**Proyecto - Entrega 2**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Estudiante** | **Código** | **Correo** |
| Daniela Ricaurte Echeverry | 201822966 | d.ricaurte |
| Juana Mejía Botero | 202021512 | j.mejia17 |

Contents

[1. Contexto y Antecedentes 1](#_Toc146488011)

[2. Definición del Problema 2](#_Toc146488012)

[3. Importancia y Relevancia 4](#_Toc146488013)

[4. Objetivos de Proyecto 6](#_Toc146488014)

[Revisión de literatura 6](#_Toc146488015)

[Bibliografía 9](#_Toc146488016)

# Contexto y Antecedentes

Para poder asegurar una operación eficiente y confiable en redes es crucial el problema de reconfiguración de sistema de distribución de energía eléctrica (SDEE). Las SDEE son la parte del sistema de suministro eléctrico que suministra energía desde una subestación hasta uno o varios usuarios finales. Aunque las SDEE inicialmente se planificaron como redes malladas e interconectadas, estas se basan en una topología o configuración radial. La topología radial es lograda por medio del uso estratégico de interruptores de conexión en distintos puntos claves en el sistema, por medio de estos se puede modificar la topología de la red lo que permite transmitir las demandas entre diferentes puntos y lleva a la optimización general del rendimiento. Adicionalmente es necesario que la topología sea radial ya que esta permite la reducción de la corriente de corto circuito y así garantizar la seguridad y eficiencia de la red en caso de que ocurran fallas o se sobrecargue la red. Este proceso de reconfiguración implica abrir o cerrar diferentes interruptores de conexión para mejorar los índices del rendimiento, que pueden variar desde la minimización de perdida de potencia activa hasta el aislamiento de fallos.

Al mejorar el índice objetivo del problema se logra reducir las pérdidas de energía, esto es completamente relevante ya que se hace un buen uso de las energías y de los recursos naturales necesarios para producirlas. Si se minimiza la necesidad de producir y distribuir más energía para compensar lo perdido y así se reduce la demanda de combustibles fósiles y recursos no renovables. Además de los claros beneficios ambientales que trae resolver este problema, hay beneficios económicos debido a la reducción de costos que se da al tener más energía para ser consumida

Se han propuesto distintas metaheurísticas y algoritmos para encontrar la mejor manera de resolver el problema de reconfiguración de sistema de distribución de energía eléctrica (SDEE), a continuación se mencionaran algunas de estas. El problema fue abordado en una de sus primeras instancias por A.Merlin y H. Pack en 1995 que propusieron un método para determinar una configuración operativa con la menor perdida en un sistema mallado utilizando un árbol de expansión mínima y un año después, Ali Abur presento un método de programación linear para solucionar los sistemas de reconfiguración radial. En el 2005 Esther Romero-Ramos, Antonio Gomez-Exposito, Jesús Riquelme Santos y Francisco Iborra presentaron una versión que tenía en cuenta más variables y estaba basada en el concepto “path-to-node” que permitió considerar las restricciones eléctricas y de configuración radial. Juan A. Martin y Antonio J. Gil presentan en el 2008 una técnica heurística que permite abrir y cerrar las llaves de interconexión estratégicamente para minimizar las pérdidas de potencias. En el 2014, Marlon C. O. Borges, John F. Franco y

Marcos J. Rider presentaron un modelo de programación linear no entera mixta que luego convierten a entera mixta (MILP) y haciendo uso del software de optimización existente.

# Definición del Problema

El problema de la reconfiguración del sistema de distribución de energía eléctrica (SDEE) tiene como objetivo minimizar las pérdidas de potencia activa en el sistema. Este objetivo se tiene ya que es de suma importancia para la gestión eficiente de redes eléctricas para poder optimizar los costos y reducir el impacto ambiental.

**Función Objetivo:**

El Sistema de Distribución de Energía Eléctrica (SDEE) esta construido por nodos, líneas de interconexión y subestaciones, que emiten el flujo de energía. El propósito de este problema es encontrar la mejor configuración del sistema al abrir o cerrar las distintas llaves de reconexión del que se encuentran entre los nodos.

**Variables del Problema**

variable que representa el estado de la llave de interconexión entre i y j, donde esta será 1 si la llave está abierta y 0 si se encuentra cerrada.

es la variable continua que representa el flujo de potencia activa entre el nodo i y j

es la variable continua que representa el flujo de potencia reactiva entre el nodo i y j

variable continua que representa el flujo de corriente del nodo i

variable continua que representa el voltaje del nodo i al j

**Parámetros del problema**

La demanda de potencia activa que tiene el nodo i

La demanda de potencia reactiva que tiene el nodo i

Representa la resistencia de la línea que conecta el nodo i y j

Representa la reactancia de la línea que conecta el nodo i y j

**Restricciones**

1. Equilibrio de potencia activa: esta restricción regula que la cantidad total de potencia activa que es consumida en el sistema eléctrico sea igual a la generada y entregada al sistema, además debe ser igual a la demandada del nodo.
2. Equilibrio de potencia reactiva: permite que la cantidad total de potencia reactiva que es consumida en el sistema eléctrico sea igual a la generada y entregada al sistema y debe igualar la demanda del nodo.
3. La siguiente restricción limita la magnitud de tensión. Existen restricciones físicas a las que se debe acoger el sistema para poder asegurar un funcionamiento seguro y confiable. Es por esta razón que el voltaje debe encontrarse entre un rango especifico.
4. Esta restricción permite regular la magnitud de tensión entre los nodos del sistema con respecto al estado de conexión/desconexión de las llaves de interconexión entre los nodos.
5. Esta restricción permite que se sigan las leyes de la conservación de energía en el sistema eléctrico y tiene en cuenta la relación entre las magnitudes de tensión, corriente y potencias activas y reactivas.
6. La siguiente restricción se basa en las leyes fundamentales de la electricidad y es conocida como la ley de potencia ya que refleja la conservación de potencia en el sistema eléctrico.
7. Esta restricción establece límites al cuadrado de la magnitud de la corriente entre los nodos i y j cuando la llave de interconexión se encuentre abierta.
8. Finalmente se encuentran la de radialidad donde se deben cumplir dos condiciones diferentes que son que la condición de be cumplir con tener (N-1) circuitos y se debe generar una topología conexa. Para lograr esto se debe unir la restricción de equilibrio de potencia debido a que permite que haya un camino entre la subestación y cada nodo y así se logra un grafo conexo. La condición 1 se logra completar con la siguiente restricción. El hace referencia a la cantidad de nodos que son subestaciones.

Se tienen algunos desafíos y complejidades para el problema de la reconfiguración del sistema de distribución de energía eléctrica (SDEE). El primero de estos es que el modelo es matemáticamente complejo debido a que incluye varias restricciones no lineales lo que lo vuelve más complicado desde el punto de vista matemático y computacional. Otro problema que podría suceder es que la magnitud de las dimensiones con respecto a los nodos sea muy grande lo que puede complicar la búsqueda de soluciones optimas como menciona José Cervantes en su libro *Sistemas de distribución de energía eléctrica*: “…, la generación se realiza en gran-

des bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes. Por esta razón el sistema de distribución resulta todavía más complejo que el sistema de potencia” (Cervantes,1995).

# Importancia y Relevancia

En la actualidad estamos viviendo una crisis energética a nivel mundial, esto se debe a muchos factores los cuales podemos incluir el calentamiento global, con el propósito de mitigar esto se está buscando el uso de energías renovables para el suministro de energía, pero esta al ser mucho más escasa debe de ser administrada de la forma más eficiente posible, de ahí es donde surge la gran relevancia del problema de la reconfiguración del sistema de distribución de energía eléctrica, ya que busca:

1. Reducir la pérdida de energía en los sistemas

En donde en las redes de distribución ocurre debido a las pérdidas de potencia activa en el sistema, que ocurren debido a la resistencia y la reactancia que hay al transmitir corriente entre los nodos. Este valor es variable entre nodos por lo tanto dependiendo del camino por donde la corriente fluya puede haber mayor o menor valor de la disminución de la transferencia de energía, evidentemente buscar el camino más optimo es deseable, ya que no solo ayuda a la diminución de perdidas en el sistema, pero también ayuda a mitigar costos. En el panorama colombiano este es un problema relevante, debido a que según el banco mundial para el 2014 la Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución (% de producción) fue del 11%, los cual nos indica que 11% de la producción de energía se pierde, puede que este no se deba completamente a los problemas de resistencia y reactancia de los cables de distribución, pero es un factor importante.

1. Aliviar las sobrecargas en la red de distribución de energía

En la realidad, la infraestructura de las redes de distribución energética sufre problemas de sobrecarga debido a que todos compiten para el uso de los mismos recursos, lo que genera que se pueden generar sobrecargas en las redes, lo cual se ve reflejados en perdidas, ya que el sobreuso de los recursos puede generar desgate a estos debido a el calor que producen a medida que son usados a su límite. Además, cuando ocurren sobrecargas, es posible que el sistema colapse si no hay formas de reconfigurarlo, ya que la energía que fluye por ciertos nodos excede su capacidad inhibiendo el flujo de estas. En Colombia esto se ha visto reflejado en los apagones que enfrenta el país, donde el operador de red nacional indica que se debe a la creciente demanda la cual ejerce presión sobre la capacidad de transmisión, esto ejemplo se ha visto reflejado en los departamentos de la Guajira, Cesar, Magdalena, Córdoba, Sucre, Bolívar y el Choco, donde la actual infraestructura de las subestaciones eléctricas están operando cerca de sus límites, por lo tanto se debe de hacer el uso más eficiente de los recursos actuales, para lograr mitigar el riesgo de apagones y que la mayor cantidad de personas tengan acceso a energía, ya que se requiere en promedio de 5 a 7 años para alcanzar unas redes de distribución aceptables para la creciente demanda.

1. Que después de una falla sea posible la restauración del servicio a tantos clientes como sea posible durante ese estado de restauración

Es inevitable en las redes eléctricas que ocurran fallas, ya que se pueden presentar imprevistos como la caída de un nodo, por lo tanto, es crucial saber cómo debe de responder el sistema cuando alguna de estas fallas es identificada, ya que con la caída de un nodo la energía que era transmitida por ahí ya no tiene paso, pero al ser un red mallada existen otros caminos posibles que posibilitan el paso de energía a otros nodos o fuentes, por lo tanto la reconfiguración del flujo es fundamental para asegurar que la energía llegue a la mayor cantidad de usuarios. Esto es fundamental no solo porque el acceso a energía es considerado como un derecho humano básico, pero también en el aspecto financiero ayuda a disminuir perdidas ya que los usuarios únicamente pagan por los recursos usados. En Colombia, esto es una gran problemática, ya que cuando ocurre una falla el tiempo de respuesta para solucionarla muchas veces es demasiado largo, entonces ocurren situaciones en donde varias localidades se quedan sin energía eléctrica por varias horas, entonces mientras tengamos infraestructura que tienda a fallar es fundamental la generación de medidas de contingencia efectivas para cuando esto ocurra.

Finalmente, aunque Colombia sea el tercer país de la región más avanzada en transición energética, donde el 67.2% de la energía del país viene de plantas hidroeléctricas, aún falta un largo camino para lograr la neutralidad del carbono que se tiene como compromiso para el 2050. Se evidencia que estas fuente aunque sean renovables pueden fallar ya que dependen de condiciones climáticas que no podemos controlar, además lograr estas metas va a ser muy costoso para la sociedad, por lo tanto debemos de lograr que el uso de esta energía sea lo más eficiente posible para lograr superar la crisis energética al menor precio posible, así mismo debemos de lograr una igualdad al acceso a la energía, ya que en Colombia según la UPME en zonas urbanas es del 98% pero el de zonas rural es del 85%, por lo tanto es gran reto lograr aumentar la cobertura. De aquí es donde surge la gran relevancia que tiene SDEE, ya que podría generar impactos considerables en el acceso a la energía eléctrica de sociedad y en la disminución de costos. Aunque solo se haya hablado del caso colombiano anteriormente, este es un caso relevante de talla mundial, donde incluso países desarrollados como Alemania se podrían ver beneficiados, ya que debido a la guerra entre Rusia y Ucrania, y el cierre de todas las plantas nucleares, viven una escases de energía especialmente en épocas de invierno debido al aumento de la demanda, lo cual a incrementado a gran medida el precio del kwh de la energía en un 2,38% el último año, por lo tanto ayudar a buscar la menor perdida de energía en el transporte de energía sería de gran utilidad.

# Objetivos de Proyecto

El proyecto tiene como objetivo de generar un modelo matemático de optimización en redes, para el caso de reconfiguración de redes de distribución de energía eléctrica con el fin de aumentar la fiabilidad de los SDEE, buscamos con el proyecto buscar de la manera más eficiente de llegar a una solución dada una estructura de red mallada que cumpla nos la restricción de radialidad con varios alimentadores, con el fin de disminuir la perdida de corriente al momento de transportar energía entre nodos. Para lograrlo vamos a explorar el estado del arte que actualmente está abarcando la solución de este problema y técnicas de optimización para flujos en redes. De forma específica, buscamos generar los modelos matemáticos con sus restricciones, explorar las soluciones mediante diferentes algoritmos para la optimización e identificar aquellos factores que tienen posibilidad de mejora o limitaciones de aquello propuesto.

# Revisión de literatura

Se han propuesto distintas metaheurísticas y algoritmos para encontrar la mejor manera de resolver el problema de reconfiguración de sistema de distribución de energía eléctrica (SDEE), a continuación se mencionaran algunas de estas. El problema fue abordado en una de sus primeras instancias por A.Merlin y H. Pack en 1975 que propusieron un método para determinar una configuración operativa con la menor perdida  en un sistema mallado  utilizando un árbol de expansión mínima. Ellos ofrecieron un método para optimizar la operación de un sistema de distribución en malla mediante la búsqueda de la configuración más eficiente que minimiza las pérdidas de energía, considerando los principios de las leyes de Kirchhoff y los valores de resistencia de las ramas. Este enfoque fue un punto de partida importante para la investigación de la reconfiguración de SDEE, pero al ser una simplificación del sistema para que este fuera más manejable, la precisión de los resultados podría haber sido afectada.

En 1989, Mesut Baran y Felix Wu presentan una formulación general del problema de reconfiguración de energía eléctrica donde la solución se basa en una búsqueda de diferentes configuraciones radiales creadas por medio de cambios al mover los interruptores. Para guiar la búsqueda se desarrollaron y probaron dos métodos de aproximación del flujo de potencia con diferentes niveles de precisión. Se encontró que el método Simplified DistFlow es el mejor para el equilibrio de carga por su naturaleza relativa. Esto puede ser útil en situaciones donde se necesita una estimación rápida y aproximada del flujo de potencia sin la necesidad de realizar cálculos detallados y complicados. Sin embargo, esta simplificación puede llevar a resultados menos precisos en comparación con métodos más completos, por lo que su uso generalmente se limita a casos donde la precisión detallada no es crítica.

Otra técnica importante fue desarrollada por Ali Abur en 1996, que presento un método de programación linear para solucionar los sistemas de reconfiguración radial. La forma en la que Abur abordo el problema de la reconfiguración de redes fue formularlo como una red de costo mínimo, lo que lo permita resolver usando programación lineal. Esta forma funcionaba solo si se ignoraban los límites de capacidad de la línea eran ignorados, por esto Abur modifico el algoritmo simplex para incluirlos, lo que resultaba en una configuración radial que no viola los límites de las capacidades y minimiza las perdidas. Estas solución requiere de datos precisos y de alta calidad y datos incorrectos o incompletos pueden conducir a resultados inexactos.

La siguiente técnica que se debe resaltar es la creada por Esther Romero-Ramos, Antonio Gomez-Exposito, Jesús Riquelme Santos y Francisco Iborra en el 2005. En esta manera de abordar el problema se buscan diferentes configuraciones de la red eléctrica, donde se abren o cierran interruptores para mejorar la eficiencia del sistema. La búsqueda se guía mediante la utilización de métodos de aproximación del flujo de potencia, que son cálculos matemáticos para entender cómo fluye la electricidad a través de la red, adicionalmente esta versión tiene en cuenta más variables y está basada en el concepto “path-to-node” que permite considerar las restricciones eléctricas y de configuración radial, lo que es crucial para garantizar que las soluciones obtenidas sean viables desde el punto de vista eléctrico y operativo.

En el 2014, Marlon C. O. Borges, John F. Franco y  Marcos J. Rider presentaron un modelo de programación linear no entera mixta que luego convierten a entera mixta (MILP) y haciendo uso del software de optimización existente. El uso de un modelo MILP garantiza que la respuesta tienda a convergir a la solución más optima y los resultados obtenidos con 33, 70, 136 y 417 nodos fueron mejores que las encontradas por medio de otros métodos y además los resultados muestran que las pérdidas de energía se calculan con gran precisión en comparación con el método de barrido de flujo de carga. Una ventaja de este método es la alta precisión en el cálculo de pérdidas de energía con respecto a métodos tradicionales que puede ser fundamental para la toma de decisiones precisas. Sin embargo, la carga computacional y complejidad de implementación con respecto a enfoques más simples requiere de un conocimiento especializado para que pueda ser implementado.

En la formulación de los modelos de optimización para los problemas de sistemas de distribución es importante en la formulación tener en cuenta las restricciones de radialidad, con el objetivo de facilitar la coordinación y protección de las redes de distribución eléctrica al igual que reducir la corriente que generan corto circuito en las SDEE. Para los problemas de reconfiguración del sistema (DSR por sus siglas en ingles) y el problema de planificación de expansión de un sistema de distribución (DSP por sus siglas en ingles), se ha evidenciado que las restricciones de radialidad siempre plantean desafíos al momento del planteamiento de la solución, por lo tanto generalmente se generan soluciones mediante heurísticas que generan aproximaciones cercanas, que generalmente comprometen la solución óptima, pero que es cercana y aceptable, pero que en algunos casos no logra garantizar las restricciones de radialidad. Se ha evidenciado gran creatividad al momento de plantear soluciones, en donde pueden aplicar teoría de grafos o algoritmos de genética para brindar una solución, como ejemplo podemos evidenciar los diferentes algoritmos de heurísticas como:

* La Reconfiguración de red de pérdida mínima mediante programación convexa de enteros mixtos [VII], en donde mediante teoría de grafos logran desde una red mallada eliminar las ramas hasta llegar a una topología radial, la problemática evidenciada en esta solución se evidencia en que la representación radial cumple con las condiciones necesarias, pero no suficientes para asegurar la radialidad, por lo tanto, da una solución aproximada. Es importante recalcar que las soluciones planteadas dependen en gran medida de las condiciones en que este se va a implementar, dada que si se requiere una solución rápida o la red es muy grande el uso de MICP es el óptimo, mientras que MILP aunque da soluciones un superiores pero demora más tiempo.
* Para asegurar la topología radial de los SDEE, se plantea la solución mediante la técnica de programación con enteros y el uso del algoritmo no lineal branch-and-bound [I] en donde busca generar los modelos matemáticos de los problemas de DSR y DSP, donde se asegura la radialidad cuando se cumple las dos condiciones de que deben de cumplirse que la solución define que la cantidad de circuitos debe de ser el número de nodos menos 1 y que debe de ser conectado. Se especifica que este modelo puede ser implementado la optimización de modelos de sistemas de distribución radial.
* El uso de algoritmos genéticos ha sido otra solución para asegurar la radialidad de los sistemas [VIII], el cual lo logra mediante la aplicación del operador de cada metaheurística.

Mediante todo el material del estado el arte actual evidenciamos grandes limitaciones frente a los elementos de cómputo utilizado para la prueba de las soluciones propuestas, en muchos casos se dan las especificaciones de las herramientas utilizadas ya que esto afecta los resultados de temporalidad obtenidos, lo cual genera brechas en los resultados. Un factor que se espera que vaya a revolucionar los problemas de optimización recae en el uso de superconductores para la computación cuántica, debido a que lograrían mayor accesibilidad a herramientas muy potentes, claro estas presentan limitaciones, pero pintan un panorama muy prometedor.

Evidenciamos que la utilidad de todas estas soluciones es muy alta, pero en la práctica existen limitaciones, por lo tanto, se debe de asegurar un equilibrio entre la reducción de costos que se evidencia al minimizar las pérdidas de corriente en el sistema y los daños que pueden ocurrir debido a la conmutación a gran escala. Esto y lo expuesto en el texto pone en evidencian la gran complejidad del problema dada las muchos las restricciones que existen al momento de modelar las redes de distribución eléctrica.

# Modelo Matemático e Implementación en Sistemas de prueba

# Bibliografía

1. Lavorato, M., Franco, J. F., Rider, M. J., & Romero, R. (2012). Imposing radiality constraints in distribution system optimization problems. *IEEE Transactions on Power Systems*, *27*(1), 172–180.
2. Jabr, R. A. (2013). Polyhedral formulations and loop elimination constraints for distribution network expansion planning. *IEEE Transactions on Power Systems*, *28*(2), 1888–1897. https://doi.org/10.1109/tpwrs.2012.2230652
3. Merlin, A., & Back, H. (1975). Search for a minimal-loss operating spinning tree configuration in an urban power distribution system. In Power System Computation Conference (pp. 1–18).
4. M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407, April 1989, doi: 10.1109/61.25627.
5. Abur, A. (1996). A modified linear programming method for distribution system reconfiguration. Electric Power Energy SystemsResearch, 18(7), 469–474.
6. Ramos, E. R., Exposito, A. G., Santos, J. R., & Iborra, F. L. (2005).Path-based distribution network modelling: Application to reconfiguration for loss reduction. IEEE Transactions Power Systems, 20(2),556–564.
7. Jabr, R. A., Singh, R., & Pal, B. C. (2012). Minimum loss network reconfiguration using mixed-integer convex programming. *IEEE Transactions on Power Systems*, *27*(2), 1106–1115. https://doi.org/10.1109/tpwrs.2011.2180406
8. Hong, Y.-Y., & Ho, S.-Y. (2005). Determination of network configuration considering multiobjective in distribution systems using genetic algorithms. *IEEE Transactions on Power Systems*, *20*(2), 1062–1069. https://doi.org/10.1109/tpwrs.2005.846067
9. Davis, R. (2021, septiembre 29). *Cutting through the hype of quantum optimization*. Medium. https://medium.com/qiskit/cutting-through-the-hype-of-quantum-optimization-6d4b5c95e377
10. Banco Mundial. (n.d.). *Transmisión de Energía Eléctrica Y Pérdidas en la distribución (% de Producción) - colombia*. World Bank Open Data. <https://datos.bancomundial.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?locations=CO>
11. Bnamericas. (2023, Julio 19). *BNAMERICAS - Colombia Enfrenta Riesgo de apagones, según operador de red.* BNamericas.com. <https://www.bnamericas.com/es/noticias/colombia-enfrenta-riesgo-de-apagones-segun-operador-de-red>
12. Delgans, L. H. (2023, Agosto 10). *Expertos alertan sobre Los Riesgos en el Caribe por fallas en las redes eléctricas*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/los-riesgos-en-el-caribe-por-fallas-en-las-redes-electricas-794851>
13. Juárez Cervantes, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Energía.
14. Velandia, N. D. C. (2021, Marzo 16). *Falla en Línea de Energía Dejó sin servicio de luz a once Barrios de Bucaramanga*. RCN Radio. <https://www.rcnradio.com/colombia/santanderes/falla-en-linea-de-energia-dejo-sin-servicio-de-luz-once-barrios-de-bucaramanga>
15. Vargas, N. (2022, Noviembre 8). *Colombia es el tercero de la región más avanzado en Transición Energética*. Diario La República. <https://www.larepublica.co/globoeconomia/colombia-es-el-tercer-pais-de-la-region-que-mas-ha-avanzado-en-la-transicion-energetica-3483686>
16. PNUD. (2022, Octubre 14). *Acceso a Energía Una Estrategia para la reducción de la Pobreza*. PNUD Colombia. <https://www.undp.org/es/colombia/discursos/acceso-energia-estrategia-para-reduccion-de-pobreza>
17. *Alemania - Precios de la Electricidad de los Hogares 2022*. Datosmacro.com. (2023, Abril 6). [https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-precio-hogares/alemania#:~:text=Aumenta%20el%20precio%20de%20la,38%25%20desde%20el%20semestre%20anterior](https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-precio-hogares/alemania" \l ":~:text=Aumenta%20el%20precio%20de%20la,38%25%20desde%20el%20semestre%20anterior).
18. Majcher, P. (2023, Mayo 29). *Power distribution network: Types and functionality*. Solidstudio. <https://solidstudio.io/blog/power-distribution-network-what-is-it-and-what-are-the-types>
19. Ramos, E. R., Expósito, A. G., Santos, J. R., & Iborra, F. L. (2005). Path-based distribution network modeling: application to reconfiguration for loss reduction. *IEEE Transactions on power systems*, *20*(2), 556-564.
20. Martín, J. A., & Gil, A. J. (2008). A new heuristic approach for distribution systems loss reduction. *Electric Power Systems Research*, *78*(11), 1953-1958.
21. Borges, M. C., Franco, J. F., & Rider, M. J. (2014). Optimal reconfiguration of electrical distribution systems using mathematical programming. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, *25*, 103-11