ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA

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

TEMA:
ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA.

AUTOR:
ANDRÉS ALEXANDER PONCE LEÓN

TUTOR:
ALEXANDER ÁGUILA TÉLLEZ

Quito, Marzo 2022

Datos de Catalogación Bibliográfica

Andrés Alexander Ponce León

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2022
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.

Andrés Alexander Ponce León (Y'1993 – M'09) Realizó sus estudios de nivel secundario en la Unidad Educativa Experimental "F.A.E N 1" de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la selección óptima de conductores eléctricos para redes de distribución. aponcel1@est.ups.edu.ec

Dirigido por

Alexander Águila Téllez (Y'1981 – M'09) recibió el título de Ingeniero Eléctrico y el de Máster en Eficiencia Energética en los años 2005 y 2010 respectivamente. Es Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana - Colombia-Medellín y Magíster en Ingeniería de la misma Universidad. Es miembro del Grupo de Investigación GIREI. Sus principales intereses de investigación incluyen la compensación VOLT-VAR en redes de distribución eléctrica, redes inteligentes, minimización de pérdidas de energía, las energías renovables y la eficiencia energética. Es profesor investigador de la Universidad Politécnica Salesiana- Ecuador. aaguila@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
©2022 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Alexander Águila declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONOMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA realizado por Andrés Alexander Ponce León , obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2022

…….

Alexander Águila Téllez

175598318-4

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Andrés Alexander Ponce León , con documento de identificación N° 171904639-1, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONOMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, D. M., marzo 2022

.....

Andrés Alexander Ponce León

CI: 171904639-1

Índice de Contenido

Resumen 1
Abstract 1
1. Introducción 2
2. Sistemas Eléctricos de Distribución 4
2.1 Selección de Conductores Eléctricos en Distribución 4
2.2 Tipos de Conductores en Redes de Distribución 5
2.3 Pérdidas en Redes de Distribución 5
2.4 Pérdida en las Redes de Distribución por Efecto Joule 5
2.5 Desviación Promedio y Máxima de Voltaje 5
2.6 Costo Total del Conductor. 6
3. Modelamiento de los Casos de Estudio 6
3.1 Modelación de Flujos de Potencia 6
3.2 Análisis Multicriterio 7
3.3 Método CRITIC 7
3.4 Procedimiento de Solución 9
4. Casos de Estudio. 9
4.1 Modelo IEEE 4 barras 9
4.2 Modelo IEEE 13 barras 10
5. Análisis de Resultados 10
5.1 Perfiles de Voltaje caso de estudio IEEE 4 Barras 10
5.2 Pérdidas de Potencia Sistema IEEE 4 barras 11
5.3 Perfil de Voltaje caso de estudio IEEE 4 barras, segunda alternativa 11
5.4 Pérdidas de Potencia Sistema IEEE 4 barras con segunda alternativa 12
5.5 Perfiles de Voltaje Caso de Estudio IEEE 13 barras 12
5.6 Pérdidas Potencia Sistema IEEE 13 barras 13
5.7 Perfil de Voltaje Caso de Estudio IEEE 13 barras, segunda alternativa 13
5.8 Pérdidas de Potencia Sistema IEEE 13 barras con segunda alternativa 14
6. Conclusiones 14
7. Trabajos Futuros 15
8. Referencias 15
8.1 Estado del Arte 19
8.2 Resumen de indicadores 25
10. Anexos 26

Índice de Figuras

Figura 1. Resultados de cada escenario aplicando método CRITIC 8
Figura 2. Modelo IEEE 4 barras 10
Figura 3. Modelo IEEE 13 barras 10
Figura 4. Perfil de voltaje sistema IEEE 4 barras 10
Figura 5. Desviaciones de voltaje en cada barra, sistema 4 barras 11
Figura 6. Pérdidas de potencia caso base y sistema con conductor ganador 11
Figura 7. Perfil de voltaje sistema 4 barras, segunda alternativa 11
Figura 8. Desviaciones de voltaje sistema 4 barras, segunda alternativa 12
Figura 9. Pérdidas de potencia caso base y sistema con segunda alternativa 12
Figura 10. Perfil de voltaje sistema 13 barras 12
Figura 11. Desviaciones de voltaje en cada barra-sistema 13 barras 13
Figura 12. Pérdidas de potencia sistema 13 barras 13
Figura 13. Perfil de voltaje sistema 13 barras con alternativa de conductor 13
Figura 14. Desviaciones de voltaje sistema 13 barras, segunda alternativa 13
Figura 15. Pérdidas de potencia sistema 13 barras entre sistemas 14
Figura 16. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte 25
Figura 17. Indicador de formulación del problema Estado del arte 25
Figura 18.. Indicador de solución - Estado del arte 25
Figura 19. Cotización conductores ACSR y AAAC 26
Figura 20. Cotización conductores cobre 27
Figura 21. Cotización conductores aluminio AAC 28

Índice de Tablas

Tabla 1. Simbología de variables 6
Tabla 2 Distancias entre barras, sistema 4 barras 10
Tabla 3. Distancias entre barras, sistema 13 barras 10
Tabla 4. Costo de implementación conductor ganador 11
Tabla 5.Costo de implementación segunda alternativa de conductor 12
Tabla 6. Costos de implementación conductor ganador sistema 13 barras 13
Tabla 7. Costo de implementación segunda alternativa, sistema 13 barras 14

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

Resumen

El presente artículo establece una metodología genérica para la selección óptima de conductores, el principal objetivo es determinar un conductor óptimo, el cual mantenga un nivel de voltaje adecuado, reduzca pérdidas de potencia y sea lo más económico posible. Para efecto se empleó una metodología multicriterio, la cual se basó en el método CRITIC para relacionar los criterios calculados, el método atribuye ponderaciones o grados de importancia a cada criterio. Los casos de estudio fueron el sistema IEEE 4 y IEEE 13, cada uno con 24 escenarios. Para el cálculo de los criterios analizados, así como el algoritmo de decisión se usó la herramienta computacional Matlab. Entre los principales resultados obtenidos se resaltan una notable mejora en los perfiles de voltaje, las pérdidas de potencia en los conductores disminuyeron, se estableció una relación costo-beneficio entre el costo del conductor y cada criterio analizado. Con lo expuesto anteriormente se pretende dar una solución adecuada para la selección de conductores, en sistemas de distribución.

Palabras Clave: Selección óptima, conductor, redes de distribución, CRITIC, perfil de voltaje, pérdidas de potencia, económico.

Abstract

This article establishes a generic methodology for the optimal selection of conductors, the main objective is to determine an optimal conductor, which maintains an adequate voltage level, reduces power losses and is as economical as possible. For this purpose, a multi-criteria methodology was used, which was based on the CRITIC method to relate the calculated criteria, the method attributes weights or degrees of importance to each criterion. The case studies were the IEEE 4 and IEEE 13 system, each with 24 scenarios. For the calculation of the analyzed criteria, as well as the decision algorithm, the Matlab computational tool was used. Among the main results obtained, a notable improvement in the voltage profiles stands out, the power losses in the conductors decreased, a cost-benefit relationship was established between the cost of the conductor and each criterion analyzed. With the above, it is intended to provide an adequate solution for the selection of conductors, in distribution systems

Keywords: Optimal selection, conductor, distribution networks, CRITIC, voltage profile, power losses, economic.

1. Introducción

Los usuarios finales están directamente relacionados con las redes de distribución ya que son estas las responsables de llegar al usuario final con energía eléctrica de calidad [1]. Las redes de distribución tienen pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas. Las pérdidas técnicas son las producidas principalmente por el paso de la corriente eléctrica a través de los conductores y transformadores dicha corriente produce efecto Joule que se ve reflejada como calor [2]–[4].

La etapa de distribución tiene como característica principal el poseer niveles de voltaje en medio y bajo voltaje a diferencia de los sistemas de transmisión, los cuales tienen niveles de voltaje altos y extremadamente altos [5].

La potencia en las redes de distribución a comparación de las redes de transmisión y sub transmisión son bajas, por lo cual la separación entre fases es mucho menor, al estar sometidas a potencias bajas el voltaje que circula por estas es menor y la corriente se eleva sustancialmente a diferencia de las redes de transmisión y sub transmisión, esto puede expresarse por la siguiente fórmula [6].

$$P = \sqrt{3}\,\mathrm{V}\,\mathrm{I}\cos\varphi \qquad (1)$$

Donde P es la potencia activa, V es el nivel de voltaje, I es la corriente, cos φ es el factor de potencia [7], [8].

Como particularidad los sistemas eléctricos de distribución transmiten energía eléctrica a una potencia baja, lo cual limita el nivel de voltaje a un nivel bajo y medio, a consecuencia de esta característica se elevan las corrientes en los conductores. Son estas corrientes las cuales al atravesar por los conductores producen pérdidas de potencia activa [9]. Esta pérdida está dentro de las pérdidas técnicas en las redes de distribución [10], esta energía no aprovechada se ve reflejada como calor en los conductores, además de pérdidas económicas para la empresa comercializadora. Las pérdidas en los conductores están representadas por el efecto Joule [8], en el cual la resistencia propia del conductor afecta cuadráticamente a las pérdidas que tendrá el mismo.

Esta resistencia propia del conductor se ve reflejada en caídas de voltaje, cuando el voltaje que llega al usuario final cae más allá de 10% del voltaje nominal de la red, existe un problema en la calidad que el usuario final recibe [11].

La resistencia del conductor está directamente relacionada con la sección de este, el material y la distancia. Entre los materiales más comunes están el cobre y el aluminio, el cobre es mejor conductor, pero tiene mayor peso y a nivel de costo es mayor, en contraste del aluminio, cuyos conductores son más livianos, menos costosos, pero ofrecen una mayor resistencia [12].

Es fundamental que la selección óptima del conductor que se utilice sea la adecuada, teniendo en cuenta que las redes de distribución al tener una potencia baja, presenta niveles de voltaje medio y bajo. Además, se debe considerar las pérdidas que produce el conductor, el sistema que menos pérdidas tiene es el más eficiente.

Para conocer la calidad del sistema, es necesario calcular la desviación promedio y la desviación máxima de voltaje, cuando estos dos valores son lo más cercano a cero, el sistema tiene calidad.

Por ende, el voltaje que debería recibir el usuario final debe ser constante e igual al valor nominal de la red, sin embargo, el valor económico es el factor que en muchas veces determina cuál es el

conductor que al final se utilizará en el sistema.

Todas estas variables se deben de tomar en cuenta en la selección un conductor, cuando estos criterios son menores el sistema tendrá un costo menor, con pocas pérdidas y alta calidad de energía.

Como metodologías para la selección de conductores, se ha propuesto el método de enteros mixtos para la función de costo, tomando en cuenta una posible expansión de las redes de distribución, la cual tiene como principal restricción la capacidad que tiene el conductor para alimentar la demanda al final de la expansión de la red de distribución [13].

El autor M. Ponnavaikko propone una metodología que se basa en la selección de conductores por etapas cambiando de conductores, sustentando en que los conductores que se encuentran cerca de la fuente de alimentación soportan la carga máxima del sistema, mientras que los conductores que se encuentran en las partes más lejanas de las fuentes de alimentación tiene una carga menor [13], [14].

Otra metodología para escoger un conductor en los sistemas de distribución se basa en analizar la densidad de corriente y el factor económico presente en la inversión. Estos dos factores se relacionan a través de un método de aproximación combinado con un método heurístico, seleccionando el conductor dependiendo de la corriente aproximada que circula por la red [14].

Entonces, para poder escoger el mejor conductor para un determinado sistema, se propone como metodología la evaluación del sistema con 24 escenarios diferentes. En cada uno de estos escenarios se calculó las pérdidas de potencia activa en los conductores, la desviación promedio y la máxima de voltaje. Para que así, el usuario final obtenga una energía eléctrica de calidad con un nivel adecuado de voltaje, además procurando reducir las caídas de voltaje del sistema y el valor del conductor. Así se tendrá un nivel aceptable de calidad.

Todos estos criterios por minimizar fueron obtenidos con la herramienta computacional Matlab, el valor de los conductores fue tomado a través de cotizaciones que se encuentran al final del presente documento. Asimismo, los valores de resistencia y reactancia inductiva por kilómetro fueron tomadas de las fichas técnicas de cada fabricante.

Los casos de estudio se analizaron en demanda máxima, ya que la carga en las redes de distribución es muy variante en el tiempo. Esta depende de varios factores como son factores ambientales, las costumbres de cada usuario y la eficiencia de la carga, haciendo referencia a la incorporación de nueva tecnología actual, que está presente en varios de los dispositivos que usamos todos los días en la vida cotidiana, y que ayuda a reducir el consumo de energía.

Para relacionar las variables a minimizar que están en diferentes magnitudes tales como watts, voltios y dólares, se utilizó el método de máximos y mínimos, el cual permite normalizar todos los valores, para transformarlos en valores adimensionales.

Finalmente, se dieron ponderaciones a cada criterio a minimizar, a través del método CRITIC. Adicionalmente, se propuso una ponderación escogida por el autor del artículo, a cada criterio. Una vez ya normalizado se multiplicó por cada ponderación, se sumaron los valores finales de todos los criterios para cada escenario y la opción ganadora fue la que obtuvo el menor valor ya que todos los criterios fueron minimizados.

Con este método se logró relacionar la eficiencia, la calidad y el costo económico de cada sistema.

2. Sistemas Eléctricos de Distribución

Las redes de distribución receptan el voltaje procedente de las líneas de transmisión y reducen su nivel de voltaje a través de los transformadores de potencia, que se encuentran en las subestaciones de distribución, las subestaciones se transforman en la fuente de alimentación para los transformadores de distribución [15].

Los elementos que conforman las redes de distribución son las subestaciones de distribución, los alimentadores primarios, las transformadoras de distribución, los alimentadores secundarios, acometidas y contadores de energía [16].

Las redes de distribución son la última etapa de un sistema eléctrico de potencia. La razón de ser de un sistema eléctrico de potencia es satisfacer la demanda de los usuarios finales, mientras que el principal objetivo de la etapa de distribución es mantener el servicio eléctrico de forma permanente con un valor de voltaje aceptable, además de estar libre de armónicos [17], [18].

Una red eléctrica de distribución debe ser planeada de manera adecuada, de forma que permita la expansión progresiva al mínimo costo de operación posible y un correcto dimensionamiento de los conductores eléctricos en los alimentadores primarios como los secundarios. Una eficiente planificación de expansión evitará que se cambien los conductores, por el crecimiento continuo de la carga. Los componentes que conforman las redes de distribución deberán ser de la mejor calidad, estos deberán soportar los factores ambientales [19].

Un correcto diseño, planificación y mantenimiento de una red eléctrica garantiza un buen servicio, que cumpla con las exigencias del mercado eléctrico actual.

2.1 Selección de Conductores Eléctricos en Distribución

En las líneas eléctricas de distribución por lo general se han seleccionado los conductores por el nivel de corriente, que circula a través de los mismos, cabe mencionar que el nivel de corriente no es un parámetro constante, los niveles de corriente varían constantemente, ya que la carga varia todo el tiempo. La corriente que está presente en los primeros metros de un circuito primario no es igual a la corriente que existe al final, en general se coloca un único conductor para toda una red de distribución evitando empalmes, aunque un mismo conductor no debería ser el mismo a lo largo de la red [20].

El criterio de elegir un tipo de conductor solo por el valor de la corriente que circula por este, no es eficiente, puesto que no se relación criterios importantes como caídas de voltaje, temperatura, pérdidas, valor del conductor, etc.

Algunos autores proponen un método en cual se haga la selección de conductores por secciones de la red, esto basado en que el nivel de corriente no es el mismo en toda la red [21].

Otro método que se ha propuesto para la selección de conductores es escoger un determinado conductor basado en la temperatura, cuando se eleva la temperatura de un conductor, se aumenta el nivel de resistividad del conductor, y por consecuencia el flujo de electrones se ve afectado provocando pérdidas eléctricas [20].

Para la selección óptima de conductores utilizados en distribución se ha propuesto una metodología multicriterio basada en toma de decisión por resultados de

escenarios [22], la cual considera la eficiencia, la calidad de la potencia eléctrica, así también como el factor económico.

2.2 Tipos de Conductores en Redes de Distribución

En las líneas de distribución aérea se utilizan conductores de desnudos, de aluminio y cobre. Los conductores aluminio se clasifican en ACSR, AAC y AAAC.

Los conductores ACSR, poseen en su parte interna una alma de acero lo que ayuda a bajar la resistividad del conductor [23].

Las siglas AAC hacen referencia a todos los conductores de aluminio y AAAC a todos los conductores de aluminio que poseen aleaciones [24], los conductores de aluminio son recurrentemente utilizados en las líneas de transmisión como en distribución, presentan grandes ventajas como el ser livianos , económicos y presentan grandes capacidades mecánicas, los conductores de cobre tiene menor resistividad , pero son más costos, más pesados y hurtados en mayor cantidad que su similar en aluminio. Para el análisis de los diferentes casos de estudio, se tomaron en cuenta los siguientes calibres de conductores, 2 AWG, 1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 250 MCM tanto en cobre como en aluminio en ACSR, AAC, AAAC.

2.3 Pérdidas en Redes de Distribución

Las pérdidas en los sistemas de distribución se clasifican en pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas [25], [26].

Las pérdidas no técnicas en redes de distribución son causadas por factores externos imprevistos, lo cual dificulta poder cuantificarlos. Un ejemplo claro de pérdida no técnica, es el robo de energía eléctrica a través de acometidas ilegales las cuales se conectan en la red de bajo voltaje en las redes de distribución, así como la adulteración de contadores de energía o errores en la facturación del consumo eléctrico [27].

Las pérdidas técnicas tienen su origen en él, transporte y conversión de la energía eléctrica. En la cual intervienen los componentes de la red distribución como son, transformadores, conductores. El paso de corriente por dichos componentes causa que la temperatura se eleve, una elevada temperatura puede provocar la ruptura de los conductores y en los transformadores se puede llegar a afectar el aislamiento [28]. Este efecto se lo denomina efecto Joule.

2.4 Pérdida en las Redes de Distribución por Efecto Joule

Las pérdidas producidas por el efecto Joule sucede cuando la corriente atraviesa por conductores y transformadores, la energía eléctrica se transforma en calor. Se lo puede calcular a través de la siguiente fórmula [29].

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} I_i^2 * R_i \qquad (2)$$

Donde: n representa el número de barras o nodos del sistema, *Ii* es el valor de corriente de la barra *i* y *Ri* es la resistencia propia del conductor asociada a la barra *i*.

2.5 Desviación Promedio y Máxima de Voltaje

La desviación promedio de voltaje es la medida en la cual cambia el valor deseado en cada barra y el valor existente. Cuando el valor de desviación promedio, decrece mejora el perfil de voltaje.

$$DPV = \frac{\sum_{i=1}^{n} |Vdi - Vi|}{n} \geq 0 \qquad (3)$$

Dónde: n es el número de barra o nodo, *Vdi* es el voltaje que se espera llegar en la barra *i* , *Vi* es el voltaje existente en la barra *i* , *n* el número de barras o nodos que posee el sistema [30]–[32].

La desviación máxima de voltaje es el valor más alto entre el valor existente y el valor que se desea entre todos nos nodos del sistema.

$$DMV = \max_{1 \le i \le n}(|Vdi - Vi|) \ge 0 \qquad (4)$$

Dónde: *n* es la cantidad de nodos o barras del sistema, *Vi* es el voltaje presente en la barra *i*, *Vdi* es el voltaje que se espera obtener en la barra *i* [30]–[32].

2.6 Costo Total del Conductor.

Para determinar el costo del conductor, se realizaron cotizaciones para tener referencias del costo por metro de los conductores. Se calculó el valor total, al multiplicar la distancia de la línea de distribución y por el costo del conductor.

$$CT = 3 * VC * DTC \qquad (5)$$

Dónde: *VC* es el valor del conductor por metro, *DTC* es la distancia del conductor en metros.

3. Modelamiento de los Casos de Estudio

Para la selección óptima de conductores mediante el método multicriterio propuesto, es necesario conocer varias variables a ser minimizadas. Estas variables son obtenidas mediante un flujo óptimo de potencia, para lo cual es imprescindible conocer ciertos valores iniciales de los casos de estudio a analizar.

Los valores obtenidos mediante el flujo de potencia serán los criterios a ser minimizados y relacionados entres si, con lo que se obtendrá la selección óptima del conductor para cada sistema en particular.

3.1 Modelación de Flujos de Potencia

Existen varios métodos para calcular flujos de potencia entre los cuales están, Newton-Raphson formal, Newton-Raphson desacoplado, Gauss-Seidel [33], [34].

Para el cálculo del flujo de potencia se utilizó el método de Gauss-Seidel en el cual se obtiene un sistema de ecuaciones no lineales. Asumiendo valores iniciales para la barra de referencia slack, la cual por general es Ep (1) = 1 + j0 p.u. Con este método se llegan a obtener un mejor resultado con cada iteración. Es necesario conocer varios datos iniciales para la simulación de un flujo de potencia. Para el cálculo de impedancias y reactancias inductivas, se utilizó las distancias de las líneas de distribución, además de las fichas técnicas de cada conductor, esto con el fin de obtener la matriz de admitancias Ybarra.

La simbología utilizada para la resolución matemática es la de la Tabla 1.

Tabla 1. Simbología de variables

Simbología	significado
rkm	Resistencia por kilómetro de cada conductor, dado por el fabricante.
$xlkm$	Reactancia inductiva por kilómetro de cada conductor, dado por el fabricante.
d_{linea}	Distancia total en la línea de distribución en kilómetros.
P_{gi}	Potencia activa inicial en el generador i
Q_{gi}	Potencia reactiva inicial en el generador i
P_{li}	Potencia activa presente en la carga, en la barra i
Q_{li}	Potencia reactiva presente en la carga, en la barra i
P_i	Flujo de potencia activa presente en la barra i a las demás barras colindantes.
Q_i	Flujo de potencia reactiva del nodo i a las demás barras colindantes.
V_i, V_y	Voltaje en la barra i y en la barra y.
Θ_i, Θ_y	Angulo de voltaje en la barra i y en la barra y.
z_{ii}	Impedancia propia en la matriz de admitancias.
z_{iy}	Impedancia muta en la matriz de admitancias.
n	Numero presente de barras en el sistema.
k	Numero de interacción.
SL_{iy}	Pérdida de potencia entre barras i,y.

Para la formación de la matriz de admitancias se las realiza a través de la

ecuación (6), para admitancias mutas y (7) para admitancias propias.

$$Y_{iy} = Y_{yi} = -\frac{1}{z_{iy}} \tag{6}$$

$$Y_{ii} = \sum_{n=1}^{n} \frac{1}{z_{in}} \tag{7}$$

$$Y_{bar} = \begin{bmatrix} Y_{ii} & -Y_{in} & \cdots & -Y_{in} \\ -Y_{in} & Y_{yy} & -Y_{in} & \vdots \\ \vdots & -Y_{in} & Y_{xx} & -Y_{in} \\ -Y_{in} & \cdots & -Y_{in} & Y_{zz} \end{bmatrix} \tag{8}$$

La ecuación (9) presenta el voltaje en cada barra.

$$V_i^k = \frac{1}{Y_{ii}} * [(\frac{P_{li} - jQ_{li}}{V_i^{k-1}} - \sum_{y=1 \neq i}^{n} Y_{iy} * V_y)] \tag{9}$$

Con el uso de la ecuación (10) se puede calcular la potencia reactiva.

$$Q_i^k = -j(V_i^* * ((V_i * Y_{ii}) + \sum_{y=1 \neq i}^{n} Y_{iy} * V_y^{k-1} \tag{10}$$

$$I_i = \sum_{y=1}^{n} Y_{iy} * V_y \tag{11}$$

Las potencias complejas se las puede determinar con ayuda de la ecuación (12).

$$S_i = V_i^* * \sum_{y=1}^{n} Y_{iy} * V_y \tag{12}$$

Para calcular las pérdidas de potencia activa y reactiva se usó el siguiente grupo de ecuaciones, la ecuación (13) representa la corriente circula entre barras, la ecuación (14) determina la potencia compleja que se trasmite entre barras, la ecuación (15) es la pérdida de potencia compleja en la línea.

$$I_{iy} = -Y_{ii} * (V_i - V_y) \tag{13}$$

$$S_{iy} = V_i * I_{iy}^* \tag{14}$$

$$SL_{iy} = S_{iy} + S_{yi} \tag{15}$$

3.2 Análisis Multicriterio

El análisis multicriterio determina la obtención única de un resultado idóneo. Para el presente documento el objetivo es definir cuál es el mejor conductor a ser usado en sistemas de distribución. Para la obtención de este resultado existen varias variables a considerar, cada una con su grado de importancia; sin embargo, la solución enfocada en la mejora de un único criterio; puede devenir en resultados poco prácticos o en la aparición de conflictos con otros criterios.

Para determinar una solución multicriterio óptima, se calcularon varios criterios, que para este caso son criterios por minimizar, estos son desviaciones máximas de voltaje, desviación promedio de voltaje, pérdidas de potencia y costo del conductor.

Como procedimiento se realizó el cálculo de un flujo de potencia óptimo, en cual se varió la impedancia de cada línea de distribución, misma que está directamente relacionada a la resistencia y reactancia inductiva de los conductores. Se usaron 24 conductores diferentes para este cálculo, los cuales se convirtieron en los escenarios estudiados y también en los posibles conductores a ser elegidos.

En cada escenario se cuantificaron los criterios antes mencionados, obteniendo así una matriz la cual fue la base para el algoritmo de decisión. Mediante el método CRITIC, se determinó cual es el conductor más apropiado de manera multicriterio para un sistema de distribución.

3.3 Método CRITIC

El presente artículo propone una selección óptima de conductores, dicha selección óptima está basada en el método CRITIC.

Este método establece una sumatoria ponderada entre criterios para cada escenario, la alternativa ganadora será la cual en la sumaria obtenga el menor valor.

Se relacionarán varios criterios, que este caso son criterios a minimizar, los criterios a ser minimizados son desviación máxima, promedió de voltaje, pérdidas y costo del conductor [35].

Como paso previo a la implementación del método CRITIC se debe de realizar, una normalización o estandarizar todos los valores, que se encuentran en diferentes magnitudes a valores adimensionales. Para realizar la normalización de criterios se usó el método de mínimos y máximos expresado por la siguiente ecuación.

$$C_{rite} = \begin{array}{c} \text{Alternativas} \\ \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{22} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & C_{i3} & C_{i4} \\ C_{x1} & C_{x2} & C_{x3} & C_{x4} \end{bmatrix} \end{array}$$

$$C_{inorm} = \frac{c_i - c_{min}}{c_{max} - c_{min}} \tag{16}$$

Donde C_{inorm} es el criterio ya normalizado, C_i es el criterio con su magnitud, C_{min} representa el mínimo valor en todo el conjunto de elementos de un mismo criterio, C_{max} representa el máximo valor en todo el conjunto de elementos de un mismo criterio.

Se darán pesos a cada criterio, estos pesos o grado de importancia es un valor, que se multiplicará por cada valor ya normalizado en cada alternativa, dicho valor se lo calcula mediante (17).

$$G_i = S_i \sum 1 - r_{ij} \tag{17}$$

Donde G_i es la ponderación del criterio i, S_i es la desviación estándar del criterio i, r_{ij} es el coeficiente de correlación entre criterios.

Finalmente, para determinar la opción ganadora en cada caso de estudio, se multiplico cada criterio normalizado, con cada ponderación establecida, esto para cada criterio, se realizó la sumaria entre

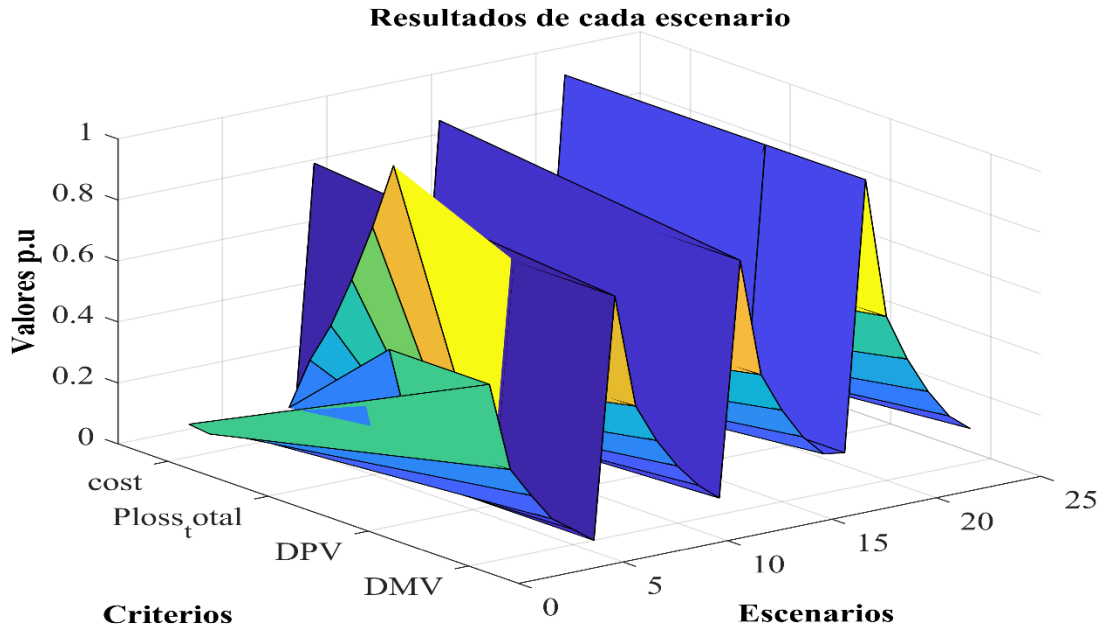

Figura 1. Resultados de cada escenario aplicando método CRITIC

criterios y la opción ganadora es la de menor valor puesto que todos mis criterios son criterios a minimizar. La expresión que sustenta esta sumatoria es la siguiente.

$$Total_i = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (G_i * C_{ij}) \qquad (18)$$

Donde $Total_i$ es el valor de la sumatoria entre todos los criterios aplicado el método CRITC, G_i es el valor de peso o ponderación, C_{ij} es el valor de criterio normalizado.

3.4 Procedimiento de Solución

Para la resolución del algoritmo planteado se requirió utilizar la herramienta computacional Matlab. Para ello se dieron valores iniciales necesarios para calcular el flujo de potencia, estos valores fueron: distancias de las líneas de distribución, costo del conductor, resistencia y reactancia inductiva por kilómetro de cada conductor. Con estos valores se formó la matriz de admitancias.

Tanto el flujo de potencia en cual se obtuvieron los criterios, como la implementación del método CRITIC fueron realizados mediante programación en Matlab.

Algoritmo implementado	
Paso 1	Lectura de datos del sistema eléctrico de potencia.
Paso 2	Valores iniciales del sistema.
Paso 3	Cálculo de impedancia en cada línea $Z_{iy} = (r_{km} + xl_{km}) * d_{linea}$ Matriz de Admitancia Mutua $Y_{iy} = Y_{yi} = -\frac{1}{z_{iy}}$ Matriz de Admitancia Propia $Y_{ii} = \sum_{n=1}^{n} \frac{1}{z_{in}}$
Paso 4	Flujo óptimo de potencia y balance de potencia $V_i^k = \frac{1}{Y_{ii}} * [(\frac{P_{li} - jQ_{li}}{V_i^{k-1}} - \sum_{y=1 \neq i}^{n} Y_{iy} * V_y)]$ $Q_i^k = -j(V_i^* * ((V_i * Y_{ii}) + \sum_{y=1 \neq i}^{n} Y_{iy} * V_y^{k-1}$
Paso 5	Cálculo de error $EV_i = \lvert V_i^{k-1} - V_i^k \rvert$ $E\Theta_i = \lvert \Theta_i^{k-1} - \Theta_i^k \rvert$ $EQ_i = \lvert Q_i^{k-1} - Q_i^k \rvert$ Si el error es superior al 0.000001, regrese al paso 4, caso contrario continúe.
Paso 6	Cálculo de variables a minimizar. $\Delta P = \sum_{i=1}^{n} I_{iy}^2 * R_i$ $DPV = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lvert Vdi - Vi \rvert}{n} \geq 0$ $DMV = \max_{1 \leq i \leq n} (\lvert Vdi - Vi \rvert) \geq 0$ $CT = 3 * VC * DTC$
Paso 7	Implementación del método CRITIC $C_{inorm} = \frac{c_i - c_{min}}{c_{max} - c_{min}}$ $G_i = S_i \sum 1 - r_{ij}$
Paso 8	**Resultados de cada alternativa posible** $Total_i = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (G_i * C_{ij})$
Paso 9	**Selección de alternativa ganadora** **Alternativa ganadora** $= \min_i Total\ i$

4. Casos de Estudio.

En los casos de estudio se analizó, dos sistemas tomando como modelo el sistema IEEE 4 barras y IEEE 13 barras, se tomó como base la configuración entre barras y se asumieron distancias recurrentes para líneas de distribución. Los dos sistemas se analizaron en voltajes correspondientes a medio y bajo voltaje.

4.1 Modelo IEEE 4 barras

El sistema de 4 barras consta de un generador ubicado en la barra 1 la cual alimenta la carga ubicada en la barra 4, la figura 2 representa el modelo de 4 barras,

este sistema tiene una única carga ubicada en la barra 4.

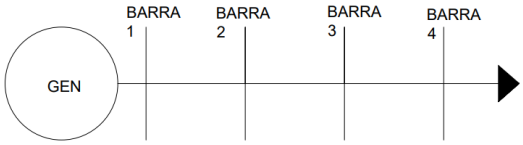

Figura 2. Modelo IEEE 4 barras

Las distancias de las líneas de distribución para el sistema de 4 barras son las siguientes.

Tabla 2 Distancias entre barras, sistema 4 barras

Línea	metros
BARRA 1 A BARRA 2	609.6
BARRA 2 A BARRA 3	600
BARRA 3 A BARRA 4	762

4.2 Modelo IEEE 13 barras

El sistema de 13 barras presenta 10 cargas, el mismo sistema tiene su representación mediante la Figura 3, las distancias asumidas para este sistema se encuentran en la Tabla 3.

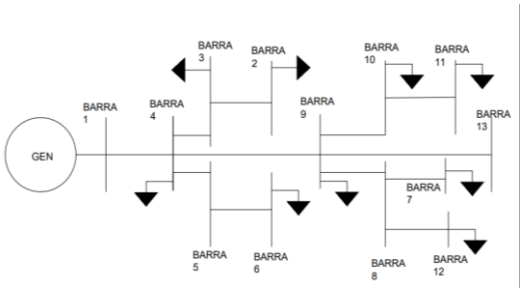

Figura 3. Modelo IEEE 13 barras

A continuación, se detalla, la distancia de cada línea de distribución, así como la barra inicial y la barra final de cada línea de distribución. Todas las distancias se encuentran en metros.

Tabla 3. Distancias entre barras, sistema 13 barras

Línea	metros
BARRA 1 A BARRA 4	609.6
BARRA 4 A BARRA 5	152.4
BARRA 5 A BARRA 6	152.4
BARRA 4 A BARRA 3	152.4
BARRA 3 A BARRA 2	91.44
BARRA 4 A BARRA 9	609.6
BARRA 9 A BARRA 8	91.44
BARRA 8 A BARRA 7	91.44
BARRA 9 A BARRA 10	91.44
BARRA 10 A BARRA 11	152.4
BARRA 9 A BARRA 13	304.8
BARRA 8 A BARRA 12	243.84

5. Análisis de Resultados

En estos apartados se comparan los resultados obtenidos entre el caso base y sistema con el conductor ganador.

5.1 Perfiles de Voltaje caso de estudio IEEE 4 Barras

Los valores de resistencia y reactancia inductiva por kilómetro para cada tipo de conductor se los tomó de las fichas técnicas de cada fabricante.

En la Figura 4 se representa los niveles de voltaje presentes en cada barra, en el caso base como el sistema con la opción ganadora de conductor. Como se puede ver representado en la Figura 4, la cual es una comparativa entre los valores de voltaje presentes en cada barra, estos mejoraron con la implementación del

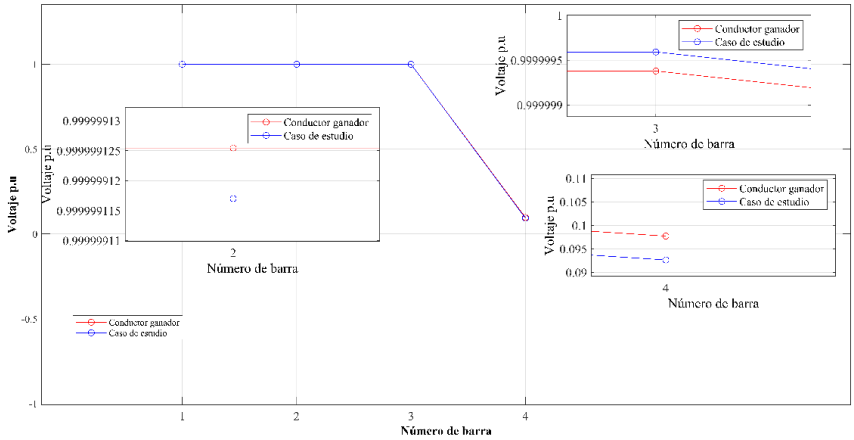

Figura 4. Perfil de voltaje sistema IEEE 4 barras

conductor ganador, utilizando el método multicriterio.

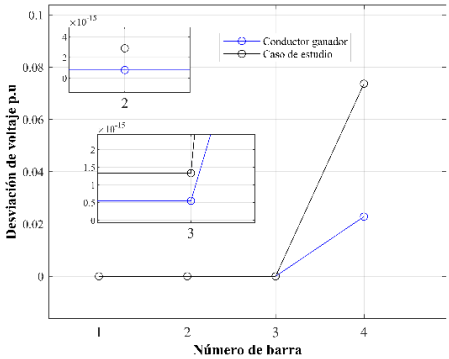

Figura 5. Desviaciones de voltaje en cada barra, sistema 4 barras

Como es visible en la Figura 5 las desviaciones de voltaje en cada barra en el caso de estudio son elevadas, sobre todo en la barra 4 la cual tiene una desviación de voltaje más pronunciada. Posterior al uso de conductor ganador el cual es 4/0 AAC se redujo los valores de desviación de voltaje, los cuales están en valores por unidad.

5.2 Pérdidas de Potencia Sistema IEEE 4 barras

La Figura 6 analiza las pérdidas totales en cada sistema. Estos valores de pérdidas de potencia representan un problema para las empresas comercializadoras de energía eléctrica, ya que es energía eléctrica no aprovechada, por lo cual el llegar a tener valores elevados de pérdidas de potencia refleja un sistema de distribución no eficiente además de pérdidas económicas.

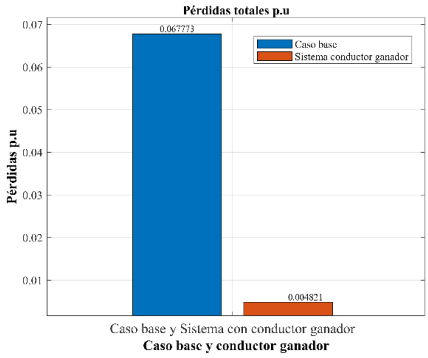

Figura 6. Pérdidas de potencia caso base y sistema con conductor ganador

Con la selección multicriterio de conductores se logra el mejoramiento de los niveles de pérdidas de potencia a el mínimo costo posible.

En la Figura 6 se puede visualizar las pérdidas de potencia en cada sistema, observado una caída notable de pérdidas en el sistema, cuando se usa el conductor ganador, que para este sistema es AAC 4/0 conductor compuesto por aluminio.

La potencia base utilizada para todos los casos de estudio es 100 Mva.

El costo de para la implementación del conductor ganador, y el costo del conductor usado para el caso del estudio se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Costo de implementación conductor ganador

CONDUCTOR	USD
CONDUCTOR CASO BASE	2412,6
CONDUCTOR GANDOR	6908,5

5.3 Perfil de Voltaje caso de estudio IEEE 4 barras, segunda alternativa

Para determinar la segunda alternativa del conductor ganador, el autor de este articulo prioriza la minimización de pérdidas de potencia y el mejoramiento del perfil de voltaje.

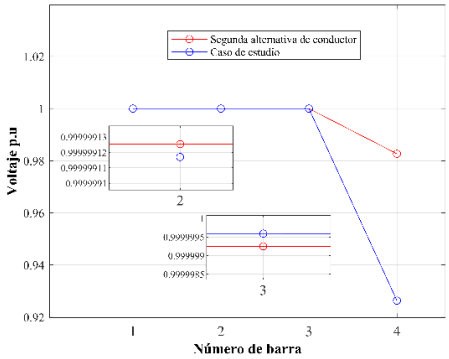

Figura 7. Perfil de voltaje sistema 4 barras, segunda alternativa

Con la segunda alternativa de conductor en la cual se prioriza las pérdidas del sistema y el perfil de voltaje, el conductor ganador fue en aluminio ACSR 250 MCM.

Se observa que la calidad de energía que llega al usuario final es mejor, ya que los

niveles de voltaje se aproximan al 1 por unidad.

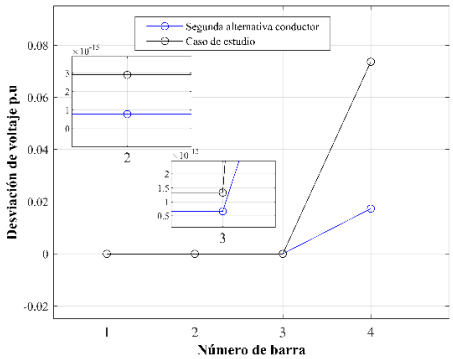

Figura 8. Desviaciones de voltaje sistema 4 barras, segunda alternativa

La mejora en las desviaciones de voltaje no es tan notable en comparación con el conductor ganador a través del algoritmo de decisión, esto se debe en gran medida a que el caso de estudio es un sistema relativamente pequeño, aun así, existe una reducción en los valores de desviación de voltaje.

5.4 Pérdidas de Potencia Sistema IEEE 4 barras con segunda alternativa

Al implementar la segunda alternativa de conductor, el sistema reduce los niveles de pérdidas de potencia, lo cual se traduce en un sistema más eficiente, como desventaja para la implementación del conductor ganador en la segunda alternativa, el costo del conductor es más elevando.

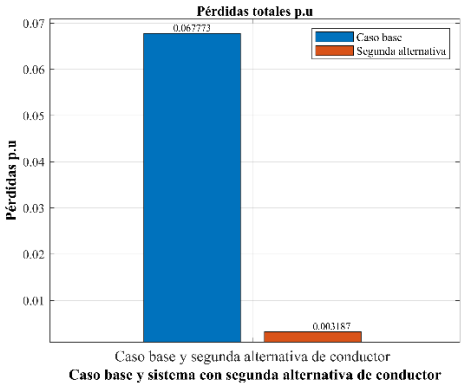

Figura 9. Pérdidas de potencia caso base y sistema con segunda alternativa

Como se puede visualizar en la Figura 9 los niveles de pérdidas de potencia se reducen notablemente, mejorando así la eficiencia del sistema y las pérdidas económicas para la empresa comercializadora. El costo de inversión para el conductor ACSR 250 MCM se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5.Costo de implementación segunda alternativa de conductor

CONDUCTOR	USD
CONDUCTOR CASO BASE	2412,6
SEGUNDA ALTERNATIVA DE CONDUCTOR	12835

5.5 Perfiles de Voltaje Caso de Estudio IEEE 13 barras

En la Figura 10 se representa la comparación, del nivel de voltaje presente en cada barra del caso base de estudio y una vez implementado el conductor ganador.

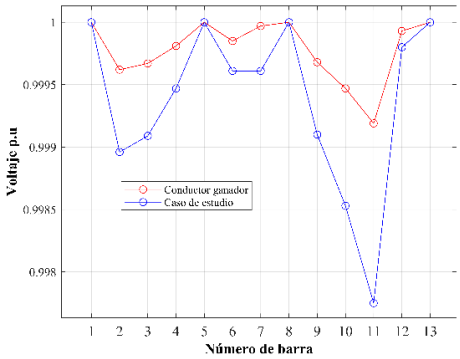

Figura 10. Perfil de voltaje sistema 13 barras

Como se puede evidenciar en la Figura 10, el caso de estudio base presenta un perfil de voltaje en el cual la mayoría de las barras no poseen el uno por unidad, posterior al uso del conductor ganar que para este sistema en particular fue 250 MCM ACSR; los perfiles de voltaje mejoraron considerablemente llegando muchas barras al uno por unidad.

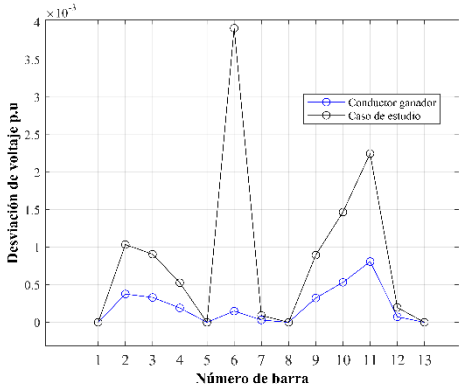

Figura 11. Desviaciones de voltaje en cada barra-sistema 13 barras

Mediante la Figura 11 se visualiza la desviación del voltaje presente antes y después de usar el conductor ganador, se puede comprobar una reducción en la desviación de voltaje en cada barra, lo cual es un indicativo la calidad de energía presente en el sistema.

5.6 Pérdidas Potencia Sistema IEEE 13 barras

Las pérdidas de potencia en este caso de estudio son grandes, esto se debe en gran medida a la cantidad de barras, número de líneas de distribución y su extensión.

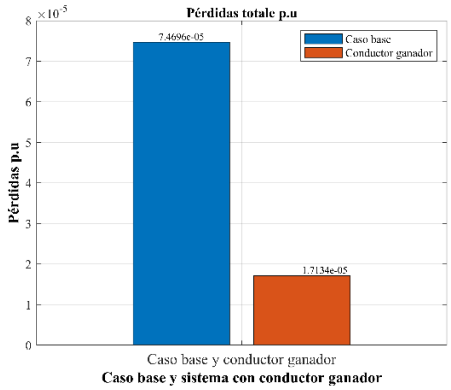

Figura 12. Pérdidas de potencia sistema 13 barras

La selección multicriterio para el sistema de 13 barras ha seleccionado un conductor, de mayor calibre que el sistema de 4 barras, con esta diferencia de conductores se puede comprobar que el algoritmo de decisión selecciona un conductor en particular, para cada sistema basado en los criterios analizados, para este sistema el conductor ganador es 250 MCM ACSR. En la Tabla 6 se puede observar el costo de inversión en la adquisición del conductor ganador.

Tabla 6. Costos de implementación conductor ganador sistema 13 barras

CONDUCTOR	USD
CONDUCTOR CASO BASE	3356,9
CONDUCTOR GANADOR	16039

5.7 Perfil de Voltaje Caso de Estudio IEEE 13 barras, segunda alternativa

Al priorizar las pérdidas de potencia como criterio prioritario a minimizar, el conductor ganador para este sistema en particular es 250 MCM en cobre.

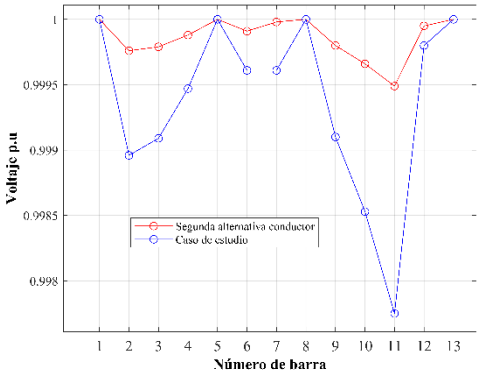

Figura 13. Perfil de voltaje sistema 13 barras con alternativa de conductor

Implementado la segunda alternativa de conductor ganador, se puede tener resultados muy cercanos al uno por unidad en todas las barras del sistema. Al estar presente valores de voltaje ideales en cada barra, las caídas de voltaje en las líneas de distribución son prácticamente nulas.

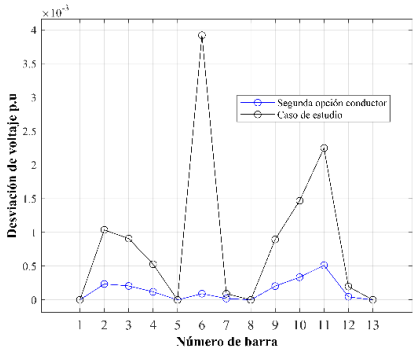

Figura 14. Desviaciones de voltaje sistema 13 barras, segunda alternativa

Como la segunda alternativa de conductor prioriza las pérdidas de potencia, las desviaciones de voltaje presente en cada barra son mínimas. Los usuarios finales recibirán un nivel de voltaje óptimo, sin fluctuaciones de voltaje.

5.8 Pérdidas de Potencia Sistema IEEE 13 barras con segunda alternativa

Al implementar la segunda alternativa de conductor ganador en este sistema de 13 barras, se logró reducir las pérdidas de potencia producidas por efecto Joule, esto se debe en que el conductor ganador es un conductor en cobre. Este material tiene menor resistencia eléctrica.

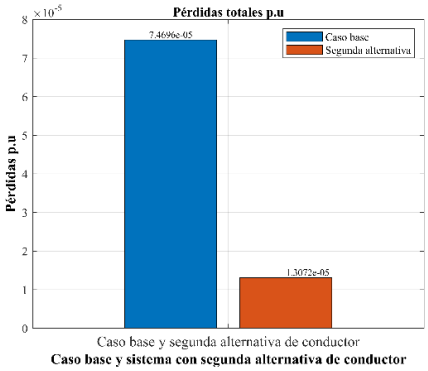

Figura 15. Pérdidas de potencia sistema 13 barras entre sistemas

Como muestra la Figura 15 las pérdidas de potencia se redujeron aún más que con el conductor ganador a través del método CRITIC, al implementar una segunda alternativa de conductor se puede dar prioridad a cualquier criterio que se está analizando, según la decisión del usuario o ingeniero eléctrico.

Tabla 7. Costo de implementación segunda alternativa, sistema 13 barras

CONDUCTOR	USD
CONDUCTOR CASO BASE	3356,9
SEGUNDA ALTERNATIVA DE CONDUCTOR	142700

La Tabla 7 refleja el costo del conductor para la segunda alternativa de selección, se muestra un valor muy elevando a comparación del valor de conductor en el caso baso, pero en un largo plazo el usar un conductor no óptimo, generaría una mayor pérdida de dinero por la pérdida de energía no aprovechada.

6. Conclusiones

Mediante la interpretación de los resultados obtenidos en el presente documento se exponen las siguientes conclusiones:

Al confrontar los perfiles de voltaje obtenidos con el conductor presente en los diferentes casos de estudio, y los perfiles de voltaje al emplear los conductores ganadores para cada de estudio, se obtuvo una mejora notable en los valores de voltaje presente en cada barra, acercándose al uno por unidad, mejorando así el perfil de voltaje.

Cuando se implementa los conductores seleccionados por el algoritmo de decisión multicriterio baso en el método CRITIC, los valores de desviación promedio y máxima de voltaje, se minimizan mejorando así la calidad de suministro eléctrico, ya que el nivel de voltaje que llega al usuario final se aproxima al valor nominal de voltaje presente en el sistema.

Se comprobó que el algoritmo de decisión determina un conductor en particular para cada tipo de sistema, esto se puedo corroborar con la selección de un conductor 4/0 AAC para el sistema de 4 barras, el cual es un sistema pequeño con una distancia total de las líneas de distribución menor al sistema de 13 barras, el cual posee más barras y las líneas de distribución son más extensas, para este sistema el conductor ganador fue 250 MCM ACSR. Se logró un método genérico para la selección óptima de conductores, el cual se puede usar en cualquier sistema de distribución sin restricciones de numero de barras o número de líneas de distribución.

En los casos de estudio al cambiar el conductor, por la selección del algoritmo. Las pérdidas totales de potencia presente en sistema la cual es provocada principalmente por el efecto Joule, en el

cual la resistencia propia del conductor afecta cuadráticamente. Se lograron reducir notablemente las pérdidas de potencia activa, contribuyendo así con un sistema más eficiente.

El seleccionar un conductor solo considerando la resistencia de este o el criterio económico, no es una decisión óptima. El usar el mejor conductor posible, se lograría reducir valores como pérdidas, pero se aumentaría el costo de implementación del conductor, y en muchas veces el conductor estaría subutilizado. Es por esto por lo que se deben considerar criterios económicos, de calidad y eficiencia de la potencia para una selección óptima de un conductor, esto se logró realizar con el método multicriterio, el cual permite seleccionar un conductor que mantenga un nivel adecuado de voltaje, así como la minimización de pérdidas de potencia al menor costo posible.

Se pudo establecer una relación cuantitativa, costo vs beneficio entre los 24 conductores diferentes que se usaron y las pérdidas de potencia, para cada caso de estudio, además de apreciar el mejoramiento o deterioro de la calidad de la eficiencia eléctrica, este parámetro medido mediante las desviaciones promedio y máximas de voltaje

Para finalizar, una selección óptima de conductor permite obtener un sistema más eficiente, con calidad y económico, como consecuencia la energía no aprovecha será menor, reduciendo así las pérdidas técnicas, económicas y de recursos para las empresas comercializadoras de energía.

7. Trabajos Futuros

Consideración de la temperatura ambiente, que podría afectar la característica de resistencia del conductor.

Se podría considerar una selección óptima de conductor, en la cual se tome en cuenta la predicción de la demanda.

8. Referencias

[1] J. Ochoa, “Estimacion de perdidas tecnicas en el sistema de la empresa electrica municipal de San Pedro Sacatepequez, San Marco,” Feb. 2006. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0586_EA.pdf (accessed Oct. 24, 2021).

[2] C. Patricio, “Cálculo detallado de perdidas en sistemas eléctricas de distribución aplicando al alimentador ‘universidad’ perteneciente a la empresa eléctrica ambato regional centro norte s.a,” Escuela politécnica nacional, 2007.

[3] A. A. Tellez, D. F. C. Galarza, and L. O. Matos, “Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7273776.

[4] A. A. Téllez, A. Robayo, I. Isaac, G. López, and J. González, “Optimal sizing of distribution transformers using exhaustive search algorithm,” *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conf. - Living energy Transit.*, 2019, doi: 10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984965.

[5] Ministerio de energía y recursos naturales no renovable, “Plan de expansión de la transmisión.” https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/5.-PLAN-DE-EXPANSION-DE-LA-TRANSMISION.pdf (accessed Oct. 24, 2021).

[6] C. R. Bayliss and B. J. Hardy, “Overhead Line Conductor and Technical Specifications,” *Transm. Distrib. Electr. Eng.*, pp. 683–750, 2012, doi:

10.1016/B978-0-08-096912-1.00018-6.

[7] D. Laloux, *Fundamentos de tecnología eléctrica (2º ITIM) sistemas trifásicos*. 2003.

[8] N. Mahdavi, A. Jafari, and N. Bizon, *Reactive power control in AC power systems*. Azerbaijan, 2016.

[9] S. R. Khuntia, J. L. Rueda, and M. A. M. M. Van Der Meijden, "Forecasting the Load of Electrical Power Systems in Mid-and Long-term Horizons-A Review," Accessed: Oct. 25, 2021. [Online]. Available: http://www.garpur-project.eu/.

[10] K. Alzate and R. Cortes, "Análisis de pérdidas técnicas en redes primarias de distribución," universidad tecnológica de pereira, 2019.

[11] J. Juáres, *Sistemas de distribución de energía eléctrica.*, Primera ed. Cuidad de mexico, 1995.

[12] C. Jiménez, "Experiencias en la fabricación de conductores eléctricos hasta 2000 v.," Escuela politécnica nacional, 2002.

[13] I. J. Ramirez-Rosado and T. Giinen, "Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems.," *IEEE Trans. Power Syst.*, no. 1, 1991.

[14] M. Ponna, ; Aikko, and K. 9 P. Rao, "An approach to optimal distribution system planning through conductor gradation," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. 101, no. 6, 1982.

[15] D. R. Patrick and S. W. Fardo, *Electrical distribution systems*, 2nd Editio. New york, 2009.

[16] J. A. Yebra Morón, *Sistemas eléctricos de distribución*, Primera ed. Cuidad de mexico: Reverté, 2009.

[17] C. R. Petry and J. W. Rumburg, "Sistemas de distribución eléctrica zonal: una arquitectura asequible ...: Ingenta Connect," May 01, 1993. https://www.ingentaconnect.com/content/asne/nej/1993/00000105/00000003/art00008 (accessed Oct. 28, 2021).

[18] E. M. García, A. Águila, I. Isaac, J. W. González, and G. López, "Analysis of voltage profile to determine energy demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC)," *Proc. - 2016 51st Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2016*, vol. 2017-Janua, no. Mcmc, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/UPEC.2016.8114092.

[19] R. Perez *et al.*, "Fault Diagnosis on Electrical Distribution Systems Based on Fuzzy Logic," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 10942 LNCS, pp. 174–185, Jun. 2018, doi: 10.1007/978-3-319-93818-9_17.

[20] H. Gancino, "Análisis de cargabilidad de redes eléctricas de distribución basado en la modificacion del algoritmo de gauss-seidel," Universidad politécnica salesiana, 2020.

[21] Z. Wang, H. Liu, D. C. Yu, X. Wang, and H. Song, "A Practical Approach to the Conductor Size Selection in Planning Radial Distribution Systems," *IEEE Trans. POWER Deliv.*, vol. 15, no. 1, 2000.

[22] L. Ortiz-Matos, A. Aguila-Tellez, R. C. Hincapié-Reyes, and J. W. González-Sanchez, "Multi-Criteria

Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012020, Jul. 2017, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012020.

[23] J. F. Miñambres, J. J. Barandiarán, R. Alvarez-Isasi, M. A. Zorrozua, I. Zamora, and A. J. Mazón, "Radial temperature distribution in ACSR conductors applying finite elements," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 14, no. 2, pp. 472–478, 1999, doi: 10.1109/61.754091.

[24] C. OSPINA, "Conductores ACSR y AAAC." Accessed: Oct. 29, 2021. [Online]. Available: https://www.academia.edu/27819200/CONDUCTORES_ACSR_y_AAAC.

[25] A. Aguila and J. Wilson, "Technical and Economic Assessment of the Implementation of Measures for Reducing Energy Losses in Distribution Systems," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012018, Jul. 2017, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012018.

[26] A. Aguila, "Medidas para minimizar las pérdidas de energía en circuitos de distribución.," Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, 2010.

[27] J. B. Leite and J. R. S. Mantovani, "Detecting and locating non-technical losses in modern distribution networks," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 9, no. 2, pp. 1023–1032, 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2574714.

[28] W. Martínez, L. Ramírez, and P. Soto, "Evaluacion termica en transformadores de potencia, cargabilidad y efectos en la vida del sistema de aislamiento," universidad de el salvador, 2014.

[29] V. Telukunta, Basavaraj, Praveen, Chowdareddy, V. Krishna, and D. Rout, "Technical Loss Evaluation and Reduction for Agricultural Distribution Feeder," *2019 8th Int. Conf. Power Syst. Transit. Towar. Sustain. Smart Flex. Grids, ICPS 2019*, Dec. 2019, doi: 10.1109/ICPS48983.2019.9067727.

[30] A. Águila Téllez and D. en Ingeniería, "Optimización multicriterio de flujos de potencia reactiva en sistemas eléctricos de distribución," *instnameUniversidad Pontif. Boliv.*, 2021, Accessed: Nov. 06, 2021. [Online]. Available: https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8699.

[31] A. Águila Téllez, G. López, I. Isaac, and J. W. González, "Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review," *Heliyon*, vol. 4, no. 8, 2018, doi: 10.1016/j.heliyon.2018.e00746.

[32] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Aguila, J. W. Gonz, I. Isaac, and J. L. Gabriel, "Heliyon Hybrid AC / DC microgrid test system simulation : grid-connected mode," *Heliyon*, vol. 5, no. August, p. 21, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02862.

[33] G. Gutierrez, A. Aguila, D. González, and L. Ortiz, "Optimum location and sizing of capacitor banks using VOLT VAR compensation in micro-grids," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 3, pp. 465–472, 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9082717.

[34] S. M. Medina and A. Aguila, "Óptima Compensación de

Potencia Reactiva en Redes de Distribución Radiales considerando periodo de diseño Optimal Compensation of Reactive Power in Radial Distribution Networks considering design period," *2019 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 108–115, 2019, doi: 10.1109/INCISCOS49368.2019.00026.

[35] A. Águila, L. Ortiz, R. Orizondo, and G. López, "Optimal location and dimensioning of capacitors in microgrids using a multicriteria decision algorithm," *Heliyon*, vol. 7, no. 9, p. e08061, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08061.

8.1 Estado del Arte

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

	DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTA PARA RESOLBVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Pérdidas de voltaje	Selección óptima	Análisis de pérdidas de potencia eléctrica	Calidad de la energía eléctrica	Selección de conductores	Perdidas de voltaje	Perdidas de energía	Perdidas de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento optimo	Balance entre fases	Estabilidad	Criterios de eficiencia	Costos	Técnicas de Optimización	Comparaciones matemáticas	Búsqueda exhaustiva	Algoritmo de optimización	Reducción de perdidas técnicas	Flujo óptimo de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento óptimo de conductores
1	2012	Estimación de pérdidad técnicas en el sistema de la empresa eléctrica municipal de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos	\cite{Ochoa 2012}	3	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
2	2007	Cálculo detallado de perdidas en sistemas eléctricos de distribucion aplicado al alimentador "Universidad" perteneciente ala empresa eléctrica Ambato regional centro norte s.a	\cite{Enríquez 2007}	2	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3	2015	Analysis of power losees in the asymmetric construccion of electric	\cite{Águila 2015}	74	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐
4	2019	Optimal sizing of distribution transformers using exhaustive search algorithm	\cite{Águila 2019}	17	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐
5	2012	Plan de expansion de la transmisión	\cite{Celec 2012}	10	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐
6	2012	Overhead line conductor and technical specifications	\cite{Bayliss 2012}	35	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

	DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTA PARA RESOLBVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Pérdidas de voltaje	Selección óptima	Análisis de pérdidas de potencia eléctrica	Calidad de la energía eléctrica	Selección de conductores	Perdidas de voltaje	Perdidas de energía	Perdidas de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento optimo	Balance entre fases	Estabilidad	Criterios de eficiencia	Costos	Técnicas de optimización	Comparaciones matemáticas	Búsqueda exhaustiva	Algoritmo de optimización	Reducción de perdidas técnicas	Flujo Optimo de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento óptimo de conductores
7	2003	Fundamentos de tegnologia Electrica	\cite{Ventosa 2003}	15	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
8	2017	Reactive Power Control in AC power systems	\cite{Manhdavi 2017}	3	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
9	2016	Forecasting the load of electrical power systems in mid-and long-term horizons- A review	\cite{Khuntia 2016}	88	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐
10	2019	Analisis de perdidas tecnicas en redes de distribucion	\cite{Alzate 2019}	2	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
11	1995	Sistema de distribucion de energia electrica	\cite{Dolores 1995}	52	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
12	2002	Experiencias en la fabricacion de conductores electricos hasta 2000V	\cite{Jimenez 2002}	2	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

	DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTA PARA RESOLBVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Pérdidas de voltaje	Selección óptima	Análisis de pérdidas de potencia eléctrica	Calidad de la energía eléctrica	Selección de conductores	Perdidas de voltaje	Perdidas de energía	Perdidas de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento optimo	Balance entre fases	Estabilidad	Criterios de eficiencia	Costos	Técnicas de optimización	Comparaciones matemáticas	Búsqueda exhaustiva	Algoritmo de optimización	Reducción de perdidas técnicas	Flujo Optimo de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento óptimo de conductores
13	1991	Pseudodynamic plannig for expasion of power distribution systems	\cite{Ramirez 1991}	165	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐
14	1982	An approach to optimal distribution system planning through conductor gradation	\cite{Ponna 1982}	96	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒
15	1999	Electrical distribution system second edition	\cite{Pactrick 1999}	41	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐
16	2009	Sistemas electricos de distribución	\cite{Yebra 2009}	50	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐
17	1993	Zonal electrical distribution systems: an affordable architecture for the future	\cite{Chester 1993}	102	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐
18	2016	Analysis of voltage profile to determine energy demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC)	\cite{Aguila 2016}	59	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

	DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTA PARA RESOLBVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Pérdidas de voltaje	Selección óptima	Análisis de pérdidas de potencia eléctrica	Calidad de la energía eléctrica	Selección de conductores	Perdidas de voltaje	Perdidas de energía	Perdidas de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento optimo	Balance entre fases	Estabilidad	Criterios de eficiencia	Costos	Técnicas de optimización	Comparaciones matemáticas	Búsqueda exhaustiva	Algoritmo de optimización	Reducción de perdidas técnicas	Flujo óptimo de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento óptimo de conductores
19	2018	Fault diagnosis on electrical distribution systems based on fuzzy logic	\cite{Perez 2018}	31	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐
20	2020	Análisis de cargabilidad de redes electricas de distribucion basado en la modificacion del algoritmo de Gauss- Seidel	\cite{Gancino 2020}	1	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐
21	2016	A practical approach to the conductor size selection in planning radial distribution systems	\cite{Wang 2016}	95	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒
22	2020	Optima compensacion fija de potencia en redes de distribucion basada en escenarios de demanda residencial	\cite{Vargas 2020}	1	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☐
23	1999	Radial temperature distribucion in ACSR conductor applying finite elements	\cite{Miñambres 1999}	19	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
24	2015	Conductores ACSR y AAAC	\cite{Ospina 2015}	3	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

	DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTA PARA RESOLBVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Pérdidas de voltaje	Selección óptima	Análisis de pérdidas de potencia eléctrica	Calidad de la energía eléctrica	Selección de conductores	Perdidas de voltaje	Perdidas de energía	Perdidas de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento optimo	Balance entre fases	Estabilidad	Criterios de eficiencia	Costos	Técnicas de optimización	Comparaciones matemáticas	Búsqueda exhaustiva	Algoritmo de optimización	Reducción de perdidas técnicas	Flujo óptimo de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento óptimo de conductores
25	2017	Technical and economic assessment of the implementation of measures for reducing energy losses in distribution systems	\cite{Aguila 2017}	29	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐
26	2014	Medidas para minimizar las perdidas de energia en circuitos de distribucion	\cite{Aguila 2014}	5	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
27	2018	Detecting and logicating non-technical losses in modern distribution networks	\cite{Leite 2018}	81	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐
28	2014	Evaluacion termica en transformadores de potencia, cargabilidad y efectos en la vida del sistema de aislamiento	\cite{Martinez 2014}	5	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
29	2019	Technical loss evaluacion and reduccion for agricultural distribution feeder	\cite{Telukunta 2019}	3	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐
30	2021	Optimizacion multicriterio de flujos de potencia reactiva en sistemas electricos de distribucion	\cite{Aguila 2020}	2	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE CONSIDERANDO CRITERIOS ECONÓMICOS, DE CALIDAD Y EFICIENCIA DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

	DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTA PARA RESOLBVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Cita en formato para ShareLatex desde Mendeley	CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Pérdidas de voltaje	Selección óptima	Análisis de pérdidas de potencia eléctrica	Calidad de la energía eléctrica	Selección de conductores	Perdidas de voltaje	Perdidas de Potencia	Perdidas de potencia	Mejoramiento del perfil de	Dimensionamiento optimo	Balance entre fases	Estabilidad	Criterios de eficiencia	Costos	Técnicas de optimización	Comparaciones matemáticas	Búsqueda exhaustiva	Algoritmo de optimización	Reducción de perdidas técnicas	Flujo óptimo de potencia	Mejoramiento del perfil de voltaje	Dimensionamiento óptimo de conductores
31	2018	Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review	\cite{Águila 2018}	56	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐
32	2019	Heliyon Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid- connected mode	\cite{Ortiz 2019}	20	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐
33	2016	The impact of distributed generation in the distribution networks' voltage profile and energy losses	\cite{Ortiz 2020}	19	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐
34	2019	Optimal compesacion de potencia reactiva en redes de distribucion radiales considerando periodo de diseño optimal compensation of reactive power in radial distribution networks considering desing period	\cite{Medina 2019}	5	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐
35	2019	Optimal compesation of reactive power in radial distribution networks considering design period	\cite{Águila 2019}	5	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐
				CANTIDAD:	13	13	9	5	10	10	2	9	8	11	6	6	5	11	8	3	5	9	9	14	7	3

8.2 Resumen de indicadores

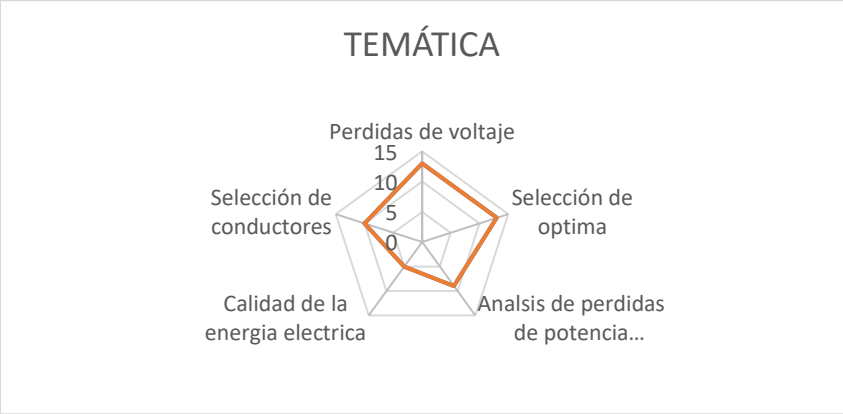

Figura 16. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte

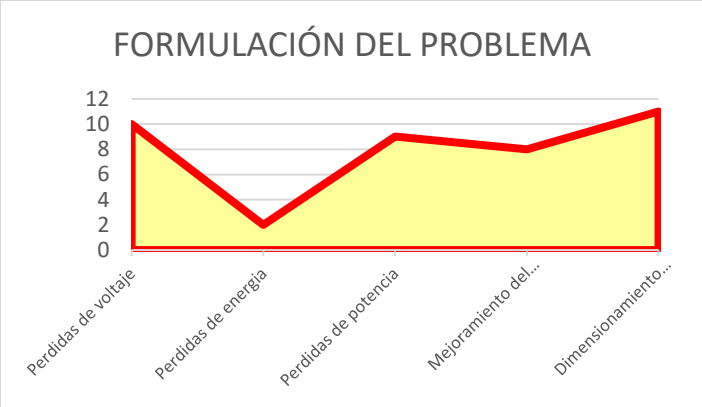

Figura 17. Indicador de formulación del problema Estado del arte

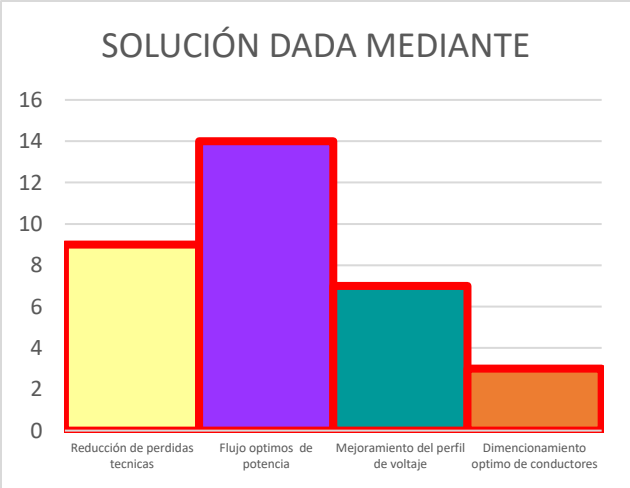

Figura 18.. Indicador de solución - Estado del arte

10. Anexos

Quito, enero 18 de 2022

Señor
ANDRES PONCE LEON
Ciudad.-

ELECTRO CABLES C.A.

De mi consideración:

A continuación tenemos el agrado de presentarle nuestra oferta para los conductores eléctricos por Ud. requeridos:

ITEM	CANTIDAD M.	DESCRICPION DEL CABLE	TIEMPO DE ENTREGA	PRECIO/M. USD	PRECIO TOTAL USD
1	100	Conductor de Aluminio Reforzado, tipo ACSR # 2 AWG (6/1)	Inmediato, salvo venta previa	0,567	56,70
2	60	Conductor de Aluminio Reforzado, tipo ACSR # 1/0 AWG (6/1)	Inmediato, salvo venta previa	0,870	52,20
3	60	Conductor de Aluminio Reforzado, tipo ACSR # 2/0 AWG (6/1)	Inmediato, salvo venta previa	1,075	64,50
4	60	Conductor de Aluminio Reforzado, tipo ACSR # 3/0 AWG (6/1)	Inmediato, salvo venta previa	1,362	81,72
5	100	Conductor de Aluminio Puro, tipo ASC # 1/0 AWG (7 Hilos)	Inmediato, salvo venta previa	0,659	65,90
6	40	Conductor de Aluminio Puro, tipo ASC # 3/0 AWG (7 Hilos)	Inmediato, salvo venta previa	0,987	39,48
7	25	Conductor de Aliacion de Aluminio, tipo AAAC-6201 # 2 AWG (7 Hilos)	Inmediato, salvo venta previa	0,482	12,05
			SUMAN		**372,55**
			(+) 12% IVA		44,71
			TOTAL		**417,26**

Figura 19. Cotización conductores ACSR y AAAC

SOLUCIONES ELECTRICAS JARAMILLO

FRANKLIN PATRICIO JARAMILLO SANCHEZ
OE1 JUAN CORREA 19 N76 Y TADEO BENITEZ
QUITO - ECUADOR
TELFS.5114015-5114007 / 0983358196
ventas@solucioneselectricasjaramillo.com
R.U.C. 1714225982001

PAG. 1
2021/08/19
14:59:58

CONTRIBUYENTE ESPECIAL
RESOLUCION No. 826 DEL 22/12/2009

PROFORMA No. 004840

Cliente : ING ANDRES -
Dirección :
R.U.C. : **Validez :**
Atención a :

Fecha : ENERO 19 DEL 2022
Forma de Pago :
Teléfono :
Vendedor : CRISTINA M.

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	% ES	PRECIO	VALOR TOTAL
1 CSF02IN	CABLE SUPERFLEX # 2 AWG 1000V 90GR INCABLE	1.00	5.462	7	5.079	5.08
1 CSF10CA	CABLE SUPERFLEX # 1/0 AWG 1000V 90GR CABLEC	1.00	8.048	7	7.485	7.49
1 CSF20CA	CABLE SUPERFLEX # 2/0 AWG 1000V 90GR CABLEC	1.00	9.851	7	9.161	9.16
1 CSF30CA	CABLE SUPERFLEX # 3/0 AWG 1000V CABLEC	1.00	12.332	7	11.469	11.47
1 CSF40CA	CABLE SUPERFLEX # 4/0 AWG 1000V 90GR CABLEC	1.00	15.227	7	14.161	14.16
1 CSF250EC	CABLE SUPERFLEX # 250MCM 1000V ECUACABLE	1.00	18.644	7	17.339	17.34
1 C012810	CABLE DE ALUMINIO TTU 2 AWG 2KV ECUACABLE	1.00	0.758	7	0.704	0.70
1 C012804	CABLE DE ALUMINIO TTU 2/0 AWG 2KV ECUACABLE	1.00	1.432	7	1.331	1.33

ELABORADO	VTO.BNO.	CLIENTE
CRISTINA		

SUBTOTAL	71.75
DESCTO.	5.02
TARIFA 0%	0.00
TARIFA 12%	66.73
I.V.A. 12%	8.01
TOTAL	74.74

Figura 20. Cotización conductores cobre

Cotización

Cotización No:	0000022254
Fecha:	19/01/2022
Compañia:	PONCE LEON ANDRES
Dirección:	QUITO
Ciudad/Pais:	
Código Postal:	
Teléfono:	0979003783
Fax:	

INCABLE
CALIDAD Y SERVICIO

Industria Ecuatoriana de Cables Incable S.A.
Km. 26 Via Perimetral Lot. Inmaconsa
Calle Ciruelos Mz.16 Solar 7
Guayaquil, Guayas
Ecuador
EC0901
Phone: (593) 4 2113-815
Fax: (593) 4 2113-218
www.incable.com.ec

Incoterm:	
Condición de Pago:	PREPAGO
Contacto:	andres_alex_01@hotmail.com

Item	Descripción	Cantidad	Empaque	Precio	Valor	Entrega
34000300	Cable AAC 2 AWG (33.62 mm2) Iris	8,000	METROS	$ 0.4079	$ 3,263.20	60 días laborables
34000400	Cable AAC 1/0 AWG (53.49 mm2) Poppy	3,000	METROS	$ 0.5820	$ 1,746.00	60 días laborables
34000500	Cable AAC 2/0 AWG (67.43 mm2) Aster	3,000	METROS	$ 0.7352	$ 2,205.60	60 días laborables
34000680	Cable AAC 3/0 AWG (85.01 mm2) Phlox 1000 m	3,000	METROS	$ 0.9234	$ 2,770.20	60 días laborables
34000700	Cable AAC 4/0 AWG (107.2 mm2) Oxlip	3,000	METROS	$ 1.1680	$ 3,504.00	60 días laborables
34006000	C. Al. Desnudo AAC 250 Kcmil "Valerian"	3,000	METROS	$ 1.3631	$ 4,089.30	60 días laborables

Figura 21. Cotización conductores aluminio AAC