red de distribución [27]; Sujeto en la Tabla 4. Para lo cual se indica las variables que fueron consideradas en la Tabla 3.

Tabla 3: Variables Consideradas.

Nombre	Interpretación
Conjuntos	
MC	Matriz que almacena los datos de conectividad
LossGE	Matriz que almacena los valores de los parámetros por cada G.E.
TlossGE	Vector que almacena la sumatoria de Perdidas para cada G.E. conectado a la Red
LossesTotales i	Resultados Número de Grupos Electrógenos
Parámetros	
long	Valor de la distancia de cada Línea
Loss	Valor de las Perdidas en el Sistema
P	Valor de la Potencia Activa por la conexión de cada G.E.
Q	Valor de la Potencia Reactiva por la conexión de cada G.E.
V	Valor de Voltaje por la conexión de cada G.E.
I	Valor de Corriente por la conexión de cada G.E.
ΔV	Valor de la Caída de Voltaje en cada línea por la conexión de cada G.E.
Variables de Decisión	
outserv	Si la línea queda fuera de servicio {0,1}

Determinadas ya las variables que han sido tomadas en cuenta para el avance del algoritmo, el cual se expone mediante el siguiente pseudocódigo de la Tabla 4.

Tabla 4: Pseudocódigo para la Ubicación Óptima de Grupos Electrógenos

Algoritmo en DPL
<p>Paso 1: INICIO Paso 2: Declaración de variables en DLP DigSilent Power Factory int fGen, fLoad, fLine, iln, ilnoos; int cGen, cLoad, cLine; Paso 3: Lectura de Datos de la simulación de Flujo de Potencia: AllRelevant('ElmLne'); Paso 4: Exportar matriz de conectividad con los valores respectivos para cada G.E. teniendo en cuenta ig: oGen = sGen.First() oLoad = sLoad.First(); oLine = sLine.First(); oBus = sBus.First();</p>
<p>Algoritmo en MatLab FuerzaBruta.m Paso 5: Obtener los datos de la Matriz de Conectividad MC Paso 6: Obtener los datos de líneas en la matriz LossGE Paso 7: Establecer el vector TlossGE que contenga la ubicación de los GE Paso 8: Localización de la ubicación de los GE de MC para visualizar la topología Paso 9: Desconexión aleatoria de líneas. Paso 10: Determinar a través del valor Mínimo del vector TlossGE Paso 11: FO: Minimización LossesTotales</p> $\text{MIN} \sum \text{losses}$ <p>Sujeto a:</p> $\sum \Delta V \leq 5\%$ <p>Paso 12: Obtener los resultados de TlossGE Paso 13: Restricción para activar outserv de los GE cuando el valor es 0 en DLP DigSilent Power Factory. Paso 14: Cambiar los datos nuevos de TlossGE en MC nueva Matriz de conectividad Paso 15: Visualización de resultados de la optimización Paso 16: FIN</p>

En la Tabla 4 se observa el algoritmo utilizado para resolver el problema planteado, mismo que cuenta como función objetivo la minimización de pérdidas del sistema tomando en cuenta como restricción que, la sumatoria de las caídas de voltaje en el sistema debe ser menor o igual al 5%.

3. PLANTEAMIENTO Y SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Partiendo de un sistema eléctrico de distribución soterrado como se expone en la Figura 4, que sus parámetros sin influencia de un desastre natural y las condiciones de operación normales en sus sistemas radiales. Mismo que es sujeto a eventualidades no predecibles de carácter natural que generan cortes de la red en área de estudio, además de cambiar la topología del sistema.

Por lo tanto, insertar los GE para restablecer el suministro eléctrico dentro de las zonas afectadas y que se encuentran desenergizadas. Una vez identificadas las zonas de desastre natural se procede a obtener los parámetros de los elementos que conforman la red que se encuentran en la capacidad de seguir operando; De esta manera a través del algoritmo se puede determinar la mejor ubicación como también la selección de los GE más adecuados y continuar con el suministro de energía en las zona de afectación hasta su respectiva reparación y duración de la misma, garantizando el no corte del suministro eléctrico por largos intervalos de tiempo, la nueva topología de la red garantiza mantener el servicio eléctrico en las zonas afectadas por el desastre de índole natural.

La problemática radica en identificar al elemento más vulnerable dentro de una red de distribución que sea afectada por un evento no predecible de índole natural, dentro de la red las líneas son dicho elemento más vulnerable ya que sirven para la transferencia de energía de un punto a otro, pero su desconexión cortaría esta transferencia y por ende se produciría una afectación de manera directa al usuario que requiera de tan necesario servicio como lo es la electricidad.

Debido a estos eventos considerados como desastres naturales, la desconexión de las líneas establece que entren en estado de fuera de servicio, manifestando un déficit en el suministro de energía eléctrica y por tanto se debe plantear una alternativa para solventar este, ya que, en ocasiones el trabajo de reemplazo de la línea, mantenimiento y corrección del mismo puede tomar un tiempo prudencial. Es por eso que se plantea la alternativa de ingreso de los Grupos Electrónicos en área afectada, de esta manera solventar este déficit energético de manera segura, confiable y rápida, considerando las respectivas pérdidas en las líneas como también las caídas de voltaje que predominan por la longitud de las mismas, sabiendo ubicar a estos grupos electrónicos en el mejor lugar respectivo y teniendo en cuenta todos estos factores que deben tomarse en consideración para mayor eficiencia del empleo de los GE.

3.1. Casos de Estudio

3.1.1. Sistema en condiciones normales.

Se representa a la red distribución con sus respectivos valores de operación y en condiciones normales como se muestra en la Figura 4 donde no existe ninguna alteración por algún desastre natural dentro de la red.

Para este caso de estudio se analiza las condiciones de la red de la cual parte el análisis teniendo en cuenta la matriz de conectividad la cual se la representa gráficamente a cada uno de los principales elementos de la red y su respectiva conectividad como se muestra planteada en la topología de la red en la Figura 5.

La Figura 4 permite observar como la red se encuentra conectada y tomarla como punto de partida, con el fin de observar en los siguientes casos de estudio surgidos por efecto de un desastre natural que influye tanto en un

cambio de su topología, en la Figura 5 se aprecia la topología en condiciones iniciales, en los casos de estudios posteriores se procede a sacar de servicio ciertos elementos, por efectos de un desastre natural y de esta manera simular zonas de la red de medio

voltaje, que quedan aisladas y sin el suministro eléctrico.

Al estar dicha red de medio voltaje en condiciones normales, esto quiere decir, que todos los elementos se encuentran operando sin novedad y en estado de servicio.

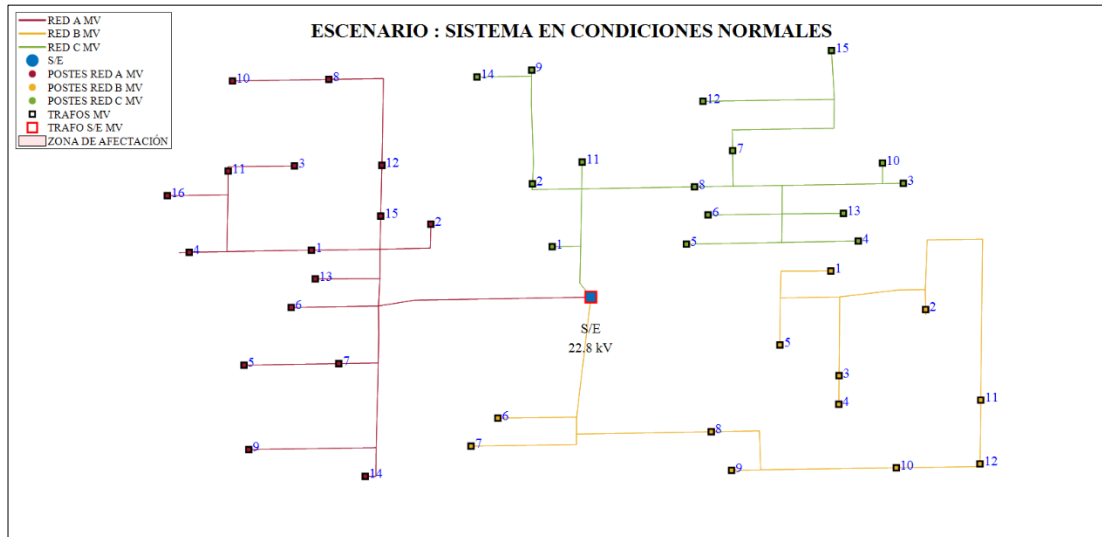


Figura 4. Red de Distribución en Medio Voltaje creada para el respectivo Análisis en Matlab partiendo de un mapa en OSM. (Red de Distribución en Condiciones Normales).

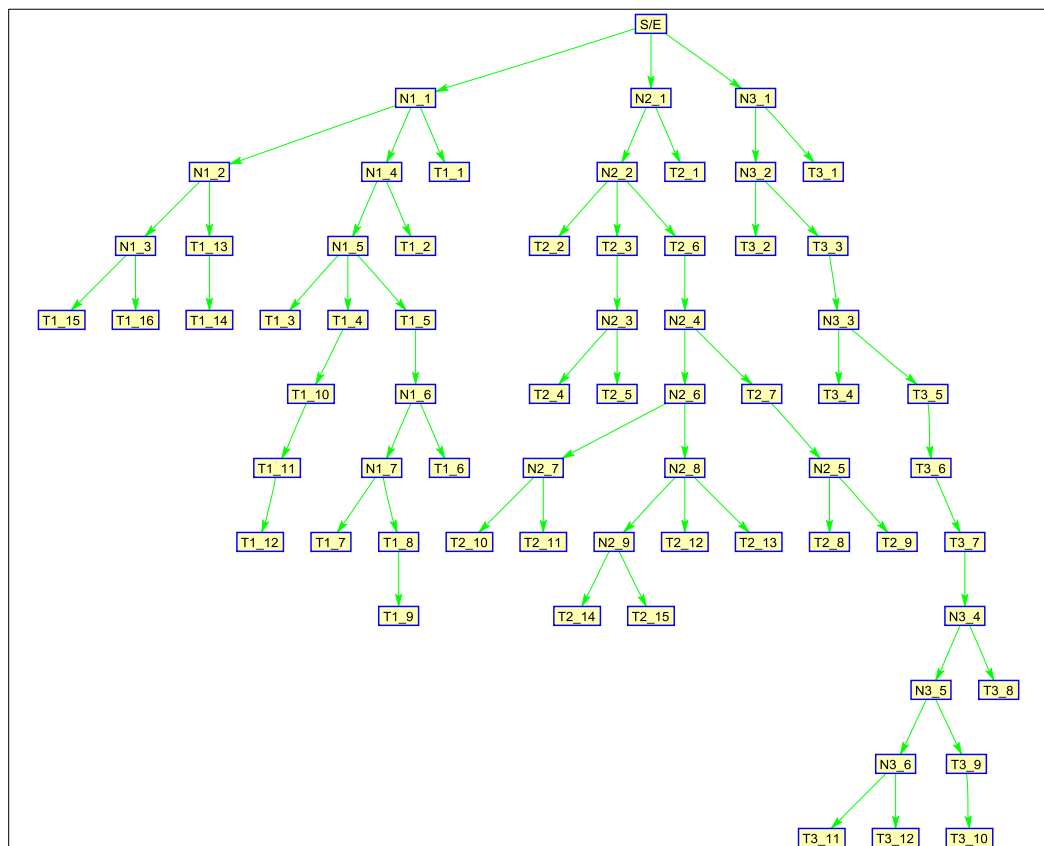


Figura 5. Topología de la Red, partiendo de la Matriz de Conectividad en Condiciones Normales y sin influencia de un Desastre Natural.

3.1.2. Escenario 1, para cuando un ramal principal del escenario sea afectado por un desastre natural.

Para el primer escenario al cual se representa a la red de distribución en

medio voltaje al suscitarse un evento de desastre natural teniendo como zona principal de afectación los ramales principales que conforman la red de distribución, tal como se indica en la Figura 6.

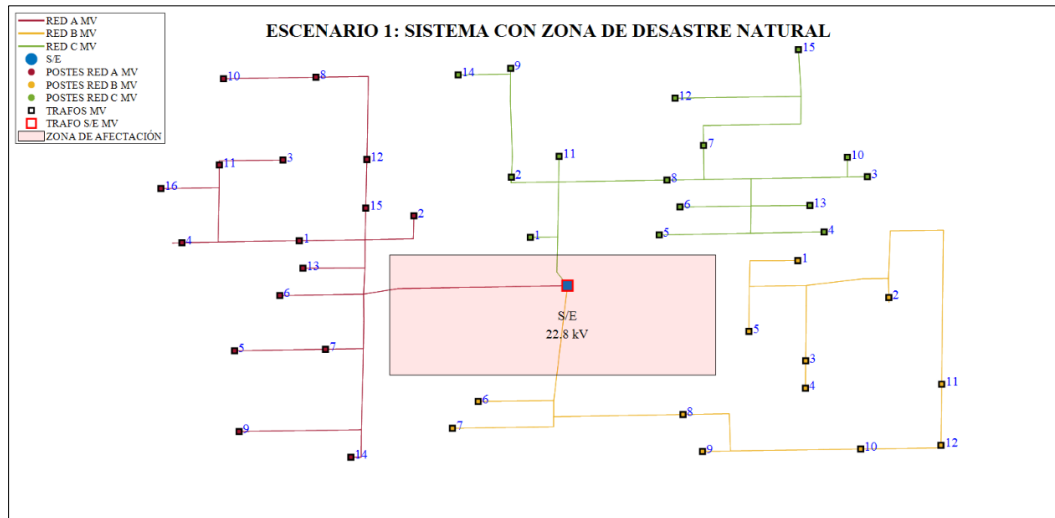


Figura 6. Red de Distribución en Medio Voltaje con influencia de un Desastre Natural (Escenario 1).

Las líneas que quedan fuera de servicio son:

- Línea 1: Segmento comprendido entre los nodos S/E y N1_1.
- Línea 2: Segmento comprendido entre los nodos S/E y N2_1.
- Línea 3: Segmento comprendido entre los nodos S/E y N3_1.

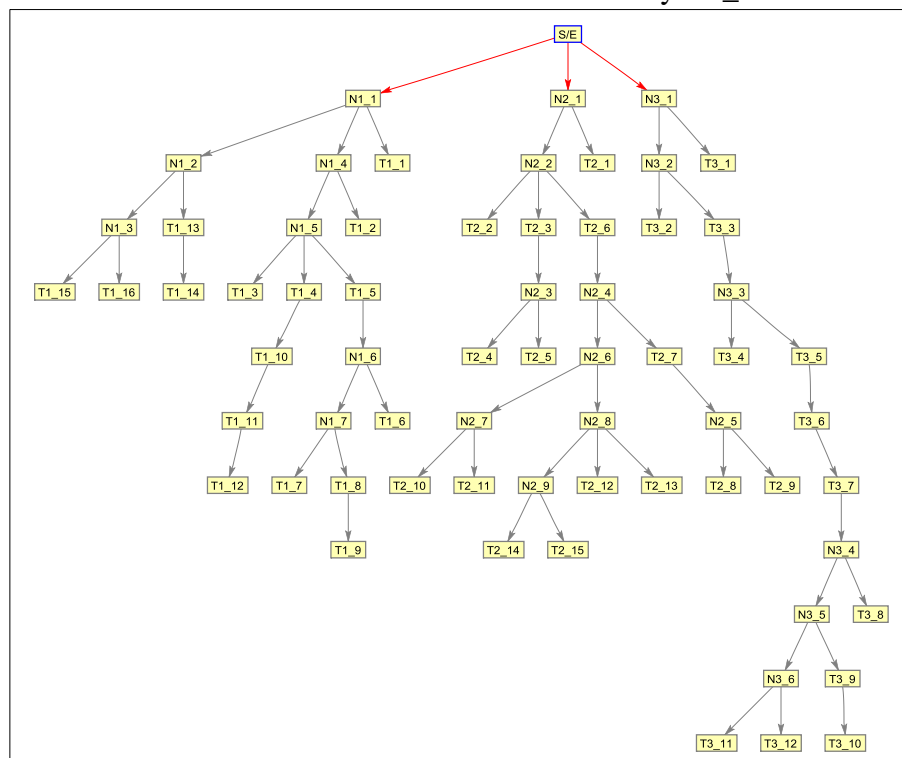


Figura 7. Topología de la Red, con influencia de un Desastre Natural sobre los Alimentadores (Escenario 1).

Estos segmentos al permanecer fuera de servicio provocan una desconexión de la red principal, quedando de esta manera separadas las zonas que no sufrieron ningún tipo de desconexión, estas zonas son:

- Zona 1: Segmento comprendido entre los nodos N1_1 hasta el final de circuito de la red.

- Zona 2: Segmento comprendido entre los nodos N2_1 hasta el final de circuito de la red.
- Zona 3: Segmento comprendido entre los nodos N3_1 hasta el final de circuito de la red.

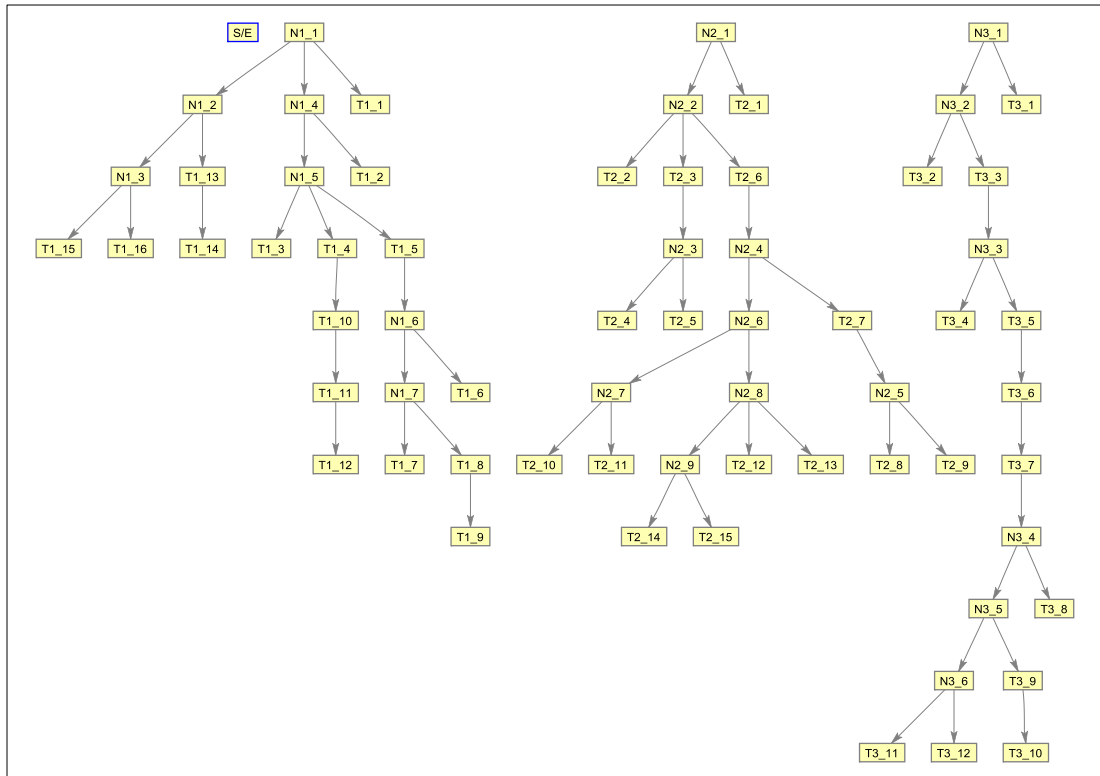


Figura 8. Topología de la Red de Zonas Desconectadas por afectación del Desastre Natural en el Escenario 1.

Una vez determinados cada una de las zonas como se muestra en la Figura 8 se visualiza la topología nueva de la red que resulto tras la simulación en Matlab por medio del respectivo algoritmo. A su vez, en la Figura 12 se incorpora los GE, ya una vez realizado el algoritmo para ubicarlos en el lugar más correcto tomando en cuenta los valores de las pérdidas de cada uno de ellos analizados, así como también en cada punto de la red que se encuentra aislada.

Los valores de las pérdidas son la suma de en cada uno de los elementos que conformen esta zona de red aislada por cada GE incorporado en distintos

puntos de la red, de esta manera se considera más óptima la incorporación de los GE que presenten menores pérdidas considerando los parámetros pertinentes como se aprecia en las Figuras 9, 10 y 11.

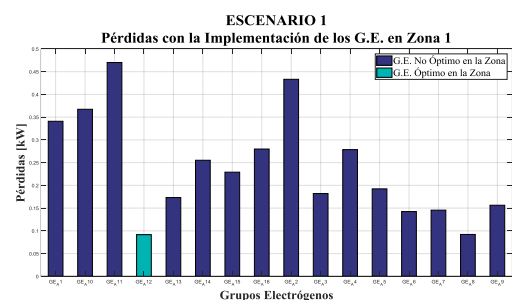


Figura 9. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 1 en el Escenario 1.

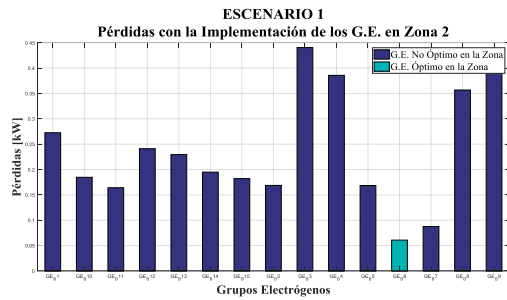


Figura 10. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 2 en el Escenario 1.

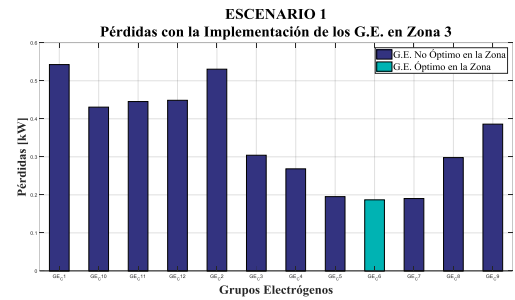


Figura 11. Grupo Electrógeno Óptimo para la Zona 3 en el Escenario 1.

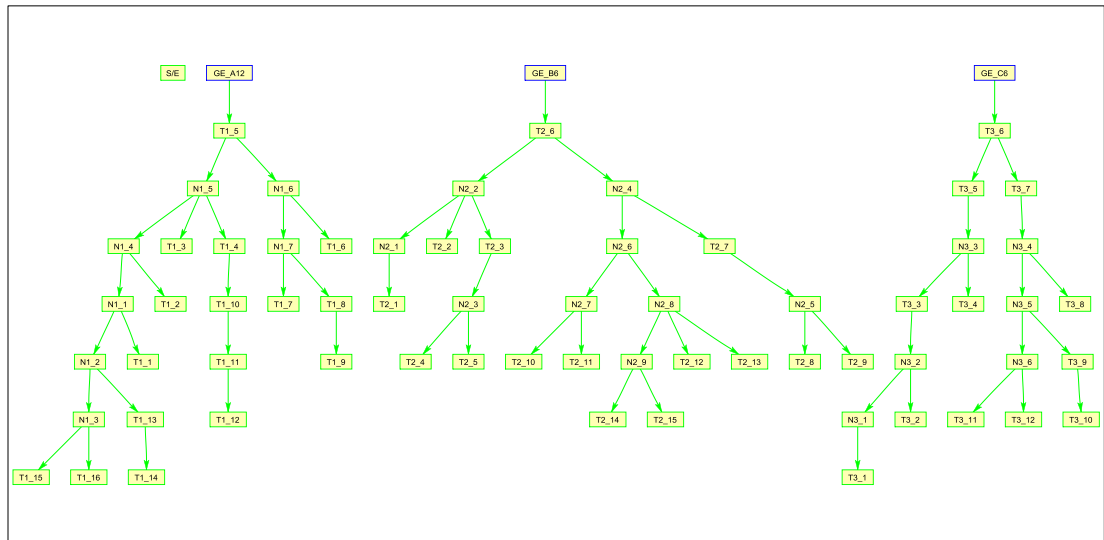


Figura 12. Topología con la incorporación de Grupos Electrógenos obtenida en Matlab para el Escenario 1.

3.1.3. Escenario 2, cuando los ramales secundarios son afectados por un desastre natural.

Para el segundo escenario el cual se representa en la red de distribución en

medio voltaje al suscitarse un evento de desastre natural teniendo como zona principal de afectación los ramales secundarios que conforman la red de distribución, tal como se aprecia en la Figura 13.

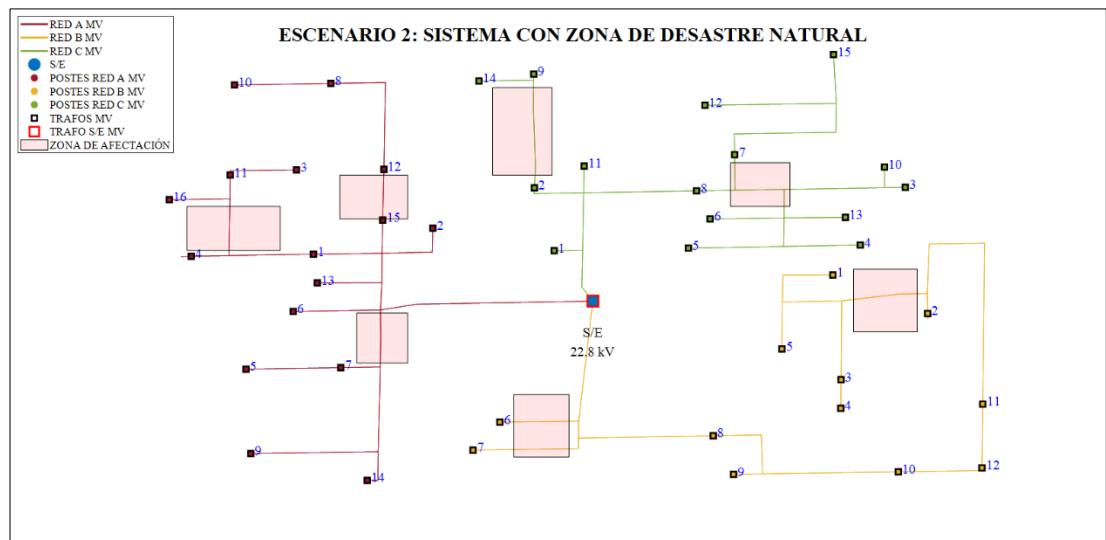


Figura 13. Red de distribución en Medio Voltaje con influencia de un Desastre Natural (Escenario 2).

Las líneas que quedan fuera de servicio son:

- Línea 1: Segmento comprendido entre los nodos N1_1 y N1_2.
- Línea 2: Segmento comprendido entre los nodos T1_4 y T1_10.
- Línea 3: Segmento comprendido entre los nodos N1_6 y N1_7.
- Línea 4: Segmento comprendido entre los nodos T2_3 y N2_3.

- Línea 5: Segmento comprendido entre los nodos N2_6 y N2_8.
- Línea 6: Segmento comprendido entre los nodos N2_4 y T2_7.
- Línea 7: Segmento comprendido entre los nodos N3_1 y T3_1.
- Línea 8: Segmento comprendido entre los nodos N3_2 y T3_2.
- Línea 9: Segmento comprendido entre los nodos N3_4 y N3_5.

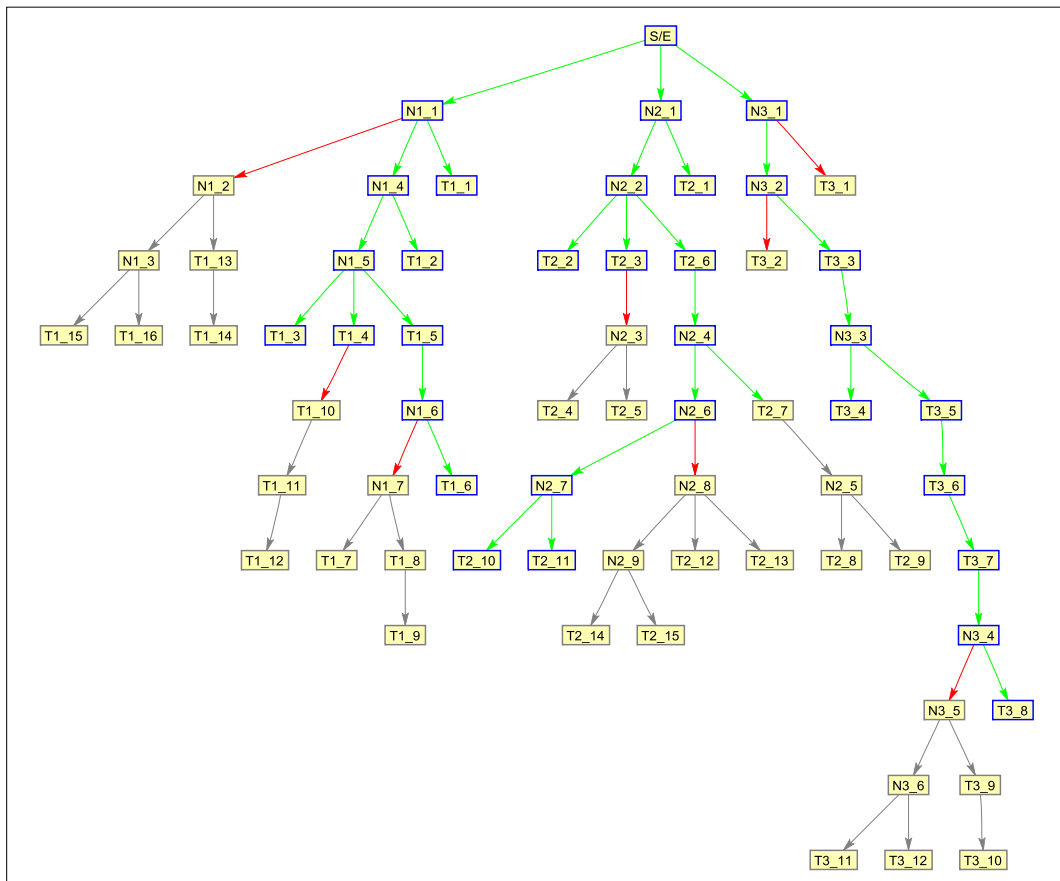


Figura 14. Topología de la Red, con influencia de un Desastre Natural sobre los Alimentadores (Escenario 2).

Estos segmentos que permanecen en estado de fuera de servicio provocan una desconexión de la red principal, quedando de esta manera separadas las zonas que no sufrieron ningún tipo de desconexión, estas zonas son:

- Zona 1: Segmento comprendido entre los nodos

N1_2, N1_3, T1_14, T1_15 y T1_16.

- Zona 2: Segmento comprendido entre los nodos N1_7, T1_7, T1_8 y T1_9.
- Zona 3: Segmento comprendido entre los nodos T1_10, T1_11 y T1_12.

- Zona 4: Segmento comprendido entre los nodos N2_3, T2_4 y T2_5.
- Zona 5: Segmento comprendido entre los nodos N2_5, T2_7, T2_8 y T2_9.
- Zona 6: Segmento comprendido entre los nodos N2_8, N2_9, T2_12, T2_13, T2_14 y T2_15.
- Zona 7: Segmento comprendido entre los nodos N3_5, N3_6, T3_9, T3_10, T3_11, T3_12.
- Zona 8: Conexión directa a Punto de Transformación T3_1.
- Zona 9: Conexión directa a Punto de Transformación T3_2.

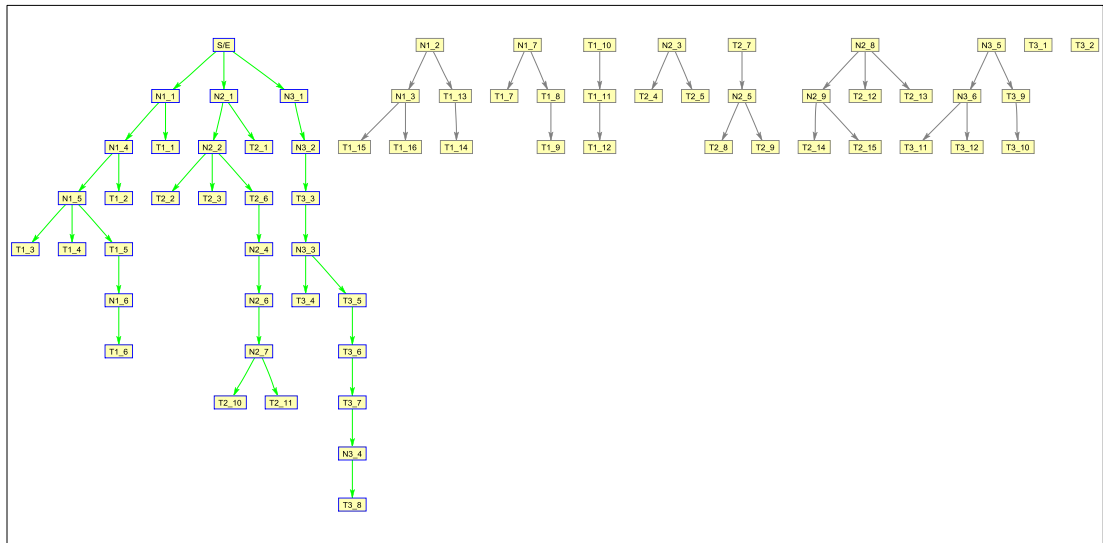


Figura 15. Topología de la Red de Zonas Desconectadas por afectación del Desastre Natural en el Escenario 2.

Los valores de las pérdidas son la suma de en cada uno de los elementos que conformen esta zona de red aislada por cada GE incorporado en distintos puntos de la red, de esta manera se considera el grupo electrógeno que al incorporarse presente menores pérdidas considerando los parámetros pertinentes como se aprecia en las Figuras 16 a la 24.

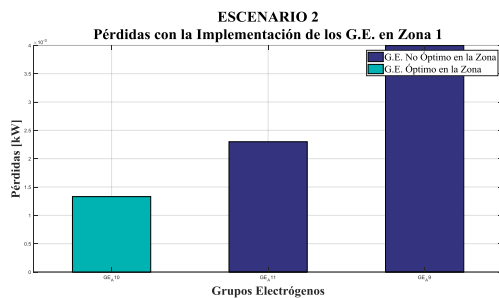


Figura 16. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 1 en el Escenario 2.

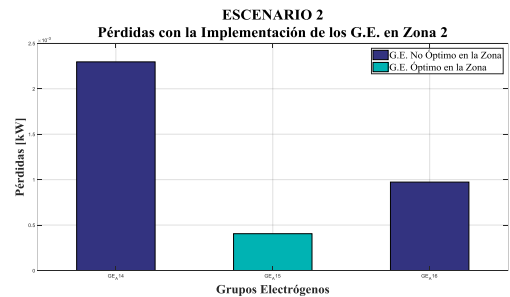


Figura 17. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 2 en el Escenario 2.

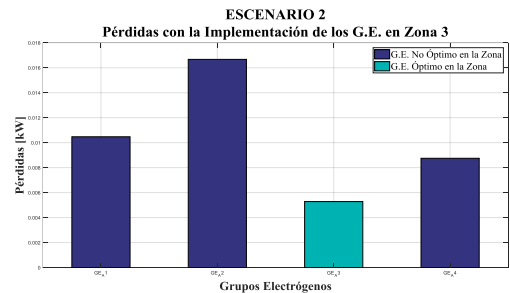


Figura 18. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 3 en el Escenario 2.

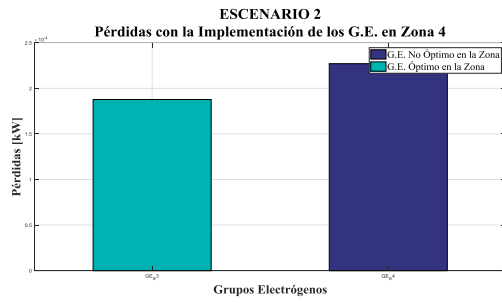


Figura 19. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 4 en el Escenario 2.

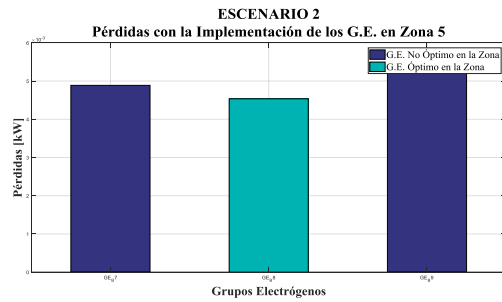


Figura 20. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 5 en el Escenario 2.

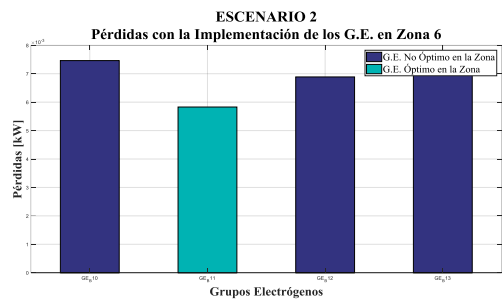


Figura 21. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 6 en el Escenario 2.

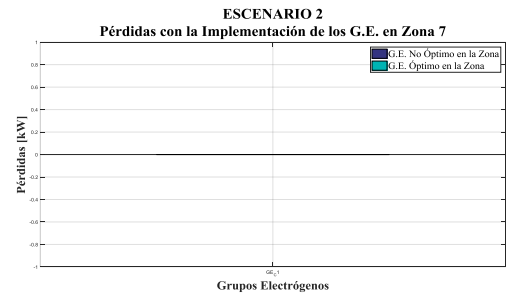


Figura 22. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 7 en el Escenario 2.



Figura 23. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 8 en el Escenario 2.

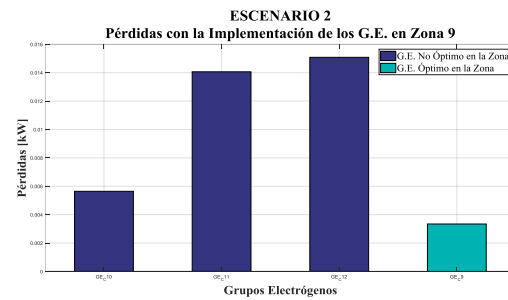


Figura 24. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 9 en el Escenario 2.

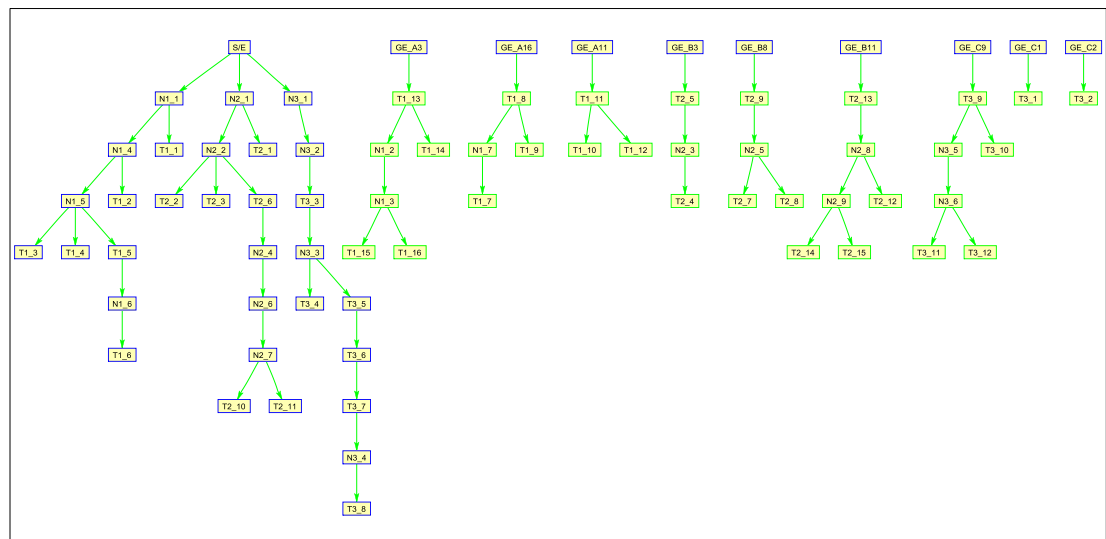


Figura 25. Topología con incorporación de Grupos Electrónicos obtenida en Matlab para el Escenario 2

Una vez determinados cada uno de las zonas como se muestra en la Figura 15 se establece la red con una topología

nueva que por medio del algoritmo en Matlab se logró establecer. Se aprecia en la Figura 25 la incorporación de GE,

ya una vez realizado el algoritmo para ubicarlos en el lugar óptimo tomando en cuenta los valores de las pérdidas de cada uno de los GE analizados en cada punto de la red que se encuentra aislada.

3.1.4. Escenario 3, cuando un el desastre natural afecta a la red en distintos puntos cercanos a la red y distantes la red.

Para el tercer escenario donde se presenta a la red de distribución en medio voltaje y suscitarse un evento de

desastre natural teniendo como zona principal de afectación las zonas cercanas y distantes a la red principal de distribución, como se puede apreciar en la Figura 26.

Las líneas que quedan fuera de servicio son:

- Línea 1: Segmento comprendido entre los nodos N1_5 y T1_5.
- Línea 2: Segmento comprendido entre los nodos N2_4 y N2_6.

Línea 3: Segmento comprendido entre los nodos T3_7 y N3_4.

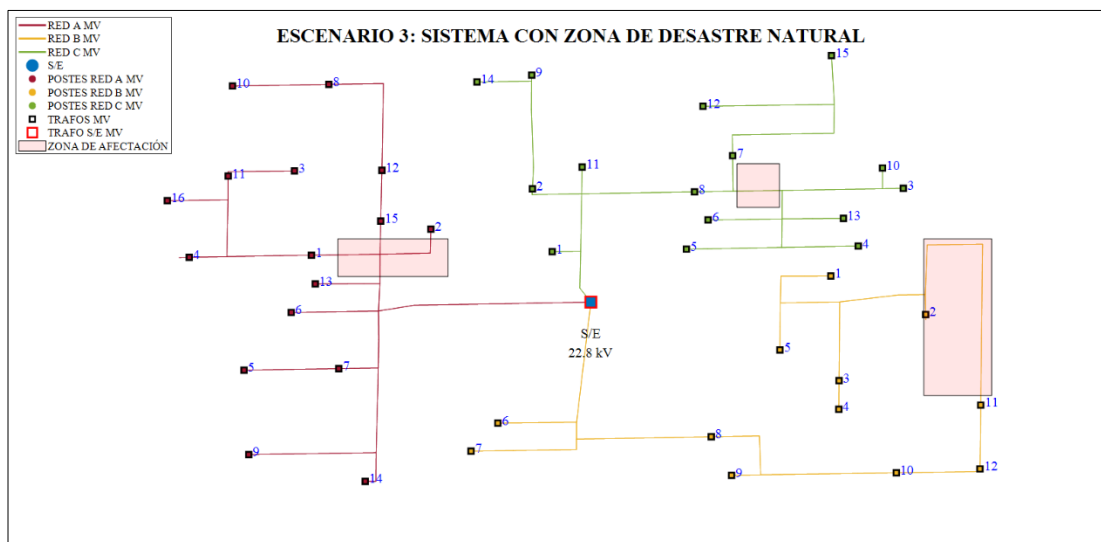


Figura 26. Red de Distribución en Medio Voltaje con influencia de un Desastre Natural (Escenario 3).

Estos segmentos que permanecen en estado de fuera de servicio provocan una desconexión de la red principal, quedando de esta manera separadas las zonas que no sufrieron ningún tipo de desconexión, estas zonas son:

- Zona 1: Segmento comprendido entre los nodos N1_6, N1_7, T1_5, T1_6, T1_7, T1_8 y T1_9.

- Zona 2: Segmento comprendido entre los nodos N2_6, N2_7, N2_8, N2_9, T2_10, T2_11, T2_12, T2_13, T2_14 y T2_15.
- Zona 3: Segmento comprendido entre los nodos N3_4, N3_5, N3_6, T3_8, T3_9, T3_10, T3_11 y T3_12.

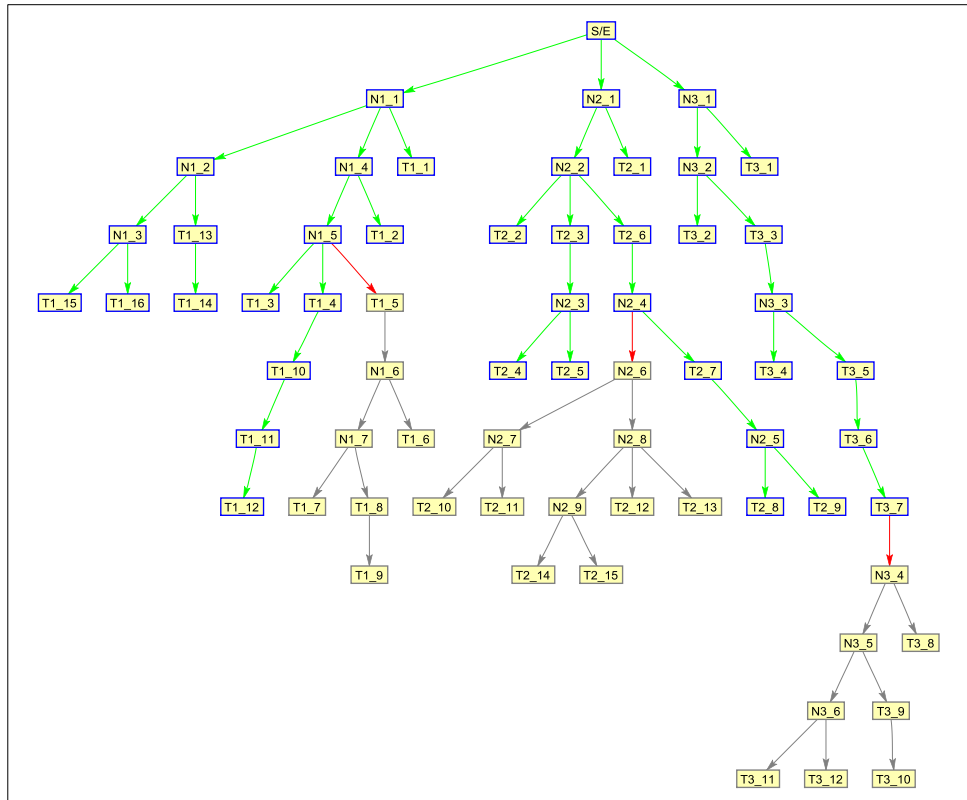


Figura 27. Topología de la Red, con influencia Desastre Natural sobre los Alimentadores (Escenario 3).

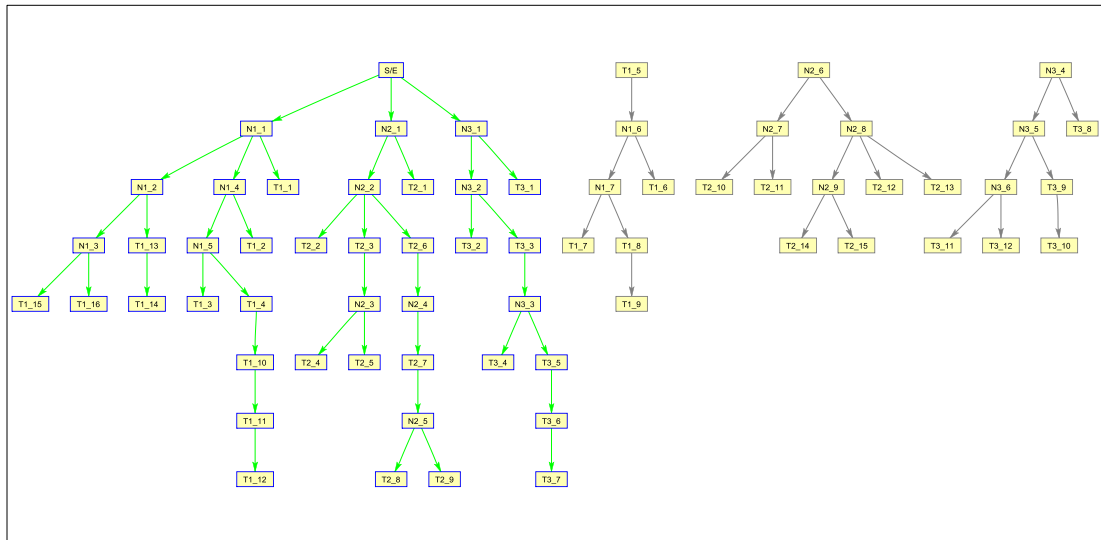


Figura 28. Topología de la Red de Zonas Desconectadas por afectación del Desastre Natural en el Escenario 3.

Los valores de las pérdidas son la suma de en cada uno de los elementos que conformen esta zona de red aislada por cada GE incorporado en distintos puntos de la red, de esta manera se considera el grupo electrógeno que al incorporarse presente menores pérdidas considerando los parámetros pertinentes como se aprecia en las Figuras 29, 30 y 31.

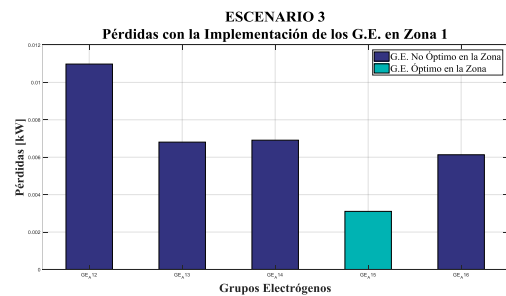


Figura 29. Grupo Electrónico Óptimo para la Zona 1 en el Escenario 3.

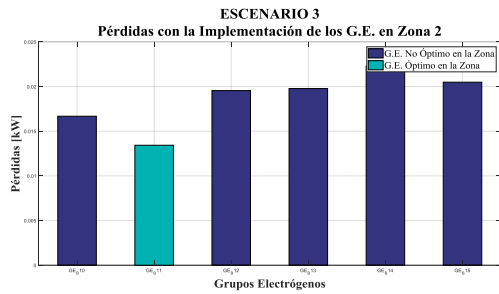


Figura 30. Grupo Electr6geno 6ptimo para la Zona 2 en el Escenario 3.

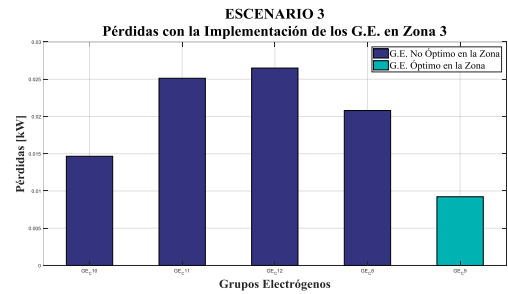


Figura 31. Grupo Electr6geno 6ptimo para la Zona 3 en el Escenario 3.

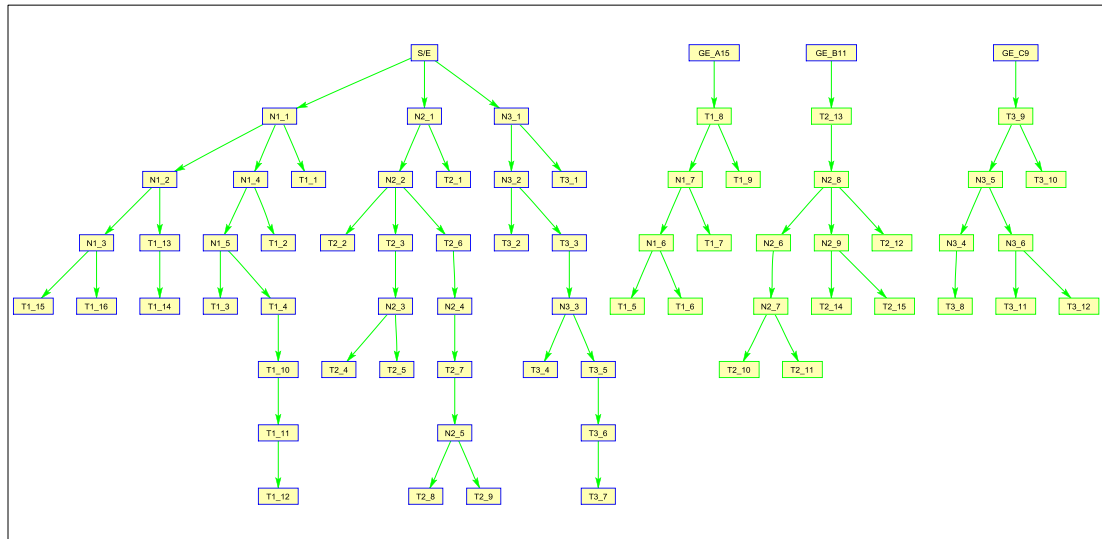


Figura 32. Topologí con incorporaci6n de Grupos Electr6genos obtenida en Matlab para el Escenario 3

Una vez determinados cada uno de las zonas como se muestra en la Figura 28 se aprecia la topologí nueva de la red que resultado tras ejecutar el algoritmo de Matlab. Se aprecia en la Figura 32 la incorporaci6n de GE, ya una vez realizado el algoritmo para ubicarlos en el lugar 6ptimo tomando en cuenta los valores de las p6rdidas de cada uno de los GE analizados en cada punto de la red que se encuentra aislada.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se presenta en los siguientes resultados a trav6s de minimizar caídas de voltaje y p6rdidas en potencia en las líneas de distribuci6n con el ingreso de GE donde se establece que en la ubicaci6n m6s adecuada resulta ser donde el GE correcto presenta menores p6rdidas como se muestran en las

Tablas 5, 6 y 7; considerando las cargas correspondientes para cada zona como se muestran en las Tablas por tanto la correcta selecci6n en la ubicaci6n m6s 6ptima planteada como se muestra en las Figuras 12, 25 y 32.

Teniendo en cuenta los datos resultantes para cada zona que corresponden al Escenario 1.

Tabla 5: Implementaci6n de Grupos Electr6genos en el Escenario 1

Grupo Electr6geno	P6rdidas [kW]	Caída de Voltaje [%]	Caída de Voltaje [kV]
Escenario 1			
Zona 1			
'GE_A1'	0,3409	18%	0.0421
'GE_A10'	0,3673	21%	0.0477
'GE_A11'	0,4701	27%	0.0612
'GE_A12'	0,0916	4%	0.0101
'GE_A13'	0,1732	9%	0.0201
'GE_A14'	0,2552	13%	0.0307

Grupo Electrónico	Perdidas [kW]	Caída de Voltaje [%]	Caída de Voltaje [kV]
'GE_A15'	0,2290	12%	0.0277
'GE_A16'	0,2799	15%	0.0344
'GE_A2'	0,4332	24%	0.0538
'GE_A3'	0,1820	10%	0.0219
'GE_A4'	0,2786	15%	0.0351
'GE_A5'	0,1923	10%	0.0226
'GE_A6'	0,1424	7%	0.0162
'GE_A7'	0,1455	7%	0.0167
'GE_A8'	0,0921	5%	0.0106
'GE_A9'	0,1563	9%	0.0194
Escenario 1			
Zona 2			
'GE_B1'	0,2725	15%	0.0338
'GE_B10'	0,1846	10%	0.0233
'GE_B11'	0,1640	9%	0.0207
'GE_B12'	0,2410	14%	0.0313
'GE_B13'	0,2294	13%	0.0293
'GE_B14'	0,1948	11%	0.0241
'GE_B15'	0,1820	10%	0.0224
'GE_B2'	0,1686	9%	0.0211
'GE_B3'	0,4405	24%	0.0547
'GE_B4'	0,3857	21%	0.0475
'GE_B5'	0,1684	9%	0.0212
'GE_B6'	0,06075	3%	0.007
'GE_B7'	0,08741	5%	0.0108
'GE_B8'	0,3568	21%	0.0471
'GE_B9'	0,3944	22%	0.0511
Escenario 1			
Zona 3			
'GE_C1'	0,5426	24%	0.0555
'GE_C10'	0,4307	19%	0.0422
'GE_C11'	0,4454	18%	0.0411
'GE_C12'	0,4487	18%	0.0413
'GE_C2'	0,5305	24%	0.0542
'GE_C3'	0,3042	14%	0.0308
'GE_C4'	0,2684	12%	0.0271
'GE_C5'	0,1953	9%	0.0203
'GE_C6'	0,1869	8%	0.0189
'GE_C7'	0,1903	8%	0.0189
'GE_C8'	0,2980	12%	0.027
'GE_C9'	0,3860	16%	0.0374

Donde teniendo en cuenta los resultados arrojados los GE más adecuados para este Escenario resulta ser el GE_A12, GE_B6 y GE_C6;

mismos que devolverán el suministro eléctrico ante la contingencia de desastre natural.

Para el escenario 2 la correcta selección en la ubicación más óptima plateada resulta decir que son los GE como se aprecia a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6: Implementación de Grupos Electrónicos en el Escenario 2

Grupo Electrónico	Perdidas [kW]	Caída de Voltaje [%]	Caída de Voltaje [kV]
Escenario 2			
Zona 1			
'GE_A10'	0,00133	0.04%	0.000087
'GE_A11'	0,002299	0.10%	0.000228
'GE_A9'	0,003996	0.08%	0.000174
Escenario 2			
Zona 2			
'GE_A14'	0,002296	0.08%	0.000177
'GE_A15'	0,000405	0.01%	0.000017
'GE_A16'	0,000973	0.06%	0.000135
Escenario 2			
Zona 3			
'GE_A1'	0,01047	0.42%	0.00097
'GE_A2'	0,01667	0.73%	0.00166
'GE_A3'	0,005281	0.17%	0.00039
'GE_A4'	0,008748	0.45%	0.00102
Escenario 2			
Zona 4			
'GE_B3'	0,0001877	0.02%	0.000039
'GE_B4'	0,000227	0.05%	0.000106
Escenario 2			
Zona 5			
'GE_B7'	0,004887	0.16%	0.000366
'GE_B8'	0,004536	0.19%	0.000436
'GE_B9'	0,00575	0.16%	0.000367
Escenario 2			
Zona 6			
'GE_B10'	0,007462	0.30%	0.00069
'GE_B11'	0,005829	0.23%	0.00053
'GE_B12'	0,006887	0.35%	0.000787
'GE_B13'	0,007702	0.33%	0.00075
Escenario 2			
Zona 7			
'GE_C1'	0	0.00%	0
Zona 8			
'GE_C2'	0	0.00%	0
Escenario 2			
Zona 9			

Grupo Electrónico	Perdidas [kW]	Caída de Voltaje [%]	Caída de Voltaje [kV]
'GE_C10'	0,005643	0.38%	0.000864
'GE_C11'	0,01406	0.38%	0.000865
'GE_C12'	0,01508	0.40%	0.00091
'GE_C9'	0,00334	0.23%	0.000512

Donde teniendo en cuenta los resultados arrojados los GE más adecuados para este Escenario son GA_11, GE_A16, GE_A3, GE_B3, GE_B8, GE_B11, GE_C1, GE_C2 y GE_C9; mismos que devolverán el suministro eléctrico ante la contingencia de desastre natural.

En el escenario 3 el resultado de la correcta selección en la ubicación más óptima plateada, resulta decir que son los GE como se aprecia a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7: Implementación de Grupos Electrónicos en el Escenario 3

Grupo Electrónico	Perdidas [kW]	Caída de Voltaje [%]	Caída de Voltaje [kV]
Escenario 3			
Zona 1			
'GE_A12'	0,01098	0.52%	0.001181
'GE_A13'	0,006807	0.28%	0.000645
'GE_A14'	0,006911	0.33%	0.00075
'GE_A15'	0,003105	0.16%	0.00036
'GE_A16'	0,0061315	0.37%	0.000837
Escenario 3			
Zona 2			
'GE_B10'	0,01668	0.92%	0.00209
'GE_B11'	0,01343	0.74%	0.00168

Tabla 8: Selección de Grupos Electrónicos por Capacidades de la Red simulada.

Grupo Electrónico	Capacidad de la Red [MW]	G.E. HMW-1205 T6 MTU Capacidad de 1.09 [MW]	G.E. HTW-1620 T6 MITSUBISHI Capacidad de 1.54 [MW]	G.E. GENESAL ENERGY XL POWER Capacidad de 2.8 [MW]	G.E. HTW-1825 T6 MITSUBISHI Capacidad de 1.81 [MW]	G.E. HTW-2020 T6 MITSUBISHI Capacidad de 1.89 [MW]
Escenario 1						
Zona 1						
'GE_A12'	2.28		✓✓	✓	✓✓	✓✓
Zona 2						

Grupo Electrónico	Perdidas [kW]	Caída de Voltaje [%]	Caída de Voltaje [kV]
'GE_B12'	0,01955	1.22%	0.00279
'GE_B13'	0,01978	1.15%	0.00261
'GE_B14'	0,02229	1.13%	0.00257
'GE_B15'	0,02049	1.02%	0.00233
Escenario 3			
Zona 3			
'GE_C10'	0,01466	0.89%	0.00201
'GE_C11'	0,02513	0.86%	0.00196
'GE_C12'	0,0265	0.89%	0.00203
'GE_C8'	0,0208	0.75%	0.00171
'GE_C9'	0,009225	0.57%	0.00139

Al igual, teniendo en cuenta los resultados arrojados los GE más adecuados para este Escenario resultan ser GE_A15, GE_B11 y GE_C9 para su respectiva zona; mismos que devolverán el suministro eléctrico ante la contingencia de desastre natural.

Para seleccionar los GE dentro de los existentes en el mercado, se toma en consideración parámetros técnicos eléctricos, tanto obtenidos en simulación por software de las capacidades en MW como se muestra en la Tabla 8, realizando una comparativa con los que más se acercan a la necesidad del caso establecido se establece una selección, donde:

- ✓: Grupo Electrónico idóneo para conectarse a la red.
- ✓✓: Grupos Electrónicos en Paralelo idóneos para conectarse a la red.

Grupo Electrónico	Capacidad de la Red [MW]	G.E. HMW-1205 T6 MTU Capacidad de 1.09 [MW]	G.E. HTW-1620 T6 MITSUBISHI Capacidad de 1.54 [MW]	G.E. GENESAL ENERGY XL POWER Capacidad de 2.8 [MW]	G.E. HTW-1825 T6 MITSUBISHI Capacidad de 1.81 [MW]	G.E. HTW-2020 T6 MITSUBISHI Capacidad de 1.89 [MW]
GE_B6'	2.32		✓✓	✓	✓✓	✓✓
Zona 3						
GE_C6'	2.19		✓✓	✓	✓✓	✓✓
Escenario 2						
Zona 1						
GE_A3'	0.64	✓	✓		✓	
Zona 2						
GE_A16'	0.42	✓	✓		✓	
Zona 3						
GE_A11'	0.39	✓	✓		✓	
Zona 4						
GE_B3'	0.21	✓	✓		✓	
Zona 5						
GE_B8'	0.49	✓	✓		✓	
Zona 6						
GE_B11	0.64	✓	✓		✓	
Zona 7						
GE_C9	0.68	✓	✓		✓	
Zona 8						
GE_C1	0.2	✓	✓		✓	
Zona 9						
GE_C2	0.18	✓	✓		✓	
Escenario 3						
Zona 1						
'GE_A15'	0.69	✓	✓		✓	
Zona 2						
'GE_B11'	0.91		✓		✓	✓
Zona 3						
'GE_C9'	0.91		✓		✓	✓

5. CONCLUSIONES

El algoritmo propuesto corresponde a un problema que suele suscitarse por efecto de un desastre natural en la red de distribución de medio voltaje como lo es en la infraestructura de los componentes de la red, el cual calcula los parámetros para la ubicación más óptima de los grupos electrógenos bajo las consideraciones de pérdidas que se generan en las líneas para cada caso de estudio, de esta forma garantizar una red que pese a estar sin suministro eléctrico vuelva a estar en servicio por

medio de la conexión de los grupos electrógenos de manera rápida y segura, por lo tanto bajo este contexto y considerando los resultados entregados en cada uno de los escenarios, se concluye que el objetivo planteado en un principio es cumplido con el algoritmo desarrollado.

El algoritmo que fue planteado posee una gran permisividad dentro de los cálculos exigidos, ya que este evalúa distintos tipos de escenarios que se pueden presentar en la red de distribución de medio voltaje, como

también los parámetros para seleccionar el GE de forma más precisa y mantener la red energizada, debido a que estos no alteran radicalmente a la topología de la red ya que se adicionan a la misma, solamente se genera un cambio en el sentido de la dirección de como fluye la electricidad, aspecto que debería ser considerado con más profundidad y detalle en posteriores estudios donde se deba considerar el sentido de flujo de corriente, pero lo que al presente estudio refiere, no afecta al sistema de distribución que quedo aislado luego de suscitarse el desastre natural.

Cuando una red de distribución en medio voltaje donde su principal elemento es la línea, esta se encuentra expuesta a un evento catastrófico en la condición física como daños de diferente tipo: Rupturas, Cortes, daños en la infraestructura que sostiene a las líneas; causando un efecto muy importante y problemático que es el dejar sin suministro energético a una o varias zonas y usuarios para el cual estén comprendidos, por tal razón de este estudio el beneficio que obtiene es la pronta re energización en la red de distribución de medio voltaje tomando en cuenta una correcta selección de GE, además del lugar adecuado de la red donde se conectaran estos con calidad y eficiencia por lo cual se puede reestablecer el suministro eléctrico en la red donde se suscitó el desastre natural y a la vez priorizando el tiempo de vida útil por su correcto funcionamiento de los GE.

Los GE, que convenientemente se encuentren ubicados en distintos puntos cumpliendo la función de generación distribuida, mismos que desempeñan una trascendental acción en la búsqueda de soluciones para el suministro eléctrico con criterios de calidad y eficiencia, inclusive operando como sistemas de emergencia.

De semejante forma, la elección de utilizar los GE como un elemento primordial en la red eléctrica y como alternativa para reestablecer el suministro de energía ya sea para contrarrestar los efectos causados por los desastres naturales o de presentarse el caso de una emergencia; hacen de estos una alternativa rentable ya que se garantiza mantener un suministro de energía hasta proporcionar la asistencia para la reparación de la red en la zona afectada por un desastre natural.

6. REFERENCIAS

- [1] A. Al-Sabounchi, J. Gow, and M. Al-Akaidi, "Simple procedure for optimal sizing and location of a single photovoltaic generator on radial distribution feeder," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 8, no. 2, pp. 160–170, 2014.
- [2] M. S. Mohammadi, E. Dutkiewicz, Q. Zhang, and X. Huang, "Optimal energy efficiency link adaptation in IEEE 802.15.6 IR-UWB body area networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 12, pp. 2193–2196, 2014.
- [3] G. H. Reddy, P. Chakrapani, A. K. Goswami, and N. B. D. Choudhury, "Fuzzy Based Approach for Restoration of Distribution System during Post Natural Disasters," *IEEE Access*, vol. 6, no. c, pp. 3448–3458, 2017.
- [4] M. Kumawat, N. Gupta, N. Jain, and R. C. Bansal, "Optimally Allocation of Distributed Generators in Three-Phase Unbalanced Distribution Network," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 749–754, 2017.
- [5] Y. Qiang, G. Tian, Y. Liu, and Z. Li, "SPECIAL SECTION ON MULTIMEDIA ANALYSIS FOR INTERNET-OF-THINGS

- Energy-Efficiency Models of Sustainable Urban Transportation Structure Optimization,” vol. 6, 2018.
- [6] W. Gao, R. Zhou, and D. Zhao, “Heuristic failure prediction model of transmission line under natural disasters,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 11, no. 4, pp. 935–942, 2017.
- [7] D. Alem, A. Clark, and A. Moreno, “Stochastic network models for logistics planning in disaster relief,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 255, no. 1, pp. 187–206, 2016.
- [8] B. Li, R. Roche, D. Paire, and A. Miraoui, “Optimal sizing of distributed generation in gas/electricity/heat supply networks,” *Energy*, vol. 151, pp. 675–688, 2018.
- [9] C. Chen, J. Wang, F. Qiu, and D. Zhao, “Resilient Distribution System by Microgrids Formation after Natural Disasters,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 2, pp. 958–966, 2016.
- [10] R. Ramírez, A. S. Gutiérrez, J. J. Cabello Eras, K. Valencia, B. Hernández, and J. Duarte Forero, “Evaluation of the energy recovery potential of thermoelectric generators in diesel engines,” *J. Clean. Prod.*, vol. 241, 2019.
- [11] A. Parajuli, O. Kuzgunkaya, and N. Vidyarthi, “Responsive contingency planning of capacitated supply networks under disruption risks,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 102, pp. 13–37, 2017.
- [12] M. J. Rider, J. M. López-Lezama, J. Contreras, and A. Padilha-Feltrin, “Bilevel approach for optimal location and contract pricing of distributed generation in radial distribution systems using mixed-integer linear programming,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 7, no. 7, pp. 724–734, 2013.
- [13] R. Schiavina, “What to Do After the Storm: Maintenance and Restoration Planning for Natural Disaster Recovery,” *Italoamericana Lit. Gt. Migr. 1880-1943*, no. July 2016, pp. 758–763, 2014.
- [14] H. B. Flores, J. C. Cepeda, and C. F. Gallardo, “Optimum location and tuning of PSS devices considering multi-machine criteria and a heuristic optimization algorithm,” *2017 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. - Lat. Am. ISGT Lat. Am. 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2017.
- [15] N. D. J. O. Palacio and V. H. Bedoya, “Loading procedure to transfer an electrical network data base from DIGSILENT PowerFactory to CAPE,” *2010 IEEE ANDESCON Conf. Proceedings, ANDESCON 2010*, 2010.
- [16] A. Parizad, “Dynamic stability Analysis for damavand power plant considering PMS functions by DIGSILENT software,” *2013 13th Int. Conf. Environ. Electr. Eng. IEEEIC 2013 - Conf. Proc.*, pp. 145–155, 2013.
- [17] J. Galan-Jimenez and A. Gazo-Cervero, “ELEE: Energy levels-energy efficiency tradeoff in wired communication networks,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 1, pp. 166–168, 2013.
- [18] J. Dong *et al.*, “Battery and Backup Generator Sizing for a Resilient Microgrid under Stochastic Extreme Events,” pp. 2–12, 2018.
- [19] D. Khan, M. Rafiq, S. F.

- Rafique, I. Khan, and F. Abbas, "Comparison of transmission losses and voltage drops of GIL(Gas Insulated transmission line) and overhead transmission lines," *16th Int. Power Electron. Motion Control Conf. Expo. PEMC 2014*, pp. 1151–1153, 2014.
- [20] O. A. Zongo and A. Oonsivilai, "Optimal placement of distributed generator for power loss minimization and voltage stability improvement," *Energy Procedia*, vol. 138, pp. 134–139, 2017.
- [21] M.Maksic and I.Papic, "Analysis of Flicker Propagation With Representative Samples of Network Voltage," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, no. 3, pp. 2066–2067, 2011.
- [22] M. Maksić, I. Papič, and B. Blažič, "Simple Continuous Assessment of Transmission-Network Flicker Levels Caused by Multiple Sources," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 31, no. 6, pp. 2546–2552, 2016.
- [23] B. Taheri, A. Safdarian, M. Moeini-Aghaie, and M. Lehtonen, "Enhancing resilience level of power distribution systems using proactive operational actions," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 137378–137389, 2019.
- [24] K. Sandhya, T. Ghose, and D. Kumar, "Micro-grid formation for resilient power distribution system incorporating distributed generations," *2017 Innov. Power Adv. Comput. Technol. i-PACT 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2017.
- [25] K. Sandhya, T. Ghose, D. Kumar, and K. Chatterjee, "PN Inference Based Autonomous Sequential Restoration of Distribution System Under Natural Disaster," *IEEE Syst. J.*, pp. 1–12, 2020.
- [26] M. Nasiri, B. Faridpak, M. Farrokhifar, and A. Alahyari, "Optimal Capacitor Allocation in Sub-Transmission Networks to Mitigate Overloading Considering Harmonic Resonance," *Proc. 2nd 2020 Int. Youth Conf. Radio Electron. Electr. Power Eng. REEPE 2020*, pp. 5–8, 2020.
- [27] V. G. Cerf, "Natural disasters and electric infrastructure," *IEEE Internet Comput.*, vol. 15, no. 6, pp. 104–105, 2011.
- [28] A. Masaracchia, L. D. Nguyen, T. Q. Duong, and M. N. Nguyen, "An energy-efficient clustering and routing framework for disaster relief network," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 56520–56532, 2019.
- [29] F. Yang, W. Xu, Z. Zhang, L. Guo, and J. Lin, "Energy Efficiency Maximization for Relay-Assisted WPCN: Joint Time Duration and Power Allocation," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 78297–78307, 2018.
- [30] A. Izaddoost and S. S. Heydari, "Risk-adaptive strategic network protection in disaster scenarios," *J. Commun. Networks*, vol. 19, no. 5, pp. 509–520, 2017.
- [31] J. Torres, P. Moreno-Torres, G. Navarro, M. Blanco, and M. Lafoz, "Fast energy storage systems comparison in terms of energy efficiency for a specific application," *IEEE Access*, vol. 6, no. c, pp. 40656–40672, 2018.
- [32] C. I. Committee, *IEEE Recommended Practice for Managing Natural Disaster Impact on Key Electrical Systems and Installations in Petroleum and Chemical*

- Facilities IEEE Industry Applications Society*. 2014.
- [33] G. Wang, C. Meng, W. Heng, and X. Chen, "Secrecy Energy Efficiency Optimization in AN-Aided Distributed Antenna Systems with Energy Harvesting," *IEEE Access*, vol. 6, no. c, pp. 32830–32838, 2018.

6.1. Estado del Arte

Tabla 9: Matriz de Estado del Arte

ÓPTIMA UBICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS ANTE CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES																				
DATOS					TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN		SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	DESASTRES NATURALES EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN	UBICACIÓN ÓPTIMA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS	CÁIDA DE VOLTAJE	REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIO VOLTAJE	MIN DE CAÍDAS DE VOLTAJE	MIN DE PERDIDAS DE POTENCIA	FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA	MÉTODO HEURÍSTICO	CAPACIDAD DE GRUPOS ELECTRÓGENOS	CAPACIDAD EN LAS BARRAS DEL SISTEMA	PERDIDAS DE POTENCIA	CAÍDAS DE VOLTAJE EN LAS LINEAS	GENERACIÓN DISTRIBUIDA	MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN	UBICACIÓN ÓPTIMA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS	SELECCIÓN ÓPTIMA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS
1	2013	Simple procedure for optimal sizing and location of a single photovoltaic generator on radial distribution feeder	Emiratos Árabes Unidos	10	X	X			X	X					X			X	X	X
2	2014	Optimal Energy Efficiency Link Adaptation in IEEE 802.15.6 IR-UWB Body Area Networks	Dinamarca	15		X			X	X	X					X	X	X		
3	2017	Fuzzy Based Approach for Restoration of Distribution System During Post Natural Disasters	India	4	X		X		X			X			X	X	X	X		
4	2017	Optimally Allocation of Distributed Generators in Three-Phase Unbalanced Distribution Network	India	7		X	X	X	X		X		X		X	X	X		X	X
5	2018	Energy-Efficiency Models of Sustainable Urban Transportation Structure Optimization	China	3			X				X	X			X	X	X			
6	2016	Heuristic failure prediction model of transmission line under natural disasters	China	6	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
7	2016	Stochastic network models for logistics planning in disaster relief	Brasil	76	X	X		X			X	X			X		X		X	
8	2018	Optimal sizing of distributed generation in gas/electricity/heat supply networks	Francia	12		X			X	X		X	X		X	X	X			X
9	2015	Resilient Distribution System by Microgrids Formation After Natural Disasters	China	223	X			X				X					X		X	

10	2019	Evaluation of the energy recovery potential of thermoelectric generators in diesel engines	Colombia	4				X		X	X				X	X	X		X			
11	2017	Responsive contingency planning of capacitated supply networks under disruption risks	Canada	4				X	X		X	X		X	X	X	X	X	X			X
12	2013	Bilevel approach for optimal location and contract pricing of distributed generation in radial distribution systems using mixed-integer linear programming	Brasil	9				X			X			X	X	X	X	X				
13	2016	What to Do After the Storm: Maintenance and Restoration Planning for Natural Disaster Recovery	Estados Unidos	1	X			X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
14	2017	Optimum location and tuning of PSS devices considering multi-machine criteria and a heuristic optimization algorithm	Ecuador	1		X	X				X	X	X	X	X	X	X		X	X		
15	2010	Loading procedure to transfer an Electrical Network Data Base from DlgSILENT PowerFactory to CAPE	Colombia	0				X			X	X			X		X	X	X			X
16	2013	Dynamic stability Analysis for damavand power plant considering PMS functions by DIGSILENT software	Irán	8				X		X	X	X		X	X	X	X	X	X			
17	2013	ELEE: Energy Levels-Energy Efficiency Tradeoff in Wired communication Networks	España	4				X	X	X				X		X	X					
18	2018	Battery and Backup Generator Sizing for a Resilient Microgrid under Stochastic Extreme Events	Estados Unidos	7		X		X	X	X					X	X			X	X		
19	2014	Comparison of transmission losses and voltage drops of GIL(Gas Insulated transmission line) and overhead transmission lines	China	2			X		X	X	X		X	X	X	X			X			
20	2017	Optimal placement of distributed generator for power loss minimization and voltage stability improvement	Tailandia	7		X	X	X	X	X	X			X	X	X			X			X
21	2011	Analysis of Flicker Propagation With Representative Samples of Network Voltage	Slovenia	5			X		X			X				X	X					
22	2016	Simple Continuous Assessment of Transmission-Network Flicker Levels Caused by Multiple Sources	Slovenia	7			X	X	X			X				X	X					
23	2019	Enhancing Resilience Level of Power Distribution Systems Using Proactive Operational Actions	Irán	1				X	X	X		X				X	X	X				
24	2017	Micro-grid formation for resilient power distribution system incorporating distributed generations	India	1		X		X	X	X			X	X	X		X	X	X			X
25	2020	PN Inference Based Autonomous Sequential Restoration of Distribution System Under Natural Disaster	India	0	X				X		X				X	X	X					
26	2020	Optimal Capacitor Allocation in Sub-Transmission Networks to Mitigate Overloading Considering Harmonic Resonance	Irán	0		X		X	X	X		X			X		X	X	X	X		X
27	2011	Natural Disasters and Electric Infrastructure	Estados Unidos	0	X	X				X			X	X					X			
28	2019	An Energy-Efficient Clustering and Routing Framework for Disaster Relief Network	Reino Unido	5	X			X	X	X					X	X	X	X	X			X
29	2018	Energy Efficiency Maximization for Relay-Assisted WPCN: Joint Time Duration and Power Allocation	China	3	X		X		X	X	X				X	X			X	X		
30	2017	Risk-Adaptive Strategic Network Protection in Disaster Scenarios	Estados Unidos	1	X						X								X			
31	2018	Fast Energy Storage Systems Comparison in Terms of Energy Efficiency for a Specific Application	España	2		X	X			X	X	X			X	X	X					X
32	2014	IEEE Recommended Practice for Managing Natural Disaster Impact on Key Electrical Systems and Installations in Petroleum and Chemical Facilities	Estados Unidos	0	X	X						X			X		X		X			
33	2018	Secrecy Energy Efficiency Optimization in AN-Aided Distributed Antenna Systems With Energy Harvesting	China	6		X			X	X		X			X		X		X			X

6.2. Resumen de Indicadores

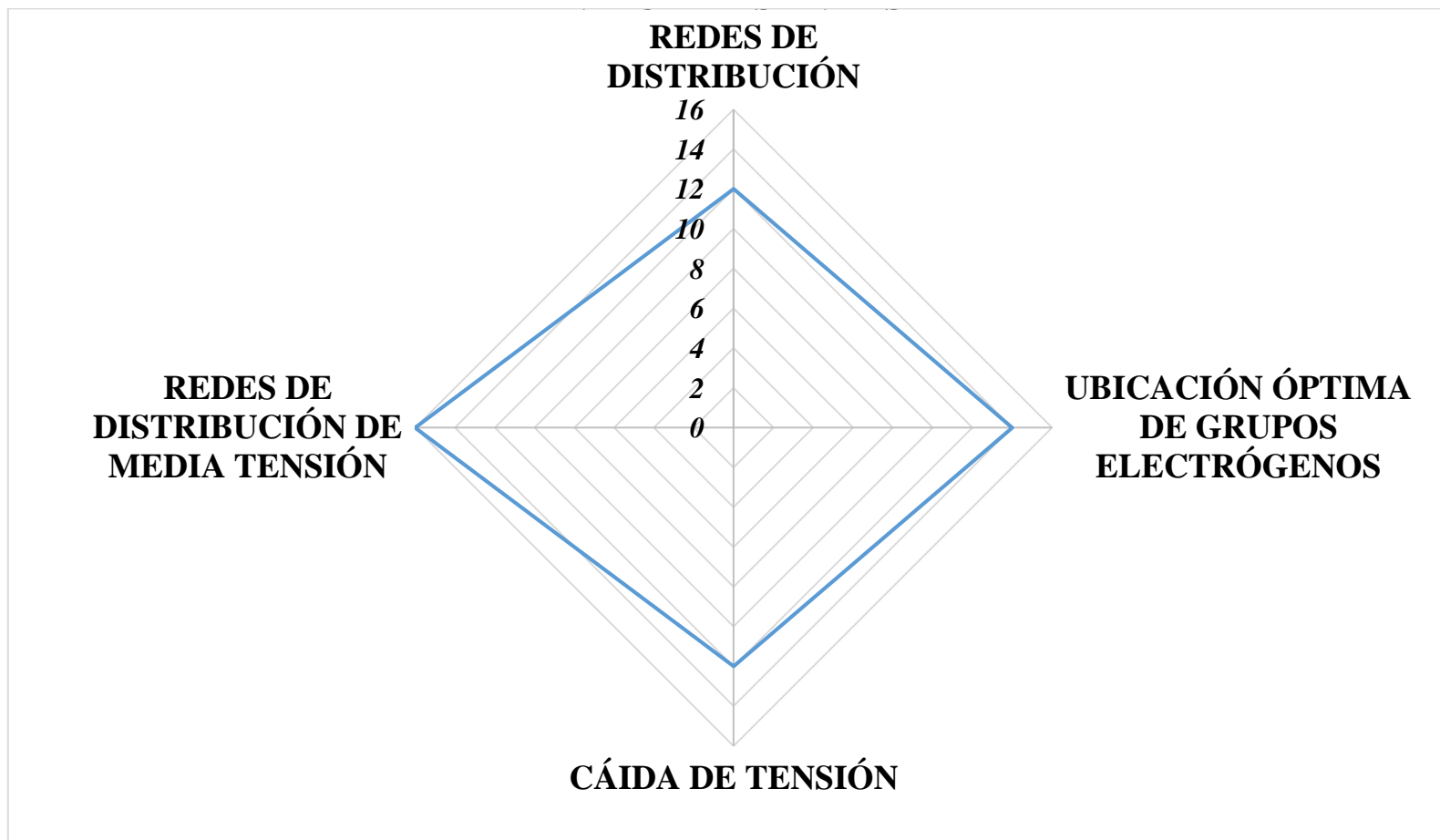


Figura 33. Resumen de Indicador de la Temática - Estado del Arte.

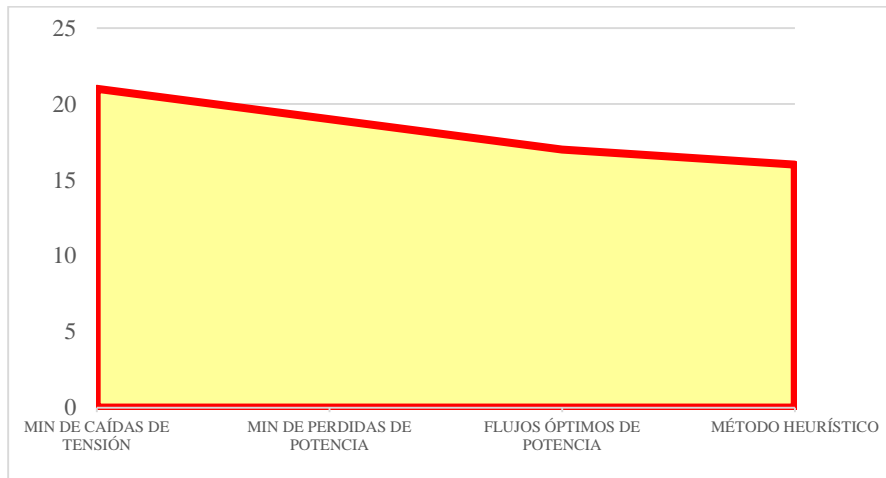


Figura 34. Indicador de Formulación del Problema - Estado del Arte.

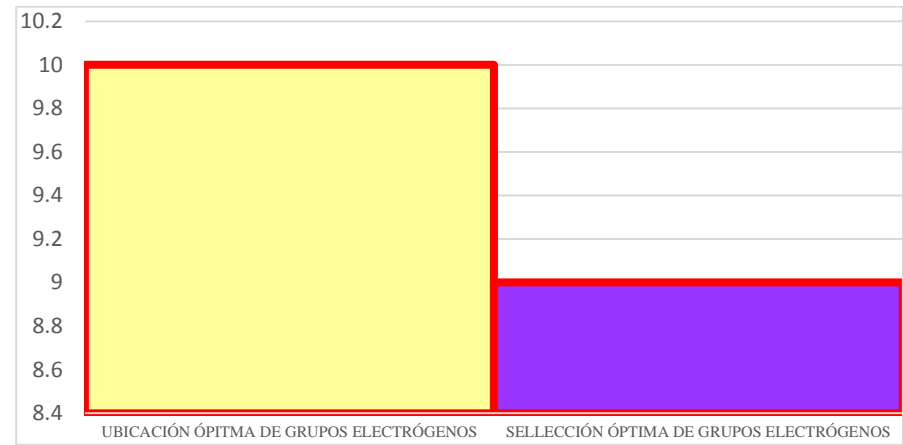


Figura 35. Indicador de Solución - Estado del Arte.