

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico**

**“DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN ÓPTIMA DE COMPENSADORES REACTIVOS PARA EL
MEJORAMIENTO DE LOS PERFILES DE TENSIÓN EN EL ALIMENTADOR VÍA ALAUCA DE LA
SUBESTACIÓN PAYAMINO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA CNEL EP-UN SUCUMBÍOS, MEDIANTE UN
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE EN ESTADO ESTABLE”**

Autor:

Díaz Brito, Darwin Vladimir

Director:

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

LATACUNGA 2023



AGENDA:

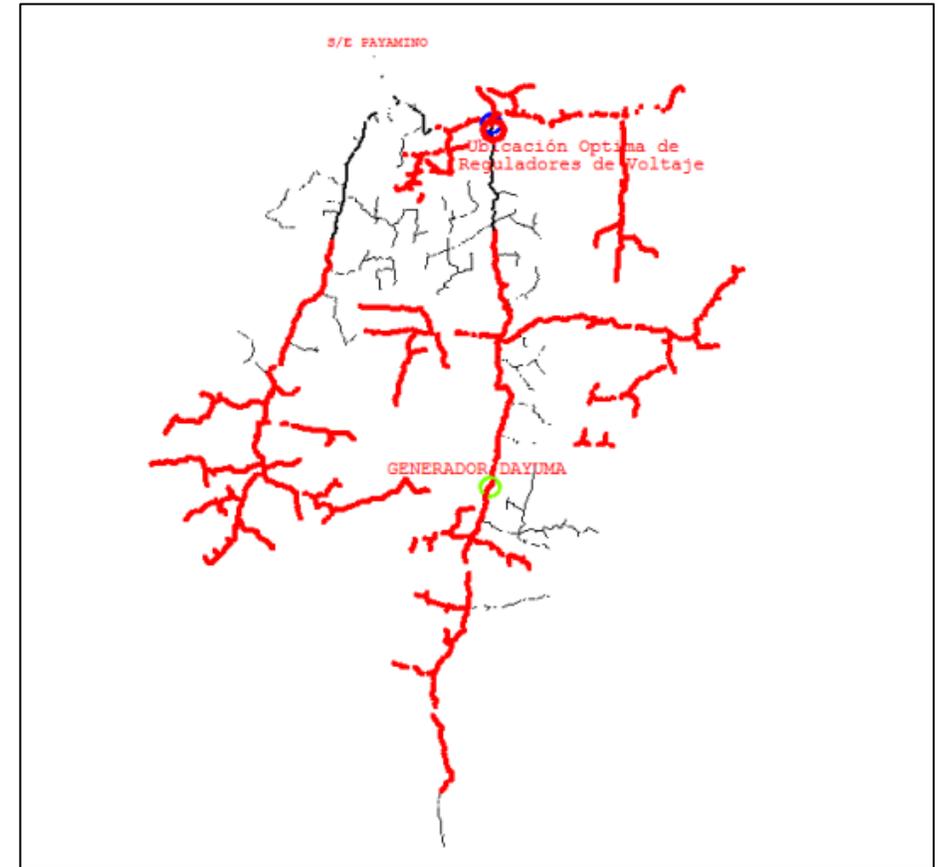
1. MOTIVACIÓN
2. ANTECEDENTES
3. OBJETIVOS
4. METODOLOGÍA
5. CASO DE ESTUDIO
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES
8. RECOMENDACIONES



- La calidad de la energía eléctrica es un factor importante que se debe considerar para que la energía pueda llegar al consumidor en condiciones normales, es decir sin presentarse perturbaciones o interrupciones del mismo y así poder satisfacer las necesidades del cliente.
- Una mala calidad de la energía eléctrica puede llegar a conducir al aumento de pérdidas, desconexión de carga y en casos mas extremos un colapso del sistema eléctrico de distribución, por ende garantizar una buena calidad en el suministro de energía eléctrica es de vital importancia.



- El alimentador vía al Auca es el más grande de los alimentadores de la Subestación Payamino contando con 806 Km de longitud de la red de medio voltaje.
- Debido al continuo crecimiento de la demanda en el sistema y a la topología del alimentador, en el sistema se presenta por debajo del rango admisible dados por la regulación ARCCERN 002/20.
- En base a este problema, en el año 2019 se realizó un estudio por parte de CNEL EP para la instalación de tres reguladores de voltaje en el km 16 de la vía al Auca llegando a la conclusión que la solución era insuficiente debido a que niveles de voltajes alcanzados se mantienen por debajo del rango admisible dados por la regulación ARCCERN 002/20.



Perfiles de voltaje en el alimentador, tomado de un informe de CNEL "ESTUDIO UBICACIÓN ÓPTIMA DE REGULADORES DE VOLTAJE ALIMENTADOR VÍA AL AUCA"

Objetivo General

Realizar el dimensionamiento y ubicación óptima de compensadores reactivos para el mejoramiento de los perfiles de tensión en el alimentador vía al Auca de la Subestación “Payamino” de la Empresa Eléctrica CNEL EP – UN Sucumbíos, mediante un estudio de estabilidad de voltaje en estado estable.

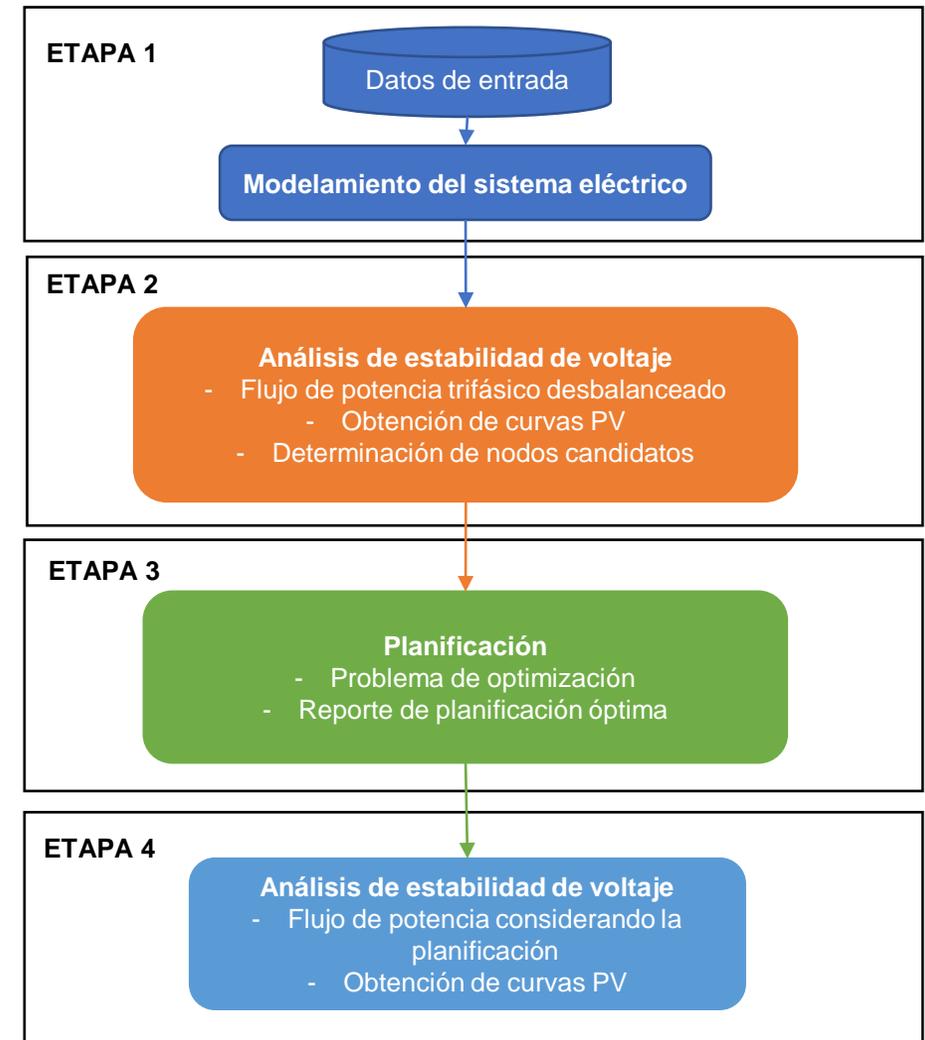
Objetivos específicos

- Realizar el modelamiento del Alimentador vía Auca de la Subestación “Payamino” de la Empresa Eléctrica CNEL EP-UN Sucumbíos.
- Realizar el estudio de estabilidad de voltaje para determinar zonas críticas en el sistema utilizando el método gráfico de Curvas PV.
- Determinar el dimensionamiento y ubicación óptima de compensadores reactivos para mejorar los perfiles de tensión, mediante un algoritmo de optimización.
- Analizar la eficiencia de la solución encontrada mediante un estudio de estabilidad de voltaje en estado estable utilizando el método gráfico de Curvas PV.



La metodología desarrollada para este estudio se divide en cuatro etapas importantes.

- La primera etapa consiste en el modelamiento del sistema eléctrico.
- La segunda etapa considera la operación del sistema mediante la simulación de flujo de potencia AC trifásico desbalanceado.
- En la tercera etapa se desarrolla la planificación de compensación reactiva aplicando el método de Optimización vía Simulación (OvS) a través de un algoritmo genéticos (AG).
- En la cuarta etapa se realiza un análisis de estabilidad de voltaje mediante curvas PV considerando los resultados de planificación obtenidos en la etapa anterior.



Metodología



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Primera etapa: Modelamiento del sistema eléctrico.

En la primera etapa de la metodología se realiza el modelamiento del sistema eléctrico, para lo cual es necesario contar con datos detallados que deben incluir:

- La topología de la red
- Impedancias de las líneas del sistema.
- Cargas del sistema (Modelamiento de cargas ZIP).
- Modelamiento de equipos como reguladores de voltajes, compensadores reactivos, generadores distribuidos, entre otros.



Segunda etapa: Operación del sistema.

En la segunda etapa de la metodología se realiza un análisis de la operación actual del sistema donde se ejecutan flujos de potencia trifásicos desbalanceados con el que se obtienen curvas PV, las mismas que se analizan para obtener nodos candidatos para la ubicación de compensadores reactivos.

Flujos de potencia trifásicos desbalanceados

Para la simulación de flujos de potencia trifásicos desbalanceados se utiliza el software MATLAB, donde se implementa el método de flujos trifásicos desbalanceados Barrido hacia atrás/ hacia adelante (BFS por sus siglas en inglés Backward/Forward Sweep).

- El método BFS es eficiente y rápido para resolver flujos de potencia de los sistemas de distribución. El método se basa en la ley de corriente de Kirchhoff (LCK) y la ley de voltajes de Kirchhoff (LVK)
- El método BFS es simple y tiene un mejor rendimiento de convergencia en comparación con los métodos convencionales de flujo de carga basados en Gauss y Newton debido a la adopción de estas leyes fundamentales para redes radiales.



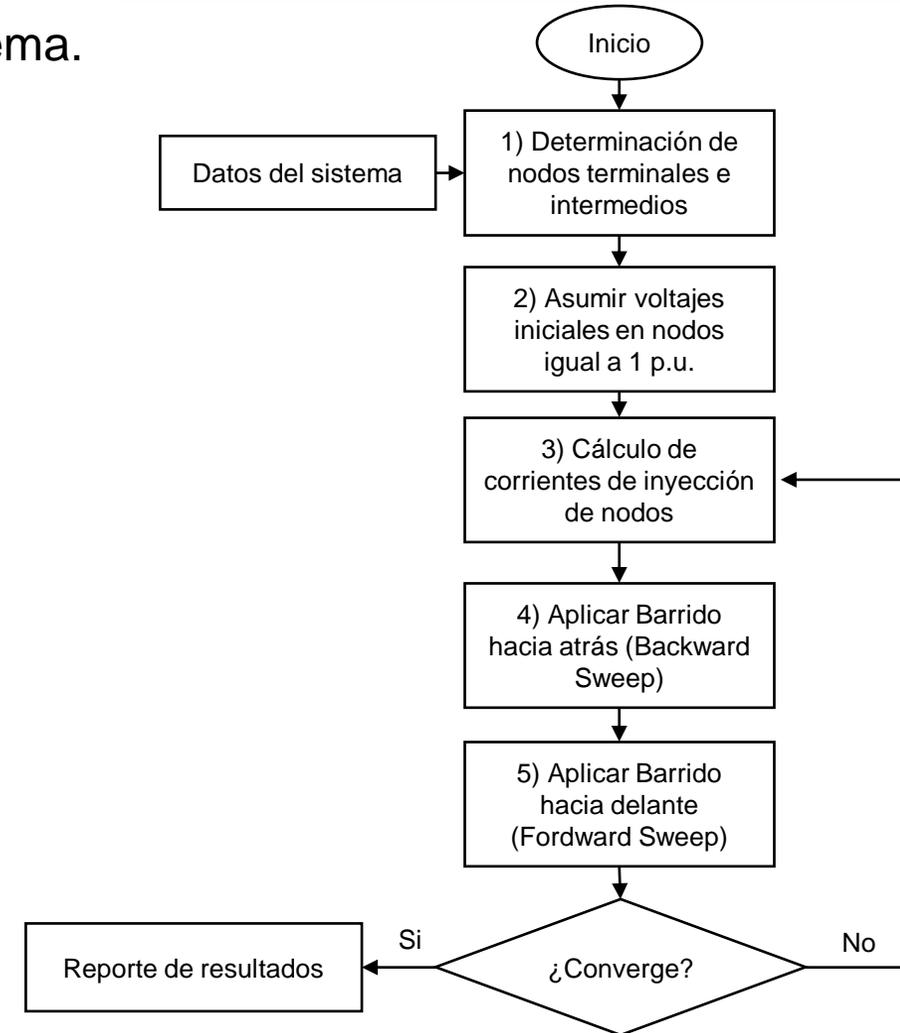
Segunda etapa: Operación del sistema.

Flujos de potencia trifásicos desbalanceados

En la figura, se muestra un flujograma del método BFS aplicado para flujos de potencia.

- El primer paso es determinar los nodos terminales e intermedios de todo el sistema.
- En el segundo paso, se asume que todos los voltajes iniciales del sistema tendrán el valor de 1 p.u. (valor por unidad) para luego ser recalculado en cada iteración.
- En el tercer paso, se calcula las corrientes de inyección en cada nodo utilizando la siguiente ecuación.

$$I_i^k = \text{conj} \left(\frac{S_i}{V_i^{k-1}} \right)$$



Segunda etapa: Operación del sistema.

Flujos de potencia trifásicos desbalanceados

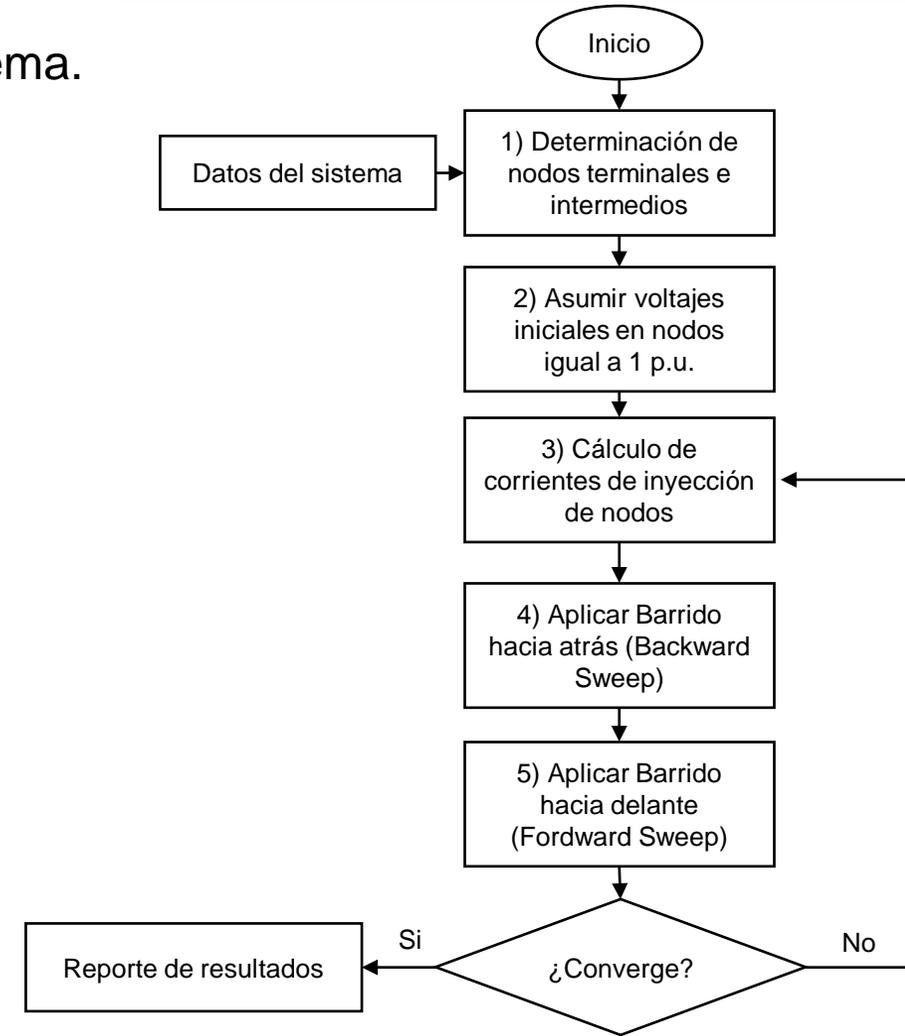
- El cuarto paso, se realiza el barrido hacia atrás (Backward Sweep) utilizando la siguiente ecuación. El proceso hacia atrás implica que las soluciones de corriente de las líneas aplicando LKC, comiencen desde las líneas de los nodos finales y se muevan hacia la las líneas conectadas al nodo de referencia

$$J_{i-1,i}^k = I_i^k + \sum (J_{i,i+1}^k)$$

Donde:

$J_{i-1,i}^k$ Es la sumatoria de todas las corrientes de línea que fluyen desde el nodo i .

$\sum (J_{i,i+1}^k)$ Es la corriente de la línea que conecta el nodo i con su nodo aguas arriba ($i-1$),



Segunda etapa: Operación del sistema.

Flujos de potencia trifásicos desbalanceados

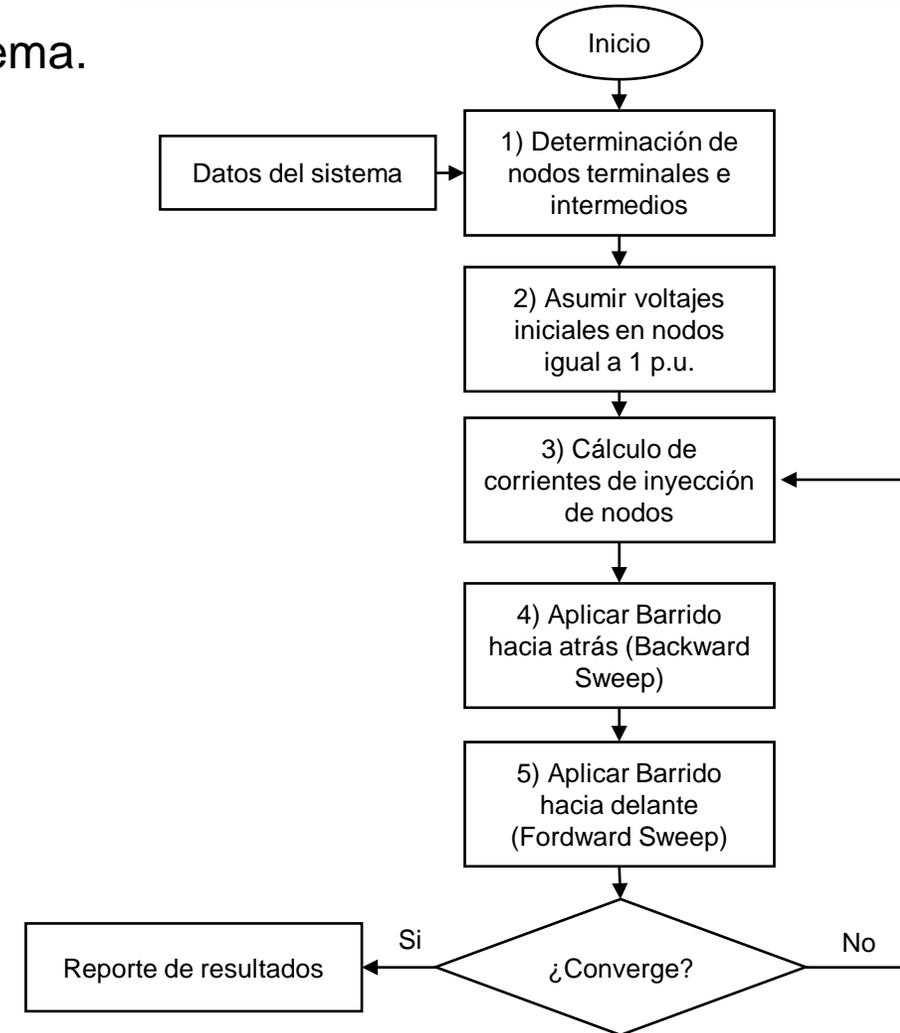
- Por otro lado, los flujos de corriente de la línea de distribución que conectan los nodos j y k se calculan como:

$$\begin{bmatrix} V_a^j \\ V_b^j \\ V_c^j \\ V_n^j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_a^k \\ V_b^k \\ V_c^k \\ V_n^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa}^{jk} & Z_{ab}^{jk} & Z_{ac}^{jk} & Z_{an}^{jk} \\ Z_{ba}^{jk} & Z_{bb}^{jk} & Z_{bc}^{jk} & Z_{bn}^{jk} \\ Z_{ca}^{jk} & Z_{cb}^{jk} & Z_{cc}^{jk} & Z_{cn}^{jk} \\ Z_{na}^{jk} & Z_{nb}^{jk} & Z_{nc}^{jk} & Z_{nn}^{jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^{jk} \\ I_b^{jk} \\ I_c^{jk} \\ I_n^{jk} \end{bmatrix}$$

- El paso número cinco del método BFS, es el barrido hacia delante (Fordward Sweep). En este paso se calcula el voltaje en cada nodo desde el nodo de referencia hasta los nodos finales utilizando.

$$V_i^k = V_{i-1}^k + J_{i-1}^k Z_{i-1,i}$$

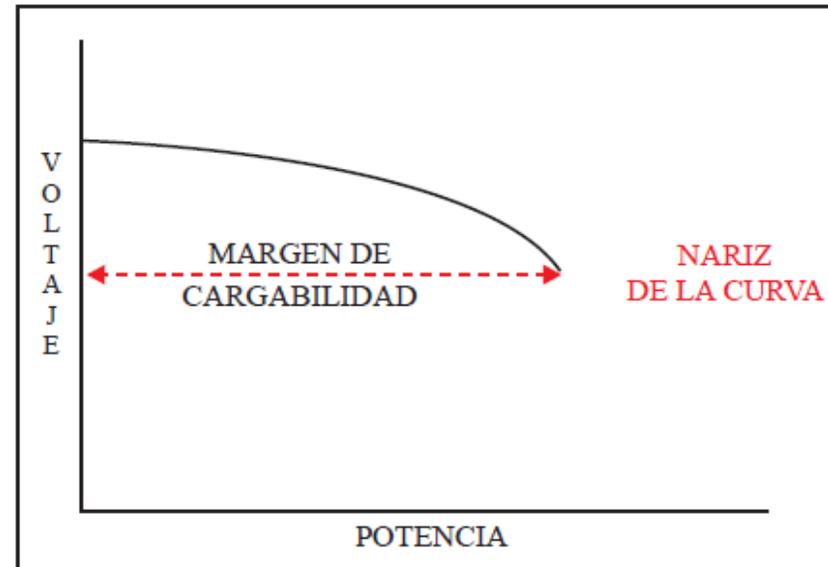
Cabe destacar que, durante el barrido hacia atrás, el voltaje se mantiene constante, y durante el barrido hacia adelante, el valor de corriente o potencia se mantiene constante



Segunda etapa: Operación del sistema.

Obtención de curvas PV

Este método se basa en obtener gráficas de los valores de voltajes en un nodo en estudio frente al aumento progresivo de la carga activa en el mismo nodo hasta llegar a un punto de colapso, y en función de esto determinar el margen de cargabilidad del sistema.



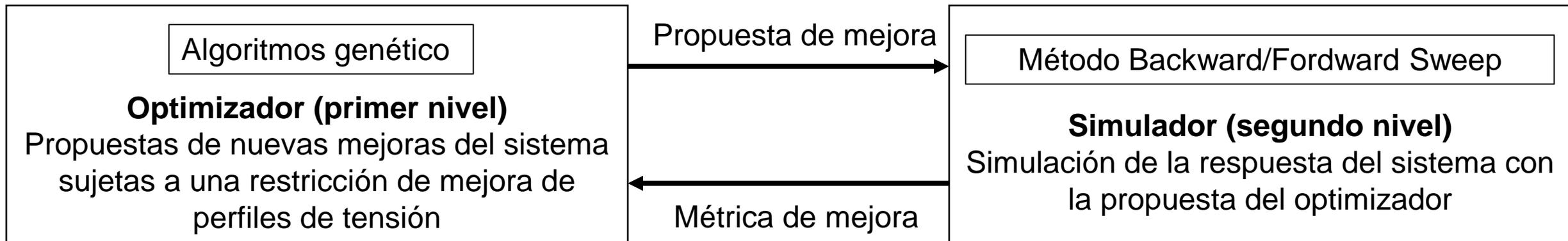
Margen de cargabilidad en una curva PV

Tercera etapa: Optimización.

- En este estudio se utiliza un enfoque de solución de optimización vía simulación (OvS).

Optimización vía Simulación (OvS)

El método OvS aprovecha la estructura de dos niveles del problema de planificación en sistemas eléctricos, según la cual, en un segundo nivel (**el simulador**), se simula la operación de la red sobre una infraestructura de red determinada en un primer nivel (**el optimizador**).



Tercera etapa: Optimización.

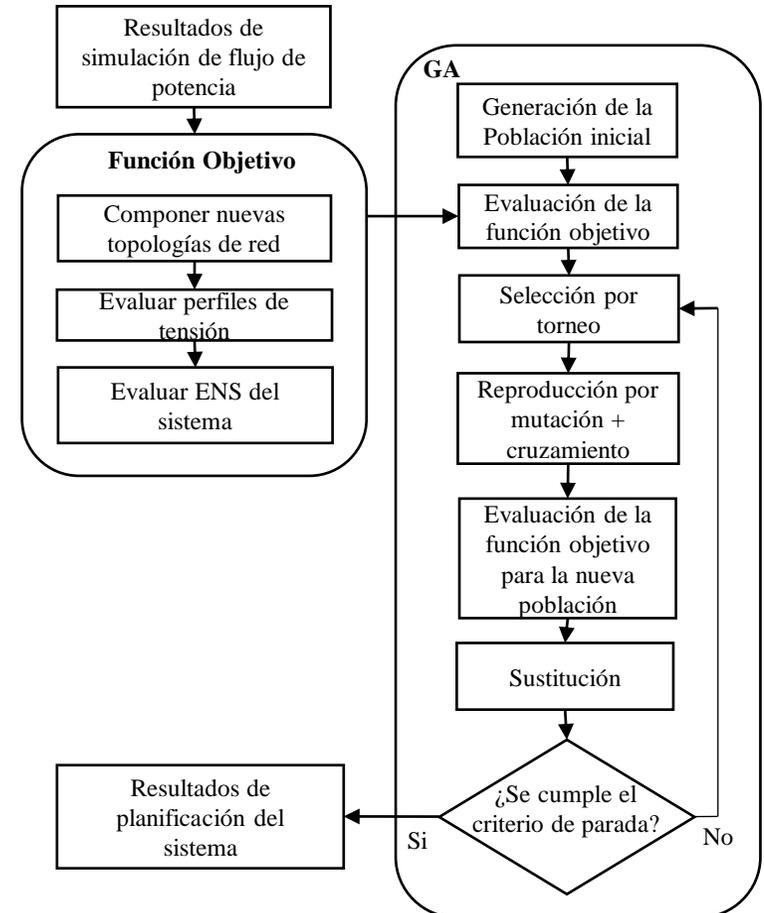
Algoritmos genéticos (AG)

- El algoritmo genético (AG) es un método adaptativo que puede utilizarse para resolver problemas de búsqueda y optimización.
- En la función objetivo (F.O) mostrada en la siguiente ecuación se considera la minimización el costo de operación (CO) y el costo de inversión (CI).

$$F.O = CO + CI + M \cdot (X + Y)$$

$$CO = ENS \cdot C_{ENS} + P_{Pérdidas} \cdot C_{Pérdidas}$$

$$CI = \sum Q_{instalado} \cdot C_Q$$



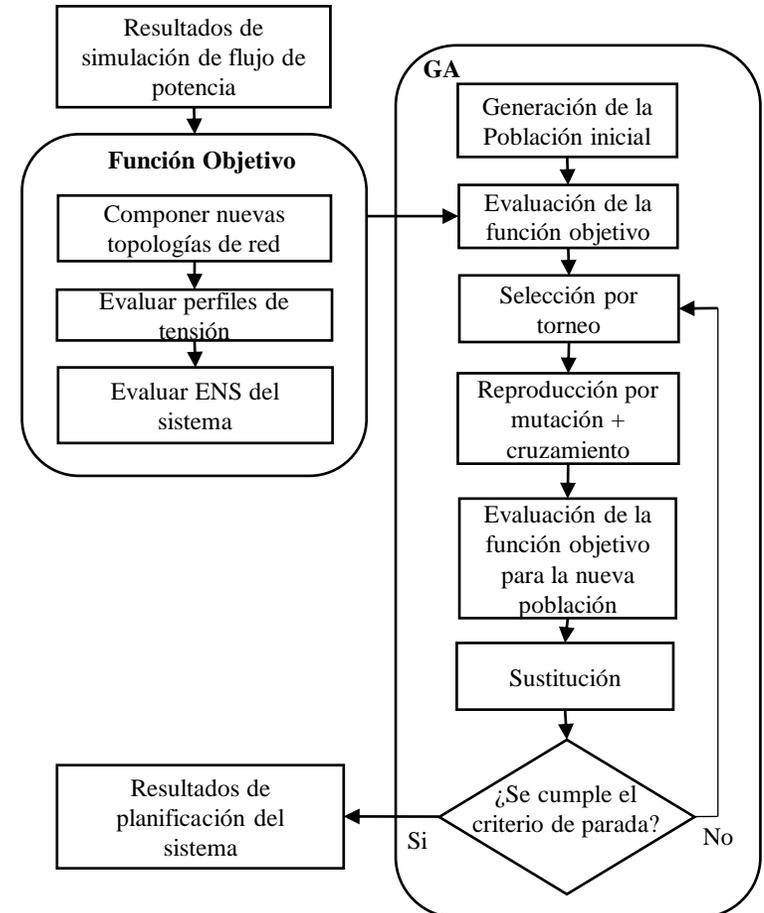
Tercera etapa: Optimización.

Algoritmos genéticos (AG)

ENS (Energía No Suministrada) representa el deslastre de demanda debido a bajos niveles de voltaje el cual se obtiene a través del Algoritmo 1.

Algoritmo 1: Deslastre de demanda por bajo niveles de voltaje (DDBV)

- 1: Ejecutar el algoritmo de flujos de potencia trifásicos desbalanceados BFS
- 2: Asignar a todos los nodos por debajo del límite de voltaje establecido al conjunto **DDBV**
- 3: **Mientras** El conjunto **DDBV** no sea un conjunto vacío
- 4: Aplicar un porcentaje de deslastre de demanda en todos los nodos pertenecientes al conjunto DPBV
- 5: **Fin**
- 6: Cuantificar el deslastre de demanda total **ENS**



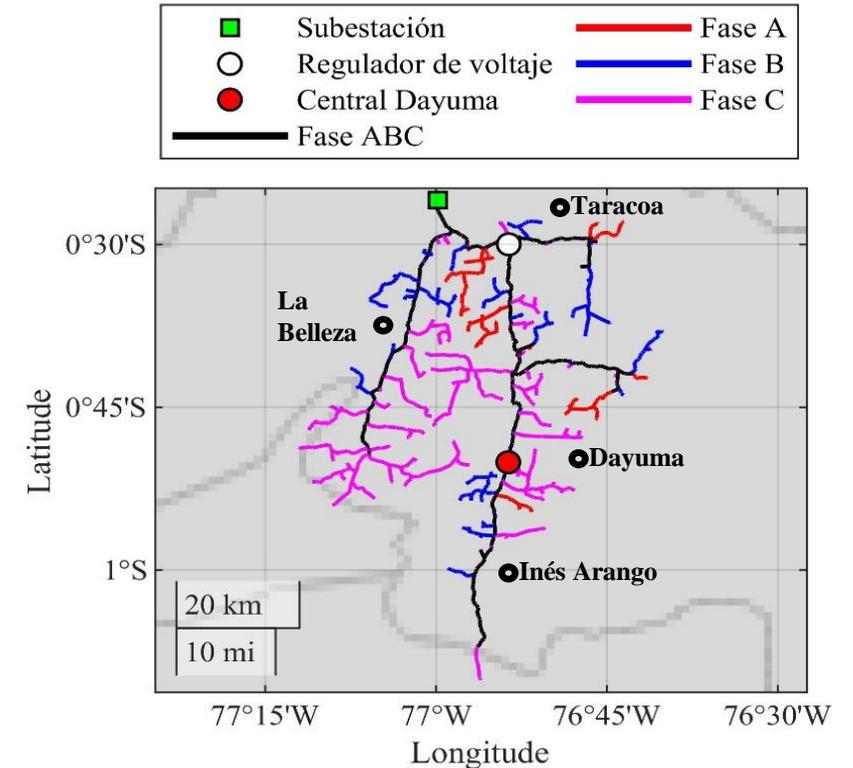
Cuarta etapa: Análisis de los resultados.

- La cuarta y última etapa de la metodología de este estudio, es similar a lo que se realiza en la segunda etapa con la diferencia de que se considera tanto para el flujo de potencia trifásico desbalanceado como la obtención de curvas PV los resultados de planificación de compensadores reactivos.
- Los resultados de esta etapa servirán para analizar el impacto de la planificación en el sistema.



Alimentador Vía al Auca

- El alimentador Vía al Auca se encarga de la distribución de energía a los usuarios de las parroquias Taracoa, Dayuma, Inés Arango y La Belleza
- El alimentador Vía al Auca, actualmente dispone de un centro de generación distribuida propiedad de CELEC TERMOPICHINCHA ubicado en la parroquia Dayuma,
- Adicionalmente posee tres reguladores de voltaje monofásicos de 167/187 kVA en las coordenadas UTM WGS84 Zona 17S X=957260.31, Y= 9944615.3



Topología del alimentador vía el Auca de la subestación eléctrica Payamino



Condiciones de Operación de Entrada para el Algoritmo de Optimización

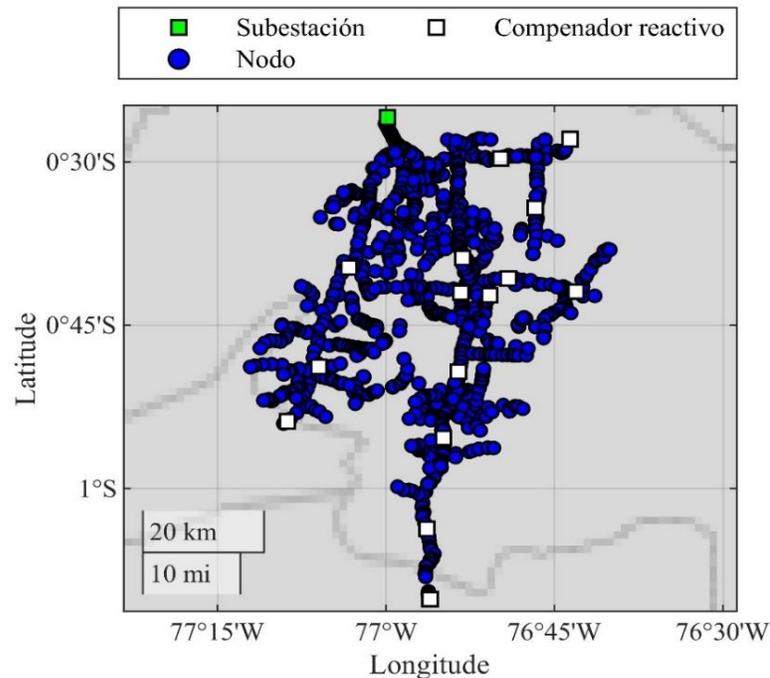
Para el algoritmo de optimización es necesario definir dos condiciones de operación del alimentador (demanda mínima y máxima proyectada), los mismos que se muestran en la Tabla.

Demanda	Fase A [kW]	Fase B [kW]	Fase C [kW]	Total [kW]	Central Dayuma [kW]	Central Dayuma [kVAr]
Mínima	604,12	708,85	829,42	2142,39	0,00	0,00
Máxima actual	937,82	1112,06	1261,75	3311,63	394,13	71,06
Máxima proyectada	1219,17	1445,68	1640,28	4305,13	512,37	92,38



Condiciones de Operación de Entrada para el Algoritmo de Optimización

A continuación, se muestran los nodos candidatos introducidos en el algoritmo de optimización como dato de entrada para la localización y dimensionamiento de compensadores reactivos



Longitud y Latitud de los nodos candidatos del alimentador vía al Auca para la localización de compensadores reactivos

Nodo	Longitud	Latitud	Nodo	Longitud	Latitud
156	-76,8864991	-0,64703617	523	-76,8462251	-0,7042273
197	-76,8890256	-0,7002133	631	-76,8298519	-0,4949052
206	-76,8184585	-0,67855692	675	-76,7270547	-0,46531394
252	-76,717972	-0,6984347	700	-76,7785201	-0,57065372
304	-76,8926713	-0,82097208	846	-77,0551684	-0,66170772
388	-76,9148289	-0,92247834	909	-77,0998054	-0,81378875
437	-76,939095	-1,06186542	929	-77,1461788	-0,89713006
460	-76,9347159	-1,16937798			

Nodos candidatos del alimentador vía al Auca para la localización de compensadores reactivos



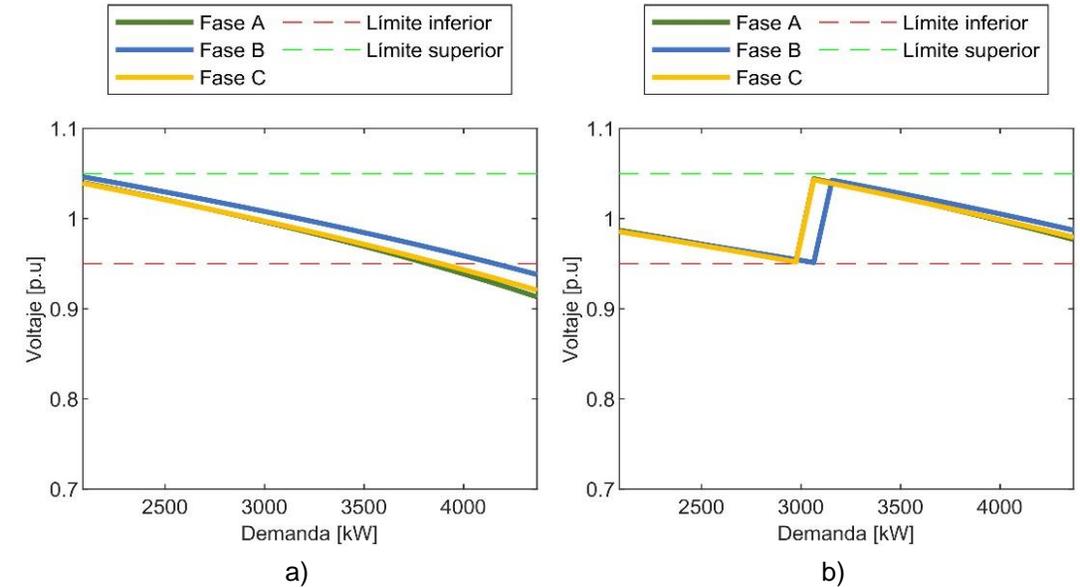
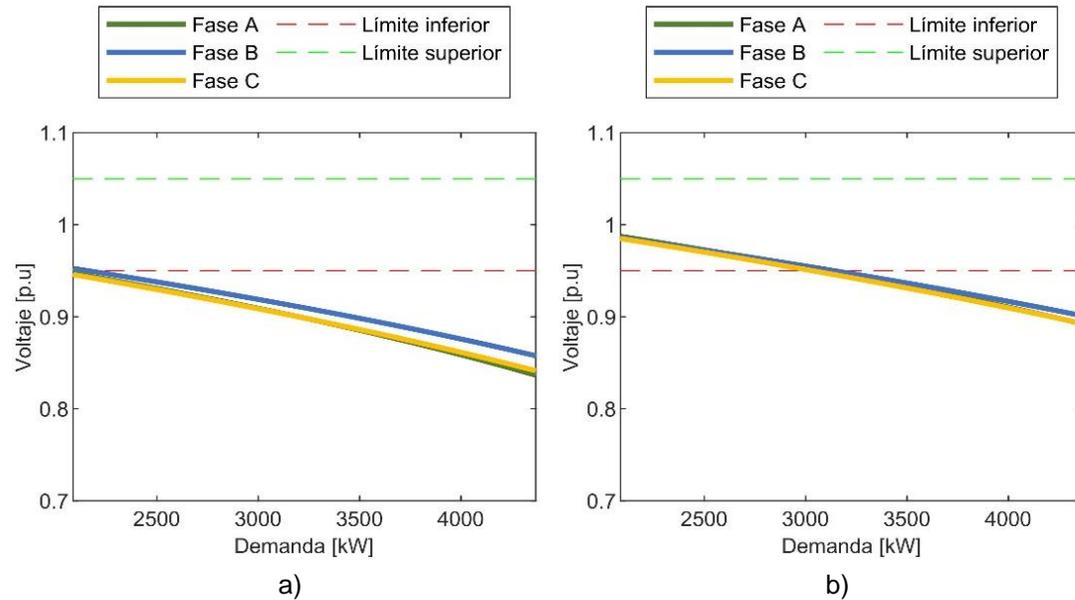
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la localización y dimensionamiento de compensadores reactivos en el alimentador vía al Auca para mejorar los perfiles de tensión se muestran en la Tabla, con un costo de inversión de \$14,478 y una potencia instalada total en la fase "A" de 300 kVAr, en la fase "B" de 250 kVAr y en la fase "C" de 400 kVAr.

Fase "A"		Fase "B"		Fase "C"	
Nodo	Potencia [kVAr]	Nodo	Potencia [kVAr]	Nodo	Potencia [kVAr]
156	100	156	50	156	100
304	100	252	50	197	150
631	100	388	50	846	150
		700	100		
Total	300		250		400



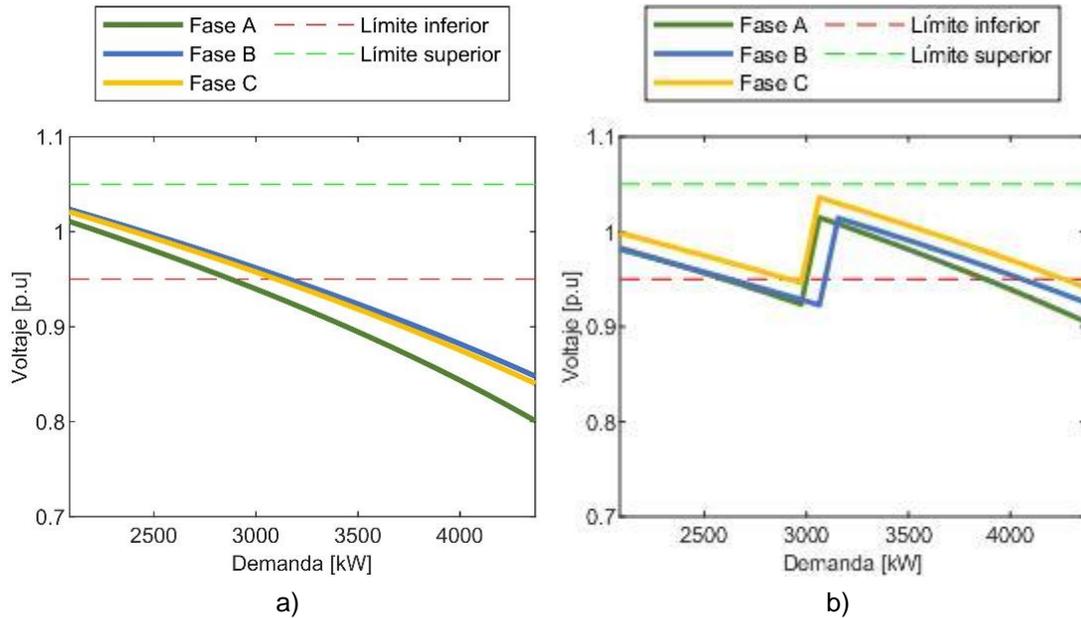
Curva PV en el nodo de la ubicación de los reguladores de voltaje



Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "A", "B" y "C" del alimentador vía al Auca, en el nodo de la ubicación de los reguladores de voltaje en el lado primario: a) sin compensadores reactivos b) con compensadores reactivos.

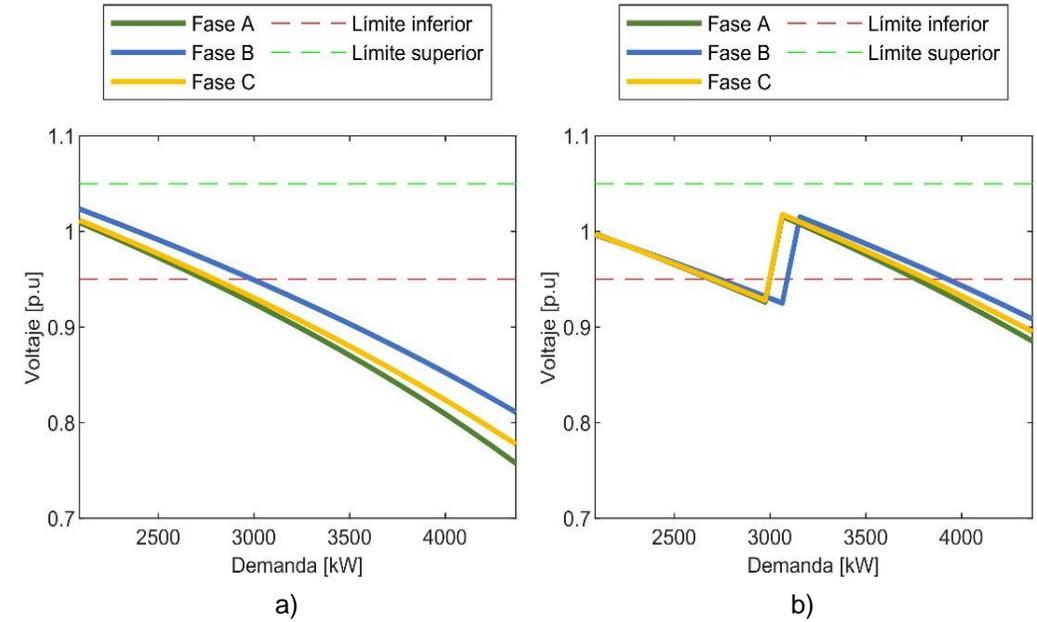
Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "A", "B" y "C" del alimentador vía al Auca, en el nodo de la ubicación de los reguladores de voltaje en el lado secundario: a) sin compensadores reactivos b) con compensadores reactivos.

Curva PV en un nodo de la parroquia Dayuma



Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "A", "B" y "C" del alimentador vía al Auca en un nodo de la parroquia Dayuma (Longitud: -76,88649907; Latitud: 0,647036168): a) sin compensadores reactivos y b) con compensadores reactivos.

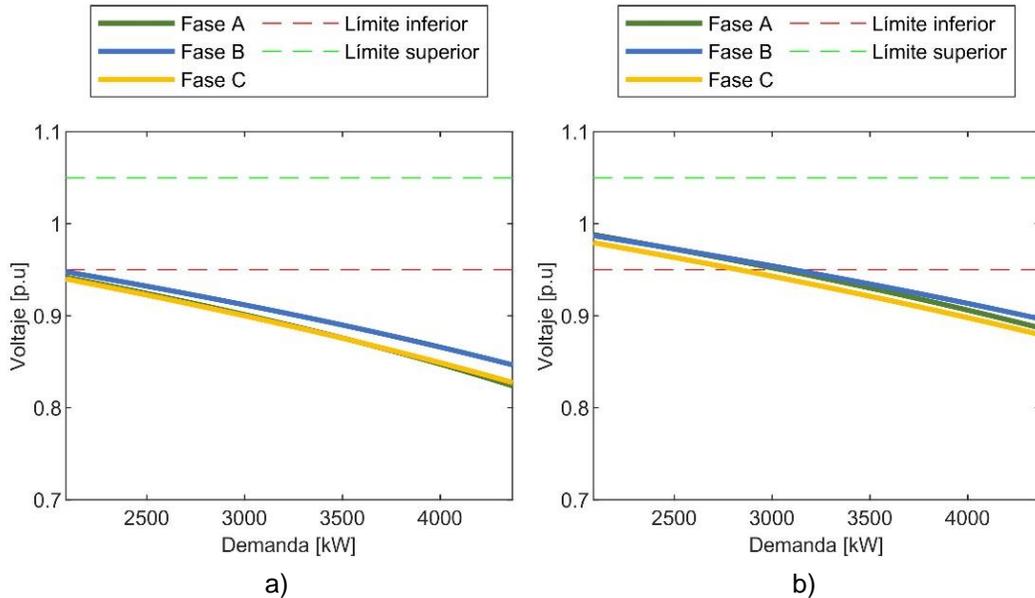
Curva PV en un nodo de la parroquia Inés Arango



Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "A", "B" y "C" del alimentador vía al Auca en un nodo de la parroquia Inés Arango (Longitud: -76,9347159; Latitud: -1,169377976): a) sin compensadores reactivos y b) con compensadores reactivos.

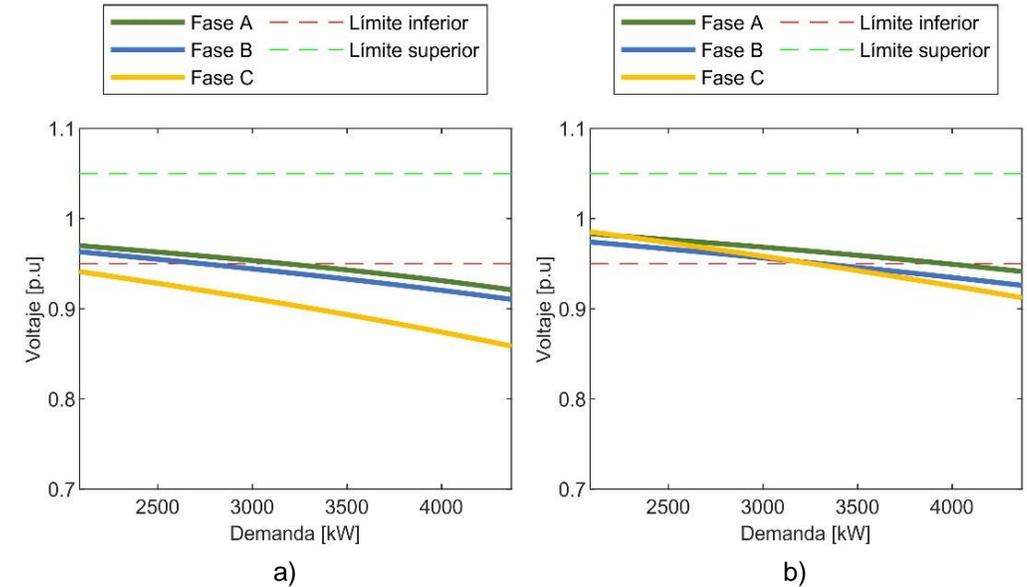


Curva PV en un nodo de la parroquia Taracoa



Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "A", "B" y "C" del alimentador vía al Auca en un nodo de la parroquia Taracoa (Longitud: -76,82985186; Latitud: -0,494905203): a) sin compensadores reactivos y b) con compensadores reactivos.

Curva PV en un nodo de la parroquia La Belleza

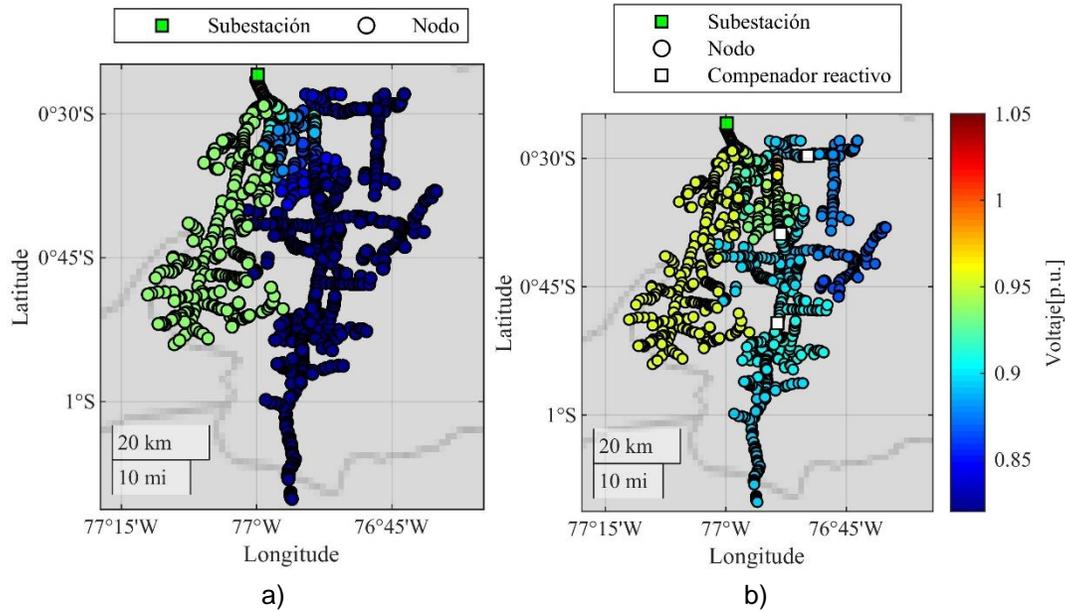


Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "A", "B" y "C" del alimentador vía al Auca en un nodo de la parroquia La Belleza (Longitud: -77,05516837; Latitud: -0.661707722): a) sin compensadores reactivos y b) con compensadores reactivos.



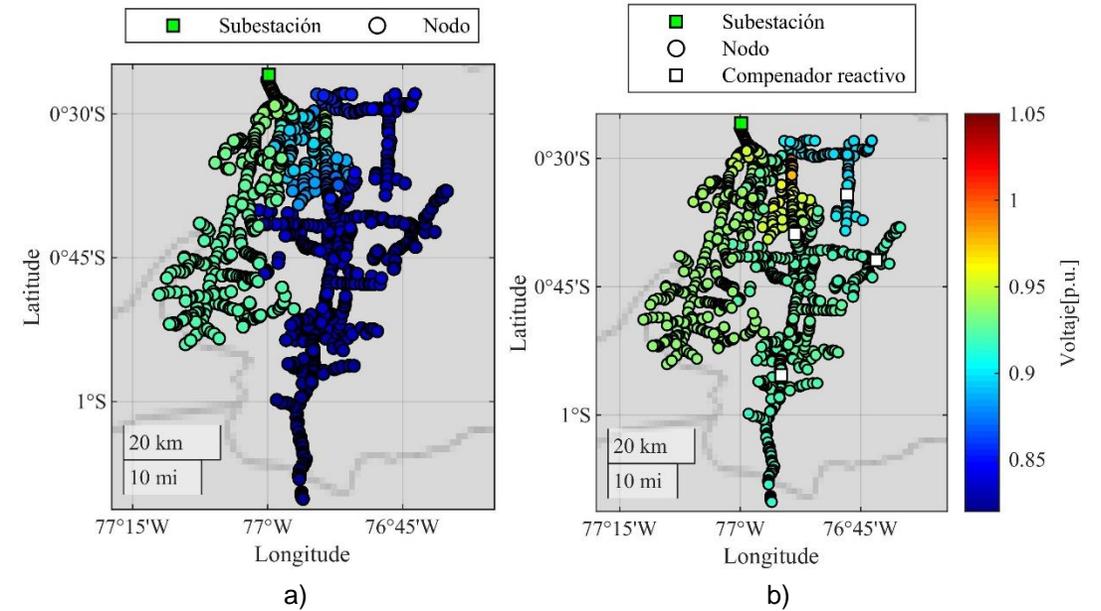
Perfiles de tensión del alimentador vía el Auca.

Fase A



Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "A" del alimentador vía al Auca en a) Sin compensadores reactivos y b) Con compensadores reactivos.

Fase B

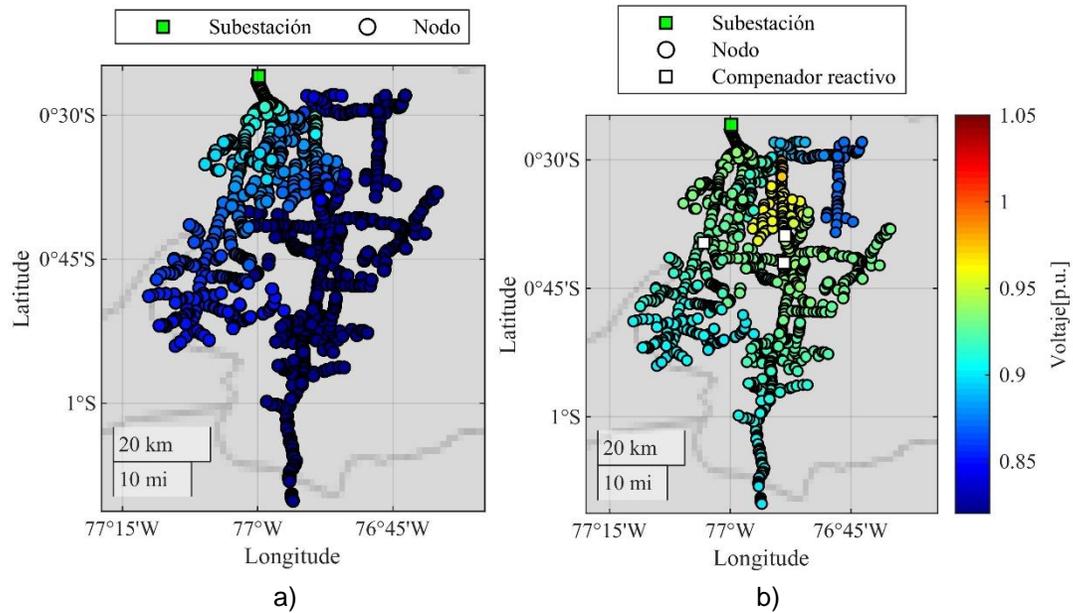


Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "B" del alimentador vía al Auca en a) Sin compensadores reactivos y b) Con compensadores reactivos.



Perfiles de tensión del alimentador vía el Auca.

Fase C



Nótese que, si bien la instalación de compensadores reactivos en el alimentador mejora los perfiles de tensión considerablemente, estos se mantienen por debajo de los niveles de voltaje admisibles por la regulación ARCENNR 002/20. Esto es debido a que el alimentador vía al Auca en su mayoría posee conductores ACSR #1/0, lo que conduce a caídas de voltajes severas llegando a niveles por debajo de 0,94 p.u.

Nota. En la figura se muestra los perfiles de tensión de las fases "C" del alimentador vía al Auca en a) Sin compensadores reactivos y b) Con compensadores reactivos.

- El Alimentador vía Auca de la Subestación “Payamino” de la Empresa Eléctrica CNEL EP-UN Sucumbíos cuenta con 806 km de longitud, con extensas ramificaciones monofásicas, por lo que se aplicó el método de reducción de nodos por distancia eléctrica y se ejecutaron simulaciones de flujos de potencia trifásicos desbalanceados utilizando el método Backward/Fordward Sweep, con el fin de obtener una buena representación del sistema bajo estudio, además de reducir el requerimiento computacional para resolver problemas de optimización.
- Se realizaron análisis de estabilidad de voltaje en zonas estratégicas del alimentador, debido al gran número de nodos y por la presencia de valores de voltaje similares a lo largo del alimentador. Con este fin, se seleccionaron cuatro puntos estratégicos que representan el comportamiento de los perfiles de tensión en el sistema, siendo estos el nodo donde se ubican los reguladores de voltaje, y nodos de las parroquias Dayuma, Inés Arango, Taracoa y La Belleza.



- Los resultados mostraron que la participación de la central Dayuma y el regulador de voltaje, aportan significativamente al mejoramiento de los perfiles de voltaje en las parroquias Dayuma e Inés Arango, haciendo una regulación de voltaje del 10% en condiciones de demanda mínima. Sin embargo, a partir de una demanda de 3000 kW, los niveles de voltaje en la parroquia Dayuma e Inés Arango decaen por debajo de los rangos admisibles. Con respecto a la parroquia Taracoa los perfiles de tensión se mantienen por debajo de 0,94 p.u. desde condiciones de demanda mínima. Finalmente, en la parroquia La Belleza los resultados mostraron que existe una caída de voltaje considerable en la fase C con niveles por debajo de 0,94 p.u. en condiciones de demanda mínima. Para las fases A y B de los alimentadores en la parroquia la Belleza decaen por debajo de 0,94 p.u. a partir de una demanda de 3000 kW. Por lo que es evidente que las condiciones actuales del alimentador conducen una baja calidad del servicio eléctrico, sin cumplir con los rangos admisibles de voltaje establecido por la regulación ARCERNR 002/20.



- Aplicando el algoritmo de optimización para la planificación de compensadores reactivos en el alimentador vía al Auca de la Subestación Payamino, se obtuvieron como resultados la instalación de compensadores reactivos con capacidades totales de 300 kVAr para la fase A, 250 kVAr para la fase B y 400 kVAr para la fase C a lo largo del alimentador. Los resultados muestran una reducción en las pérdidas del alimentador en condiciones de demanda máxima proyecta de 84,87 kW, además, los resultados muestran una mejora significativa en los perfiles de tensión. En la parroquia Dayuma e Inés Arango junto con la central Dayuma y el regulador de voltaje permiten aumentar la demanda de 3000 kW a 4000kW con niveles de voltaje dentro de los rangos admisibles. Con respecto a la parroquia Taracoa permite mejorar los perfiles de tensión hasta una demanda de 3000 kW. Finalmente, en la parroquia La Belleza los resultados mostraron que existe una mejora considerable en los niveles de voltaje en la fase C, con niveles por encima de 0,94 p.u. hasta una demanda de 3000 kW. Por lo que es evidente que la instalación de compensadores reactivos en el alimentador mejora significativamente la calidad de energía ofrecida, sin embargo, debido a la topología del alimentador en condiciones de demanda máxima los niveles de voltaje en algunas zonas del alimentador no cumplen con los rangos admisibles de voltaje establecido por la regulación ARCERNR 002/20.



- Con el fin de obtener proyecciones de demanda confiables se recomienda utilizar la mayor cantidad de datos históricos posibles de la red a estudiar.
- Para las redes de distribución que posean longitudes considerables se recomienda utilizar un proceso de reducción que permita mantener la topología de red con el propósito de facilitar el modelamiento de la red en una herramienta computacional de análisis de sistemas eléctricos.
- Debido a los perfiles de tensión obtenidos, es indispensable que se mantenga la generación de la central térmica Dayuma propiedad de termo pichincha en el alimentador Vía al Auca.
- Debido a los resultados obtenidos de la planificación de compensadores reactivos, se recomienda realizar un estudio de cambio de conductores en el alimentador vía al Auca debido a que en su mayoría dispone de conductores ACSR #1/0.



- Aguirre Morillo, G. J., & Toapanta Barreiro, E. G. (2021). Aplicación de Algoritmos Genéticos para la ubicación óptima de condensadores en el alimentador primario de distribución tipo radial.
- ARCERNNR-002/20. (2020). *Regulación: Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*. Quito.
- Borges Vasconcellos, D. E., y Concepción Céspedes, Y. (2017). Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución primaria de energía, aplicando algoritmos genéticos. *Revista de Ingeniería Energética*, XXXVIII(1), 25-34.
- Castro García, J. F. (2007). Algoritmos genéticos como solución al problema de flujo de potencia.
- Chimborazo, L., & Arcos, H. (2011). Análisis de Estabilidad de Voltaje del Sistema Nacional Interconectado – SNI para el Período 2010 – 2013, usando el Programa DigSilent PowerFactory. *Revista Energía*. <https://doi.org/https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v7.n1.2011.201>
- Domínguez Becerril, S. (2008). Métodos de análisis de sensibilidad para la evaluación de la estabilidad de voltaje de sistemas eléctricos de potencia.
- Grigsby, L. (2007). *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution* (Segunda ed.). CRC Press.
- Hernández Galicia, J. A. (2000). Planificación de la compensación reactiva mediante programación evolutiva.



- Hernández Romero, N., Medina Marín, J., & Seck Tuoh Mora, J. (2012). Introducción a Matlab para Resolver Problemas de Ingeniería Aplicando Algoritmos Genéticos.
- Herrera Torrealban, R. A. (2015). Análisis de estabilidad de voltaje de sistemas eléctricos de potencia usando curvas Q-V.
- Kawambwa, S., Mwifunyi, R., Mnyanghwalo, D., Hamisi, N., Kalinga, E., y Mvungi , N. (2021). An improved backward/forward sweep power flow method based on network tree depth for radial distribution systems. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*.
- Kundur, P. (1993). *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill .
- Lasluisa Robalino, S. (2019). Análisis de estabilidad de voltaje en estado estable en el sistema eléctrico de subtransmisión a nivel de 69 kV de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.
- MATLAB. (15 de Enero de 2023). *Find minimum of function using genetic algorithm - MATLAB ga*. Mathworks: <https://www.mathworks.com/help/gads/ga.html>
- Meena, N., Yang, J., y Singh, P. (2018). Backward/Forward Method for Three-phase Power Flow Calculation in Low Voltage Distribution Networks with EV Charging Points. *IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)(8th)*. <https://doi.org/10.1109/IICPE.2018.8709560>



- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (15 de 12 de 2022). *Plan Maestro de Electricidad*. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>
- Ramos Guardarrama, J., Hernández Areu, O., y Silverio Freire, R. C. (2019). Sistema de supervisión para el monitoreo de redes eléctricas inteligentes. *Energética*, 40(3).
- Riofrío Jirón, J. A., & Haro Pico, M. E. (2013). *Análisis de calidad de la energía eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*.
- Rodelo Torres, H. (2013). Estrategias de optimización con algoritmos genéticos complejos en la resolución de problemas de asignación de canales en redes celulares.
- Rodrigo Moreno, T. L., Navarro Espinosa, A., Panteli, M., Sacaan, R., Ordoñez, F., Rudnick, H., y Mancarella, P. (2020). Identifying Optimal Portfolios of Resilient Network Investments Against Natural Hazards, With Applications to Earthquakes. *IEEE Transactions on Power Systems*.
- Velásquez Lozano, A., Aguirre Velasco, M., Saltos Rodríguez, M., Ortiz Villalba, D., y Villamarín Jacome, A. (2021). Optimal Planning of VAR Compensator for Voltage Regulation Enhancement on Power Distribution Systems Against Volcanic Eruptions Events. *IEEE Green Technologies Conference*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/GreenTech48523.2021.00055>

