

**“ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA
MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE GAUSS-SEIDEL”**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
“ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELÉCTRICAS DE
DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE
GAUSS-SEIDEL”**

**AUTOR:
HENRY SAÚL GANCINO BUSTILLOS**

**TUTOR:
ING. DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

Quito, noviembre 2020

Henry Saúl Gancino Bustillos

**“ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN
BASADO EN LA MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE GAUSS-SEIDEL”**

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Henry Saúl Gancino Bustillos (Y'1996-J'07). Realizó sus estudios secundarios en el colegio técnico Sucre, se graduó de Bachiller Técnico en Electricidad. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo de investigación se basa en modificar el algoritmo de Gauss-Seidel para que pueda ser utilizado en sistemas de distribución y con ayuda de los resultados del flujo de potencia encontrar el punto crítico en la línea en donde sobrepasado ese punto va a existir una expansión térmica en los conductores.
hgancino@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza (Y'1981-M'12). Se graduó como Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en el año 2010 y en la actualidad está trabajando para lograr su título de doctor en ingeniería de la Universidad Politécnica Bolivariana – Medellín, Colombia. Es profesor e investigador de la Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador. En la actualidad es miembro del grupo de investigación GIREI (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes – Smart Grid Research Group).
dcarrion@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, Diego Francisco Carrión Galarza declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación denominado “*ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION BASADO EN LA MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE GAUSS-SEIDEL*” realizado por Henry Saúl Gancino Bustillos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, noviembre 2020



.....
Diego Francisco Carrión Galarza
Cédula de identidad: 1713703062

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Henry Saúl Gancino Bustillos, con documento de identificación N° 1725114076, 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: *“ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE GAUSS-SEIDEL”*, 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.



.....
Nombre: Henry Saúl Gancino Bustillos

Cédula: 1725114076

Fecha: noviembre 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios quien nunca dejo de bendecirme durante este largo proceso de estudio, con mucho cariño a mis padres, quienes han sido un pilar fundamental en el transcurso de mi vida brindándome su apoyo en todo momento. A mi hermano y a mi cuñada quienes vivieron de cerca todo el proceso para obtener este magnífico logro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme su guía y sus bendiciones durante toda mi vida, a mis padres que siempre creyeron en mí y me dieron todo el apoyo necesario para culminar mis estudios universitarios.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, que me abrió las puertas para forjarme como profesional, a mis amigos con los que viví todo el proceso universitario.

Agradezco a la Empresa Eléctrica Quito, por darme la oportunidad de realizar mis prácticas preprofesionales y despertar mi interés por el área de distribución eléctrica.

Agradezco al Ingeniero Diego Carrión, quien es el tutor del presente artículo, por la apertura para dirigir el trabajo desarrollado.

ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción	2
2.	Gauss-Seidel Para Flujos de Potencia.	4
2.1.	Flujos de Potencia en Redes Radiales.....	5
2.2.	Parámetros de Cargabilidad.	6
2.3.	Expansión térmica en los conductores	8
2.4.	Comportamiento Térmico en los conductores.	9
2.5.	Pandeo en las Líneas	11
3.	Estimación de Conductores en Distribución.....	12
3.1.	Selección de los Conductores Eléctricos.....	12
3.2.	Determinación de la Corriente por un Flujo de Carga.	13
3.3.	Efecto del Exceso de Corriente y Temperatura en los Conductores.....	14
4.	Metodología Para Determinar Flujos en los Sistemas de 13 y 34 nodos.	14
4.1.	Algoritmo Para la Aplicación de Gauss-Seidel en Distribución.	15
4.2.	Verificación de los Resultados por DIgSILENT Power Factory.	16
4.3.	Calibre de Conductores Seleccionados de Acuerdo al Nivel de Corriente.	17
4.4.	Límite de Cargabilidad de los Alimentadores de 13 y 34 Nodos.	18
4.5.	Expansión Térmica del Sistema Alimentador de 13 y 34 Nodos de la IEEE. .	19
5.	Resultados	20
5.1.	Flujo de Potencia.....	20
5.2.	Flujos en DIgSILENT de los Sistemas de 13 y 34 Nodos.	20
5.3.	Punto Crítico Antes de que Exista una Extensión Térmica.	21
6.	Conclusiones	22
7.	Trabajos futuros	23

8.	Referencias	23
8.1.	Matriz de Estado de Arte.....	27
8.2.	Resumen de Indicadores	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de planificación.....	4
Figura 2. Temática de la investigación.....	4
Figura 3. Modelo de impedancias en serie y en derivación.....	4
Figura 4. Topología radial.	6
Figura 5. Perdidas de una red subterránea de distribución.....	7
Figura 6. Perdidas de una red aérea de distribución.....	7
Figura 7. Límite del nivel de sobrecarga SIL.....	7
Figura 8. Curva características de las líneas.....	8
Figura 9. Estado de la curva a diferentes temperaturas	9
Figura 10. Representación gráfica de las variables del balance térmico	11
Figura 11. Sistema de alimentación de 13 nodos de la IEEE	15
Figura 12. Sistema de alimentación de 34 nodos de la IEEE.....	15
Figura 13. Simulación del flujo del alimentador de 13 nodos de la IEEE.....	16
Figura 14. Simulación del flujo del alimentador de 34 nodos de la IEEE.....	17
Figura 15. Corriente proporcional a temperatura en el sistema de 13 nodos de la IEEE. 18	
Figura 16. Corriente proporcional a temperatura en el sistema de 34 nodos de la IEEE. 19	
Figura 17. Punto crítico promedio en el sistema de 13 nodos de la IEEE.....	19
Figura 18. Punto crítico promedio en el sistema de 34 nodos de la IEEE.....	20
Figura 19. Resultados del flujo de potencia del alimentador de 13 nodos de la IEEE.....	20
Figura 20. Resultados del flujo de potencia del alimentador de 13 nodos de la IEEE.....	20
Figura 21. Flujo en DIgSILENT del alimentador de 13 nodos.	20
Figura 22. Flujo en DIgSILENT del alimentador de 34 nodos.....	21
Figura 23. Punto crítico de la configuración 601.....	21

Figura 24. Punto crítico de la configuración 602.....	21
Figura 25. Punto crítico de la configuración 603.....	21
Figura 26. Punto crítico de la configuración 605.....	21
Figura 27. Punto crítico de la configuración 300.....	22
Figura 28. Punto crítico de la configuración 301.....	22
Figura 29. Punto crítico de la configuración 302.....	22
Figura 30. Punto crítico de la configuración 303.....	22
Figura 31. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.....	30
Figura 32. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	30
Figura 33. Indicador de solución - Estado del arte	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables del balance térmico.	10
Tabla 2: Variables del balance térmico.....	11
Tabla 3: Datos del alimentador de 34 nodos de la IEEE.....	13
Tabla 4: Datos del alimentador de 13 nodos de la IEEE.....	13
Tabla 5: Tipo de conductor eléctrico del sistema de 13 nodos de la IEEE.	17
Tabla 6: Tipo de conductor eléctrico del sistema de 34 nodos de la IEEE.	17
Tabla 7: Configuración de las líneas del sistema de 13 nodos de la IEEE.	18
Tabla 8: Configuración de las líneas del sistema de 13 nodos de la IEEE.	19
Tabla 9:Matriz del estado del arte.	27

ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE GAUSS-SEIDEL.

Resumen

En los sistemas alimentadores, una de las funciones principales es la distribución de energía, misma que se distribuye a través de conductores eléctricos con una topología radial. El mal funcionamiento de estos sistemas se produce por diferentes razones, una de las principales ocurre cuando la corriente supera el factor de sobrecarga en la línea, creando que el conductor supere su límite térmico, sin embargo, esto se puede evitar analizando el flujo de potencia de los sistemas de distribución, para que existan resultados confiables en sistemas radiales y de esta manera determinar el punto de corriente crítico en el conductor antes de que ocurra una extensión térmica.

Por lo mencionado, el siguiente artículo tiene como finalidad la adaptación del algoritmo de Gauss-Seidel en sistemas de distribución, y determinar un punto crítico de corriente en los conductores de los sistemas alimentadores de 13 y 34 nodos del IEEE.

A través de los resultados obtenidos se podrá definir a que nivel de corriente empieza a existir una extensión térmica en los conductores y se verificarán los resultados del flujo de potencia con un simulador el cual afirmará los resultados obtenidos.

Palabras Clave: Máxima transferencia de energía, límite térmico, cargabilidad, flujo de potencia, dilatación en el conductor.

Abstract

In the feeder systems, the main function is the distribution of energy, that is distribute through the electric conductors with a radial topology. The bad operation of this systems is produced by several reason, the principal reason occur when the current surpasses the overload factor in the line, resulting in the conductor surpasses its thermal limit, but this can be avoided by analysing the potency flow of the distribution systems, so that exist reliable results in radial systems and of this form establish the critical current point in the conductor before thermal expansion occur.

For the mentioned, the purpose of this article is to adapt of the algorithm of Gauss-Seidel in distribution systems, and to decide a current critical point in the conductors of the 13 and 34 nodes feeder systems of the IEEE.

Through the results obtained, it will be may to define at which current level a thermal extension begins to exist in the conductors and the results of the potency flow will be verified with a simulator which will affirm the results obtained.

Keywords: Maximum energy transfer, thermal limit, chargeability, potency flow, dilatation in the conductor.

1. Introducción

Las redes eléctricas de distribución, son las que se encargan de transportar energía eléctrica de medio voltaje para su comercialización, ya sea su entrega al cliente en medio o bajo voltaje. Dichas redes parten desde una subestación reductora y su topología es radial y/o en anillo abierto por si existe alguna contingencia. Estas deben ser capaces de soportar la carga que circula sin presentar ningún problema, cabe indicar que las redes de distribución pueden estar sobre la superficie (sistema aéreo) o debajo de la superficie (sistema soterrado) y es fundamental determinar el límite de cargabilidad que pueden soportar los conductores eléctricos.

Se tomo ejemplos de sistemas de distribución de la IEEE para estudiar los efectos causados cuando la corriente que circula por el conductor sobrepasa el nivel para el que fue diseñado, conocidos también como sistemas alimentadores. Es necesario identificar que este artículo trata únicamente del análisis del sistema eléctrico a nivel de distribución, tomando en consideración la parte de comercialización eléctrica ya que se la referencia como puntos de carga. El algoritmo de Gauss-Seidel para flujos de potencia generalmente se los utiliza en transmisión debido a que toma en cuenta la parte capacitiva que se producen en las líneas debido al alto voltaje, a la distancia de la línea y a la altura en la que se encuentra, pero en este artículo académico se aplicará Gauss-Seidel en distribución, tomando en cuenta el artículo[1], el autor realiza flujos de potencia en distribución por el método de Gauss-Seidel, pero debido a las distancias y a las magnitudes de voltaje que son inferiores a las magnitudes de voltaje que existe en transmisión no se obtienen resultados confiables por lo que se realizan ciertas adecuaciones en el algoritmo o en la forma de aplicar el

método. La topología de las redes de distribución es radial por lo que se aplica un flujo de potencia de nodo a nodo tomando en consideración las impedancias de las líneas, los voltajes y las cargas que circulan por estas. El algoritmo de Gauss-Seidel se basa en una serie de iteraciones hasta llegar a un error muy mínimo, prácticamente este es el problema de usar Gauss-Seidel en distribución ya que los datos obtenidos no son muy confiables pero algunos autores realizan una cierta modificación al método de Gauss-Seidel para que sea aplicable en sistemas eléctricos de distribución [2]–[4].

En los artículos [5], [6] consideran un nodo principal y le dan el nombre de Slack mientras que todos los demás nodos son considerados nodos PQ, si bien se sabe que los flujos en transmisión son en sistemas eléctricos con una topología en malla y en distribución su topología es radial al momento de tomar o ir considerando solo dos nodos a la vez para la realización del flujo de potencia los resultados van a ser válidos.

En [1],[7]–[9] muestran que Gauss-Seidel si es aplicable en distribución o en una red radial, por lo cual el objetivo de utilizar este algoritmo es encontrar el punto de demanda crítico que pueden soportar las líneas de distribución antes de que exista una extensión o dilatación térmica en los conductores, con el fin de visualizar el calibre ideal de conductor para que no exista tal efecto, el cual causa que el conductor sufra una dilatación volumétrica y con oscilaciones de viento, al no existir la debida distancia entre las fases, estas rompan la distancia de seguridad causando cortocircuitos o arranques del sistema, por lo cual al realizar el análisis se va a prever este tipo de contingencias o accidentes en las líneas. Además, una vez que ya exista una

dilatación volumétrica en los conductores, se analizará comparando los resultados obtenidos por el flujo con el (Surge Impedance Loading o Impedancia natural de la línea) SIL nominal de la línea, si estos necesitan ser cambiados o solo bastará con una adecuación o ajuste en el conductor. Este efecto se visualiza en la parte de transmisión como en la de distribución por lo cual se va a tomar datos o estudios realizados en transmisión y referirlos a la parte de distribución.

Al momento que se habla de dilatación térmica también se habla del pandeo que existe en las líneas debido al aumento de temperatura en los conductores causados por niveles de sobre carga o porque las condiciones de los conductores eléctricos no son los adecuados para soportar esa cantidad de carga, por lo cual, con el algoritmo de Gauss-Seidel se obtendrán resultados que ayudaran a determinar hasta qué punto de carga pueden soportar las redes eléctricas de distribución antes de que exista una expansión térmica. Se verificarán los datos obtenidos por un software en el cual se pueden determinar flujos de potencia en líneas de distribución. Una herramienta fundamental para la comprensión de las redes eléctricas de distribución son los flujos de potencia monofásicos en los cuales toman en cuenta un sistema balanceado para las tres fases, estos son diseñados específicamente para el análisis de carga en transmisión pero se los utilizan también en distribución debido a la facilidad de cálculo por lo que se asume que son sistemas balanceados, para que el almacenamiento de memoria del flujo no sea tan extendido y exista una convergencia más rápida en los resultados [5], [6], [10].

La aplicación en distribución de los flujos de potencia monofásicos no da buenos resultados de convergencia, la decisión de analizar las líneas por Gauss-Seidel es por la creación de la matriz de impedancia lo cual dan muestras más rápido, pero en

este algoritmo el problema es que tiene un exceso de memoria por lo que se almacenan datos de cada iteración. Por lo que se toma en consideración que el problema de los resultados es por la topología y por los valores de impedancia que existen, después de analizar[11]–[13], en estos documentos se puede determinar que se usan otros algoritmos o métodos para realizar un análisis en distribución. La forma en la que se modifica el flujo o la forma en la que se le aplica se detallará en los siguientes puntos del artículo, además cuando se habla de un análisis de flujo en distribución por lo general realizan el análisis de nodo a nodo tomando en cuenta todo el tramo, sus características y se realiza un análisis de carga trifásico.

Al analizar los resultados del flujo de potencia por Gauss-Seidel se los compararán con los resultados obtenidos en el software DIGSILENT POWER FACTORY con el método de (Newton-Raphson, clásicas ecuaciones de potencia) el cual se encargará de comparar los resultados obtenidos por el flujo realizado en Matlab. Con los resultados confirmados se realizará la prevención de que exista una extensión térmica en los conductores, por lo cual se va a encontrar un punto de demanda crítico, con lo que se va a empezar a determinar la extensión térmica que se va a producir en el conductor eléctrico o el nivel de corriente que va a pasar antes de que exista la dilatación en el cable, lo cual va a evitar que en los cables de distribución exista un pandeo en las líneas y esto pueda ocasionar algún conflicto con las otras líneas, va a prevenir el contacto con las otras líneas u objetos cercanos, esto también ayudara a que la vida útil del conductor sea más larga.

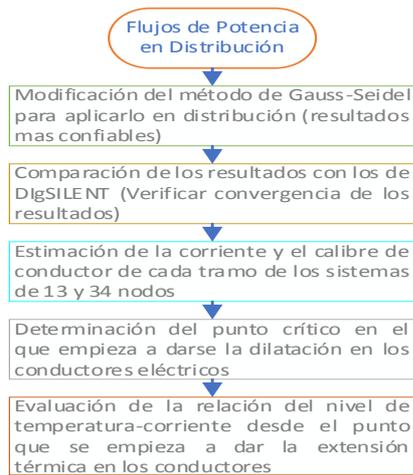


Figura 1. Etapas de planificación

En este artículo se propone un modelo de flujo de potencia modificado para analizar modelos radiales de la IEEE, con los resultados obtenidos se va a determinar el límite de cargabilidad de las líneas de distribución en los cuales se determinará a que punto de corriente empieza a existir una extensión térmica en los conductores por lo que se podrá llegar a la conclusión hasta que nivel de corriente puede circular por los conductores sin que el aumento de temperatura en los mismos produzca una dilatación, ya que si existe la dilatación puede causar problemas con el sistema debido al pandeo que se produce por el aumento de longitud en la línea.

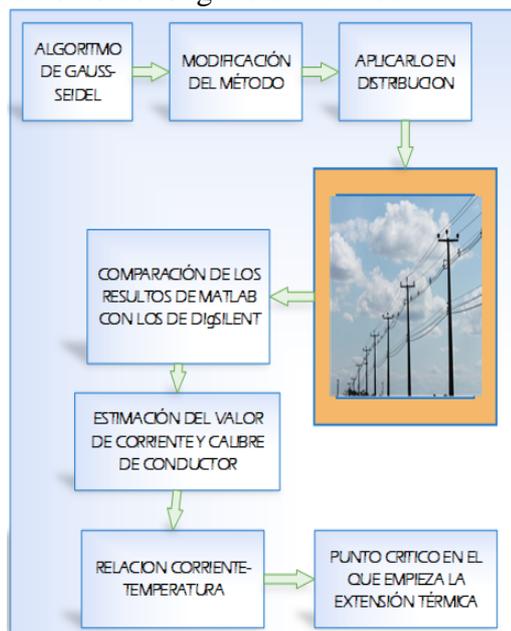


Figura 2. Temática de la investigación

2. Gauss-Seidel Para Flujos de Potencia.

El método de Gauss-Seidel se lo utiliza para determinar los voltajes en las barras o en los nodos y sus ángulos, además de encontrar estos dos parámetros también se puede encontrar a través de una serie de iteraciones la potencia reactiva y activa que circula entre dos nodos, el número de iteraciones corresponden al nivel de tolerancia que se le dará dependiendo de la utilización de las líneas. Algo que ayuda a entender los flujos de potencia es la relación que existe entre $P, Q, |V|$ y δ , en muchos casos se desprecia la resistencia serie con la finalidad de facilitar la resolución del flujo, tomando en consideración que en la mayoría de los sistemas su resistencia es muy baja por lo cual no afecta los resultados.

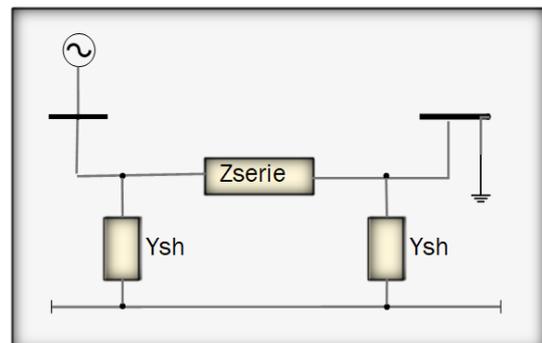


Figura 3. Modelo de impedancias en serie y en derivación.

$$S_1 = V_1 * I_1^* \quad (1)$$

A continuación, se detallará el modelo general para flujos de potencia en sistemas eléctricos de dos nodos. Las potencias que son inyectadas al nodo 1 se la conoce como S_1 y se la determina por (1), la intensidad de corriente está compuesta en los casos de las líneas de transmisión por la sumatoria de la corriente que pasa por Y_{sh} y Z_{serie} , se las puede identificar en la figura 3 y para los sistemas de distribución la corriente es la que circula solo por Z_{serie} , Gauss-Seidel se lo utiliza para N barras o nodos, donde

se calcula el voltaje en una barra K y esta es expresada en función de la potencia activa y reactiva, suponiendo cargas conectadas a las barras o estimando los voltajes en las otras barras, dando un inicio plano a las que no tienen datos el cual es el encargado de dar valores de voltaje de $1 + 0j \text{ pu}$ a los nodos en donde no están especificados sus valores de voltaje [14], [15]. En (2) determina el modelo iterativo del voltaje.

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{S_k^*}{V_k^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ki} V_i \right) \quad (2)$$

Donde:

Y_{ki} es la impedancia en p.u.

S_k^* es la potencia aparente en p.u.

V_i es el voltaje en p.u.

I_1^* es la corriente en p.u.

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Z_{BUS} \approx (Y_{BUS})^{-1} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$I_{BUS} = Y_{BUS} * V_{BUS} \quad (5)$$

$$V_{BUS} = Z_{BUS} * I_{BUS} \quad (6)$$

En (3) se observa la matriz de admitancias nodales diseñada para un flujo de potencia de dos barras, con lo cual se puede determinar la corriente que circula, a través de (5). Con la cual al despejar el voltaje, esta se invierte y quedaría de la siguiente forma (6).

En (3) y (4) se observa que las ecuaciones son lineales y esta está acorde al modelo de flujo que se va implementar ya que esta modelación de la red eléctrica es lineal pero los datos que se conocen son los de las potencias por lo cual se determina por (7) y (8).

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i Y_{ik} V_k| \cos(\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik}) \quad (7)$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i Y_{ik} V_k| \sin(\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik}) \quad (8)$$

En el algoritmo de Gauss-Seidel se encuentra el método iterativo y los pasos para empezar a realizar este método, también se da el tipo de barras o de nodo que se denomina antes de realizar el algoritmo lo cual se va a detallar a continuación.

En el método de Gauss-Seidel se define como primer paso una barra Slack, la cual es la barra de referencia de todo el sistema desde donde va a empezar el proceso iterativo, como segundo paso se da un inicio plano lo que significa dar un valor de $1.0 + j0$ a los voltajes desconocidos, el tercer paso es definir las barras PQ a las que se les conoce también como barras de cargas y se las resuelve para encontrar las componentes reales e imaginarias de los voltajes y como último paso se deben determinar las barras PV la cual se resuelve con (2) para determinar el voltaje V_k .

2.1. Flujos de Potencia en Redes Radiales

Las redes eléctricas de distribución al igual que las redes de transmisión tienen una capacidad máxima de transferencia de energía desde un punto a otro, este límite de transferencia toma en cuenta las variaciones de voltaje y estabilidad en las líneas de una longitud larga, en cambio en las líneas que tienen una longitud corta solo se toma en cuenta la corriente máxima que puede soportar el conductor eléctrico y la potencia que puede fluir por el conductor. Los flujos de potencia en distribución van a presentar condiciones diferentes a los flujos en transmisión, se encuentran características en las redes de distribución principalmente su topología, diferentes conexiones, toda clase de cargas, líneas resistencias iguales a sus

reactancias, entre otras características [16].

Existen planteamientos de flujos de potencia para un tipo de topología en especial (radial o árbol) al cual no ser mallada realiza adaptaciones en los métodos tradicionales de flujos de potencia, para determinar resultados que converjan a una solución correcta. El artículo [9] describe un método iterativo por tramos de la red para solucionar los problemas de flujos tradicionales en topologías que no sea la de malla, simplifica el procedimiento del flujo realizando particiones en el sistema. Para encontrar una adecuada solución para todo el sistema, se realiza un número de particiones, después de determina un orden para cada partición

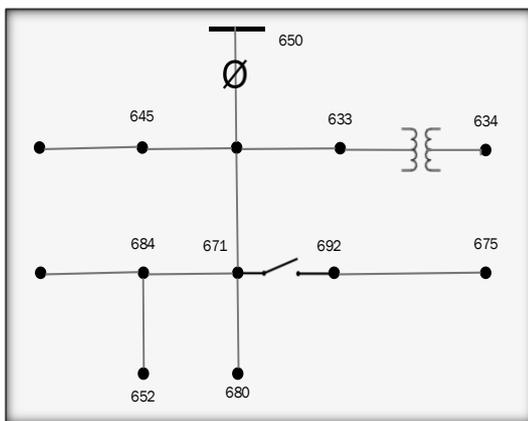


Figura 4. Topología radial.

Según [8], [9] describen límites de carga en los cuales se usa un sistema general de dos nodos o dos barras de los cuales parte así la investigación de aplicar Gauss-Seidel a un sistema de distribución, aplicando separaciones y realizando flujos en dos nodos. El problema con la utilización del método tradicional de Gauss-Seidel es la excesiva memoria que usa para encontrar la convergencia de sus valores por lo cual la solución a tal problema, será determinar un flujo por cada tramo del sistema y con los resultados obtenidos realizar el siguiente flujo y continuar así hasta llegar al último tramo del sistema, esto se lo realizará para evitar el exceso de memoria en el método.

En donde la potencia activa va a ir de un nodo hacia otro tomando en cuenta para la dirección del flujo el ángulo de mayor voltaje y el de menor voltaje, en cambio la potencia reactiva toma en cuenta las magnitudes de voltaje para su dirección, además en la potencia activa su dirección siempre tiene un solo sentido mientras que en la potencia reactiva su dirección va a depender de la inyección de reactivos a la línea o al tramo. Como se ha mencionado antes que la topología en distribución es distinta a la de transmisión, los flujos en los sistemas eléctricos de distribución parte desde un nodo principal, a este nodo principal se le conoce como la fuente de inyección de energía por lo que se entiende que es una subestación reductora.

2.2. Parámetros de Cargabilidad.

El nivel y la distribución de la El análisis de carga en los sistemas eléctricos de distribución sirve o son utilizados para encontrar el voltaje que existe en cada nodo de la red, la potencia activa y reactiva que circulan por todas las líneas, pérdidas en los transformadores y una gran variedad de demanda (cargas resistivas, inductivas y capacitivas).

También existen ventajas en los sistemas eléctricos de distribución lo cual una de ellas es que los transformadores son los alimentadores de cada carga, se considera una ventaja porque las cargas estarán alimentadas en un misma barra sin importa si es la carga es monofásica, bifásica o trifásica, la cargas en distribución como ya se mencionó anteriormente no todas las cargas son trifásicas por lo que en estos sistemas se utiliza una distribución de carga para que el sistema sea lo más balanceado posible, el balanceo de carga ayuda a que la corriente que circula por cada conductor sea la adecuada y circule la misma corriente por cada conductor eléctrico. Para determinar la cargabilidad

que pueden soportar las líneas se determina el SIL [1], [16],[17]. La capacidad de potencia activa como reactiva que circulan en una línea deben estar entre los parámetros de operación del sistema. Estos parámetros están en función de la distancia de la línea, el voltaje de cada nodo y el calibre del conductor. Para encontrar el flujo de carga ideal se usará el flujo de potencia. Las impedancias que existen en las redes eléctricas de distribución son resistivas e inductivas, en estos sistema la parte capacitiva de la impedancia es muy baja por lo cual no se la toma en consideración, en estas solo existe la parte capacitiva en las redes que son soterradas debido al efecto que se da entre la fase y la tierra del conductor, pero en las redes eléctricas de distribución aéreas no se da el efecto capacitivo debido a la altura que se encuentran, a su longitud y al nivel de voltaje[17].

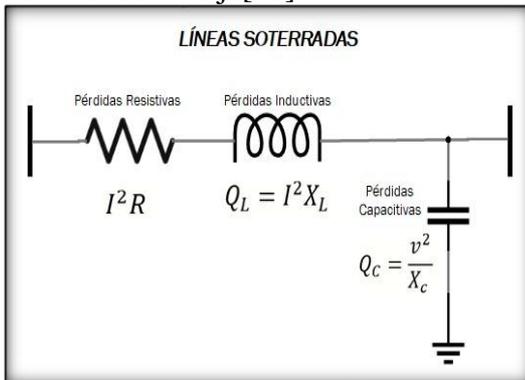


Figura 5. Pérdidas de una red subterránea de distribución.

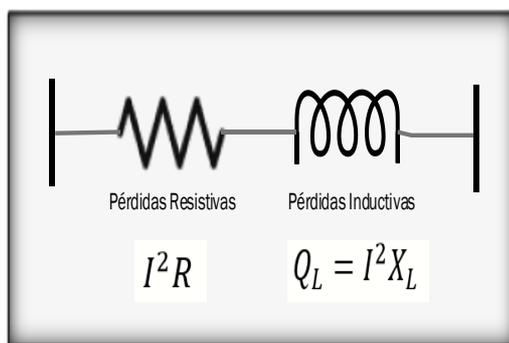


Figura 6. Pérdidas de una red aérea de distribución.

Cuando existen valores menores a los de la demanda del punto de intersección que se puede ver en la figura 7, la línea registra valores capacitivos en cambio cuando los valores son más altos su comportamiento es inductivo. Los valores de potencia que circulan por las líneas deben cumplir con las condiciones del SIL.

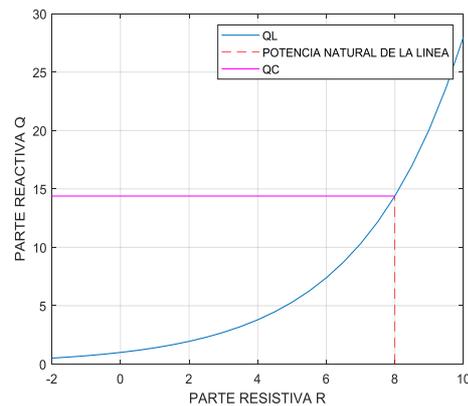


Figura 7. Límite del nivel de sobrecarga SIL.

Para determinar el valor de potencia ideal que pueden circular por las líneas (SIL), la que se determina por (9), se necesita conocer algunos parámetros como la impedancia en serie, en derivación y la impedancia característica de la línea. El SIL se va a utilizar en los sistemas de distribución debido a que se necesita conocer el límite térmico de los conductores de los sistemas del IEEE para evaluar a que punto va a existir una dilatación en los conductores. Cuando el valor de voltaje en las líneas es alto su potencia de igual manera cumpliendo proporcionalmente al nivel de voltaje, el SIL sirve para determinar el número y calibre de conductores adecuados para la potencia que van a circular por estos, al aumentar el número de conductores su impedancia característica va a disminuir y se la determina a través de (10), la impedancia característica de un tramo de la línea es aquella que es casi siempre resistiva con un factor de potencia muy cerca de uno.

$$z_c = \sqrt{(z_s)(z_d)} \quad (9)$$

$$SIL = \left[\frac{(V_{LL})^2}{z_c} \right]^* \quad (10)$$

Donde:

z_c Impedancia Característica [Ω]

z_s Impedancia Serie [Ω/l]

z_d Impedancia en derivación [Ω]

2.3. Expansión térmica en los conductores

Al momento que fluye corriente por un conductor eléctrico de un punto a otro punto se va a generar un cambio de temperatura (Aumento de temperatura) en el conductor eléctrico mejor conocido como efecto Joule, para que exista una diferencia de temperatura además de la corriente también tiene mucha influencia los factores climáticos. La temperatura del ambiente y la potencia eléctrica que fluye por los conductores no son las mismas a toda hora del día, estas son variables estocásticas por lo que en el conductor eléctrico la temperatura cambia a cada instante, también se toma en cuenta que las líneas eléctricas de un extremo a otro no son totalmente rectas existe una curva en las líneas eléctricas a la cual se la denomina flecha, esa sería la curva principal de las redes eléctricas, estas se producen por el peso del conductor y aunque los conductores estén ajustados correctamente va a existir la curva (flecha) como se observa en la figura 8, cuando se habla de que las variables que afectan a la temperatura del conductor son estocásticas aparecen diferentes ciclos térmicos los cuales pueden ocasionar efectos en el conductor eléctrico.

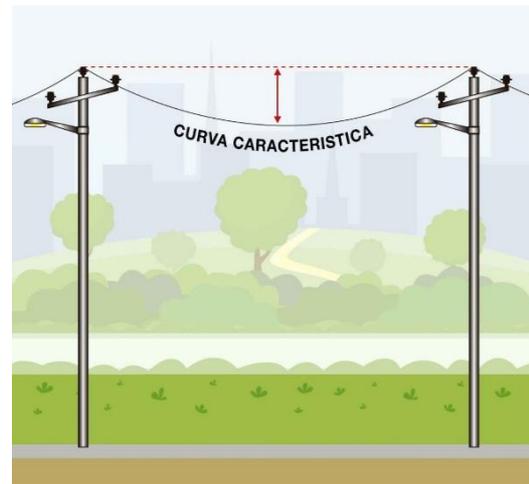


Figura 8. Curva características de las líneas.

Los conductores que se utilizan en las redes aéreas de distribución son cables que no contienen un aislamiento o son popularmente conocidos como conductores desnudos, se va a tomar en consideración la temperatura del ambiente, el calor que se produce cuando circula la corriente eléctrica y la radiación, todas estas variables se le puede aplicar en la ecuación de balance de calor, se la puede referir a distribución ya que generalmente se la usa en transmisión. Los cálculos fueron realizados con la metodología que propone [17]. En este documento se calcula el balance de calor y la temperatura que puede soportar un conductor, según estos artículos [18]–[20] realizan otros métodos para calcular el balance de calor los cuales son muy parecidos al artículo mencionado anteriormente.

Un ciclo que se da en el conductor es cuando presenta una expansión en la longitud del mismo esto causa el aumento de la flecha en el conductor por lo cual esto puede romper la distancia de disrupción entre los conductores de diferente fase o con cualquier estructura aterrizada y modificando la estructura del conductor, existe una relación entre la curva característica del conductor y la

temperatura esto se puede observar en la figura 8 y 9.

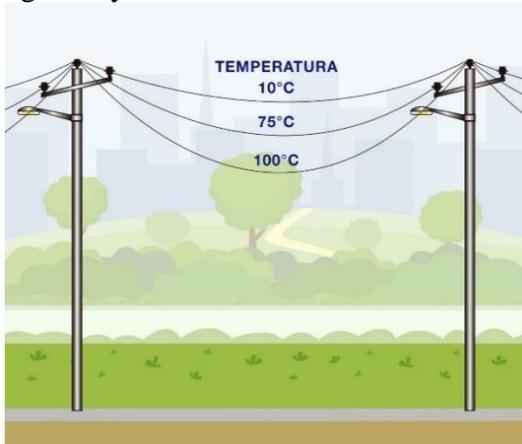


Figura 9. Estado de la curva a diferentes temperaturas

Otro ciclo térmico es cuando por el conductor atraviesa ciclos repetitivos de corriente por un transcurso de tiempo prolongado ocurren daños en la composición física del conductor por lo que su vida útil disminuye.

Al determinar la cargabilidad en las redes de distribución o transmisión se debe calcular la temperatura del conductor eléctrico (T_c) cuando existen variaciones de corriente que circulan por el conductor, también es indispensable conocer la distancia que aumenta en la línea cuando la temperatura aumenta, se determina la distancia también por las características propias del conductor. También se debe tomar en cuenta si el terreno es plano o existe inclinaciones en el terreno esto también influye en la distancia que crecerá la flecha otro factor que se debe de considerar para la distancia que va a tomar la flecha es el tiempo en el que ha estado operando el conductor ya que esto influye en las características propias del conductor lo que significa más oposición al paso de corriente, más temperatura y mayor tensión de ruptura[21], [22].

2.4. Comportamiento Térmico en los conductores.

Esto se puede determinar por la ecuación de balance de calor en las cuales se encuentran descritas anteriormente, existe un estado estable o un estado estacionario el cual se determina o se controla la corriente que debe pasar por el conductor según las características propias del mismo, según el método seleccionado no toma en cuenta algunos problemas o factores en el conductor, por ejemplo no se toma en cuenta el calentamiento magnético en el conductor (calefacción magnética) lo cual debido al aumento de calor causa que los conductores eléctricos aumenten su oposición al paso de corriente al menos 2% y el otro efecto que no se considera es el efecto corona pero este solo afecta cuando existen disrupciones eléctricas en las uniones o terminales de los conductores, partiendo de estos parámetros se calculará el equilibrio térmico en los conductores con (11). Todos los componentes térmicos se describen de mejor manera en la tabla 1.

$$\frac{1}{mC_p} [I^2 R_{(T_c)} + q_s - q_c - q_r] = 0 \quad (11)$$

Donde:

mC_p es la capacidad térmica del conductor, es la relación del calor y masa del conductor [$J/m^\circ C$]

$R_{(T_c)}$ es la relación de temperatura y la resistencia del conductor, sus unidades son [Ω/m]

I es la intensidad de electrones que circula por un conductor[A]

q_s es la suma de calor por radiación en [W/m]

q_c es la disminución de calor por convección en [W/m]

q_r es la disminución de calor por radiación en [W/m]

Tabla 1. Variables del balance térmico.

Variable	Descripción	Unidad de medida
Θ	Ángulos de incidencia de los rayos del sol	[°] grados
H_c	Altitud del sol	[°] grados
Z_1	Azmitud de la línea	[°] grados
α	Absortividad solar	[]
A'	Área proyectada por unidad de longitud	[m ² /m]
Q_s	Radiación solar total	[W/m ²]
p_s	Densidad del aire	[Kg/m ³]
D	Diámetro del conductor	[mm]
T_{high}	Temperatura máxima	[°C]
T_a	Temperatura ambiente	[°C]
T_{film}	Temperatura del aire	[°C]
u_f	Viscosidad del aire	[Pa.S]
K_f	Conductividad térmica del aire	[W/m°C]
V_w	Velocidad del viento	[m/s]

Según los artículos [18], [23] habla acerca de las ganancias y las pérdidas de calor, las ganancias de calor se dan cuando aumenta la temperatura del conductor debido a la radiación solar y al paso de corriente por el conductor. Las ganancias de calor que se producen por la radiación solar que absorbe el conductor se la conoce como q_s y para calcularla se necesita saber el ángulo de radiación hacia el conductor, para encontrar la ganancia de calor se deben tener en

cuenta variables como como la altitud, la azmitud, el área, la absortividad y principalmente la radiación solar que incide en el conductor, algunas de estas variables no son totalmente independientes, algunas dependen del sistema horario y en el lugar donde se realiza el estudio. Las pérdidas de calor que se producen en el conductor son por convección q_c y por radiación q_r , las pérdidas causadas por convección pueden ser naturales o forzadas estas están relacionadas con el enfriamiento natural del aire y se define a las pérdidas de calor natural como aquel en donde la velocidad del viento es igual a cero en cambio la forzada es cuando existen velocidades de viento mayores a cero. Se calculan la temperatura y la corriente que se producen en la elongación del conductor para encontrar una a proximidad en la resistencia lineal debido a la temperatura y se las puede calcular con (12)

$$T_c(t) = -\frac{b_0}{a_0} + \frac{a_0 T_0 + b_0}{a_0} e^{a_0 t} \quad (12)$$

Los coeficientes a_0 y b_0 se los calcula con (13) y (14)

$$a_0 = \frac{\delta I^2}{m C_p} \quad (13)$$

$$b_0 = \frac{1}{m C_p} [\beta I^2 + q_s - q_c - q_r] \quad (14)$$

Y los coeficientes δ y β se los calcula con (15) y (16)

$$\delta = \frac{(R_H - R_L)}{(T_H - T_L)} \quad (15)$$

$$\beta = R_L + \delta T_L \quad (16)$$

Donde:

R_H y R_L es la resistencia del conductor medida a diferente temperatura.

T_H y T_L es diferente valor de temperatura del conductor

Y (17) es para calcular la corriente que circula por el conductor cuando existe un cambio de temperatura.

$$I = \sqrt{\frac{a_0 m C_p}{\delta}} \quad (17)$$

2.5. Pandeo en las Líneas

El pandeo en las redes eléctricas se da cuando existe una extensión a lo largo del conductor, por lo cual esto se puede conocer con la temperatura y la cantidad de corriente que circula por el conductor eléctrico, estos dos parámetros se encuentran en el literal anterior. La configuración física del conductor se ve expuesta a cambios debido al aumento de temperatura en el conductor, va ocasionar una variación en la longitud del cable por lo que esta variación de longitud tal vez no puede cumplir con las distancias mínimas de seguridad, para determinar esta variable de longitud también se debe saber cuál es el voltaje de disrupción entre conductores de diferente fase y la estructura en la que se encuentra sujeto, esto se va a determinar a través de (18), todas las variables mencionadas anteriormente se describen mejor en la tabla 2, en donde se utilizan funciones hiperbólicas para encontrar todos los aspectos necesarios según los siguientes artículos [18], [24].

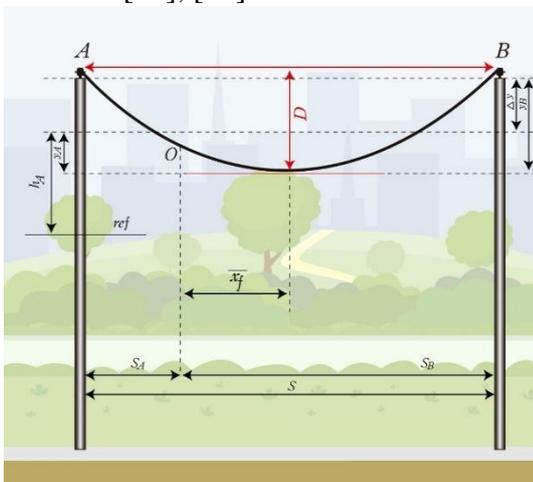


Figura 10. Representación gráfica de las variables del balance térmico

Tabla 2: Variables del balance térmico

Variable	Descripción	Unidad de medida
Δy	Desnivel entre apoyos	[m]
S	Separación entre apoyos	[m]
T_{en}	Tensión longitudinal	[Kg]
H	Tensión horizontal	[Kg]
L	Longitud del conductor	[m]
W	Peso por unidad de longitud del conductor	[Kg/m]
T	Temperatura de conductor	[°C]
O	Punto más bajo del conductor	[]
S_A	Distancia del apoyo A al punto O	[m]
S_B	Distancia del apoyo B al punto O	[m]
L_A	Longitud del conductor desde apoyo A al punto O	[m]
L_B	Longitud del conductor desde apoyo B al punto O	[m]
y_A	Altura desde el punto de apoyo de A hasta al punto O	[m]
y_B	Altura desde el punto de apoyo de B hasta al punto O	[m]
D	Flecha	[m]
X_F	Distancia horizontal	[m]

Para determinar la extensión térmica del conductor se realiza un modelo geométrico en un punto cualquiera del conductor para evaluar la elongación horizontal del mismo más conocido como (x) y se lo calcula por (18).

$$h(x) = h_A - \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{WS_A}{H}\right) + \cosh\left(\frac{W(S_A - x)}{H}\right) \right] \quad (18)$$

Donde:

S_A es el apoyo que se encuentra en el nivel mas bajo, y se lo determina por el siguiente criterio.

$$S_A = \begin{cases} S_{PB} & \text{Si } \Delta y \geq 0 \\ A - S_{PB} & \text{Si } \Delta y < 0 \end{cases} \quad (19)$$

Y S_{PB} se determina mediante (20)

$$S_{PB} = \frac{S_A}{2} - \frac{H}{W} \sinh^{-1} \left[\frac{\frac{\Delta y}{2}}{\frac{H}{W} \sinh^{-1} \left(\frac{WS_A}{H^2} \right)} \right] \quad (20)$$

Una vez que se calcula el modelo geométrico que toma el conductor al aumentar la temperatura en el mismo se procede a calcular la flecha con (23) que se produce en el conductor eléctrico y para encontrar el valor de la flecha es necesario determinar la pendiente m que se forma con (21) y la distancia horizontal entre el punto O y D con (22).

$$m = \frac{\Delta y}{S} \quad (21)$$

$$\bar{x}_f = \frac{H}{W} \sinh^{-1} \left(\frac{\Delta y}{S} \right) \quad (22)$$

$$D = y_r(\bar{x}_f) - y_c(\bar{x}_f) \quad (23)$$

En donde los valores y_r y y_c se los determina de la siguiente manera.

$$y_r(\bar{x}_f) = \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{W\bar{S}_B}{H}\right) - 1 \right] - m(S_B - \bar{x}_f) \quad (24)$$

$$y_c(\bar{x}_f) = \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{W\bar{S}_B}{H}\right) - 1 \right] \quad (25)$$

Como último paso para determina la variación de longitud que se produjo en el conductor, se realiza cálculos de la longitud desde el punto A al punto O y desde el punto B al punto O se los calcula a través de las siguientes ecuaciones.

$$L = L_A + L_B \quad (26)$$

$$L_A = \frac{H}{W} \sinh\left(\frac{WS_A}{H}\right) \quad (27)$$

$$L_B = \frac{H}{W} \sinh\left(\frac{WS_B}{H}\right) \quad (28)$$

3. Estimación de Conductores en Distribución

La estimación de los conductores eléctricos en las líneas de distribución se los realiza a través de la corriente que va a circular por los conductores, en los casos donde el sistemas es aéreo el conductor recomendado es un cable desnudo que se tiende por todo el sistema, por lo general el cable que se tiende por el sistema es de un mismo calibre para evitar los empalmes o puntos de conexión aun sabiendo que no en todas las partes del sistema se necesita el mismo calibre del conductor, en los casos donde se requiere que el sistema sea soterrado se necesita conductores con un tipo de aislamiento especial que soporte otros tipos de parámetros para que funcione adecuadamente el sistema[25].

3.1. Selección de los Conductores Eléctricos.

Para determinar el calibre de los conductores que se van a colocar en el sistema, como primer paso de debe calcular la corriente que va a circular por el conductor con los datos del sistema a la cual se la va a denominar I_s , que será la corriente del sistema, después se elige la corriente nominal la cual se la denomina como I_n y por ultimo según tablas ya

establecidas por los fabricante de conductores se elige una I_c la cual debe ser mayor o igual a la I_n [26],[27].

Con estos parámetros establecidos se debe cumplir (1).

$$I_s = < I_n = < I_c \quad (1)$$

El conductor seleccionado debe ser desnudo y tiene que ser capaz de soportar la corriente que vaya a pasar por este con un cierto margen de tolerancia.

3.2. Determinación de la Corriente por un Flujo de Carga.

Al realizar un flujo de carga en sistemas eléctricos los resultados que dan son de voltaje y potencia por lo cual a través de estos parámetros se puede determinar la corriente que circula de los diferentes tramos del sistema, en (2) se puede despejar el valor de la corriente[28]–[30].

$$S_1 = V_1 * I_1^* \quad (2)$$

Partiendo de (2) se puede despejar el valor de la corriente y así poder determinar el calibre del conductor como se ve en (3) y (4).

$$I_1 = \frac{S_1^*}{V_1^*} \quad (3)$$

$$\frac{S_1^*}{V_1^*} = V_1 Y_{sh} + (V_1 - V_2) Y_{ser} \quad (4)$$

Como en los sistemas radiales seleccionados no existe un efecto capacitivo en las líneas debido a diferentes factores por lo cual las impedancias en derivación no existen la ecuación quedaría de la siguiente manera.

$$I_1 = (V_1 - V_2) Y_{ser} \quad (5)$$

Con (5) se determinaría la corriente que pasa de un nodo a otro y con esta ya se puede determinar el calibre de conductor

desnudo que se debe colocar. Se debe destacar que se coloca en la mayoría de sistemas un conductor del mismo calibre para casi todos los tramos por lo cual se ha decidido realizar el estudio de dilatación térmica en el primer tramo de cada sistema (13 y 34 nodos) porque en el análisis de este, los resultados de corriente de los dos sistemas de distribución se visualizaran en las tablas 3 y 4, el tramo principal es el que va a soportar la mayor corriente debido a la sumatoria de corrientes de todas las ramificaciones del sistema y como es el mismo calibre de conductor para todo el sistema el tramo principal será en donde se genera la mayor temperatura en todo el conductor[11],[31]–[34].

Tabla 3: Alimentador de 34 nodos.

Descripción	Valor	Unidad
Nodo A	800	-----
Nodo B	802	-----
V1	1	p.u.
V2	0.2622+j0.3729	p.u.
Z serie	1.0259+j1.0239	p.u.
S	0.3098-j0.0543	p.u.
I	1.1387+j0.3729	p.u.

Tabla 4: Alimentador de 13 nodos.

Descripción	Valor	Unidad
Nodo A	850	-----
Nodo B	832	-----
V1	1	p.u.
V2	0.8317+j0.0908	p.u.
Z serie	0.431+j1.2128	p.u.
S	0.2516-j0.7389	p.u.
I	0.1827+j0.1649	p.u.

En la tabla 3 y 4 se puede observar los resultados obtenidos en los tramos principales de los alimentadores de 13 y 34 nodos de la IEEE obtenidos mediante la modificación del método de Gauss-Seidel como se describe en las tablas los resultados del voltaje y de la potencia son necesarios para determinar la corriente que pasa de un nodo hacia otro. Con el resultado de la corriente ya se puede determinar el calibre de los conductores idóneos que deben ser colocados en los sistemas[11],[35]–[38].

$$I_B = \frac{S_{B3\phi}}{\sqrt{3}U_{BLinea}} \quad (6)$$

$$I_{real} = I_B * I \quad (7)$$

Donde:

$S_{B3\phi}$ es la potencia real en VA.

U_{BLinea} es el voltaje base en V.

I es la corriente calculada por el flujo en p.u.

I_B es la corriente base en A.

Para obtener el valor real de la corriente se va a utilizar (6), (7) y así determinar un conductor que cumpla con las características requeridas.

3.3. Efecto del Exceso de Corriente y Temperatura en los Conductores

La resistencia al paso de corriente que tienen los conductores eléctricos depende de la temperatura a la que se encuentre el conductor ya que la resistividad (r) va a cambiar dependiendo a la temperatura que este se encuentre. La variación de temperatura es proporcional a la corriente que pasa por el conductor por lo cual si la corriente aumenta la temperatura aumenta y va a existir un cambio en la resistencia (R) la cual va a limitar la corriente que va a pasar por dicho conductor. De forma común la temperatura que suele estar dada para la resistividad es de 20° C y se denomina (α) la variación de impedancia por temperatura y corriente [19],[39], [40].

Para evitar daños o fallas en el sistema se recomienda que a mayor corriente debe ser mayor la sección del conductor expresada en mm^2 , además el calentamiento (perdidas) o la elevación de temperatura se producen por que la estructura física de los conductores no es perfecta por lo tanto también causa caídas de voltaje en los terminales del conductor. Para controlar la elevación de

temperatura se debe de considerar fundamentalmente la resistividad por lo que esta indica si es un buen conductor por ejemplo la ρ del cobre es de $1.7 \times 10^{-8} \text{ Ohm} - \text{m}$. Con (8) se puede determinar la resistencia cuando la temperatura aumenta.

$$R = R_0 * (1 + \alpha t) \quad (8)$$

Donde:

R_0 es la resistencia a una temperatura inicial

α es el coeficiente de temperatura en la resistencia.

Si se necesita calcular la resistividad del conductor a una temperatura diferente a 20°C se utiliza (9) la cual sirve para determinar a cualquier temperatura a diferencia de (8) que sirve solo cuando la temperatura es a 20°C.

$$\rho_{\theta} = \rho_{20^{\circ}C} + \rho_{20^{\circ}} * \alpha(T - 20^{\circ}) \quad (9)$$

Donde:

ρ_{θ} es resistividad a la temperatura requerida.

α es coeficiente de temperatura.

$\rho_{20^{\circ}C}$ es resistividad a 20°C.

T es la temperatura a la que se desea calcular.

4. Metodología Para Determinar Flujos en los Sistemas de 13 y 34 nodos.

Gauss-Seidel es uno de los métodos para determinar flujos de potencia en líneas de transmisión, pero en este artículo se realizó la modificación del método y se lo uso en líneas de distribución acoplando el método según [1], [16],[41] con estos documentos se puede determinar un resultado efectivo en líneas de distribución realizando flujos de potencia entre dos nodos ya que así la convergencia de los datos es más acertada y se eliminaría el conflicto con la modificación en el método de Gauss-

Seidel en líneas de distribución por los resultados no exactos o por la excesiva memoria que con lleva usar el método en distribución.

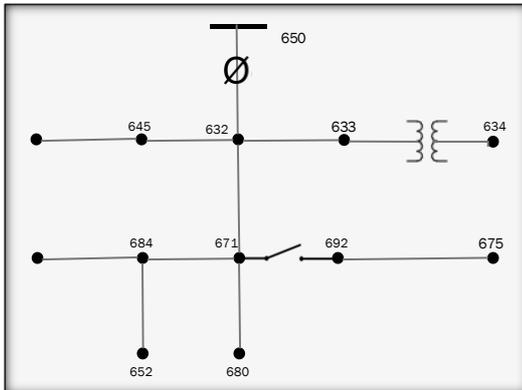


Figura 11. Sistema de alimentación de 13 nodos de la IEEE

El estudio de flujos entre dos nodos se los realizo en los sistemas de distribución de 13 y 34 nodos de la IEEE. En el sistema de 13 nodos, figura 11, se realizaron 12 flujos de potencia de nodo a nodo, cada flujo consiguiente que se realizo fue con los datos ya calculados del anterior para que el resultado sea más confiable y no haya exceso de memoria. Para obtener resultados de voltaje y potencia con lo que ya se puede realizar el cálculo para encontrar la corriente y así determinar el calibre del conductor.

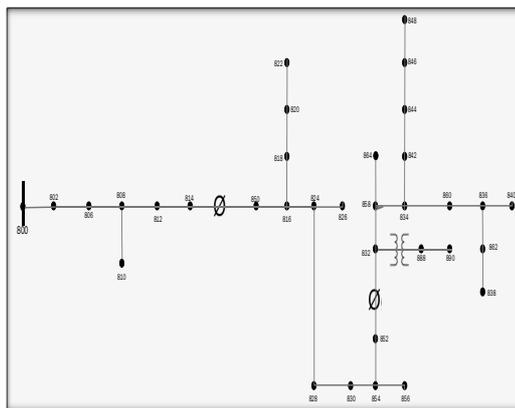


Figura 12. Sistema de alimentación de 34 nodos de la IEEE.

En el sistema de 34 nodos de la IEEE, figura 12, se realizaron 33 flujos de potencia debido a que los flujos se los realiza de cada uno de los tramos del sistema, para determinar los mismos

parámetros que se describió para el sistema de 13 nodos de la IEEE, con los cuales se va a determinar el calibre del conductor y se va a realizar el estudio desde que corriente va a empezar una extensión térmica en los conductores.

Antes de realizar el análisis de la extensión térmica es necesario representar los valores que dio el flujo de potencia en sus valores reales y así encontrar cual es la sección de conductor adecuado para soportar esa corriente sin que exista la dilatación en el conductor y determinar desde que valor de corriente incrementa la temperatura en el conductor y empieza la extensión térmica en el cable.

4.1. Algoritmo Para la Aplicación de Gauss-Seidel en Distribución.

Con la finalidad de determinar el límite de cargabilidad en las líneas de los sistemas alimentadores de 13 y 34 nodos de la IEEE, se implementó el algoritmo de flujo de potencia modificado para dos nodos, mismo que considera condiciones de un flujo de potencia normal claro que evitando o excluyendo la parte capacitiva del sistema ya que en sistemas de distribución no existe la parte capacitiva, resistencia en derivación o porque su valor es muy bajo para ser considerada en el flujo de potencia.

Algoritmo del Flujo de Potencia para el Sistema de 13 y 34 Nodos de la IEEE.

Paso 1: Definir los datos de los alimentadores de 13 y 34 nodos de la IEEE.

V_{i+1} : Voltaje del primer nodo.

V_j : Voltaje del segundo nodo.

Z_{serie} : Impedancia serie entre los nodos.

P_i : Potencia Activa de cada nodo.

Q_i : Potencia Reactiva de cada nodo.

S_k^* : Potencia aparente conjugada.

Paso 2: Definir las matrices de admitancias para dos nodos.

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}$$

Paso 3: Realización del flujo.

j=2
for i=1:n

$$\frac{S_k^*}{V_k^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ki} V_i$$

end

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{S_k^*}{V_k^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ki} V_i \right)$$

Paso 4: Cálculo de la Potencia Activa y Reactiva en cada nodo.

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i Y_{ik} V_k| \cos(\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik})$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i Y_{ik} V_k| \sin(\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik})$$

Paso 5: Cálculo de la Corriente en p.u.

$$I_1 = (V_1 - V_2) Y_{ser}$$

Paso 6: Determinación de la corriente a su valor real.

$$I_B = \frac{S_{B3\phi}}{\sqrt{3} U_{BLinea}}$$

$$I_{real} = I_B * I$$

Paso 7: Fin.

4.2. Verificación de los Resultados por DIgSILENT Power Factory.

Los flujos de potencia que se realizaron en los sistemas de 13 y 34 nodo de la IEEE con la metodología de Gauss-Seidel

aplicándole una modificación en el algoritmo para que no exista un excesivo almacenamiento de datos y los resultados puedan llegar a una convergencia más rápida. Estos resultados se los comparará con los resultados que se obtengan en la simulación, con el software DIgSILENT PowerFactory se verificará o validará la modificación del algoritmo.

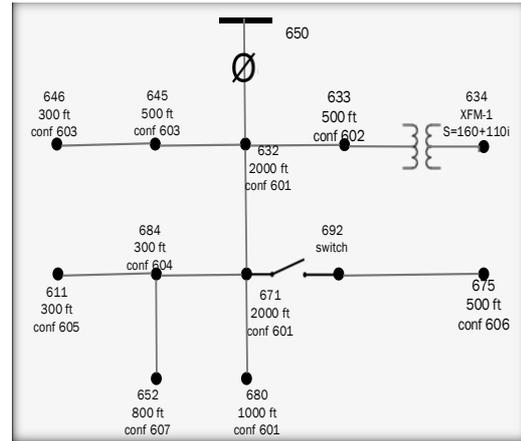


Figura 13. Simulación del flujo del alimentador de 13 nodos de la IEEE.

En la simulación del alimentador de 13 nodos de la IEEE se puede comparar los resultados obtenidos en el flujo de potencia realizado en Matlab con los resultados obtenidos en Power Factory y llegar a determinar si los resultados en Matlab son iguales o muy parecidos a los resultados obtenidos en el simulador, los cuales.

Con los resultados verificados ya se puede empezar a determinar a qué nivel de corriente empieza a existir una dilatación en el cable y así poder determinar otros parámetros que se dan por la dilatación en el cable como la longitud que aumenta y cuanto crece la flecha. La comprobación de los resultados da paso a determinar la corriente que circula por cada tramo del sistema, con estos datos se puede determinar que calibre de conductor se debería colocar en cada tramo del sistema para así obtener una selección adecuada de conductores.

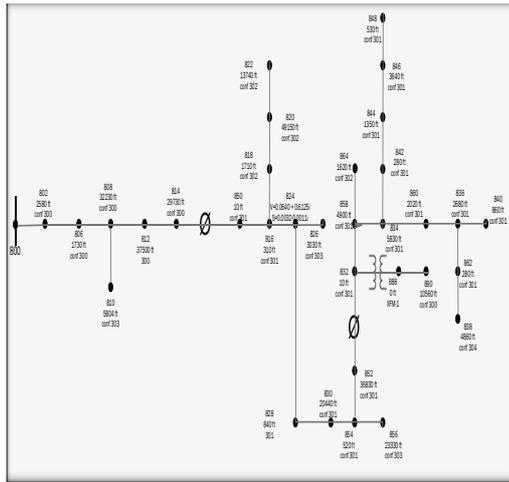


Figura 14. Simulación del flujo del alimentador de 34 nodos de la IEEE.

En el sistema de 13 y 34 nodos de la IEEE Se aprecia la realización de los flujos de potencia por tramos o flujos de potencia de dos nodos por lo que en el sistema de 13 nodos se realizaron 12 flujos de potencia en los cuales se representaron las cargas de acuerdo a los datos que especifica el sistema. En el sistema de 34 nodos se realizaron 33 flujos de potencia en el cual se colocaron los datos de acuerdo a los datos especificados en el sistema.

4.3. Calibre de Conductores Seleccionados de Acuerdo al Nivel de Corriente.

La selección del calibre del conductor se lo realiza con base a datos que se obtuvieron en Matlab y se verificaron en DIGSILENT Power Factory con lo cual después de validar los datos se determinó la corriente que pasa por cada tramo del sistema, esto se realizó en el sistema de 13 y 34 nodos dando a continuación los calibres que se especifican en las tablas 5 y 6 correspondientemente.

Tabla 5: Tipo de conductor eléctrico del sistema de 13 nodos de la IEEE.

Node A	Node B	Corriente(A)	Config.	Fase ACS R	Neutro ACSR
632	645	133.2	603	1/0	1/0
632	633	208.10	602	4/0	4/0
633	634	0	XFM -1		
645	646	133.2	603	1/0	1/0
650	632	319.4	601	4/0	4/0
684	652	125.1	607	1/0	1/0
632	671	200.4	601	4/0	4/0
671	684	100.04	604	1/0	1/0
671	680	200.08	601	4/0	4/0
671	692	0	Switch		
684	611	145.34	605	1/0	1/0
692	675	0	606	1/0	1/0

En la selección de conductores en el sistema de 13 y 34 nodos de la IEEE se toma en cuenta los tramos principales y los secundarios con los cuales se puede determinar que calibre es el apropiado (tablas 5 y 6) y recomendar un mismo calibre para diferentes tramos y así tener una acertada selección de conductores en el sistema en los nodos donde no existe una carga el paso de corriente es cero pero por recomendaciones de completar el sistema se dio un calibre de conductor basado en características generales del sistema.

Tabla 6: Tipo de conductor eléctrico del sistema de 34 nodos de la IEEE.

Nod e A	Nod e B	Corriente(A)	Confi g.	Fase ACS R	Neutr o ACS R
800	802	133.2	300	1/0	1/0

Nod e A	Nod e B	Corriente(A)	Confi g.	Fase ACS R	Neutr o ACS R
802	806	133.2	300	1/0	1/0
806	808	133.2	300	1/0	1/0
808	810	10.34	303	#4 6/1	#4 6/1
808	812	133.2	300	1/0	1/0
812	814	133.2	300	1/0	1/0
814	850	133.2	301	#2 6/1	#2 6/1
816	818	100.12	302	#4 6/1	#4 6/1
816	824	100.12	301	#2 6/1	#2 6/1
818	820	100.12	302	#4 6/1	#4 6/1
820	822	100.12	301	#2 6/1	#2 6/1
824	826	100.12	302	#4 6/1	#4 6/1
824	828	133.2	302	#4 6/1	#4 6/1
828	830	99.4	303	#4 6/1	#4 6/1
830	854	99.4	301	#2 6/1	#2 6/1
832	858	99.4	301	#2 6/1	#2 6/1
832	888	99.4	XFM-1		
834	860	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
834	842	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
836	840	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
836	862	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
842	844	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
844	846	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
846	848	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
850	816	133.2	301	#2 6/1	#2 6/1
852	832	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
854	856	80.34	303	#4 6/1	#4 6/1
854	852	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
858	864	15.88	302	#4 6/1	#4 6/1
858	834	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
860	836	80.34	301	#2 6/1	#2 6/1
862	838	10.14	304	#2 6/1	#2 6/1
888	890	10.24	300	1/0	1/0

4.4. Límite de Cargabilidad de los Alimentadores de 13 y 34 Nodos.

Desde la estructura física del cable eléctrico la potencia transferida máxima depende de la relación de temperatura con la corriente a la cual se la conoce como límite térmico, en las líneas de transmisión no se permite la circulación de energía cercana al límite térmico en la línea, en cambio en sistemas de distribución en muchas ocasiones estas operar al borde del límite térmico de la línea según (IEEE Std. 738-2002). En este apartado se aplicará una metodología para determinar el límite térmico en los sistemas alimentadores de 13 y 34 nodos, esto se detalla en la tabla 7 y 8.

Tabla 7: Configuración del sistema de 13 nodos.

Config.	Fase	Neutro
	ACSR	ACSR
601	556,500 26/7	4/0 6/1
602	4/0 6/1	4/0 6/1
603	1/0	1/0
604	1/0	1/0
605	1/0	1/0

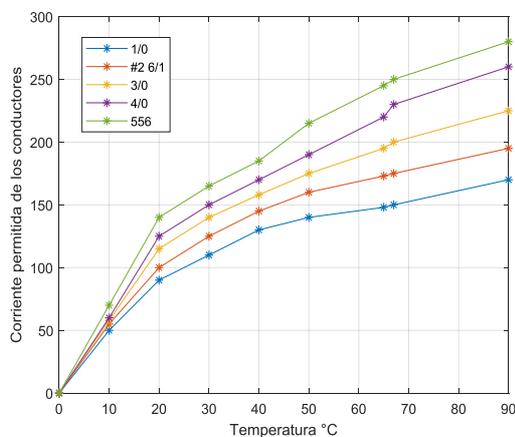


Figura 15. Corriente proporcional a temperatura en el sistema de 13 nodos de la IEEE.

Se encontró una relación entre el nivel de corriente y la temperatura, en la figura (13) se puede apreciar que si la corriente aumenta en el conductor la temperatura también sufre un aumento proporcional después del análisis en el aumento de temperatura se verificara a que temperatura empieza la dilatación térmica en los conductores.

Tabla 8: Configuración del sistema de 34 nodos.

Config.	Fase	Neutro
	ACSR	ACSR
300	1/0	1/0
301	#2 6/1	#2 6/1
302	#4 6/1	#4 6/1
303	#2 6/1	#2 6/1

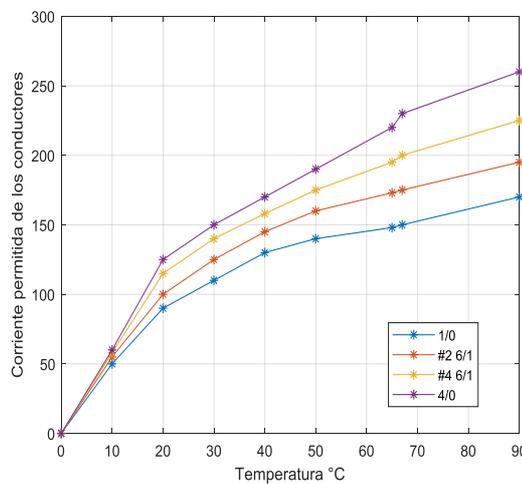


Figura 16. Corriente proporcional a temperatura en el sistema de 34 nodos de la IEEE.

En la figura (14) se puede apreciar la relación entre corriente y temperatura en los conductores del sistema de 34 nodos de la IEEE, en esta relación se determina la proporcionalidad del aumento de corriente y el aumento de temperatura en el conductor y así poder determinar a qué

nivel de temperatura va a existir una expansión térmica en los conductores del sistema de 34 nodos.

4.5. Expansión Térmica del Sistema Alimentador de 13 y 34 Nodos de la IEEE.

Según (IEEE Std. 738-2002) sobre la capacidad térmica en los conductores, el factor de sobrecorriente en los conductores en sistemas de distribución pueden operar a un 200% de su capacidad sin que haya problemas o exista una dilatación en el conductor, con lo cual se va a determinar la dilatación térmica haciendo referencia a la temperatura cuando se duplica el valor de la corriente nominal que puede pasar por el conductor. En la figura (15) y (16) se puede observar hasta qué punto de corriente puede pasar por el conductor antes y después de que exista una extensión térmica en el mismo, se tomó en consideración todos los parámetros para determinar el límite de corriente que puede pasar por los sistemas de 13 y 34 nodos de la IEEE.

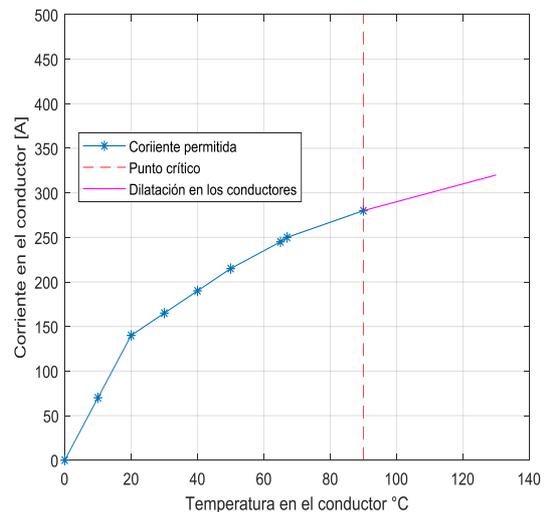


Figura 17. Punto crítico promedio en el sistema de 13 nodos de la IEEE.

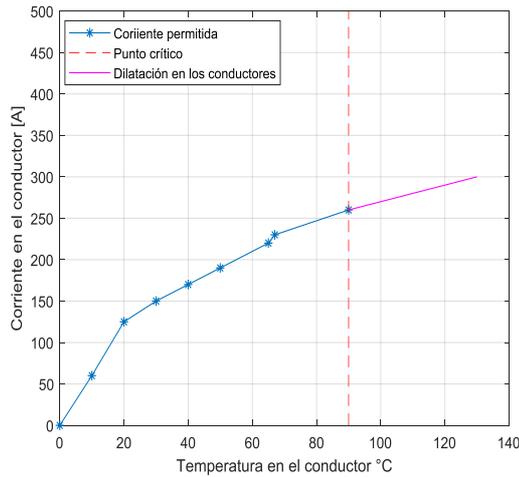


Figura 18. Punto crítico promedio en el sistema de 34 nodos de la IEEE.

5. Resultados

La metodología propuesta será sometida a dos casos de aplicación considerando que cada caso será enfocado a las normas IEEE Std. 738-2002, es decir al límite térmico de dos sistemas alimentadores de 13 y 34 nodos respectivamente con una topología radial.

5.1. Flujo de Potencia.

En las figuras 17 y 18, se podrá visualizar el resultado del flujo de potencia en los dos sistemas alimentadores en donde se detalla el voltaje, la potencia reactiva y activa en cada nodo. Con estos resultados se podrá determinar la corriente que pasa por cada tramo del conductor.

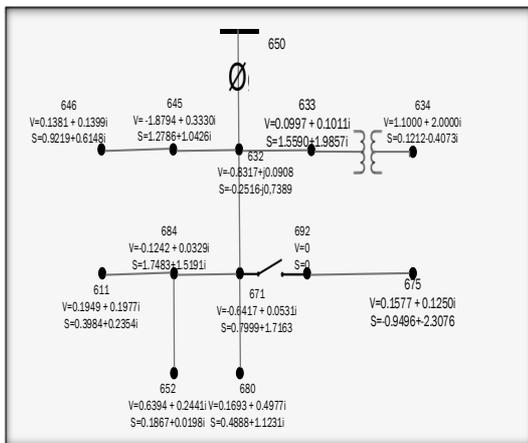


Figura 19. Resultados del flujo de potencia del alimentador de 13 nodos de la IEEE.

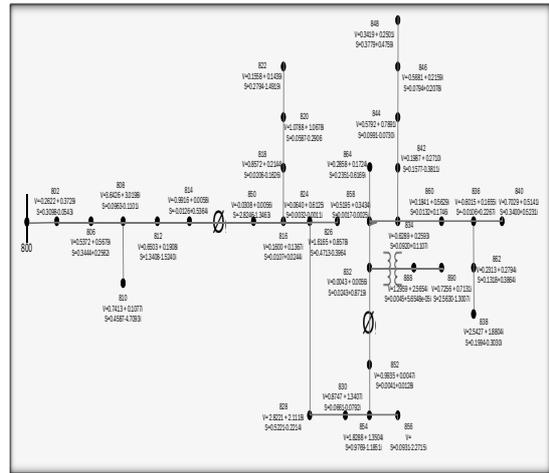


Figura 20. Resultados del flujo de potencia del alimentador de 13 nodos de la IEEE.

5.2. Flujos en DIgSILENT de los Sistemas de 13 y 34 Nodos.

En las figuras 19 y 20, se podrán visualizar los resultados obtenidos por el software DIgSILENT Power Factory en el cual se pueden verificar que los anteriores resultados si fueron los correctos con lo que ya da paso a realizar el cálculo de la corriente que circula por cada tramo de los sistemas.

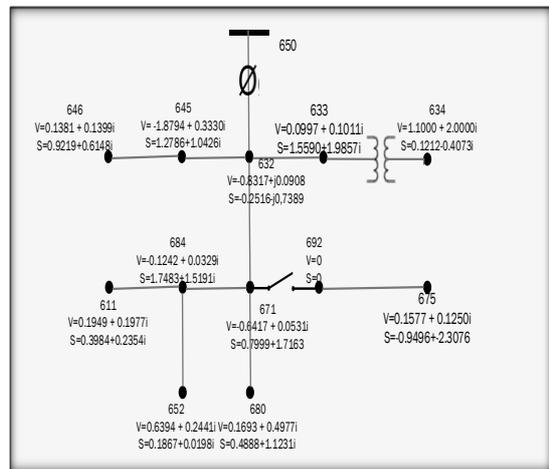


Figura 21. Flujo en DIgSILENT del alimentador de 13 nodos.

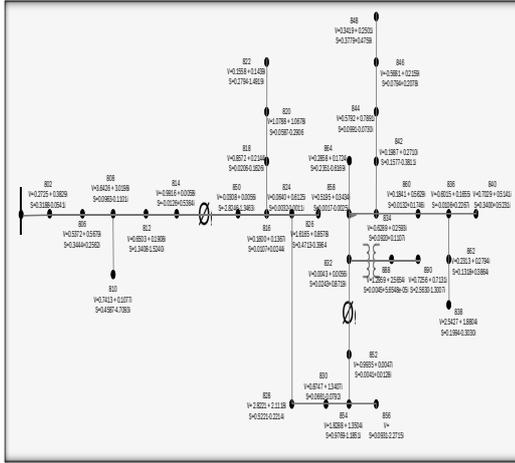


Figura 22. Flujo en DIgSILENT del alimentador de 34 nodos.

5.3. Punto Crítico Antes de que Exista una Extensión Térmica.

En las figuras 21 a 28, se podrá visualizar que nivel de corriente es la que tiene que pasar por los conductores de los sistemas alimentadores de 13 y 34 nodos de la IEEE para que el incremento de temperatura en los mismos sea lo suficiente alto para que supere su límite térmico o en otras palabras que empiece a sufrir una expansión térmica en los conductores de los sistemas.

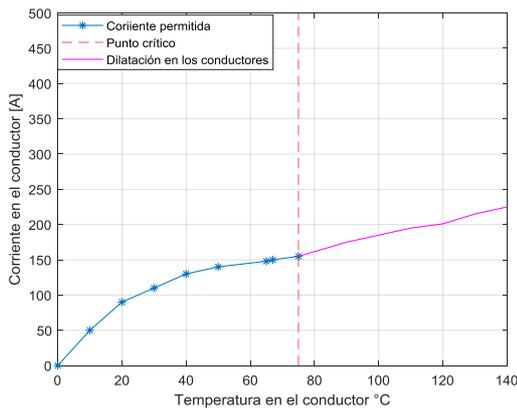


Figura 23. Punto crítico de la configuración 601.

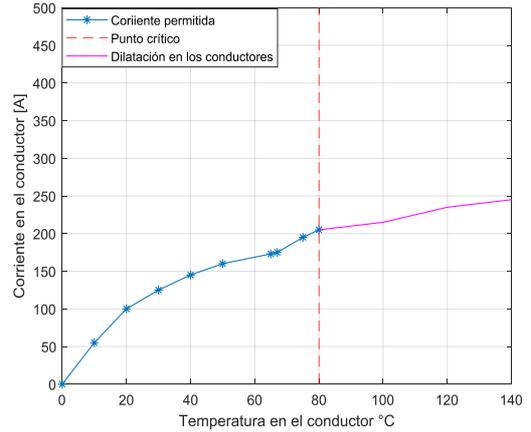


Figura 24. Punto crítico de la configuración 602.

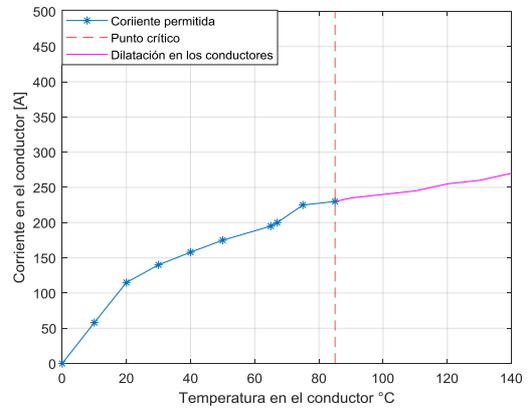


Figura 25. Punto crítico de la configuración 603.

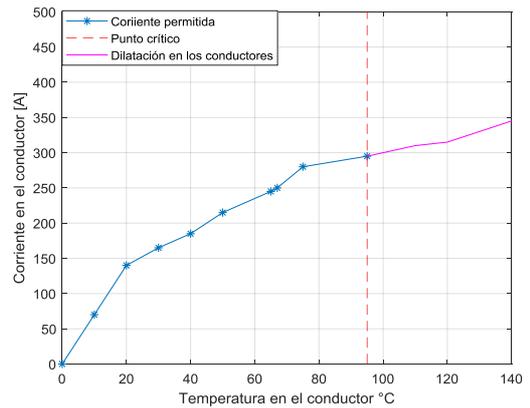


Figura 26. Punto crítico de la configuración 605.

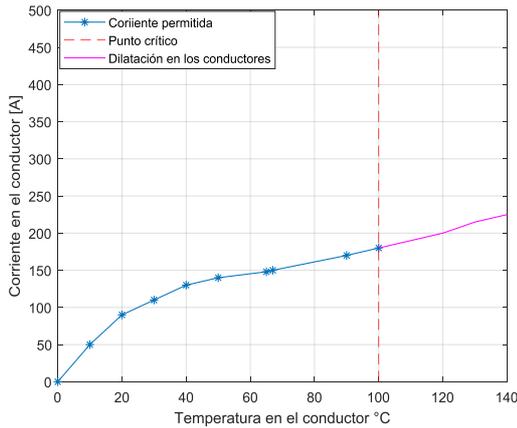


Figura 27. Punto crítico de la configuración 300.

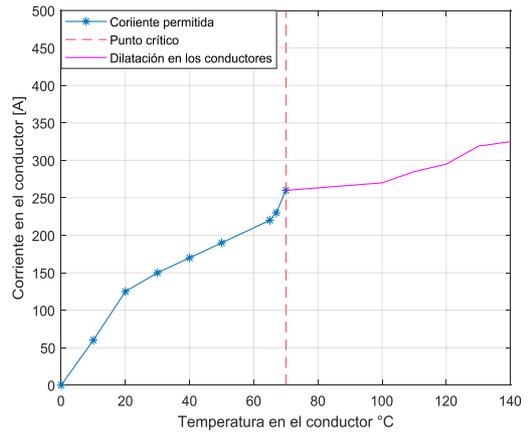


Figura 30. Punto crítico de la configuración 303.

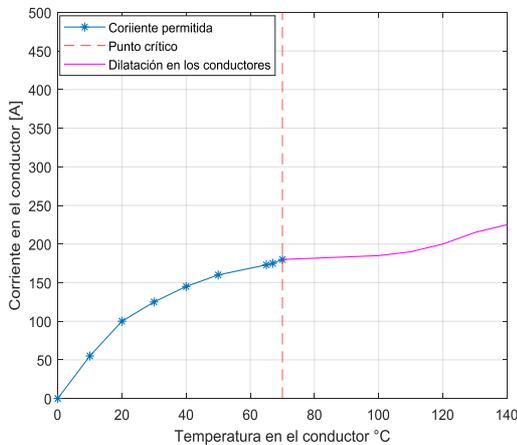


Figura 28. Punto crítico de la configuración 301.

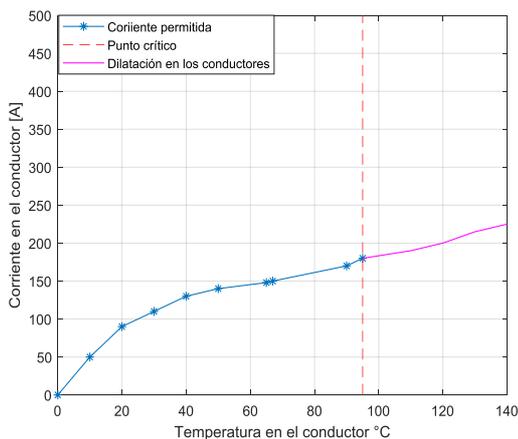


Figura 29. Punto crítico de la configuración 302.

6. Conclusiones

El uso del algoritmo de Gauss-Seidel para flujos de potencia es considerado inexacto cuando se lo aplica en sistemas de distribución pero cuando a este algoritmo se le realiza modificaciones en la forma de aplicarlo en el sistema es decir, el algoritmo se aplica de dos nodos en dos nodos hasta cubrir todo el sistema, los resultados que da el algoritmo son aceptables, ya que al realizarlo solo en dos nodos el exceso de memoria que causa cuando se lo realiza de la forma tradicional, ya no ocurre aplicando la forma anteriormente mencionada por lo cual los resultados convergen más rápido y dan una solución confiable.

La utilización de un simulador para determinar los flujos de potencia en los sistemas alimentadores es importante para la comparación de resultados y verificar si los resultados fueron los correctos, los resultados generados por el simulador dieron iguales o muy cercanos a los resultados obtenidos por la modificación del algoritmo de Gauss-Seidel aplicado en sistemas de distribución, por lo tanto se llega a la determinación que la modificación propuesta dan resultados válidos y sin exceso de memoria.

Los resultados obtenidos por el flujo de potencia ayudan a determinar la corriente nominal que pasa por cada tramo de los sistemas por lo que se concluye el calibre ideal de los conductores que deben ser colocados en los diferentes tramos de los sistemas de distribución dejando como resultados la adecuada selección de conductores eléctricos.

En las redes eléctricas de distribución el factor de sobrecarga que es permitido en estas es de 2 por lo cual se evaluó con corrientes más altas que superaban el valor de sobrecarga de los conductores en los sistemas de distribución y se determinó el punto crítico en el cual la temperatura en el conductor incrementa tanto que empieza a sufrir cambios la forma física del conductor, empieza a darse una expansión térmica en el conductor. El nivel de corriente tiene que superar al menos dos veces el nivel para el que están diseñados los conductores para que ocurra una extensión térmica en ellos.

7. Trabajos futuros

El estudio del análisis de cargabilidad en las líneas de distribución por la modificación del algoritmo de Gauss-Seidel, da la apertura de realizar estudios relacionados con la aplicación de otros flujos de potencia que se los utiliza únicamente en transmisión para ver si a estos realizándoles un ajuste en la estructura o en la forma en la que se aplican se puede llegar a dar resultados confiables en distribución.

8. Referencias

[1] F. T. Toledo and M. A. V. León, "Computational algorithm for the analysis of loadability in distribution systems," *Proc. 2018 IEEE 38th Cent. Am. Panama Conv. CONCAPAN 2018*, pp. 2–7, 2018, doi: 10.1109/CONCAPAN.2018.8596

388.

[2] X. M. Huang, Y. J. Zhang, and H. C. Huang, "Automatic reactive power control in distribution network based on Feeder Power Factor Assessment," *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, vol. 2015-March, no. March, pp. 2–5, 2014, doi: 10.1109/APPEEC.2014.7066071.

[3] P. S. Bhowmik, S. P. Bose, D. V. Rajan, and S. Deb, "Power flow analysis of power system using power perturbation method," *PEAM 2011 - Proc. 2011 IEEE Power Eng. Autom. Conf.*, vol. 3, no. 2, pp. 380–384, 2011, doi: 10.1109/PEAM.2011.6135117.

[4] D. P. Chassin, P. R. Armstrong, D. G. Chavarra-Miranda, and R. T. Guttromson, "Gauss-Seidel accelerated: Implementing flow solvers on field programmable gate arrays," *2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES, 2006*, doi: 10.1109/pes.2006.1709227.

[5] B. A. Carré, "Solution of Load-Flow Problems by Partitioning Systems into Trees," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-87, no. 11, pp. 1931–1938, 1968, doi: 10.1109/TPAS.1968.292015.

[6] H. Sato, "Computation of power system loadability limits," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 3, no. ASIA PACIFIC, pp. 1707–1711, 2002, doi: 10.1109/tdc.2002.1177711.

[7] S. Li, X. Han, and M. Wang, "A New Method for Reference Network Considering Factor," no. 51407106, pp. 2014–2017, 2016.

[8] V. V. Reddy, G. Yesuratnam, and M. S. Kalavathi, "Impact of voltage and power factor change on primary distribution feeder power loss in radial and loop type of feeders," *Proc. - ICETEEEM 2012, Int. Conf. Emerg. Trends Electr. Eng. Energy Manag.*, pp.

- 70–76, 2012, doi: 10.1109/ICETEEEM.2012.6494446.
- [9] K. Peng *et al.*, “Gauss-Newton hybrid power flow algorithm for AC-DC distribution system,” *China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED*, vol. 2016-Septe, no. Ciced, pp. 10–13, 2016, doi: 10.1109/CICED.2016.7576280.
- [10] M. T. U. Naik, “Solving Eigenvalues of Symmetric,” no. Iccmc, pp. 922–925, 2017.
- [11] C. Marcelo and M. Montecinos, “PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION,” Pontificia Universidad Católica de Chile, 1989.
- [12] G. . Gilbert, D.E.Bouchard, and A. Y. Chikhani, “Comparison of load,” *R. Mil. Coll. Canada Kingston, Ontario, K7K 5LO*, vol. 1, no. 1, pp. 850–853, 1998.
- [13] S. Mohagheghi, G. K. Stefopoulos, and M. Parniani, “Reactive compensation techniques for increasing loadability of long primary distribution lines,” *Proc. 37th Annu. North Am. Power Symp. 2005*, vol. 2005, pp. 233–237, 2005, doi: 10.1109/NAPS.2005.1560530.
- [14] F. Romero *et al.*, “Development of a genetic algorithm for evaluating the performance of overhead power distribution lines and proposing solutions to improve distribution line safety,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2013, no. 615 CP, pp. 10–13, 2013, doi: 10.1049/cp.2013.0982.
- [15] W. T. Huang and S. T. Chen, “Sequential three-phase power flow calculation for radial distribution systems via three-phase Z-bus distribution factor,” *2009 4th Int. Conf. Innov. Comput. Inf. Control. ICICIC 2009*, no. 1, pp. 647–651, 2009, doi: 10.1109/ICICIC.2009.329.
- [16] J. A. Treece, “Bootstrap Gauss-Seidel load flow,” *Proc. Inst. Electr. Eng.*, vol. 116, no. 5, p. 866, 1969, doi: 10.1049/piee.1969.0161.
- [17] B. S. Mohan, C. B. Shankaralingappa, and R. Prakash, “Fractional frequency transmission system to enhance line loadability in EHVAC and UHVAC long transmission line,” *2014 Int. Conf. Adv. Electron. Comput. Commun. ICAECC 2014*, pp. 0–5, 2015, doi: 10.1109/ICAEC.2014.7002477.
- [18] S. Milena and T. Gutiérrez, “Comportamiento de conductores eléctricos usados en líneas de transmisión ante esfuerzos electromecánicos y térmicos combinados,” *issue addressed this thesis is Behav. Electr. Conduct. used Transm. lines*, vol. 2011, no. 5, p. 70, 2011.
- [19] L. Coria, “Análisis De Flujos De Carga,” vol. 1, no. 1, pp. 117–202, 2015.
- [20] H. Zhang, H. Wang, and S. Zheng, “Analysis of the thermal expansion effect on measurement accuracy of Rogowski coils,” *Diangong Jishu Xuebao/Transactions China Electrotech. Soc.*, vol. 22, no. 5, pp. 18–23, 2007.
- [21] J. G. Michopoulos, M. Young, and A. Iliopoulos, “A multiphysics theory for the static contact of deformable conductors with fractal rough surfaces,” *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 43, no. 5, pp. 1597–1610, 2015, doi: 10.1109/TPS.2015.2416980.
- [22] S. D. Lee, K. Y. Shin, H. J. Song, D. Il Lee, and B. U. Min, “The sag and fatigue properties of STACIR/AW as a high temperature, low sag conductor,” *2006 Int. Conf. Power Syst. Technol. POWERCON2006*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2006, doi:

- 10.1109/ICPST.2006.321531.
- [23] J. Luo, L. Zhang, and Y. Liu, "Study on the thermal expansion of EHV cable line with large size conductor in tunnel," *2010 IEEE PES Transm. Distrib. Conf. Expo. Smart Solut. a Chang. World*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2010, doi: 10.1109/TDC.2010.5484463.
- [24] J. Kwon and K. W. Hedman, "Transmission expansion planning model considering conductor thermal dynamics and high temperature low sag conductors," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 9, no. 15, pp. 2311–2318, 2015, doi: 10.1049/iet-gtd.2015.0257.
- [25] S. Lukasz and R. Waldernar, "The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection Temperature Dependent Dynamic Loadability Control for Transmission Lines," pp. 1981–1985, 2011.
- [26] R. Adapa, M. Shirmohamadi, and R. Gray, "SLiM (Sagging Line Mitigator) - Mitigating excess sag in overhead transmission lines," *Proc. Inaug. IEEE PES 2005 Conf. Expo. Africa*, vol. 2005, no. July, pp. 168–174, 2005, doi: 10.1109/pesafr.2005.1611808.
- [27] D. López and D. Carrión, "Método Heurístico de Ubicación Óptima de Centros de Transformación y Enrutamiento de Redes Eléctricas de Distribución," Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2016.
- [28] F. Mosquera and D. Carrión, "Localización óptima de plantas virtuales de generación en sistemas eléctricos de potencia basados en flujos óptimos de potencia," *I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, pp. 1–12, 2020, doi: 10.33412/idt.v16.2.2827.
- [29] S. Pinzón, D. Carrión, and E. Inga, "Optimal Transmission Switching Considering N-1 Contingencies on Power Transmission Lines," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. (in press), no. X, pp. 1–8, 2019.
- [30] D. Carrión, E. Inga, J. W. Gonzalez, and R. Hincapié, "Optimal geographical placement of phasor measurement units based on clustering techniques," *Proc. - 2016 51st Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2016*, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/UPEC.2016.8114003.
- [31] D. Carrion, J. W. Gonzalez, I. A. Isaac, G. J. Lopez, and H. A. Cardona, "Load Characterization Based on Voltage and Current Phasorial Measurements in Micro-Grids," *Proc. - 2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2017*, vol. 2017-Novem, no. 2, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/INCISCOS.2017.23.
- [32] D. Carrión, J. W. González, I. A. Issac, and G. J. López, "Optimal fault location in transmission lines using hybrid method," *2017 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. - Lat. Am. ISGT Lat. Am. 2017*, vol. 2017-Janua, no. 3, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/ISGT-LA.2017.8126757.
- [33] D. Carrion, A. Ayo, and J. W. Gonzalez, "Under Frequency Load Disconnection Scheme Based on Improvement to Semi-Adaptative Model," *Proc. - 2019 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2019*, vol. 1, no. 3, pp. 361–365, 2019, doi: 10.1109/INCISCOS49368.2019.00063.
- [34] J. Pilatásig Lasluisa and D. Carrión, "Resiliencia de Sistemas Eléctricos de Potencia mediante la Conmutación de Líneas de Transmisión – Estado del arte," *I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, pp. 1–10, 2020, doi: 10.33412/idt.v16.2.2834.
- [35] J. Palacios and D. Carrión, "Estado

- del arte de la planeación de expansión de sistemas de transmisión,” *I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, p. 8, 2020, doi: 10.33412/idt.v16.2.2835.
- [36] P. Escudero and D. Carrión, “Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC Expansion of a transmission system using LOPF-AC,” *Inge Cuc*, vol. 14, no. 2, pp. 116–125, 2018, doi: 10.17981/ingecuc.14.2.2018.11.
- [37] A. Sanchez and D. Carrion, “Modeling of the behavior power flow on transmission lines based on voltage and current synchronopasors,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 4, pp. 1142–1149, 2018, doi: 10.1109/TLA.2018.8362149.
- [38] D. Santiana and D. Carrión, “Simulación de contingencias basados en flujos dinámicos de potencia para sistemas eléctricos de transmisión.,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [39] J. J. P. Calupiña and D. Carrión, “Planeación óptima de flujos de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión basado en optimización no lineal entera mixta,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [40] David Alberto Pérez Cruz and D. Carrión, “Ubicación Óptima De Dispositivos Facts En Redes Eléctricas De Transmisión Mediante Búsqueda Inteligente,” Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [41] P. A. Achig and D. Carrión, “Compensación óptima de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión mediante búsqueda armónica,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.

8.1. Matriz de Estado de Arte

Tabla 9: Matriz del estado del arte.

ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE GAUSS-SEIDEL																																			
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA														
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	REDES DE DISTRIBUCIÓN	GAUSS-SEIDEL	FLUJOS DE POTENCIA EN REDES RADIALES	PARAMETROS DE CARGABILIDAD	EXPANSIÓN DE LOS CONDUCTORES	ESTIMACIÓN DE CONDUCTORES	SELECCIÓN DE CONDUCTORES	DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE POR MEDIO DE UN FLUJO	EFEECTO DEL EXCESO DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES	METODOLOGIA	ALGORITMO APLICADO EN DISTRIBUCIÓN	REALIZACIÓN DE GAUSS-SEIDEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN	CONVERGENCIA DE LOS RESULTADOS EN DIGILENT	CALIBRE DEL CONDUCTOR SEGÚN EL NIVEL DE CORRIENTE	LÍMITE DE CARGABILIDAD EN LAS LINEAS CONDUCTORES ESPECÍFICOS	EXPANSIÓN TÉRMICA EN LOS CONDUCTORES	ALGORITMO EN MATLAB	FLUJO EN DIGILENT	DETERMINACIÓN DEL PUNTO CRÍTICO DE CORRIENTE	RELACION TEMPERATURA-CORRIENTE	DETERMINAR EL LÍMITE TÉRMICO EN LOS CONDUCTORES	GAUSS-SEIDEL MODIFICADO	RESULTADOS DE DIGILENT EN POWER FACTORY	APLICACIÓN EN MATLAB	VALORES DE VOLTAJE, POTENCIA Y CORRIENTE	VERIFICACIÓN DE CONVERGENCIA DE RESULTADOS	LÍMITE DE CORRIENTE ANTES DE LA EXPANSIÓN TÉRMICA	LÍMITE DE CORRIENTE Y TEMPERATURA	EFFECTOS EN LAS REDES ELÉCTRICAS	DIFERENTES ALGORITMOS		
1	2005	Analysis of the Thermal Expansion Effect on Measurement Precision of Rogowski Coils	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>	
2	2018	Computational Algorithm for the Analysis of Loadability in Distribution Systems	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input 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"/>	
3	2017	Implementing the Gauss Seidel Algorithm for Solving Eigenvalues of Symmetric Matrices with CUDA Ms.Teja	1	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
4	1969	Bootstrap Gauss-Seidel load flow	17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2014	Automatic reactive power control in distribution network based on Feeder Power Factor Assessment	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA														
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	REDES DE DISTRIBUCION	GAUSS-SEIDEL	FLUJOS DE POTENCIA EN REDES RADIALES	PARAMETROS DE CARGABILIDAD	EXPANSION DE LOS CONDUCTORES	ESTIMACION DE CONDUCTORES	SELECCIÓN DE CONDUCTORES	DETERMINACION DE LA CORRIENTE POR MEDIO DE UN FLUJO	EFEECTO DEL EXCESO DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES	METODOLOGIA	ALGORITMO APLICADO EN DISTRIBUCION	REALIZACION DE GAUSS-SEIDEL EN REDES DE DISTRIBUCION	CONVERGENCIA DE LOS RESULTADOS EN DISTRIBUCION	CALIBRE DEL CONDUCTOR SEGUN EL NIVEL DE CORRIENTE	LIMITE DE CARGABILIDAD EN LAS LINEAS CONDUCTORES ESPECIFICOS	EXPANSION TERMICA EN LOS CONDUCTORES	ALGORITMO EN MATLAB	FLUJO EN DIGILENT	DETERMINACION DEL PUNTO CRITICO DE CORRIENTE	RELACION TEMPERATURA-CORRIENTE	DETERMINAR EL LIMITE TERMICO EN LOS CONDUCTORES	GAUSS-SEIDEL MODIFICADO	RESULTADOS DE DIGILENTEN POWER FACTORY	APLICACION EN MATLAB	VALORES DE VOLTAJE, POTENCIA Y CORRIENTE	VERIFICACION DE CONVERGENCIA DE RESULTADOS	LIMITE DE CORRIENTE ANTES DE LA EXPANSION TERMICA	LIMITE DE CORRIENTE Y TEMPERATURA	EFECTOS EN LAS REDES ELECTRICAS	DIFERENTES ALGORITMOS	
6	2006	Gauss-Seidel Accelerated: Implementing Flow Solvers on Field Programmable Gate Arrays	15	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2006	Power Flow Analysis of Power System Using Power Perturbation method	12	<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 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 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"/>
8	1968	Solution of Load-Flow Problems by Partitioning Systems into Trees	12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
9	2002	Computation of Power System Loadability Limits	12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	2016	A New Method for Reference Network Considering Contingent Events Based on Line Outage Distribution Factor	3	<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 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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2009	Sequential Three-Phase Power Flow Calculation for Radial Distribution Systems via Three-Phase Z-Bus Distribution Factor	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2012	Impact of Voltage and Power Factor Change on Primary Distribution Feeder Power Loss in Radial and Loop Type offFeeders	4	<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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	2013	DEVELOPMENT OF A GENETIC ALGORITHM FOR EVALUATING THE PERFORMANCE OF OVERHEAD POWER DISTRIBUTION LINES AND PROPOSING SOLUTIONS TO IMPROVE DISTRIBUTION LINE SAFETY	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<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"/>
14	2016	Gauss-Newton Hybrid Power Flow Algorithm for AC-DC Distribution System	1	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
15	1989	FLUJO DE POTENCIA TRIFASICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION	19	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA																	
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	REDES DE DISTRIBUCIÓN	GAUSS-SEIDEL	FLUJOS DE POTENCIA EN REDES RADIALES	PARAMETROS DE CARGABILIDAD	EXPANSIÓN DE LOS CONDUCTORES	ESTIMACIÓN DE CONDUCTORES	SELECCIÓN DE CONDUCTORES	DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE POR MEDIO DE UN FLUJO	EFEECTO DEL EXCESO DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES	METODOLOGÍA	ALGORITMO APLICADO EN DISTRIBUCIÓN	REALIZACIÓN DE GAUSS-SEIDEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN	CONVERGENCIA DE LOS RESULTADOS EN DIGSILENT	CALIBRE DEL CONDUCTOR SEGÚN EL NIVEL DE CORRIENTE	LÍMITE DE CARGABILIDAD EN LAS LINEAS CONDUCTORES ESPECÍFICOS	EXPANSIÓN TÉRMICA EN LOS CONDUCTORES	ALGORITMO EN MATLAB	FLUJO EN DIGSILENT	DETERMINACIÓN DEL PUNTO CRÍTICO DE CORRIENTE	RELACION TEMPERATURA-CORRIENTE	DETERMINAR EL LÍMITE TÉRMICO EN LOS CONDUCTORES	GAUSS-SEIDEL MODIFICADO	RESULTADOS DE DIGSILENTEN POWER FACTORY	APLICACIÓN EN MATLAB	VALORES DE VOLTAJE, POTENCIA Y CORRIENTE	VERIFICACIÓN DE CONVERGENCIA DE RESULTADOS	LÍMITE DE CORRIENTE ANTES DE LA EXPANSIÓN TÉRMICA	LÍMITE DE CORRIENTE Y TEMPERATURA	EFECTOS EN LAS REDES ELÉCTRICAS	DIFERENTES ALGORITMOS			
16	1998	A COMPARISON OF LOAD FLOW ANALYSIS USING DISTFLOW, GAUSS-SEIDEL, AND OPTIMAL LOAD FLOW ALGORITHMS	42	<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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>	
17	2005	Reactive Compensation Techniques for Increasing Loadability of Long Primary Distribution Lines	2	<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"/>	<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 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"/>	
18	2015	ANÁLISIS E FLUJOS DE CARGA	1	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	2011	Comportamiento de conductores eléctricos usados en líneas de transmisión ante esfuerzos electromecánicos y térmicos combinados	8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<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"/>
20	2006	The Sag and Fatigue Properties of STACIR/AW as a High Temperature, Low Sag Conductor	13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	2010	Study on the Thermal Expansion of EHV Cable Line with Large Size Conductor in Tunnel	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	2015	Transmission expansion planning model considering conductor thermal dynamics and high temperature low sag conductors	12	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	2011	Temperature Dependent Dynamic Loadability Control for Transmission Lines	1	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	2005	SLiM (Sagging Line Mitigator) – Mitigating Excess Sag in Overhead Transmission Lines	3	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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"/>
25	2015	Fractional Frequency Transmission System to Enhance Line Loadability in EHVAC & UHVAC Long Transmission Line	2	<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 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 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"/>
26	2016	Transmission management for congested power system: A review of concepts, technical challenges and development of a new methodology	3	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CANTIDAD:				14	12	17	12	15	14	15	6	2	3	17	3	15	24	12	15	6	1	3	2	10	1	1	1	19	5	1	1	1	3	1		

8.2. Resumen de Indicadores

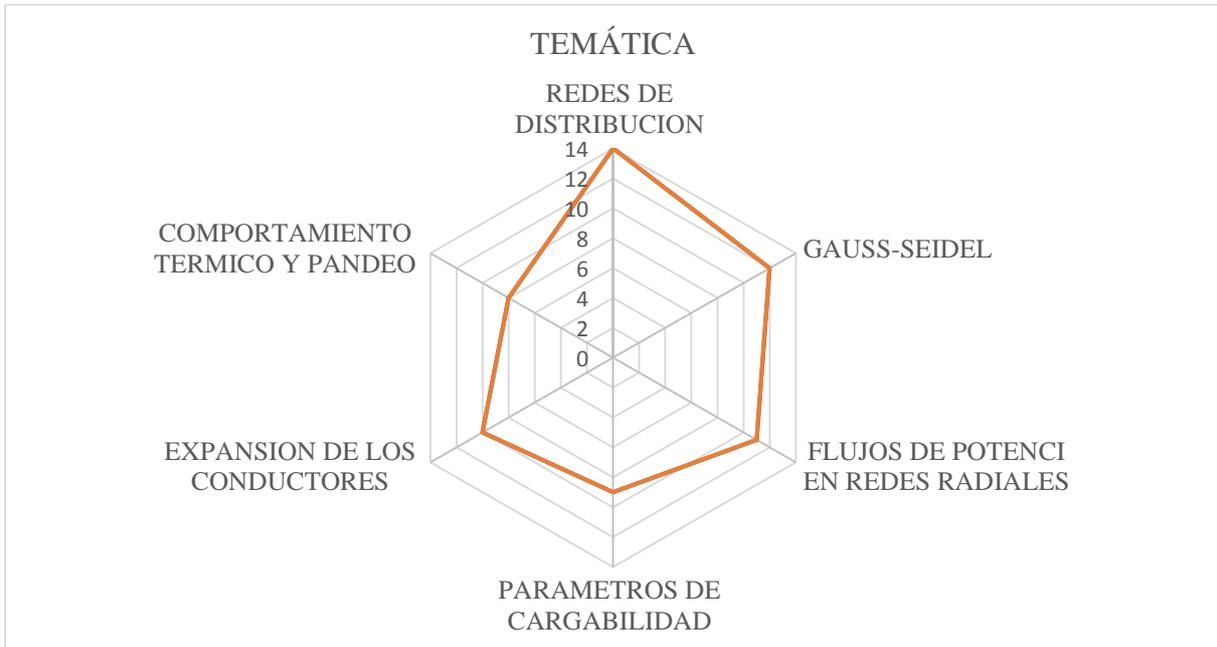


Figura 31. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

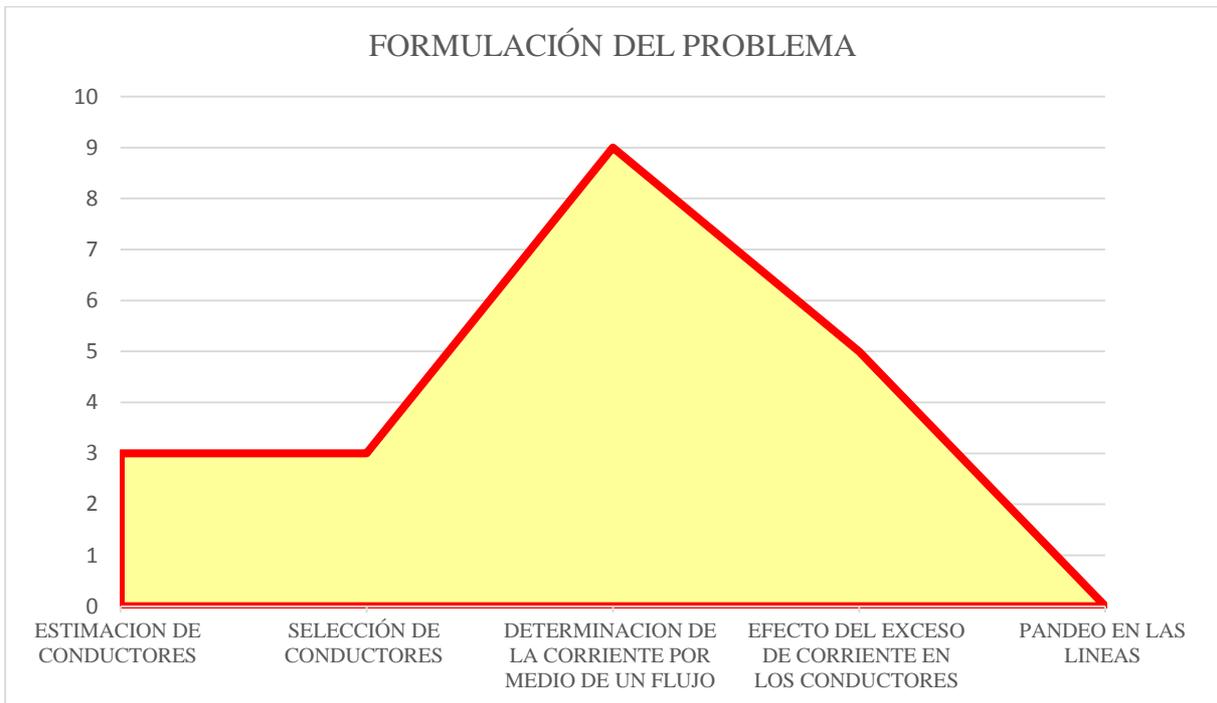


Figura 32. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

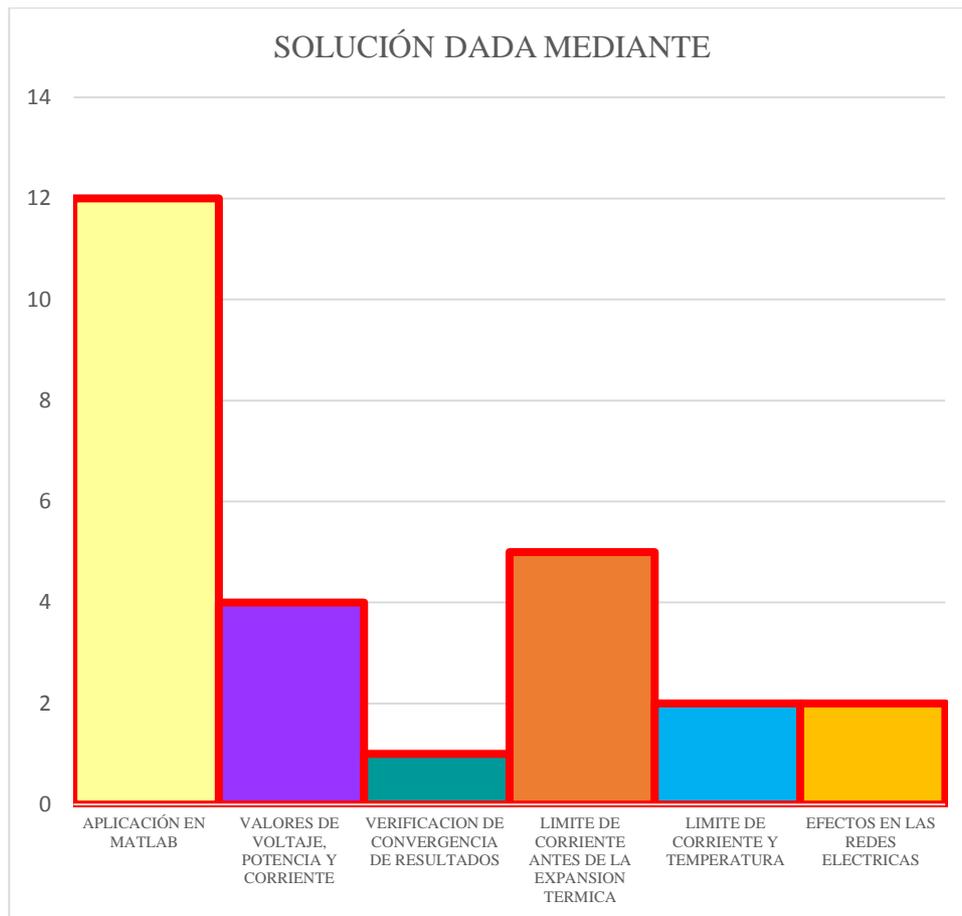


Figura 33. Indicador de solución - Estado del arte