

**UBICACIÓN ÓPTIMA DE SVC CONSIDERANDO ESCENARIOS DE  
EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:  
UBICACIÓN ÓPTIMA DE SVC CONSIDERANDO ESCENARIOS DE  
EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.**

**AUTOR:  
CHIZA SANTILLAN YHAUQUIRI ISRAEL**

**TUTOR:  
ALEXANDER ÁGUILA TÉLLEZ**

**Quito, septiembre 2020**

Chiza Santillan Yhauquiri Israel

**UBICACIÓN ÓPTIMA DE SVC CONSIDERANDO ESCENARIOS DE  
EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador, 2020  
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



**Chiza Santillan Yhauquiri Israel** (A'1992-M'04). Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior "Central Técnico" en la especialidad de Técnico Industrial en Mecánica Automotriz. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la Ubicación óptima de SVC considerando escenarios de expansión del sistema de transmisión. [yhiza@est.ups.edu.ec](mailto:yhiza@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**MSc. Alexander Águila Téllez** (A'1981-M'09) recibió el título de Ingeniero Eléctrico y el de Máster en Eficiencia Energética en los años 2005 y 2010 respectivamente. Actualmente se encuentra estudiando para obtener su título de Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana - Colombia-Medellín, 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](mailto:aaguila@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

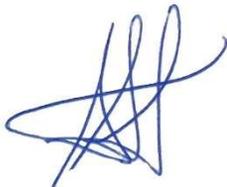
Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser 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  
©2020 Universidad Politécnica Salesiana  
QUITO-ECUADOR

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, MSc. Alexander Águila Téllez declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “UBICACIÓN ÓPTIMA DE SVC CONSIDERANDO ESCENARIOS DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN” realizado por Chiza Santillan Yhauquiri Israel, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Septiembre 2020



.....  
Alexander Águila Téllez

Cédula de identidad: 175598318-4

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Chiza Santillan Yhauquiri Israel, con documento de identificación N° 172352659-4, 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: “UBICACIÓN ÓPTIMA DE SVC CONSIDERANDO ESCENARIOS DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN”, 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.

Firma



.....  
Nombre: Chiza Santillan Yhauquiri Israel

Cédula: 172352659-4

Fecha: Quito, Septiembre 2020

## ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción.....	2
2.	Expansión del sistema de transmisión.....	5
2.1.	Líneas de transmisión (L/T).....	6
2.2.	Planeación de expansión de transmisión (PET).....	6
2.3.	Análisis de contingencias en la red de transmisión.....	6
3.	Compensadores de potencia reactiva.....	7
3.1.	Compensadores estáticos de potencia reactiva (SVC).....	7
4.	Flujo Óptimo de Potencia (FOP).....	8
4.1.	Modelado de FOP.....	8
5.	Formulación del problema.....	11
5.2.	Modelación matemática.....	12
5.3.	Procedimiento de resolución.....	12
6.	Análisis de resultados.....	13
6.2.	Modelo de la IEEE de 14 Nodos.....	14
6.3.	Casos estudios.....	15
6.4.	Ubicación óptima de los SVC y líneas candidata.....	15
6.6.	Minimización de Costos de Implementación.....	20
6.7.	Minimización de Pérdidas de Potencia en el SEP.....	20
7.	Conclusiones.....	21
8.	Trabajos Futuros.....	21
9.	Referencias.....	22
10.	Matriz del estado del Arte.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planificación de la expansión de los sistemas de transmisión y ubicación esquemática de SVC.....	5
Figura 2. Diagrama del SVC. ....	8
Figura 3. Sistema de 14 nodos de la IEEE. ....	15
Figura 4. Sistema de 14 barras con 1 SVC y 1 L/T.....	16
Figura 5. Sistema de 14 barras con 2 SVC y 1 L/T.....	16
Figura 6. Sistema de 14 barras con 3 SVC y 1 L/T.....	16
Figura 7. Sistema de 14 barras con 1 SVC y 2 L/T.....	16
Figura 8. Sistema de 14 barras con 2 SVC y 2 L/T.....	16
Figura 9. Sistema de 14 barras con 3 SVC y 2 L/T.....	16
Figura 10. Sistema de 14 barras con 1 SVC y 3 L/T.....	17
Figura 11. Sistema de 14 barras con 2 SVC y 3 L/T.....	17
Figura 12. Sistema de 14 barras con 3 SVC y 3 L/T.....	17
Figura 13. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 1 L/T.....	17
Figura 14. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 2 L/T.....	17
Figura 15. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 3 L/T.....	17
Figura 16. Perfil de Voltaje para los 9 casos de estudio.....	18
Figura 17. Fp del sistema con 1,2 ,3 SVC y 1 L/T.....	18
Figura 18. Fp del sistema con 1,2 ,3 SVC y 2 L/T.....	18
Figura 19. Fp del sistema con 1,2 ,3 SVC y 3 L/T.....	18
Figura 20. Potencia Activa de generación.....	19
Figura 21. Potencia Reactiva de generación.....	20
Figura 22. Costos por cada caso de estudio.....	20
Figura 23. Pérdidas de Potencia para cada caso.....	20

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de variables.....	12
Tabla 2. Algoritmo para la ubicación óptima de SVC considerando escenarios de expansión del sistema de transmisión.....	12
Tabla 3. Datos de generadores.....	14
Tabla 4. Datos de la red. ....	14
Tabla 5. Datos de los nodos.....	14
Tabla 6. Datos de las Líneas Candidatas. ....	14
Tabla 7. Casos de estudio para la ubicación de SVC y expansión del sistema. ....	15
Tabla 8. Nodos escogidos para la ubicación de SVC y expansión del sistema.....	15
Tabla 9. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 1 L/T.....	18
Tabla 10. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 2 L/T.....	18
Tabla 11. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 3 L/T.....	19
Tabla 12. Mejora del Perfil de Voltaje. ....	19
Tabla 13. Costos por cada caso d estudio.....	20
Tabla 12. Pérdidas de Potencia para cada caso. ....	20

# UBICACIÓN ÓPTIMA DE SVC CONSIDERANDO ESCENARIOS DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

## Resumen

El presente trabajo muestra una metodología para la ubicación de compensadores de potencia reactiva SVC en base a un proceso de optimización que minimiza los costos asociados a la implementación de los dispositivos de control electrónicos a ser ubicados en la red tomando en cuenta escenarios de expansión del sistema de transmisión, para así determinar el efecto en los aspectos económicos y técnicos bajo la operación en estado estable de un sistema de potencia.

La proyección de la expansión de los sistemas de transmisión se realiza mediante la utilización del flujo óptimo de potencia AC, el cual proporciona una descripción de mayor precisión al flujo de potencia de la red, teniendo como función final la minimización de las pérdidas de potencia y costos asociados a la instalación de equipos compensadores al sistema eléctrico, lo que ocasiona una mejora en el perfil de voltaje nodal en cada uno de los escenarios de expansión. La metodología del control de voltaje y redistribución de los flujos en las líneas de transmisión tiene como objetivo principal alcanzar una mejora en las variables de calidad y eficiencia de los sistemas eléctricos.

**Palabras Clave:** Flujos de Potencia Reactiva, Balance de Potencia, Potencia Reactiva, Estabilidad, Expansión, Perfiles de voltaje, Técnicas de optimización.

## Abstract

This work shows a methodology for the location of SVC reactive power compensators based on an optimization process that minimizes the costs associated with the implementation of the electronic control devices to be located in the network, taking into account system expansion scenarios. transmission, in order to determine the effect on economic and technical aspects under the steady state operation of a power system.

The projection of the expansion of the transmission systems is carried out by using the optimal AC power flow, which provides a more accurate description of the power flow of the network, with the final function of minimizing power losses and costs associated with the installation of compensating equipment to the electrical system, which causes an improvement in the nodal voltage profile in each of the expansion scenarios. The main objective of the voltage control and redistribution of fluxes in transmission lines is to achieve an improvement in the variables of quality and efficiency of electrical systems.

**Keywords:** Reactive Power Flows, Power Balance, Reactive Power, Stability, Expansion, Voltage profiles, Optimization techniques.

## 1. Introducción

Debido al incremento de la demanda en el sistema eléctrico de potencia (SEP) [1], los sistemas de transmisión son el pilar fundamental en el funcionamiento del sector eléctrico, por tal motivo, los sistemas de transmisión deben estar correctamente estructurados mediante la implementación de infraestructura y tecnologías denominadas redes inteligentes, las cuales proporcionan un control y supervisión adecuado del transporte de la energía eléctrica [2], [3].

Las redes inteligentes permiten desarrollar proyectos que ayuden a la incorporación de la red de suministro de energía, con el fin de abastecer la demanda, estas redes inteligentes en los sistemas eléctricos a futuro deberán ser:

- Flexibles: para abastecer el crecimiento de la demanda y las necesidades de los consumidores finales a futuro [4], [5].
- Económicas: para abastecer una sucesión de valor medio por la innovación de tecnología y una administración eficiente de la energía.
- Accesibles: para garantizar el acceso de conexión de todos los usuarios de la red, concretamente a través de recursos renovables [6].

Dado que la infraestructura de transmisión debe permitir la transferencia de energía para abastecer la demanda, uno de los principales problemas que deben ser resueltos son la incertidumbre del pronóstico de carga, por consiguiente, la planificación deberá considerar este aspecto a fin de evitar la baja calidad de energía y elevados costos en los SEP [7].

Así mismo y con el afán de mejorar la calidad de energía y la mejora tanto en estado estacionario como transitorio, se ha implementado la utilización de mecanismos adaptativos y tecnológicos como son los compensadores estáticos de potencia reactiva (SVC) [8], los

cuales han sido incluidos como parte de la planificación de expansión de transmisión (PET) en los SEP, lo que ha facilitado mejorar la estabilidad de la red y el estado operativo de los sistemas eléctricos, en tal sentido es necesario señalar que los PET han sido tomados como un problema de optimización desde los años 70s y mediante la incorporación de los SVC han ayudado al control de voltaje en los nodos, de lo cual se ha obtenido una mejor calidad de energía a menores costos [9][10].

En los últimos años, las investigaciones de los modelos de la PET tuvieron un gran incremento, debido a que se han publicado muchos documentos e informes sobre nuevos modelos en la literatura técnica debido principalmente a la mejora de softwares computacionales y de nuevos algoritmos de optimización a un nivel mayor de aplicación en el SEP [11].

En el transcurso del tiempo se han creado varios métodos de solución de planificación donde se basan en modelos estáticos y dinámicos [12].

El modelo estático, es en el cual la inversión total del proyecto se realiza al inicio de la planificación, es decir se define inicialmente un horizonte de planificación. En cambio en el modelo dinámico, el periodo de estudio se divide en varios periodos de tiempo y varios problemas estáticos [13].

Los criterios de seguridad en el ámbito de operación considerando la confiabilidad del sistema proponen elegir una mejor planificación de expansión para tener una inversión acertada para la construcción de las líneas requeridas, factor que es relevante a nivel económico asociado a la tarifa a usuario final [14].

Dentro de los estudios, se presenta diferentes casos de la PET como son un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) en el cual se considera pérdidas, costos de generación y una

restricción de seguridad N-1 para distintos casos de estudio [15]. Otro modelo para la PET está basado en criterios de confiabilidad usando un modelo probabilístico y mediante el MILP, se obtendrá la probabilidad de pérdida de carga (LOLP) y la energía esperada no suministrada (EENS) de la salida aleatoria de los elementos [16].

En [17] se tiene un modelo que busca minimizar costos de inversión y generación donde se integra criterios de seguridad N-1 mediante una formulación de dos etapas.

El método de investigación descrito en [18], [19] trata sobre un enfoque novedoso de resolución aplicando los criterios N-K incluyendo contingencias conjuntas en generación y transmisión con modelos ajustables en 3 niveles y estos siendo más robustos considerando incertidumbres de carga y fuentes renovables utilizando algoritmos que minimizan las pérdidas de carga.

Para resolver la problemática de optimización en la expansión y en la ubicación óptima de elementos asociados a la red se han realizado diversas técnicas en distintas investigaciones como se describe en [20], donde se observa que los SVC utilizan una tecnología basada en electrónica de potencia para controlar ciertas variables eléctricas en el SEP [21]. Otro de los estudios determina un plan necesario para poder reforzar la red con el fin de tener una alta confiabilidad en el sistema para poder cumplir la demanda existente y futura [22].

Tomando en cuenta la seguridad en el SEP, un problema más a ser resuelto es disminuir de la congestión en la red, ya que esta ocasiona inoperancia en el mercado eléctrico debido a que limita la máxima transferencia de potencia y así genera inestabilidad en el sistema eléctrico como se describe en [23].

Por lo tanto, el presente trabajo plantea que el modelo a ser usado para la planificación de expansión

considerará el estudio de flujos óptimos de potencia AC (FOP-AC) ya que generan variables más precisas que las que arrojan el estudio de un flujo óptimo de potencia DC (FOP-DC) [24], modelo en el cual se planteará un método de ubicación óptima de SVC en base a un proceso de optimización que minimiza los costos asociados a la implementación de los dispositivos de control electrónicos a ser ubicados en la red [25], con este propósito se modelarán escenarios de expansión del sistema de transmisión, determinándose el efecto en los aspectos económicos y técnicos bajo la operación en estado estable de un sistema de potencia [26]. Debido a la ubicación óptima de los SVC y a la expansión de líneas de transmisión bajo un análisis de FOP-AC, el caso de estudio será resuelto como un problema de programación no lineal entera mixta [27].

Dentro de los SEP, uno de los elementos más importantes es el despacho óptimo de potencia reactiva. En el cual se presenta un problema de flujo óptimo de potencia (FOP) con sus respectivos valores y limitantes eléctricas, así como sus ventajas las cuales son:

- ✓ Un preciso análisis de las pérdidas
- ✓ Operación bajo criterios propuestos
- ✓ Inclusión de variables de control (taps de transformadores, voltaje en los nodos de generación, etc.)

Para cumplir con la función objetivo, se evaluará las variables eléctricas del sistema, resultado del FOP, entre las que se describen son: voltajes, ángulos, flujos de potencia activa y reactiva a través de las líneas de transmisión [28], para el efecto, el modelo de optimización estará bajo restricciones de operación del SEP, donde la problemática de la expansión es el incremento de la cantidad líneas en la red ya existente, las cuales deben adaptarse de manera óptima, siendo este un proceso estocástico el cual

proporciona que tipo de línea y donde debe ubicarse [29].

Las bandas de voltaje predefinidas corresponderán a una restricción importante, ya que el modelo evaluará la variable de voltaje y será esta la que permita la incorporación de SVC, a fin de proceder con la modelación se usará el sistema eléctrico establecidos en el Apéndice A de la IEEE, “Datos para el sistema de 14 barras de la IEEE” [30].

A fin de mejorar la operatividad del sistema, la inclusión de los SVC garantizará una mejora que los niveles de voltaje y permitirá que el balance de potencia activa y reactiva se cumpla. Los SVC son equipos encargados de controlar el voltaje con el fin de llegar a un balance adecuado, donde al existir niveles bajos de voltaje el SVC inyectará reactivos y al existir niveles altos de voltaje absorberá manteniendo así un balance óptimo a nivel de entrega de reactivos [31].

Las ventajas en la utilización del SVC son importantes, pero también se debe tener en cuenta que este tipo de dispositivos deben implementarse adecuadamente, ya que su ubicación en todo el sistema causaría un costo elevado asociado a la instalación, pero adicional causaría problemas en la operatividad del sistema, aspecto por el cual existen distintas técnicas de optimización, mediante las cuales se obtiene el punto óptimo de ubicación [8], [32]–[35].

Una de las técnicas de optimización se fundamenta en la cantidad óptima de compensadores STATCOM, su ubicación óptima y tamaño para reducir pérdidas en el SEP [36], otro tipo de

estudio se basa en algoritmos genéticos que generan ubicación óptima como el tamaño y tipo de los compensadores estáticos ya sean SVC, TCSC, TCVR, TCPST y UPFC[37]. Otro método se basa en el índice de sensibilidad a la pérdida el cual incrementa la capacidad de transferencia, aumenta el perfil de voltaje y flujo de energía así como la reducción de la pérdida total de energía en el sistema [38].

En [39], se detalla un método que emplea el algoritmo de búsqueda de armónica global el cual consiste en mejorar la estabilidad de voltaje y reducciones en la pérdida de energía significativa considerando la desviación del voltaje y el costo total.

En las investigaciones descritas en [17]–[19] se logró satisfacer la demanda mediante la expansión de líneas de transmisión reduciendo las pérdidas de potencia con el fin de brindar al sistema una mayor confiabilidad y robustez [40], [41]. En [32], [36]–[39] mediante implementación de compensadores se logra incrementar los perfiles de tensión al menor costo posible.

En la Figura 1 se muestra un sistema eléctrico de potencia en donde se presenta la planificación de la expansión de los sistemas de transmisión, basado en un FOP-AC mediante el uso de la programación no lineal entera mixta (MINLP) y la interacción de forma esquemática en el diseño para la ubicación óptima de dispositivos SVC en los sistemas de transmisión para tener un alto grado de confiabilidad.

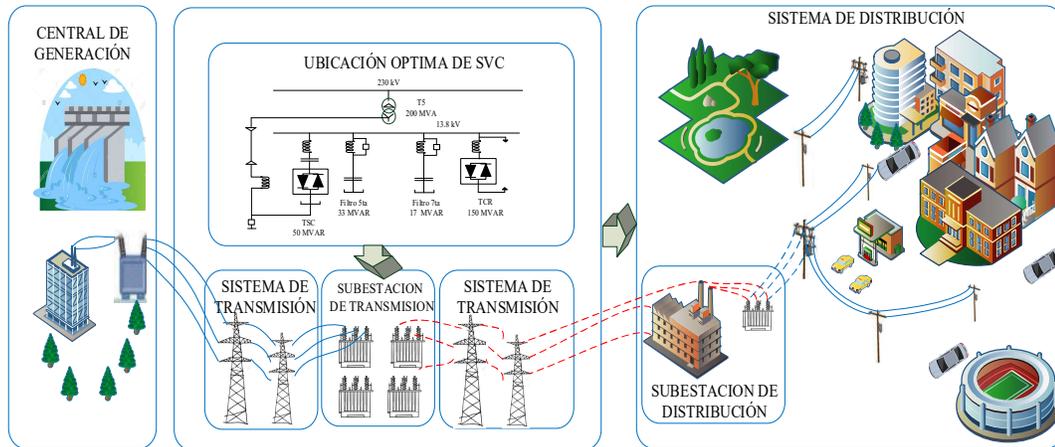


Figura 1. Planificación de la expansión de los sistemas de transmisión y ubicación esquemática de SVC.

El presente trabajo presenta una metodología que, para los casos de estudio de optimización en función a la expansión del sistema de transmisión, se implementará SVC minimizando sus costos de instalación, permitiendo de esa forma mejorar la compensación reactiva en sistemas eléctricos de potencia. Para lograr lo descrito, se usará los flujos óptimos de potencia en sistemas eléctricos considerando las restricciones de nivel de voltaje y balance de potencia activa y reactiva por cada escenario de expansión, determinado en cada uno de ellos los costos asociados a la implementación de compensadores reactivos (SVC) y evaluando las pérdidas en la operación del sistema eléctrico. Es necesario señalar que la expansión se realizará un escenario de carga que debe ser abastecida por medio de diferentes configuraciones de la red, en tal sentido, la expansión consistirá en establecer la nueva infraestructura de la red que libere la capacidad de las líneas actuales en un mismo escenario de carga, lo cual permitirá que los resultados del modelo para cada caso sean comparables en relación a los resultados de las variables eléctricas.

El documento está estructurado de la siguiente manera; en la sección 2 se presenta el marco teórico sobre la

expansión del sistema de transmisión, en la sección 3 se detalla los aspectos sobre compensadores de potencia reactiva, en la sección 4 se muestra los flujos óptimos de potencia AC, en la sección 5 se indica la formulación del problema, en la sección 6 se realiza un análisis de resultados del modelo de optimización planteado, en la sección 7 se describe las conclusiones y los trabajos futuros que se pueden realizar tomando como base el trabajo propuesto y en la sección 8 se tiene anexo los cuales son datos del SEP.

## 2. Expansión del sistema de transmisión

El incremento de la demanda en los SEP, se ha vuelto un punto clave para la expansión de generación, debido a que el suministro de energía debe ser robusto para cualquier tipo de incertidumbre, por tal razón este tiene que ser reforzado bajo criterios de confiabilidad, calidad y seguridad [42].

Uno de los estudios de gran importancia en los sistemas energéticos es la expansión de los sistemas de transmisión debido al aumento de la demanda, a causa de que el estudio de estos, se enfoca en dar confiabilidad al SEP, para esto existen algoritmos capaces de resolver un modelo eficaz, que mediante un análisis de FOP-AC,

se tenga un mayor análisis en los sistemas eléctricos [43]. Para el caso de estudio y como se ha citado, el escenario de carga es único y la expansión considerará en implementar la infraestructura eléctrica necesaria para el abastecimiento de la demanda bajo criterios de calidad del producto, liberando la cargabilidad de la red.

### **2.1. Líneas de transmisión (L/T)**

Uno de los métodos para afrontar el aumento de demanda es la construcción de nuevas centrales de generación y de nuevas líneas de transmisión (L/T).

La implementación de L/T es primordial en las estructuras del SEP debido a que la gran mayoría de centrales de generación se encuentran distantes a los puntos de carga y las L/T son el vínculo entre las centrales y los centros de carga, por motivos de costo, instalación y mantenimiento, normalmente los sistemas son aéreos, sin embargo para precautelar la seguridad pública existen L/T subterráneas estas son localizadas en espacio de grandes edificaciones [44].

Al efectuarse una minimización de los costos de inversión y tomando en cuenta las restricciones operativas del sistema, las L/T aérea son una solución factible, su conveniencia radica en que sus fallas pueden ser tratadas con más facilidad y su capacidad de aislamiento (aire) son renovables y favorece a los niveles más aL/Tos de voltaje [45][46].

### **2.2. Planeación de expansión de transmisión (PET)**

El horizonte de planificación para las redes de transmisión dentro de la planificación es muy importante, en tal sentido, se señala que existen diferentes tiempos de planificación los que son largos, medios y cortos.

La planificación a largo plazo es la que se identifica las exigencias técnicas para nuevas instalaciones de L/T, la

planificación a mediano plazo se consolida en programas de expansión en L/T, teniendo en cuenta las L/T ya existentes; y, por último la PET a corto plazo es el estudio a limitaciones operativas y como resultado de esto es la continuidad de servicio a los consumidores [47].

La metodología en un PET toma en cuenta diferentes aspectos como son técnicos, económicos y ambientales, los cuales son puntos claves para una mejor planificación y garantizar el transporte de energía con altos niveles de confiabilidad a un menor costo [48], con estos parámetros se procede posteriormente con la determinación de los puntos idóneos a ser incorporadas las L/T con ciertas restricciones que están dadas por el aspecto económico principalmente [49].

### **2.3. Análisis de contingencias en la red de transmisión**

Las contingencias en las líneas de transmisión son producto de: i) un efecto ambiental; ii) por malas operaciones por personas; iii) por uso por sobre la capacidad de los elementos en el SEP. Estos tipos problemas hacen perder confiabilidad al sistema, por tal motivo los operadores para superar estos desafíos realizan distintos métodos para brindar un continuo suministro eléctrico, estos están bajo estándares basados en acciones para mitigar fallas n-1 y n-k.

Para el análisis de eventos se simula contingencias, en donde se retira de operación uno o varios elementos del sistema, para posteriormente proceder a realizar las acciones necesarias para restaurar el sistema a condiciones favorables de operación, y abastecer a la demanda bajo criterios de calidad del producto, por tal motivo en el presente trabajo se analizará la implementación de nuevas líneas que reconfigure la red para abastecer una mismo escenario de

carga tomando en cuenta la cantidad de SVC a ser instalados.

### **2.3.1. Criterio N-1 en las L/T**

Este tipo de contingencias esta dado cuando se pierde el funcionamiento de un elemento de la estructura del SEP, esta contingencia es tomada como restricción en los planes de optimización debido a que el sistema no debe perder carga. La operación del sistema después de la falla debe mantenerse para la incorporación posible de una planificación y expansión, y así realizar acciones de restauración y tener un flujo óptimo [50].

Esta contingencia desecha el efecto de fallas en cascada, sin embargo el estudio de fallas en cascada pertenece a los eventos de contingencias que afectan al sistema de transmisión por tal motivo se realiza los estudios precisos para incrementar la seguridad y firmeza en el SEP [51].

### **2.3.2. Criterio N-k en las L/T**

Este tipo de fallas es el efecto de la pérdida de 2 o más elementos de la estructura en las líneas, y como consecuencias de esta, el sistema debe tomar acciones complementarias para mantener la estabilidad del SEP [52][53]; al igual que las fallas n-1, permite realizar planificación y evaluación para la confiabilidad del sistema [53], pero la diferencia radica en la permisibilidad frente a la pérdida de un porcentaje reducido de carga. La contingencia n-k implica la pérdida de uno de los elementos del sistema, en este caso del sistema de transmisión, para después realizar arreglos y seguidamente evitar la pérdida súbita de otro elemento iniciando el efecto cascada, esto representa esfuerzos técnicos y de inversión, donde esta situación es la más crítica y real del sistema eléctrico [54].

## **3. Compensadores de potencia reactiva**

La oscilación en los niveles de voltaje son el impacto directo de los flujos de potencia reactiva, al existir incrementos o decrementos de potencia reactiva lleva como consecuencias degradaciones en los niveles de voltaje [55].

Debido a las variaciones de voltaje es necesario tener un control Q o control de potencia reactiva mediante compensadores reactivos, con el fin de evitar colapsos en el sistema eléctrico [56].

El método más frecuente utilizado en los últimos años para el suministro de potencia es la compensación reactiva, este tipo de metodología es la ubicación idónea de los compensadores reactivos SVC en los nodos del SEP verificando voltajes y brindando calidad, eficiencia, estabilidad y confiabilidad al sistema eléctrico [33], [34], [57], [58].

### **3.1. Compensadores estáticos de potencia reactiva (SVC)**

Uno de los compensadores de potencia reactiva más utilizados son los SVC, los cuales están conectados por una conexión shunt. Estos dispositivos están conformados por un TSR o TCR los cuales son reactores conmutados y controlados por tiristores respectivamente, estos son los encargados de absorber potencia reactiva, en el caso de inyectar potencia reactiva se utiliza los TSC el cual es un capacitor conmutado por tiristores en los momentos requeridos como se muestra en la Figura 2 [55].

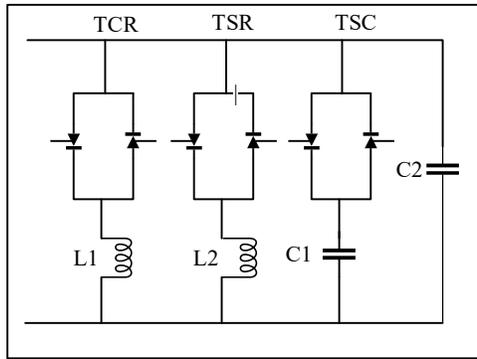


Figura 2. Diagrama del SVC.

Los SVC mediante técnicas de optimización se encuentra su ubicación óptima en un nodo del sistema en donde exista variaciones del nivel de voltaje, considerando que este tipo de compensadores no se pueden colocar en la barra que exista un generador [59].

#### 4. Flujo Óptimo de Potencia (FOP)

Para la resolución de FOP es necesario considerar varias restricciones no lineales con su respectiva función objetivo, la resolución matemática de estos requiere de un cálculo complejo, cuyo fin es poder asegurar la operación del sistema y tener un despacho óptimo con gastos económicos menores[60].

Esto se logra mediante el modelo de ecuaciones de potencia activa y reactiva con sus respectivos límites operativos y el cumplimiento de la función objetivo, tomando en cuenta restricciones de igualdad y desigualdad.

La planeación y operación del SEP está compuesta fundamentalmente por un conjunto de variables determinadas mediante el flujo de potencia el cual estará sujeto a restricciones operativas de los SEP [61]. Los FOP se pueden analizar como flujos óptimos de potencia AC (FOP-AC), el cual entregará un análisis completo del sistema eléctrico en comparación de los flujos óptimos de potencia DC (FOP-DC).

Los FOP-AC tienen un grado de precisión muy alto, sin embargo, por su extenso y complejo cálculo lo convierte en una resolución de baja velocidad. Para el estudio de los SEP a gran escala la velocidad de cómputo es una variante importante debida que para realizar un despacho óptimo no es necesaria una alta precisión [62].

A causa de que la velocidad de cálculo el cual es un aspecto relevante en el análisis del sistema, normalmente se utilizan FOP-DC, al poseer un grado de complejidad baja y otorgar una aproximación a un FOP-AC, todo esto tomando en cuenta el despacho de potencia activa.

Los modelos FOP son los encargados de encontrar una distribución óptima de los componentes en el SEP, en tal sentido existen varios métodos matemáticos de optimización los cuales son corresponden a programaciones lineales, no lineales y problemas enteros mixtos [63][64].

Para obtener una operación óptima del SEP se realiza primero un despacho económico para minimizar pérdidas, al realizar estas dos acciones a la vez es lo que se refiere a un FOP en un modelo robusto. Con una programación correcta para los generadores, se puede obtener niveles de voltaje aceptables obteniendo estabilidad y confiabilidad en el sistema [53], [65].

##### 4.1. Modelado de FOP

La optimización de un FOP se fundamenta en minimizar o maximizar una función objetivo, con sus respectivas restricciones de igualdad y desigualdad para este caso en particular el FOP es utilizado en dos partes, la primera para determinar la nueva infraestructura de la red y la segunda para la ubicación de SVC[65]. En tal sentido, a continuación, se describe los modelos a usarse para cada parte antes

citada, detallando la función objetivo y las restricciones operativas del sistema.

## 4.2 Modelo para la expansión

En primera instancia se procede a determinar la infraestructura nueva de la red a fin de abastecer la demanda bajo condiciones de calidad del producto, para el efecto en este modelo se usará el FOP para minimizar las pérdidas del sistema sujeto a las restricciones técnicas operativas.

### 4.2.1 Función Objetivo

La función objetivo busca minimizar las pérdidas activas del sistema eléctrico, cuya función está dada por la siguiente ecuación (1).

$$\min \sum_{i=1}^G P_{gi} - \sum_{n=1}^j P_{ci} \quad (1)$$

Donde:

$P_{ci}$	Potencia activa de carga en el nodo $i$ .
$P_{gi}$	Potencia activa de generación en el nodo $i$ .

### 4.2.2 Restricciones

Las restricciones se asocian a los aspectos operativos del sistema, siendo estas las siguientes:

#### a. Balace de potencia

El balance potencia se refiere a que el ingreso de la potencia activa y reactiva debe ser idéntica a la potencia que sale al sistema.

$$p^{gen} - p^{dem} = \sum_{Li \in Lex} P_{exLi} + \sum_{Li \in Lcc} P_{cLi} \quad (2)$$

$$Q^{gen} - Q^{dem} + Q_m^{svc} = \sum_{Li \in Lex} Q_{exLi} + \sum_{Li \in Lcc} Q_{cLi} \quad (3)$$

En las ecuaciones (4) y (5), se interpreta el flujo de potencia activa a través de las líneas candidatas y las líneas existente.

$$P_{exLi} = V_m^2 G_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \cos \delta_{mn} + B_{mn} \sin \delta_{mn}]}{2} \right) \quad (4)$$

$$P_{cLi} = U * V_m^2 G_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \cos \delta_{mn} + B_{mn} \sin \delta_{mn}]}{2} \right) \quad (5)$$

Así mismo en las ecuaciones (6) y (7) se muestran los flujos de potencia reactiva que fluyen a través de las líneas candidatas y existentes.

$$Q_{exLi} = V_m^2 B_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \sin \delta_{mn} + B_{mn} \cos \delta_{mn}]}{2} \right) \quad (6)$$

$$Q_{cLi} = U * V_m^2 B_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \sin \delta_{mn} + B_{mn} \cos \delta_{mn}]}{2} \right) \quad (7)$$

Para los límites de operación se tendrán en cuenta las siguientes restricciones:

#### b. Restricción de voltaje

Corresponde a la restricción que permite determinar la banda de voltaje donde operará el sistema.

$$V_{m,min} \leq V_m \leq V_{m,max} \quad (8)$$

#### c. Restricción de ángulo

Restricción que garantiza que los ángulos nodales de voltaje estén dentro de un límite mínimo y máximo.

$$\delta_{m,min} \leq \delta_m \leq \delta_{m,max} \quad (9)$$

#### d. Restricción de límites de potencia

La restricción permite que el generador entregue la potencia activa y reactiva dentro de los rangos operativos sin exigir mayor potencia de la disponible por cada generador.

$$P_{m,min}^{gen} \leq P_m^{gen} \leq P_{m,max}^{gen} \quad (10)$$

$$Q_{m,min}^{gen} \leq Q_m^{gen} \leq Q_{m,max}^{gen} \quad (11)$$

e. Restricción binaria para determinación de la nueva infraestructura de red

Esta restricción determina la cantidad de líneas a ser implementadas en la red, la cual garantizará una operación bajo criterios de calidad de producto.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n u(i, k) = Nmax \quad (12)$$

Donde:

- $u(i, k)$  Variable binaria de selección de líneas a expandirse.
- $Nmax$  Número máximo de líneas de transmisión a ser expandidas.

### 4.3 Modelo para la ubicación de SVC

Una vez determinada la nueva infraestructura de red, se procede a establecer la implementación de SVC, determinándose la capacidad y la ubicación de éstos, para el efecto se usará FOP, el cual minimizará los costos de la implementación de los SVC al sistema.

a. Función objetivo

La función objetivo minimizará el costo para implementar los SVC en el sistema, cuya ecuación es:

$$\sum_{m=1}^N Q_m^{SVC} Z_m x_m \quad (13)$$

b. Balance de potencia

Para la restricción de balance de potencia se considera la potencia que se inyecta y se retira desde un nodo hacia otro nodo del sistema, la ecuación (14) y la ecuación (15) representan los balances tanto de potencia activa como de reactiva.

$$P_{gi} - P_{di} = V_i^2 G_{ii} + \sum_{j=1}^N V_i V_j [G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}] \quad (14)$$

$$Q_{gi} + SVC_{i,c} - Q_{di} = V_i^2 B_{ii} + \sum_{j=1}^N V_i V_j [G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}] \quad (15)$$

Donde:

- $P_{gi}, Q_{gi}$  Potencia activa y reactiva de generación en el nodo i.
- $P_{di}, Q_{di}$  Potencia activa y reactiva de carga en el nodo i.
- $V_i, V_j$  Voltaje en el nodo i y el nodo j, respectivamente.
- $\delta_{ij}$  Ángulo en el nodo i y j.
- $G_{ii}$  Matriz propia de conductancia nodal.
- $B_{ii}$  Matriz propia de susceptancia nodal.
- $G_{ij}$  Matriz mutua de conductancia nodal.
- $B_{ij}$  Matriz mutua de susceptancia nodal.

c. Restricciones de potencia de generación

Se deben tener en cuenta los límites mínimos y máximos de generación, ya que el generador no debe exceder de sus límites de producción, la ecuación (16) y (17) indican estas restricciones de operación.

$$P_{gi,min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,max} \quad (16)$$

$$Q_{gi,min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,max} \quad (17)$$

Donde:

- $P_{gi}$  Potencia activa de generación en el nodo i.
- $Q_{gi}$  Potencia reactiva del generador en el nodo i.

*d. Restricción de voltaje*

Otra restricción para una operación adecuada del sistema se trata de los límites de voltaje en el cual los nodos deben estar dentro de ese rango de operación para mantener la estabilidad del sistema, la ecuación (18) indica esta restricción.

$$V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max} \quad (18)$$

Donde:

- $V_i$  Voltaje en el nodo i.

*e. Restricción de ángulo de fase*

El límite de ángulo de fase logra que cada nodo se mantenga dentro de un rango permisible, garantizando de esta manera una operación correcta del sistema, la ecuación (19) describe esta restricción.

$$\delta_{i,min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,max} \quad (19)$$

Donde:

- $\delta_i$  Ángulo en el nodo i.

*f. Restricción Binaria*

Con el propósito de que el optimizador obtenga la ubicación óptima del SVC y la línea de transmisión a conmutarse, se establece dos variables binarias:

$$\sum_{i=1}^n x(i) = N_{svc} \quad (20)$$

Donde:

- $x(i)$  Variable binaria de selección del SVC.
- $N_{svc}$  Número máximo de SVC en el sistema.

## 5 Formulación del problema

En el modelo de optimización propuesto en el presente trabajo, se utilizará un algoritmo que permite la expansión de líneas de transmisión con el fin de abastecer la demanda, y una vez determinada esta nueva infraestructura, se procede a implantar la instalación del SVC, para el efecto en este modelo se usará los FOP para minimizar las pérdidas al expandir la red, y después de tener la nueva infraestructura se busca minimizar los costos de implementación del SVC al sistema, este algoritmo se basa en programación no lineal entera mixta (MINLP).

El modelo estará bajo restricciones de niveles voltaje los cuales se encuentran en un rango de 0.9 a 1.1 pu, así como la restricción angular que tiene como rango de operación  $-45$  a  $45^\circ$  estos tipos de restricciones aseguran una correcta operación del SEP.

Como datos adicionales en el algoritmo se considera una potencia base de 100 MVA y se define como barra slack el nodo 1 el cual tiene una magnitud de voltaje de 1 pu y un ángulo de fase de  $0^\circ$ . Para la implementación del SVC existen pautas y criterios generales establecidos por la IEEE en donde se detalla ciertas características y valores de capacidades estándares de los compensadores estáticos var (SVC) en subestaciones, valores implementados por el Subcomité de Subestaciones Convertidoras CC del comité de Subestaciones de la IEEE Power Engineering Society [66]. Con lo mencionado anteriormente se utilizará distintas capacidades de SVC que puedan abastecer la demanda de potencia y para la expansión de líneas de transmisión se considera 1 línea, 2 líneas y 3 líneas de transmisión, las cuales serán definidas en conformidad al crecimiento de la demanda.

Para encontrar la localización óptima del dispositivo compensador SVC se considera el uso de una variable binaria, la cual selecciona él o los nodos de ubicación. En cambio, para la expansión de las líneas de transmisión se hará el uso de otra variable binaria la cual indicará que línea candidata se implementará en el sistema.

## 5.2 Modelación matemática

El modelo matemático empleado para la determinación de la PET y para la ubicación del SVC, esta propuesto por el siguiente algoritmo con las nomenclaturas mostradas en la Tabla 1:

Tabla 1. Tabla de variables

<b>Simbología de Ecuaciones</b>	
$m, n$	Índice de barras.
$P_m^{gen}$	Potencia activa de generación en el nodo m.
$Q_m^{svc}$	Capacidad de instalación del SVC en el nodo m.
$Z_m$	Costo de la instalación del SVC en el nodo m.
$X_m$	Variable binaria de selección de ubicación del SVC en el nodo m.
$P^{gen}$	Potencia de activa de generación.
$P^{dem}$	Demanda de potencia activa
$Li$	Índice de líneas.
$Lex$	Líneas existentes conectadas.
$Lcc$	Líneas candidatas conectadas.
$P_{exLi}$	Flujo de potencia activa en líneas existentes.
$P_{cLi}$	Flujo de potencia activa en líneas candidatas.
$Q^{gen}$	Potencia de reactiva de generación
$Q^{dem}$	Demanda de potencia reactiva.
$Q_{exLi}$	Flujo de potencia reactiva en líneas existentes.
$Q_{cLi}$	Flujo de potencia reactiva en líneas candidatas.
$U$	Variable de decisión de líneas candidatas.

Como se ha mencionado, el problema planteado se ha dividido en dos subproblemas y por tanto se tiene dos funciones objetivo, el primero buscará busca minimizar las pérdidas de potencia al incorporar las líneas de transmisión en el sistema [40] y el segundo minimizar los costos asociados a la implementación del SVC.

Estas funciones objetivo en cada subproblema están sujetas a ciertas restricciones operativas donde se incluyen variables de decisión para la implementación de nueva infraestructura de la red y la incorporación de los SVC.

## 5.3 Procedimiento de resolución

Para la resolución óptima se hará el uso del software General Algebraic Modeling System (GAMS) en el cual se ingresarán los datos de las características de las líneas, generadores, transformadores y las cargas respectivas de cada nodo del sistema.

Mediante el software GAMS se obtendrá las ubicaciones óptimas de los SVC, así como las líneas candidatas a instalarse en el sistema.

En la Tabla 2, se muestra la metodología para la solución del modelo de optimización propuesto.

Tabla 2. Algoritmo para la ubicación óptima de SVC considerando escenarios de expansión del sistema de transmisión.

Algoritmo de solución	
Subproblema 1	
Paso 1	Adquisición de los datos del sistema eléctrico.
Paso 2	Identificación de la nueva infraestructura a emplear en la red
Paso 3	Valores iniciales de las variables eléctricas.

	Determinación de la Y de bus. $Y_{ij} =  Y_{ij}  \cos \delta_{ij} + j  Y_{ij}  \sin \delta_{ij}$ $= G_{ij} + jB_{ij}$ Donde: $G_{ij} = \frac{X}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$ $B_{ij} = \frac{R}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$ Matriz de Admitancia Mutua. $[Y_{in}] = -Y_{in} \angle \delta_{in}$ Matriz de Admitancia Propia. $[Y_{ii}] = \sum_{j=1}^N -Y_{in} \angle \delta_{in}$	Determinación de la Y de bus. $Y_{ij} =  Y_{ij}  \cos \delta_{ij} + j  Y_{ij}  \sin \delta_{ij}$ $= G_{ij} + jB_{ij}$ Donde: $G_{ij} = \frac{X}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$ $B_{ij} = \frac{R}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$ Matriz de Admitancia Mutua. $[Y_{in}] = -Y_{in} \angle \delta_{in}$ Matriz de Admitancia Propia. $[Y_{ii}] = \sum_{j=1}^N -Y_{in} \angle \delta_{in}$
Paso 4		Paso 11
Paso 5	Problema de Optimización en GAMS Minimización de la Función Objetivo. $\min \sum_{g=1}^N P_{gi} - \sum_{i=1}^N P_{di}$	Problema de Optimización en GAMS Minimización de la Función Objetivo $\sum_{m=1}^N Q_m^{SVC} Z_m x_m$
Paso 6	Cálculo de flujo de potencia activa y reactiva de líneas candidatas y existentes. $P_{exLi} = V_m^2 G_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \cos \delta_{mn} + B_{mn} \sin \delta_{mn}]}{+B_{mn} \sin \delta_{mn}} \right)$ $P_{C_{Li}} = U * V_m^2 G_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \cos \delta_{mn} + B_{mn} \sin \delta_{mn}]}{+B_{mn} \sin \delta_{mn}} \right)$ $Q_{exLi} = V_m^2 B_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \sin \delta_{mn} - B_{mn} \cos \delta_{mn}]}{+B_{mn} \cos \delta_{mn}} \right)$ $Q_{C_{Li}} = U * V_m^2 B_{mn} - \left( \frac{V_m V_n [G_{mn} \sin \delta_{mn} - B_{mn} \cos \delta_{mn}]}{+B_{mn} \cos \delta_{mn}} \right)$	Set de límites de voltaje, ángulos de desfase, potencias activas y reactiva $V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max}$ $\delta_{i,min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,max}$ $P_{g,min} \leq P_g \leq P_{g,max}$ $Q_{g,min} \leq Q_g \leq Q_{g,max}$ Balance de potencia activa $P_{gt} - P_{dt} = V_i^2 G_{ii} + \sum_{j=1}^N V_i V_j [G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}]$ $P_{gi} + SVC_{i,c} - Q_{di} = V_i^2 B_{ii} + \sum_{j=1}^N V_i V_j [G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}]$
Paso 7	Set de límites de voltaje, ángulos de desfase, potencias activas y reactiva $V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max}$ $\delta_{i,min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,max}$ $P_{g,min} \leq P_g \leq P_{g,max}$ $Q_{g,min} \leq Q_g \leq Q_{g,max}$	Paso 13
Paso 8	Balance de potencias activas y reactivas $p^{gen} - p^{dem} = \sum_{Li \in Lex} P_{exLi} + \sum_{Li \in Lcc} P_{C_{Li}}$ $Q^{gen} - Q^{dem} + Q_m^{SVC} = \sum_{Li \in Lex} Q_{exLi} + \sum_{Li \in Lcc} Q_{C_{Li}}$	Paso 14
Paso 9	Determinación de la nueva infraestructura de la red Subproblema 2	Paso 15
Paso 10	Adquisición de los datos del sistema eléctrico modificado con la nueva infraestructura de red	Paso 16
		Paso 17
		Fin

## 6 Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se usará el valor de las variables entregadas por el software GAMS en el cual se utiliza su solver BONMIN, el cual resolverá una programación no lineal entera mixta (MINLP), determinándose la ubicación óptima del SVC y la conmutación de las líneas de transmisión, posteriormente, se efectuará la simulación en el software Digsilent Power Factory para validar resultados entre ambos softwares.

El problema de optimización se lo llevara a cabo en el sistema eléctrico de prueba de la IEEE de 14 nodos. En el sistema eléctrico se considerará 9 casos de estudio, manteniendo los parámetros

iniciales del sistema. En cada uno de los casos mencionados podemos comparar los perfiles de voltaje, los costos al implementar un SVC y las pérdidas de potencia al añadir nuevas líneas de transmisión al sistema.

## 6.2 Modelo de la IEEE de 14 Nodos

El sistema eléctrico de prueba se basa en el modelo de la IEEE, el cual consta de: 14 nodos, 20 líneas de transmisión, 11 cargas eléctricas, 5 generadores y 5 transformadores. La Figura 3 representa el diagrama unifilar del sistema eléctrico [30], [67], [68] ; mientras tanto las características y datos del sistema se muestran a continuación:

Tabla 3. Datos de generadores.

Nodo de Conexión	P. Max (MW)	Q. Min (MVar)	Q Max (MVar)	
G1	1	400	-240	240
G2	2	80	-60	60
G3	3	80	-60	60
G4	6	80	-60	60
G5	8	80	-60	60

Tabla 4. Datos de la red.

	Nini	Nfin	Rpu	Xpu	Bo
L1	1	2	0.01938	0.05917	0.0264
L2	1	5	0.05403	0.22304	0.0246
L3	2	3	0.04699	0.19797	0.0219
L4	2	4	0.05811	0.17632	0.0187
L5	2	5	0.05695	0.17388	0.017
L6	3	4	0.06701	0.17103	0.0173
L7	4	5	0.01335	0.04211	0.0064
L8	4	7	0	0.20912	0
L9	4	9	0	0.55618	0
L10	5	6	0	0.25202	0
L11	6	11	0.09498	0.1989	0
L12	6	12	0.12291	0.25581	0
L13	6	13	0.06615	0.13027	0
L14	7	8	0	0.17615	0
L15	7	9	0	0.11001	0
L16	9	10	0.03181	0.0845	0
L17	9	14	0.12711	0.27038	0

L18	10	11	0.08205	0.19207	0
L19	12	13	0.22092	0.19988	0
L20	13	14	0.17093	0.34802	0

Tabla 5. Datos de los nodos.

	Nc	Pd [MW]	Qd [MVar]
n1	1	0	0
n2	2	21.7	12.7
n3	3	94.2	19
n4	4	47.8	-3.9
n5	5	7.6	1.6
n6	6	11.2	7.5
n7	7	0	0
n8	8	0	0
n9	9	29.5	16.6
n10	10	9	5.8
n11	11	3.5	1.8
n12	12	6.1	1.6
n13	13	13.5	5.8
n14	14	14.9	5

Para la expansión del sistema eléctrico se considera el crecimiento de la demanda para cada caso de estudio para ello las líneas candidatas a expandir el sistema se basan en los flujos máximos de energía eléctrica a través de las líneas del sistema de prueba, para ello las líneas con mayor flujo serán consideradas como líneas candidatas a conmutarse en el sistema eléctrico, basándose en el modelo de expansión de Garver [69] . La Tabla 6. Datos de las Líneas Candidatas.muestra las características de las líneas usadas para el modelo de optimización.

Tabla 6. Datos de las Líneas Candidatas.

	Nini	Nfin	Rpu	Xpu	Bo
L1	1	2	0.01835	0.04927	0.0164
L2	1	5	0.04413	0.32102	0.0346
L3	2	3	0.05619	0.29191	0.0119
L4	2	4	0.03822	0.09692	0.0287
L5	4	5	0.11225	0.15344	0.0164
L6	6	13	0.16718	0.14329	0.0345

El escenario está conformado por 9 casos; en cada caso se evalúan diferentes capacidades de SVC y líneas candidatas con el fin de observar los cambios que existen en los perfiles de voltaje, los costos y las pérdidas de potencia minimizadas al implementar el SVC y líneas candidatas en el sistema eléctrico, estas últimas determinadas en función al crecimiento de la demanda.

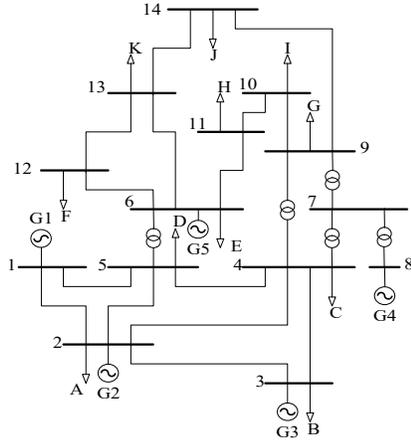


Figura 3. Sistema de 14 nodos de la IEEE.

### 6.3 Casos estudios

En cada caso se simula un FOP con diferentes capacidades de SVC que puedan abastecer la demanda de potencia reactiva y las líneas candidatas escogidas por el optimizador que dependerán del aumento de la demanda para así comparar los perfiles de voltaje antes y después de la compensación reactiva. Los casos de estudio y la capacidades del SVC se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7. Casos de estudio para la ubicación de SVC y expansión del sistema.

Casos	Capacidad del SVC Q(MVAR)	SVC a ser instalados	Líneas candidatas a ser instaladas
1	5, 10, 15, 20	1	1
2	5, 10, 15, 20	2	1
3	5, 10, 15, 20	3	1
4	5, 10, 15, 20	1	2
5	5, 10, 15, 20	2	2
6	5, 10, 15, 20	3	2
7	5, 10, 15, 20	1	3
8	5, 10, 15, 20	2	3

9	5, 10, 15, 20	3	3
---	---------------	---	---

### 6.4 Ubicación óptima de los SVC y líneas candidata

Para la ubicación óptima de SVC y expansión de líneas de transmisión se considera 9 casos de estudios en el presente trabajo. Mediante el algoritmo planteado y realizado en el optimizador se obtiene los nodos de ubicación y los nodos de las conmutaciones de las líneas de transmisión. En la Tabla 8. Nodos se muestra las ubicaciones de los SVC y los nodos en los que se implementan las líneas de transmisión para cada caso de estudio en el sistema eléctrico de prueba.

Tabla 8. Nodos escogidos para la ubicación de SVC y expansión del sistema.

Casos	Nodos de Ubicación óptima del SVC en el sistema.	Capacidad en MVAR	Nodos de conmutación de las Líneas de Transmisión en el sistema.
1	11	5	6-13
2	9-13	5, 10	6-13
3	5-9-13	5, 10, 15	6-13
4	11	5	2-4, 6-13
5	9-10	10, 15	2-4, 6-13
6	5-9-13	10, 15, 20	2-4, 6-13
7	11	10	2-4, 4-5, 6-13
8	9-13	10, 15	2-4, 4-5, 6-13
9	5-9-13	10, 15, 25	2-4, 4-5, 6-13

En la Tabla 8. Nodos , se puede observar en que nodos del sistema se implementan los SVC y las líneas de transmisión, en base a la tabla mencionada anteriormente se realiza los diagramas unifilares para cada caso de estudio, como se indica en las siguientes figuras:

#### Caso 1

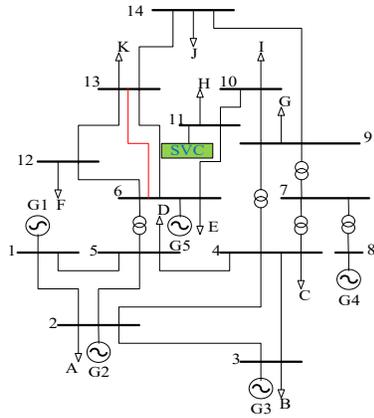


Figura 4. Sistema de 14 barras con 1 SVC y 1 L/T.

**Caso 2**

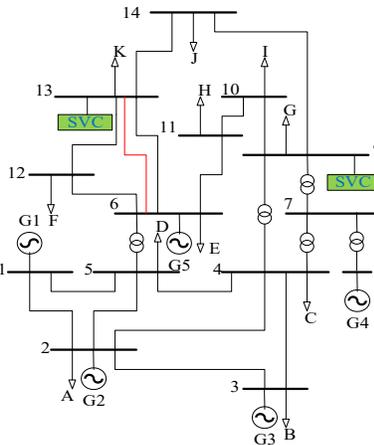


Figura 5. Sistema de 14 barras con 2 SVC y 1 L/T.

**Caso 3**

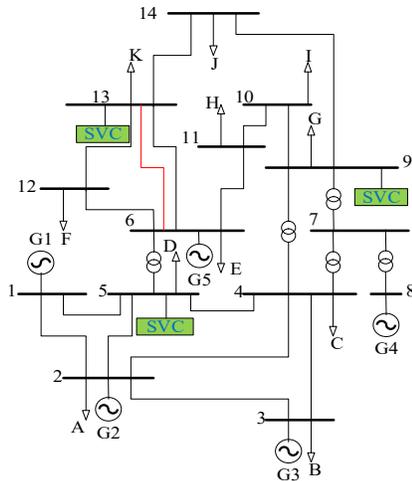


Figura 6. Sistema de 14 barras con 3 SVC y 1 L/T.

**Caso 4**

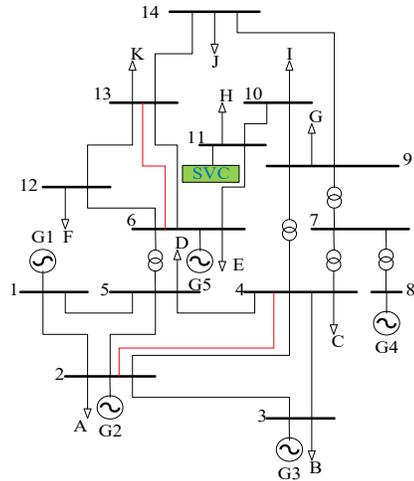


Figura 7. Sistema de 14 barras con 1 SVC y 2 L/T.

**Caso 5**

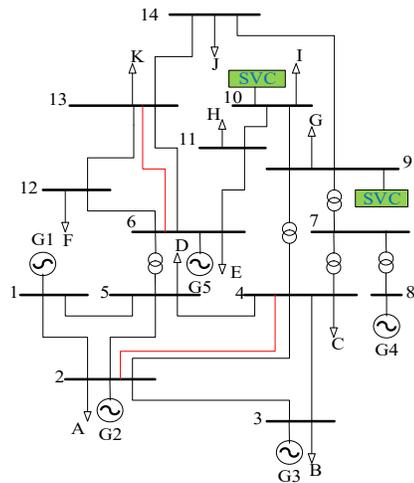


Figura 8. Sistema de 14 barras con 2 SVC y 2 L/T.

**Caso 6**

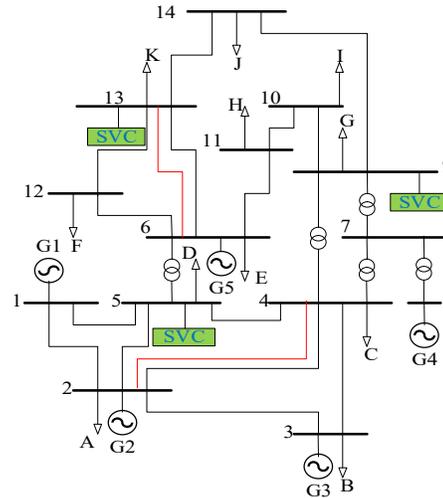


Figura 9. Sistema de 14 barras con 3 SVC y 2 L/T.

### Caso 7

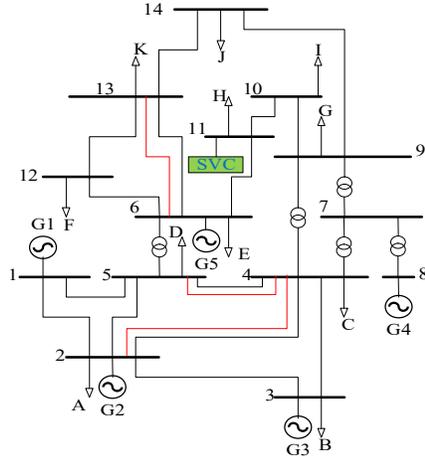


Figura 10. Sistema de 14 barras con 1 SVC y 3 L/T.

### Caso 8

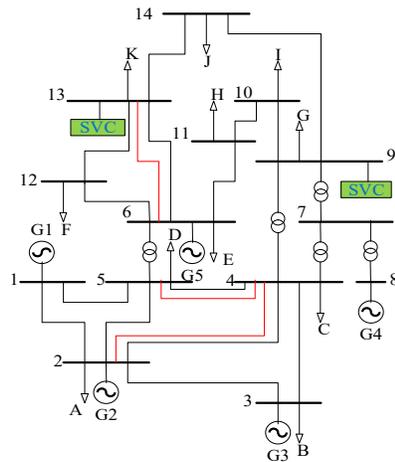


Figura 11. Sistema de 14 barras con 2 SVC y 3 L/T.

### Caso 9

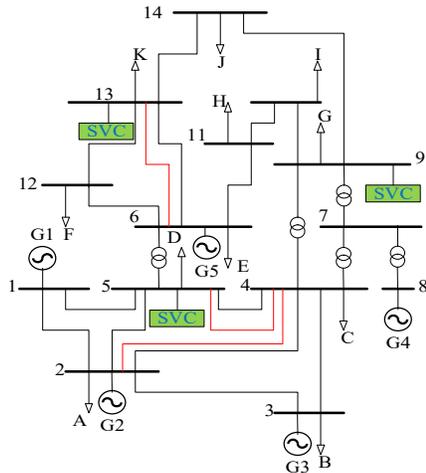


Figura 12. Sistema de 14 barras con 3 SVC y 3 L/T.

La implementación de los SVC y la conmutación de las líneas de transmisión ocasiona un aumento en los perfiles de voltaje con respecto al sistema cuando este no se encuentra con compensación y sin expansión de líneas. Como se puede ver en las siguientes figuras, los perfiles de voltaje varían en función a la cantidad de SVC y líneas de transmisión instaladas, por lo tanto, se puede concluir que, al ir implementado los SVC y líneas de transmisión, los voltajes aumentan, garantizando de esta manera una operación correcta del sistema.

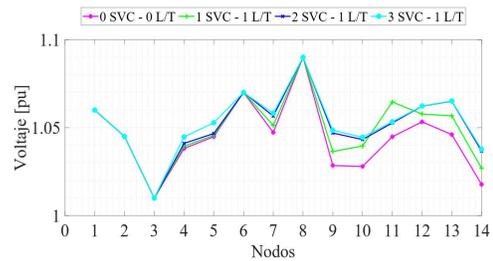


Figura 13. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 1 L/T.

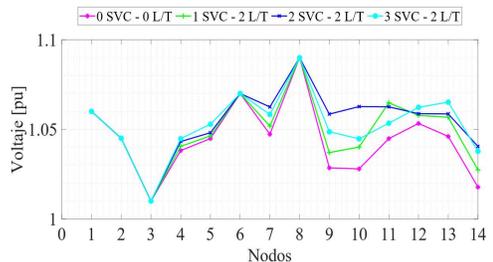


Figura 14. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 2 L/T.

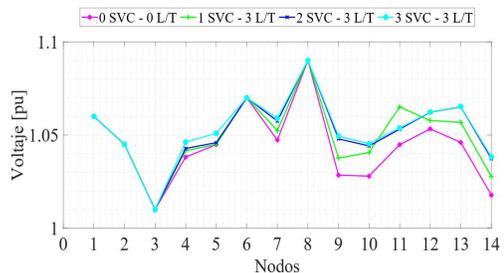


Figura 15. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 3 L/T.

## 6.5 Perfiles de voltaje

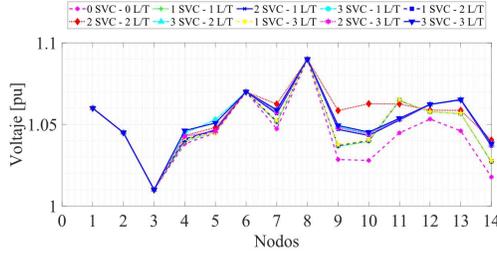


Figura 16. Perfil de Voltaje para los 9 casos de estudio.

Los resultados obtenidos en GAMS, se comparan con los resultados obtenidos en la simulación realizada en Digsilent Power Factory con el fin de validar resultados como se muestra en la Tabla 9. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 1 L/T. Tabla 10. y Tabla 11. , mientras que el porcentaje de mejora de los perfiles de voltaje del sistema de prueba se muestra en la Tabla 11. La implementación del SVC y las líneas de transmisión además de incrementar los perfiles de voltajes también ocasiona que el factor de potencia de la barra slack tienda a decaer, mientras tanto que en los otros nodos del sistema este factor se va incrementado para cada caso de estudio como se puede observar en la Figura 17. Fp del sistema con 1,2 ,3 SVC y 1 L/T., Figura 18. y Figura 19. .

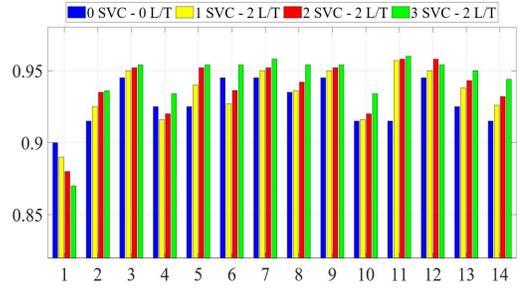


Figura 17. Fp del sistema con 1,2 ,3 SVC y 1 L/T.

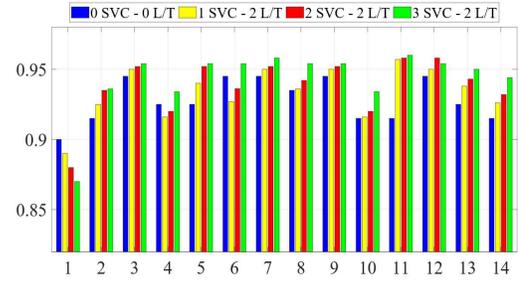


Figura 18. Fp del sistema con 1,2 ,3 SVC y 2 L/T.

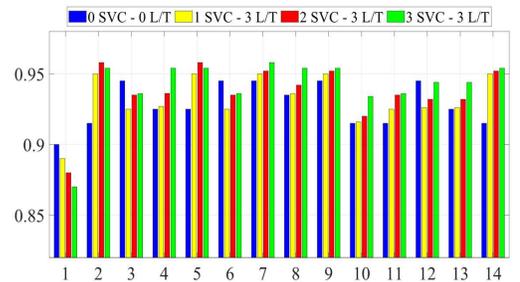


Figura 19. Fp del sistema con 1,2 ,3 SVC y 3 L/T.

Tabla 9. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 1 L/T.

Nodo	0 SVC - 0 L/T		1 SVC - 1 L/T		2 SVC - 1 L/T		3 SVC - 1 L/T	
	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent
1	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
2	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045
3	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010
4	1,041	1,041	1,039	1,042	1,043	1,044	1,046	1,046
5	1,048	1,048	1,046	1,048	1,048	1,050	1,051	1,053
6	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070
7	1,049	1,049	1,051	1,051	1,063	1,057	1,059	1,059
8	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
9	1,030	1,030	1,036	1,033	1,059	1,047	1,049	1,049
10	1,029	1,029	1,040	1,034	1,063	1,043	1,045	1,045
11	1,045	1,045	1,065	1,053	1,063	1,053	1,054	1,053
12	1,053	1,053	1,058	1,058	1,059	1,062	1,062	1,062
13	1,046	1,046	1,057	1,056	1,059	1,065	1,065	1,065
14	1,019	1,019	1,027	1,025	1,040	1,037	1,038	1,038

Tabla 10. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 2 L/T.

Nodo	0 SVC - 0 L/T		1 SVC - 1 L/T		2 SVC - 1 L/T		3 SVC - 1 L/T	
	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent
1	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060

2	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045
3	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010
4	1,041	1,041	1,039	1,044	1,043	1,046	1,046	1,047
5	1,048	1,048	1,046	1,050	1,048	1,051	1,051	1,053
6	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070
7	1,049	1,049	1,051	1,053	1,063	1,063	1,059	1,060
8	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
9	1,030	1,030	1,036	1,038	1,059	1,059	1,049	1,049
10	1,029	1,029	1,040	1,041	1,063	1,063	1,045	1,046
11	1,045	1,045	1,065	1,065	1,063	1,063	1,054	1,055
12	1,053	1,053	1,058	1,058	1,059	1,059	1,062	1,062
13	1,046	1,046	1,057	1,057	1,059	1,059	1,065	1,065
14	1,019	1,019	1,027	1,028	1,040	1,040	1,038	1,041

Tabla 11. Perfil de Voltaje con 1,2,3 SVC y 3 L/T.

Nodo	0 SVC – 0 L/T		1 SVC – 1 L/T		2 SVC – 1 L/T		3 SVC – 1 L/T	
	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent	GAMS	Digsilent
1	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
2	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045
3	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010
4	1,038	1,041	1,042	1,044	1,043	1,043	1,046	1,047
5	1,045	1,048	1,045	1,048	1,046	1,046	1,051	1,051
6	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070
7	1,047	1,049	1,052	1,054	1,057	1,051	1,059	1,059
8	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
9	1,028	1,030	1,038	1,039	1,048	1,043	1,049	1,049
10	1,028	1,029	1,041	1,041	1,044	1,042	1,045	1,045
11	1,045	1,045	1,065	1,065	1,053	1,057	1,054	1,054
12	1,053	1,053	1,058	1,058	1,062	1,062	1,062	1,062
13	1,046	1,046	1,057	1,057	1,065	1,065	1,065	1,065
14	1,018	1,019	1,028	1,028	1,037	1,039	1,038	1,038

Tabla 12. Mejora del Perfil de Voltaje.

NODO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	1%	0%	1%	1%	0%	1%	1%
5	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	1%	1%
6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7	0%	1%	1%	0%	2%	1%	1%	1%	1%
8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	1%	2%	2%	1%	3%	2%	1%	2%	2%
10	1%	2%	2%	1%	3%	2%	1%	2%	2%
11	2%	1%	1%	2%	2%	1%	2%	1%	1%
12	0%	1%	1%	0%	1%	1%	0%	1%	1%
13	1%	2%	2%	1%	1%	2%	1%	2%	2%
14	1%	2%	2%	1%	2%	2%	1%	2%	2%

El aumento de los perfiles de voltaje, es un aspecto que asimismo se ve reflejado en las potencias de generación, como se muestra en la Figura 20 y Figura 21.

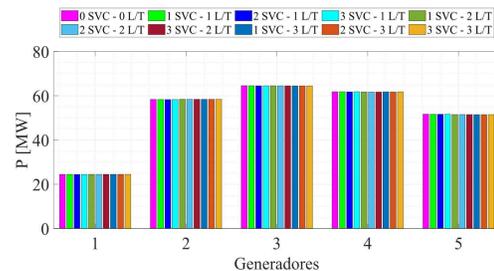


Figura 20. Potencia Activa de generación.

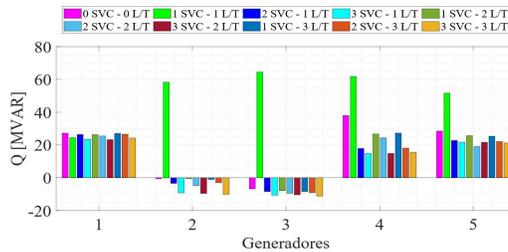


Figura 21. Potencia Reactiva de generación.

Con lo indicado en la en las figuras anteriores, se puede concluir que la implementación del SVC y las líneas de transmisión tienden a readecuar los flujos de potencia, especialmente la potencia reactiva, lo cual afecta en las variaciones de voltaje.

### 6.6 Minimización de Costos de Implementación

En este análisis los costos de implementación varían de acuerdo a la cantidad de SVC.

En la Tabla 13. Costos por cada caso de estudio. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en la Figura 22. Costos por cada caso de estudio. se pueden observar los costos minimizados en GAMS para cada caso de estudio con respecto al sistema, sin ser compensado, y se puede observar que, en el caso 8, en donde se ubica 2 compensadores y 3 L/T tiene un menor costo en comparación a los demás casos, en cambio el caso 1 en donde se tiene 1 compensador y 1 L/T es el caso más costoso, por ende se concluye que la ubicación y la expansión más óptima que puede ser confiable para su implementación en un futuro es el caso 8.

Tabla 13. Costos por cada caso d estudio.

Casos	Costos USD
0 SVC-0 L/T	677776,69
1 1 SVC-1 L/T	677041,92
2 2 SVC-1 L/T	676547,67
3 3 SVC-1 L/T	676953,74
4 1 SVC-2 L/T	676578,02
5 2 SVC-2 L/T	676123,58
6 3 SVC-2 L/T	676425,92
7 1 SVC-3 L/T	676449,46

8	2 SVC-3 L/T	675937,33
9	3 SVC-3 L/T	676300,04

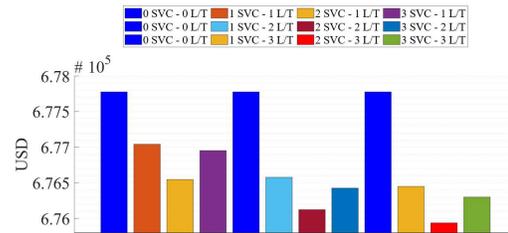


Figura 22. Costos por cada caso de estudio.

### 6.7 Minimización de Pérdidas de Potencia en el SEP.

Al expandir el sistema con nuevas líneas de transmisión, no sólo mejoran los perfiles de voltaje, sino también minimizan las pérdidas en el sistema. En la Tabla 14. Pérdidas de Potencia para cada caso. y Figura 23. Pérdidas de Potencia para cada caso. se puede visualizar las pérdidas de potencia en el sistema para cada caso de estudio.

Tabla 14. Pérdidas de Potencia para cada caso.

Casos	Costos USD
0 SVC-0 L/T	1,806
1 1 SVC-1 L/T	1,665
2 2 SVC-1 L/T	1,57
3 3 SVC-1 L/T	1,648
4 1 SVC-2 L/T	1,578
5 2 SVC-2 L/T	1,489
6 3 SVC-2 L/T	1,548
7 1 SVC-2 L/T	1,554
8 2 SVC-2 L/T	1,455
9 3 SVC-2 L/T	1,525

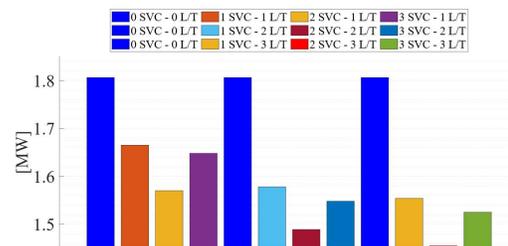


Figura 23. Pérdidas de Potencia para cada caso.

Mediante la tabla anterior, en donde se realizó una comparación de las pérdidas de potencia analizadas en cada caso, se

puede describir algunos aspectos tales como:

- En el caso 1 al implementar 1 SVC y 1 L/T de transmisión, se produce un importante aumento en los perfiles de voltaje con respecto a los demás casos, pero se tiene un incremento en las pérdidas en el sistema, lo que puede producir una afectación en la operación del sistema.
- Para el caso 8, la implementación de 2 SVC y 3 L/T ocasiona un incremento en los niveles de voltaje, ocasionando de esta manera que se tenga menores pérdidas de potencia comparadas con los otros casos de estudio, por ende, la implementación del SVC en el caso 8 sería el caso más factible, el cual garantizará una operación más eficaz y confiable en el sistema eléctrico.

## 7 Conclusiones

Mediante el análisis realizado en el presente trabajo y en base a los resultados obtenidos, se presenta las siguientes conclusiones:

- El presente trabajo elabora y resuelve un modelo de optimización para la ubicación óptima de SVC y la expansión de líneas de transmisión para el sistema de estudio de 14 nodos. En base a los resultados obtenidos, se determina que, al implementar SVC y líneas de transmisión al sistema, se pueden obtener grandes mejoras en la estabilidad y confiabilidad del sistema.
- Considerando los casos de estudio, se concluye que la instalación de SVC y líneas de transmisión, permiten readecuar los flujos de potencia en el sistema, ocasionando que los perfiles de voltaje aumenten y las pérdidas de potencia en el sistema se reduzcan.

- Considerando los resultados obtenidos mediante el optimizador, el caso 8 en el cual se implementa 2 SVC y 3 líneas de transmisión, tienen un menor costo al implementarse en el sistema, además que el aumento de los perfiles de voltaje, provocados por la readecuación de los flujos de potencia, incita que el sistema reduzca sus pérdidas de potencia con respecto a los demás casos, por ende, este caso visualiza que mediante una metodología de ubicación SVC y expansión de líneas de transmisión, garantizan una operación estable del sistema dándole una mayor confiabilidad.
- La programación MINLP fue encaminada correctamente para la ubicación del SVC y las líneas de transmisión, bajo un conjunto de restricciones incluidas en el algoritmo planteado, se encuentra la ubicación óptima en un nodo del sistema, encontrando así el costo de implementación del dispositivo reduciendo las pérdidas del sistema basado en la mejora de perfil de voltaje nodal.
- Los resultados obtenidos, bajo un modelo de optimización, se usa para resolver la óptima ubicación de compensadores y conmutar líneas de transmisión, con el fin de mejorar los perfiles de voltaje, reducir pérdidas en el sistema y minimizar los costos asociados a la instalación de estos equipos.

## 8 Trabajos Futuros

En base al análisis realizado en el presente trabajo, se puede formular nuevas investigaciones como pueden ser:

- Planificación de la expansión de sistemas de transmisión considerando unidades de generación renovables.

- Dimensionamiento y ubicación óptima de compensadores mediante algoritmos metaheurísticos.
- Evaluación de Índices de confiabilidad considerando la ubicación óptima de compensadores en sistemas de transmisión.
- Ubicación óptima de compensadores considerando la máxima transferencia de potencia en la red de transmisión.

## 9 Referencias

- [1] V. Orejuela, D. Arias, and A. Aguila, "Response of Residential Electricity Demand Against Price Signals in Ecuador," in *PROCEEDINGS of the 2015 IEEE Thirty Fifth Central American and Panama Convention*, 2015, no. Concapan XXXV, pp. 373–378.
- [2] C. Rathore and R. Roy, "A novel modified GBMO algorithm based static transmission network expansion planning," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 62, pp. 519–531, 2014.
- [3] M. G. R. Maldonado, "Wireless Sensor Network for Smart Home Services Using Optimal Communications," *Proc. - 2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2017*, vol. 2017-Novem, no. April, pp. 27–32, 2018.
- [4] M. Ruiz, "Optimal Allocation of Transformers in Electrical Distribution Systems Considering Attenuation and Capacity Constraints," pp. 230–237, 2019.
- [5] M. G. Ruiz Maldonado and E. Inga, "Asignación óptima de recursos de comunicaciones para sistemas de gestión de energía," *Enfoque UTE*, vol. 10, no. 1, pp. 141–152, 2019.
- [6] M. Ruiz, E. Inga, and S. Simani, "Scalable Electrical Distribution Networks Planning for Medium and Low Voltage Considering Capacity on Transformers and Voltage Drop," in *Communications in Computer and Information Science*, 2020, vol. 1154 CCIS, pp. 75–88.
- [7] S. Keskes, N. Bouchiba, S. Sallem, L. Chrifi-Alaoui, and M. B. A. Kammoun, "Transient stability enhancement and voltage regulation in SMIB power system using SVC with PI controller," in *2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC)*, 2017, pp. 115–120.
- [8] 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, p. e00746, Aug. 2018.
- [9] I. G. Adebayo, M. A. Bhaskhar, A. A. Yusuff, and A. A. Jimoh, "Optimal location identification of FACTS devices through genetic algorithm and the network structural characteristics techniques," in *2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 2016, pp. 778–782.
- [10] C. A. DeSalvo and H. L. Smith, "Automatic transmission planning with ac load flow and incremental transmission loss evaluation," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. 84, no. 2, pp. 156–163, 1965.
- [11] I. J. Pérez-Arriaga, T. Gómez, and A. Ramos, "State-of-the-art status on transmission networks

- planning,” *Inst. Investig. Tecnológica, Madrid, Spain*, 1987.
- [12] A. Monticelli, A. Santos, M. V. F. Pereira, S. H. Cunha, B. J. Parker, and J. C. G. Praca, “Interactive transmission network planning using a least-effort criterion,” *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, no. 10, pp. 3919–3925, 1982.
- [13] R. Villasana, L. L. Garver, and S. J. Salon, “Transmission network planning using linear programming,” *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, no. 2, pp. 349–356, 1985.
- [14] J. Choi, T. D. Mount, and R. J. Thomas, “Transmission expansion planning using contingency criteria,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 4, pp. 2249–2261, 2007.
- [15] H. Zhang, V. Vittal, G. T. Heydt, and J. Quintero, “A mixed-integer linear programming approach for multi-stage security-constrained transmission expansion planning,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 2, pp. 1125–1133, 2011.
- [16] J. Aghaei, N. Amjady, A. Baharvandi, and M.-A. Akbari, “Generation and transmission expansion planning: MILP-based probabilistic model,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 29, no. 4, pp. 1592–1601, 2014.
- [17] Z. Wu, P. L. Zeng, X.-P. Zhang, H. Fu, and Q. Dai, “Two-stage stochastic dual dynamic programming for transmission expansion planning with significant renewable generation,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 2015.
- [18] A. Moreira, A. Street, and J. M. Arroyo, “An adjustable robust optimization approach for contingency-constrained transmission expansion planning,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 4, pp. 2013–2022, 2014.
- [19] J. Wen, X. Han, J. Li, Y. Chen, H. Yi, and C. Lu, “Transmission network expansion planning considering uncertainties in loads and renewable energy resources,” *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 78–85, 2015.
- [20] A. El-Abiad and Y. Dusonchet, “Discrete optimization and the planning of electric power networks,” *IEEE Trans. Circuit Theory*, vol. 20, no. 3, pp. 230–238, 1973.
- [21] Q. Yu, “Applications of flexible AC transmissions system (FACTS) technology in SmartGrid and its EMC impact,” in *2014 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC)*, 2014, pp. 392–397.
- [22] T. Akbari and M. T. Bina, “A linearized formulation of AC multi-year transmission expansion planning: A mixed-integer linear programming approach,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 114, pp. 93–100, 2014.
- [23] N. Alguacil, A. L. Motto, and A. J. Conejo, “Transmission expansion planning: A mixed-integer LP approach,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 3, pp. 1070–1077, 2003.
- [24] J. Choi, T. Mount, and R. Thomas, “Transmission system expansion plans in view point of deterministic, probabilistic and security reliability criteria,” in *Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS’06)*, 2006, vol. 10, pp. 247b–247b.

- [25] I. Pisica, C. Bulac, L. Toma, and M. Eremia, "Optimal SVC placement in electric power systems using a genetic algorithms based method," in *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, 2009, pp. 1–6.
- [26] M. Rani and A. Gupta, "Steady state voltage stability enhancement of power system using facts devices," in *2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON)*, 2014, pp. 1–6.
- [27] M. P. Moghaddam, H. Abdi, and M. H. Javidi, "Transmission expansion planning in competitive electricity markets using AC OPF," in *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, 2006, pp. 1507–1512.
- [28] J. C. P. BUEZO, "Despacho óptimo de potencia reactiva en un sistema eléctrico de potencia por medio de programación no lineal," *AL CONFERIRSELE EL TÍTULO Ing. MECÁNICO Electr., Univ. San Carlos Guatemala, Guatemala*, 2005.
- [29] B. Dewani, M. B. Daigavane, and A. S. Zadgaonkar, "A review of various computational intelligence techniques for transmission network expansion planning," in *2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, 2012, pp. 1–5.
- [30] R. Gnanadass, "Appendix--A Data for IEEE-30 Bus Test System; 2011," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*.
- [31] Cristina Alejandra Moreno Pérez, "Ubicación óptima de svcs en sistemas eléctricos de transmisión para la compensación de potencia reactiva basada en programación no lineal entera mixta," vol. 1, pp. 1–37, 2018.
- [32] C. A. Díaz Duarte, "Modelación de un compensador estático para el control de generación distribuida con energías renovables," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, 2009.
- [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.
- [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.
- [35] 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.
- [36] M. M. Eissa, T. S. Abdel-Hameed, and H. Gabbar, "A novel approach for optimum allocation of Flexible AC Transmission Systems using Harmony Search technique," *IEEE Int. Conf. Smart Energy Grid Eng. SEGE 2013*, no. February 2016, 2013.
- [37] E. Ghahremani and I. Kamwa, "Optimal placement of multiple-type FACTS devices to maximize power system loadability using a generic

- graphical user interface,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 2, pp. 764–778, 2013.
- [38] J. A. Momoh and S. S. Reddy, “Optimal location of FACTS for ATC enhancement,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, vol. 2014-Octob, no. October, 2014.
- [39] M. A. Borja Maldonado, “Selección óptima de unidades, utilizando Programación Entera,” *IEEE Trans. power Appar. Syst.*, 1983.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] B. Alizadeh and S. Jadid, “A dynamic model for coordination of generation and transmission expansion planning in power systems,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 65, pp. 408–418, 2015.
- [43] J. Mareček, M. Mevissen, and J. C. Villumsen, “MINLP in transmission expansion planning,” in *2016 Power Systems Computation Conference (PSCC)*, 2016, pp. 1–8.
- [44] T. S. Kishore and S. K. Singal, “Optimal economic planning of power transmission lines: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 949–974, 2014.
- [45] S. De La Torre, A. J. Conejo, and J. Contreras, “Transmission expansion planning in electricity markets,” *IEEE Trans. power Syst.*, vol. 23, no. 1, pp. 238–248, 2008.
- [46] R. Perez *et al.*, “Fault diagnosis on electrical distribution systems based on fuzzy logic,” *Int. Conf. Sens. Imaging*, vol. 1, pp. 142–150, 2018.
- [47] G. Latorre, R. D. Cruz, J. M. Areiza, and A. Villegas, “Classification of publications and models on transmission expansion planning,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 2, pp. 938–946, 2003.
- [48] E. Mortaz, L. F. Fuerte-Ledezma, G. Gutiérrez-Alcaraz, and J. Valenzuela, “Transmission expansion planning using multivariate interpolation,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 126, pp. 87–99, 2015.
- [49] L. P. Garcés, A. J. Conejo, R. García-Bertrand, and R. Romero, “A bilevel approach to transmission expansion planning within a market environment,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 1513–1522, 2009.
- [50] M. Majidi-Qadikolai and R. Baldick, “Integration of N-1 Contingency Analysis With Systematic Transmission Capacity Expansion Planning: ERCOT Case Study,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 3, pp. 2234–2245, 2016.
- [51] K. W. Hedman *et al.*, “Co-Optimization of Generation Unit Commitment and Transmission Switching With N-1 Reliability,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 2, pp. 1052–1063, 2010.
- [52] J. Vasco and A. Aguila, “Design of Automatic Reclosing scheme

- in distribution feeders,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 8, pp. 2587–2593, 2015.
- [53] F. A. Castillo Munoz, A. Aguila Tellez, and J. W. Gonzalez Sanchez, “Analysis of Stability of Tension and Losses of Electric Power in Distribution Networks with Distributed Generation,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 11, pp. 4491–4498, 2016.
- [54] N. Fan, R. Chen, and J. Watson, “N-1-1 Contingency-Constrained Optimal Power Flow by Interdiction Methods,” *IEEE Power Energy Mag.*, pp. 1–6, 2012.
- [55] O. E. C. H. Alfonso Alzate G., John Asdrubal Herrera V., “Efecto de un compensador de var estatico en el amortiguamiento de las oscilaciones,” vol. 1, pp. 1–5, 2003.
- [56] T. S. Ustun and S. Mekhilef, “Effects of a static synchronous series compensator (SSSC) based on a soft switching 48-pulse PWM inverter on the power demand from the grid,” *J. Power Electron.*, vol. 10, no. 1, pp. 85–90, 2010.
- [57] T. Akbari and M. Tavakoli Bina, “Linear approximated formulation of AC optimal power flow using binary discretisation,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, no. 5, pp. 1117–1123, 2016.
- [58] E. M. García Torres, 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),” in *Power Engineering Conference (UPEC), 2016 51st International Universities*, 2016, no. Mcmc, pp. 1–6.
- [59] C. J. C. González and J. C. Pidre, “Compensadores Estáticos de Potencia Reactiva (SVC),” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, 2003.
- [60] M. Bachtiar, A. Arief, and R. C. Bansal, “Transmission management for congested power system : A review of concepts , technical challenges and development of a new methodology,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 572–580, 2014.
- [61] R. A. Gallego, A. Monticelli, and R. Romero, “Transmission system expansion planning by an extended genetic algorithm,” *IEE Proceedings-Generation, Transm. Distrib.*, vol. 145, no. 3, pp. 329–335, 1998.
- [62] X.-P. Zhang, “ELECTRIC POWER SYSTEM ANALYSIS, OPERATION AND CONTROL,” *Electr. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–42, 2006.
- [63] L. A. Muñoz Zurita and P. V. Quezada Suquisupa, “Flujo óptimo de potencia dc considerando restricciones por congestión y pérdidas en las líneas para resolución de problemas de despacho económico,” *Sci. Technol. Educ. Res.*, 2015.
- [64] 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.
- [65] G. A. Yaguana Gutiérrez, “Optimización de la expansión de los sistemas de transmisión usando Gams,” *Dep. Comput. Sci. Univ. Virginia*, 2016.
- [66] IEEE Power Engineering Society. Substations

- Committee., Institute of Electrical and Electronics Engineers., and IEEE Standards Board., “IEEE guide for static var compensator field tests,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, p. 25, 1994.
- [67] A. R. Bhowmik and N. Champa, “Implementation of unified power flow controller (UPFC) for power quality improvement in IEEE 14-bus system,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, 2011.
- [68] D. Jacome and A. Águila, “Localización y dimensionamiento óptimo de dispositivos SVC para la compensación de potencia reactiva en SEP,” pp. 1–17, 2017.
- [69] L. L. GARVER, “Transmission Network Estimation Using Linear Programming,” *IEEE Trans. power Appar. Syst.*, no. 7, 1970.

## 10 Matriz del estado del Arte

ITEM	DATOS			TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA										
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE VOLTAJE	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP
1	2014	A novel modified GBMO algorithm based static transmission network expansion planning	USA	17	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2017	Transient stability enhancement and voltaje regulation in SMIB power system using SVC with PI controller	USA	12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	2016	Optimal location identification of FACTS devices through genetic algorithm and the network structural characteristics techniques	USA	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	1965	Automatic transmission planning with ac load flow and incremental transmission loss evaluation	India	13	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	1987	State-of-the-art status on transmission networks planning	USA	7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
6	1982	Interactive transmission network planning using a least-effort criterion	Reino Unido	240	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

ITEM	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA												
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTSVC	FOP	EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE VOLTAJE	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
7	1985	Transmission network planning using linear programming	Reino Unido	401	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	2007	Transmission expansion planning using contingency criteria	Reino Unido	112	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	2011	A mixed-integer linear programming approach for multi-stage security-constrained transmission expansion planning	India	218	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	2014	Generation and transmission expansion planning: MILP-based probabilistic model	USA	128	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2015	Two-stage stochastic dual dynamic programming for transmission expansion planning with significant renewable generation	China	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2014	An adjustable robust optimization approach for contingency-constrained transmission expansion planning	USA	90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	2015	Transmission network expansion planning considering uncertainties in loads and renewable energy resources	USA	33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	1973	Discrete optimization and the planning of electric power networks	Irán	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ITEM	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA									
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ENRUTAMIENTO OPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE VOLTAJE	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
15	2014	Applications of flexible AC transmissions system (FACTS) technology in SmartGrid and its EMC impact	Argelia	17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2014	A linearized formulation of AC multi-year transmission expansion planning: A mixed-integer linear programming approach	Gales	63	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	2003	Transmission expansion planning: A mixed-integer LP approach	Reino Unido	513	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	2006	Transmission system expansion plans in view point of deterministic, probabilistic and security reliability criteria	Argelia	53	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	2009	Optimal SVC placement in electric power systems using a genetic algorithms based method	USA	61	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	2014	Steady state voltaje stability enhancement of power system using facts devices	India	15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	2006	Transmission expansion planning in competitive electricity markets using AC OPF	India	17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ITEM	DATOS			TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA - FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA											
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTSVC	FOP	EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ENRUTAMIENTO OPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE VOLTAJE	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP		
22	2005	Despacho óptimo de potencia reactiva en un sistema eléctrico de potencia por medio de programación no lineal	Guatemala	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23	2012	A review of various computational intelligence techniques for transmission network expansion planning	Alemania	14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	2011	Appendix--A Data for IEEE-30 Bus Test System; 2011	Reino Unido	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25	2018	Ubicación óptima de SVCS en sistemas eléctricos de transmisión para la compensación de potencia reactiva basada en programación no lineal entera mixta	Ecuador	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26	2009	Modelación de un compensador estático para el control de generación distribuida con energías renovables	Ecuador	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	2013	A novel approach for optimum allocation of Flexible AC Transmission Systems using Harmony Search technique	China	8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	2012	Optimal placement of multiple-type FACTS devices to maximize power system loadability using a generic graphical user interface	Indonesia	239	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ITEM	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE VOLTAJE	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP
29	2017	Optimal location of FACTS for ATC enhancement	India	19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	1983	Selección óptima de unidades, utilizando Programación Entera	Ecuador	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	2015	A dynamic model for coordination of generation and transmission expansion planning in power systems	India	47	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	2016	MINLP in transmission expansion planning	USA	8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	2014	Optimal economic planning of power transmission lines: A review	Reino Unido	61	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	2008	Transmission expansion planning in electricity markets	USA	253	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	2003	Classification of publications and models on transmission expansion planning	Reino Unido	846	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	2015	Transmission expansion planning using multivariate interpolation	USA	18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ITEM	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA									
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTSVC	FOP	EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ENRUTAMIENTO OPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE VOLTAJE	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
37	2009	A bilevel approach to transmission expansion planning within a market environment	Reino Unido	268	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38	2015	Integration of N-1 Contingency Analysis With Systematic Transmission Capacity Expansion Planning: ERCOT Case Study	USA	47	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
39	2010	Co-Optimization of Generation Unit Commitment and Transmission Switching With N-1 Reliability	Reino Unido	406	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40	2012	N-1-1 Contingency-Constrained Optimal Power Flow by Interdiction Methods	USA	18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41	2006	EFFECTO DE UN COMPENSADOR DE VAR ESTATICO EN EL AMORTIGUAMIENTO DE LAS OSCILACIONES	Ecuador	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42	2010	Effects of a static synchronous series compensator (SSSC) based on a soft switching 48-pulse PWM inverter on the power demand from the grid	USA	49	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
43	2016	Linear approximated formulation of AC optimal power flow using binary discretisation	Reino Unido	37	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ITEM	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA									
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE VOLTAJE	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP
44	2003	Compensadores Estáticos de Potencia Reactiva (SVC)	India	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45	2014	Transmission management for congested power system: A review of concepts, technical challenges and development of a new methodology	USA	37	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
46	1998	Transmission system expansion planning by an extended genetic algorithm	Reino Unido	305	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
47	2006	ELECTRIC POWER SYSTEM ANALYSIS, OPERATION AND CONTROL	China	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
48	2015	Flujo óptimo de potencia de considerando restricciones por congestión y pérdidas en las líneas para resolución de problemas de despacho económico	Ecuador	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
49	2016	Optimización de la expansión de los sistemas de transmisión usando Gams	Ecuador	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50	2011	Implementation of unified power flow controller (UPFC) for power quality improvement in IEEE 14-bus system	USA	20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

ITEM	DATOS				TEMÁTICA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO	RESTRICCIONES DEL PROBLEMA	PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA	SOLUCIÓN PROPUESTA																			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS																								
CANTIDAD:	35	36	28	21	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/VSC	14	19	29	27	20	32	42	19	28	26	9	13	26	17	20	12	10	26	28	21	27	11	18
					FOP																							
					EXPANSIÓN DE TRANSMISIÓN																							
					COMPENSACIÓN REACTIVA																							
					CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA																							
					FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA																							
					MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO																							
					DISMINUIR LOS COSTOS																							
					MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA																							
					POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA																							
					FLUJO DE POTENCIA																							
					LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN																							
					LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS																							
					LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS																							
					CAPACIDAD SVC																							
					TÉCNICAS COMPUTACIONALES																							
					HEURÍSTICA																							
					OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA																							
					ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN																							
					METAHEURÍSTICA																							
					IMPLEMENTACIÓN																							
					TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS																							
					ENRUTAMIENTO OPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA																							
					CONTROL DE POTENCIA																							
					CONTROL DE VOLTAJE																							
					ALGORITMO GENÉTICO																							
					AC-FOP / DC-FOP																							

## 11 Resumen e Indicadores

