

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE SVC PARA MEJORAR LA
ESTABILIDAD DE VOLTAJE Y DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA
EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ENJAMBRE DE
PARTÍCULAS (PSO)**

**AUTOR:
JAIME FRANCISCO QUINTEROS FLORES**

**TUTOR:
CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI**

Quito, Noviembre 2017

Jaime Francisco Quinteros Flores

DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE SVC PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE VOLTAJE Y DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ENJAMBRE DE PARTÍCULAS PSO

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Jaime Francisco Quinteros Flores (Y'1993-M'02). Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Sucre, se graduó de Técnico Industrial en Electricidad. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en Dimensionamiento Óptimo de SVC Para Mejorar la Estabilidad de Voltaje Y Disminuir Las Pérdidas de Potencia en el Sistema de Transmisión Mediante Enjambre De Partículas PSO.

jquinterosf@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Cristian Cristobal Cuji Cuji (Y'1986-SM'03). Se graduó de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2014 y Master en Energía, Facultad de Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid – España en 2015. Actualmente es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana - Quito Ecuador.

ccuji@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
©2017 Universidad
Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Dimensionamiento Óptimo De SVC Para Mejorar La Estabilidad De Voltaje Y Disminuir Las Pérdidas De Potencia En El Sistema De Transmisión Mediante Enjambre De Partículas (Pso)* realizado por Jaime Francisco Quinteros Flores, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Noviembre, 2017



.....
Cristian Cristóbal Cuji Cuji

171800222-1

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jaime Francisco Quinteros Flores, con documento de identificación N° 1723715460, 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: “DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE SVC PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE VOLTAJE Y DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (PSO)”, 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 impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Jaime Francisco Quinteros Flores

1723715460

03-11-2017

ÍNDICE GENERAL

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción	2
2. Modelamiento SVC-PID	3
2.1 Modelo SMIB	3
2.2 Compensador Estático Var.....	5
2.3 Controlador PID	5
2.4 Formulación del problema	6
3. Implementación de PSO-SVC/PID	7
3.1 Algoritmo PSO.....	7
3.2 Pseudocódigo	8
3.3 Caso de Estudio.....	8
4. Resultados	9
5. Conclusiones	10
6. Referencias	10
6.1 <i>Estado del Arte</i>	13

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estabilidad de Tensión mejorada usando el SVC con PSO.	2
Figura 2. Modelo SMIB, línea de transmisión con SVC.....	3
Figura 3. Modelo SVC-PID.	3
Figura 4. Modelo SVC.	5
Figura 5. Modelo SMIB y Sistema de Transmisión.	6
Figura 6. Sistema de Transmisión con SVC-PID.....	6
Figura 7. Respuesta del sistema con el modelo SVC-PID.....	7
Figura 8. Modelo utilizado para el Caso de estudio.	8
Figura 9. Voltajes del sistema.	9
Figura 10. Voltaje en el arranque del sistema.	9
Figura 11. Voltajes en la primera perturbación.	9
Figura 12. Voltajes en la segunda perturbación.....	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros del sistema SMIB.....	4
Tabla 2: Parámetros M_p , T_s , T_r , Ess , utilizando el modelo SVC-PID.....	7
Tabla 3: Algoritmo utilizado y descripción de variables.....	8
Tabla 4: Parámetros M_p , T_s , T_r , Ess	9
Tabla 5.- Matriz de estado del arte.....	13
Tabla 6.- Resumen e Indicadores del estado del arte.....	15
Tabla 7.- Resumen para la formulación del problema.	15
Tabla 8.- Solución para el análisis del problema.....	16

DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE SVC PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE VOLTAJE Y DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (PSO)

Resumen

La capacidad de un sistema eléctrico de potencia para mantener la estabilidad o recuperar el estado estacionario inicial después de cualquier perturbación que se suscita en la red eléctrica como huecos de tensión y sobretensiones que ponen a prueba el funcionamiento del sistema se llama estabilidad transitoria del sistema, mantener una operación estable y segura del sistema es un problema muy importante y desafiante, la estabilidad transitoria en la actualidad es considerada como uno de los principales factores a ser estudiados en un sistema, los sistemas de potencia son operados cerca de sus límites de estabilidad debido a razones económicas y ambientales, los dispositivos FACTS cumplen un papel importante en la mejora de la estabilidad transitoria de tensión, amortiguación de oscilaciones, la integración de un controlador conjunto al compensador logra una mejor respuesta en el sistema.

Con el estudio se logró mejorar la estabilidad de tensión, tiempos de estabilidad, tiempos de subida, el error en estado estacionario y el máximo sobrepico, ante perturbaciones que existían en el sistema, aumentando así la confiabilidad al sistema de transmisión.

Palabras Clave: Estabilidad transitoria, PID, PSO, SVC, transmisión, voltaje.

Abstract

The capacity of an electrical power system to maintain stability or recover the initial steady state after any disturbance that arises in the electrical network such as voltage gaps and overvoltages that test the operation of the system is called transient stability of the system, maintaining a stable and safe operation of the system is a very important and challenging problem, transient stability is currently considered one of the main factors to be studied in a system, the power systems are operated close to their stability limits. For economic and environmental reasons, the FACTS devices play an important role in improving the transient tension stability, increasing the transmission capacity and oscillation damping, the integration of a joint controller to the compensator achieves a better response in the system.

The study was improved voltage stability, stability times, rise times, the steady-state error and the maximum overshoot, thus increasing the reliability of the transmission system.

Keywords: PID, PSO, SVC, transmission, transient stability, voltage.

1. Introducción

El uso de los dispositivos flexibles de transmisión de corriente alterna FACTS en los sistemas eléctricos de potencia se ha incrementado por contribuir de una manera fácil y rápida a controlar perturbaciones o fallas que puedan surgir [26],[27], por lo tanto la implementación de un compensador estático de potencia reactiva SVC en los sistemas de transmisión de alto voltaje ayuda a disminuir las oscilaciones y mejora la estabilidad de tensión producidas por perturbaciones como huecos de tensión, sobretensiones, interrupción de la alimentación [17], por la simplicidad de conexión a la red es uno de los compensadores que más se utiliza en estos sistemas, debido a la absorción o inyección de potencia reactiva mediante un banco de inductores y un banco de capacitores controlados por tiristores[28],[29]. La acción compensadora del SVC es pequeña, la utilización de un control secundario PID aumenta la capacidad compensadora del SVC.

Existen varias propuestas para el control secundario del SVC, el aumento de la compensación conlleva al aumento de la estabilidad del ángulo en el sistema de transmisión. Algunas de las técnicas son controladores de retardo de avance, controladores PI, controladores PID. [1]

Para el presente trabajo se modeló el conjunto compensador más el control secundario SVC-PID para el sistema de transmisión obteniendo valores óptimos, como resultado una mejor sintonización en el sistema y estabilidad transitoria, se utilizó el algoritmo optimizador llamado PSO Optimización por Enjambre de Partículas [2], el PSO es una Metaheurística, en este algoritmo se utiliza posiciones y velocidades que

son ajustados de acuerdo a los requerimientos del problema planteado, el algoritmo desarrollado permite calcular los valores óptimos para una adecuada sintonía online y dimensionamiento del modelo SVC-PID, mejorando la estabilidad de voltaje en el sistema de transmisión.

Hay que tomar en cuenta que los métodos para controlar la estabilidad de tensión en redes de transmisión y redes de distribución son totalmente diferentes una prueba de ello lo podemos ver en [25] mostrándonos como se analiza la estabilidad en la red de distribución.

Para finalizar contamos con cuatro secciones la primera se detallará la introducción, la segunda sección consta la formulación del problema, en la tercera obtendremos resultados y discusión, finalmente en la cuarta sección las conclusiones que nos dejó el trabajo.

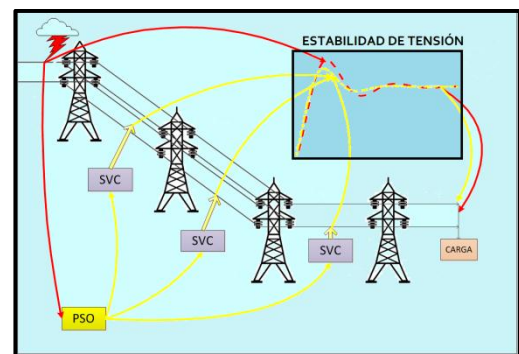


Figura 1. Estabilidad de Tensión mejorada usando el SVC con PSO.

En la figura 1 se observa la representación gráfica de la afectación de una falla en el sistema de transmisión y como actúa el algoritmo optimizador por enjambre de partículas sobre los compensadores, los SVC actúan dependiendo de la falla inyectando o absorbiendo potencia reactiva funcionando en la zona capacitiva o inductiva, mejorando así la estabilidad

de voltaje en el sistema de transmisión, las fallas más comunes que se pueden presentar son huecos de tensión, interrupción de alimentación, sobretensiones, desequilibrio de tensiones.

2. Modelamiento SVC-PID

Existen diversos dispositivos FACTS que ayudan a mejorar la estabilidad del sistema, las características del SVC y la implementación del modelo SVC-PID permitió dimensionar el modelo obteniendo las variables k_p , k_i y k_d que nuestro sistema requería.

2.1 Modelo SMIB

El modelo de alimentación de bus infinito de una sola máquina consta de un generador síncrono, un sistema de excitación y una línea de transmisión conectada a un bus infinito, la evaluación del controlador PID difuso y los controladores SVC-PID se evalúan por medio del SMIB [3].

Al modelo SMIB se conecta el sistema de transmisión y en el centro de la línea el compensador sincrónico var, ya que en general es considerado un sitio ideal para colocarlo [1]. En la figura 2 se muestra el sistema descrito.

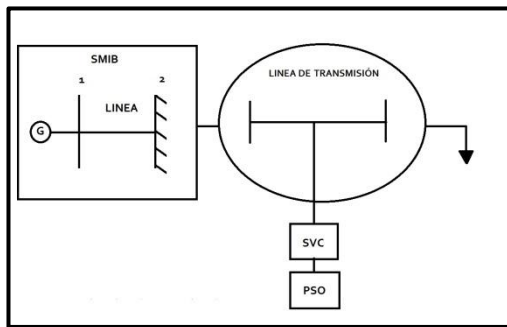


Figura 2. Modelo SMIB, línea de transmisión con SVC.

De acuerdo al sistema SMIB de bloques de Phillips-Heffron se diseñó un modelo de bloques SVC con controlador PID de tal manera que

tenemos un modelo SVC-PID el cual se muestra en la figura 3.

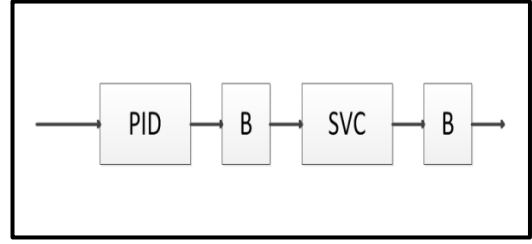


Figura 3. Modelo SVC-PID.

Donde K_v es la constante de circuito y T_v es la constante de tiempo del sistema SVC, las ecuaciones representan el sistema SMIB conjunto con el modelo SVC-PID [2].

$$\frac{\Delta w_r}{\Delta t} = \frac{\Delta T_m - K_1 \Delta \delta - K_D \Delta w_r - K_2 \Delta E_q}{2H} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta \delta}{\Delta t} = w_0 \Delta w_r \quad (2)$$

$$\frac{\Delta E_q}{\Delta t} = -\frac{K_3 K_4 \Delta \delta + \Delta E_q - K_3 \Delta v_f}{T_k} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta v_f}{\Delta t} = -\frac{K_r K_5 \Delta \delta + K_r K_6 \Delta E_q + \Delta v_f + K_r \Delta \sigma}{T_r} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta \sigma}{\Delta t} = -\frac{K_v \Delta \beta - \Delta \sigma}{T_v} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta \beta}{\Delta t} = \left(\frac{K_D K_d}{4H^2} - \frac{K_P}{2H} \right) (K_1 + K_d \Delta w_r + K_2 \Delta E_q) \quad (6)$$

$$+ \left(K_I - \frac{K_D K_I w_0}{2H} \right) \Delta w_r + \frac{K_2 K_D}{2H T_k}$$

$$* (K_3 K_4 \Delta \delta + \Delta E_q - K_3 \Delta v_f)$$

Dónde:

T_v	Constante del circuito
K_v	Constante del tiempo del sistema
w_r	Velocidad angular del rotor
T_m	Torque mecánico
δ	Angulo del rotor
E_q	Voltaje interno del generador de eje transitorio
H	Constante de inercia
t	Tiempo
w	Velocidad sincrónica
v_f	Volteje final
T_k	Constantes características del sistema
σ	Desviación estándar
β	Factor de escala
T_r	Constante del Circuito
K_D	Coefficiente de par de amortiguación
K_d	Constante derivativa
K_p	Constante proporcional
$K_1 - K_6$	Constantes características del sistema

Las constantes $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ y T_k , representan las características dinámicas del modelo del sistema. El cálculo de los parámetros $K_1, K_2, K_3, T_k, K_4, K_5$ y K_6 se puede encontrar en [5],[18].

Las ecuaciones para representar el sistema en el espacio de estados son: [2].

$$\dot{X} = AX + BU \quad (7)$$

$$X = [\Delta w_r \quad \Delta \delta \quad \Delta E_q \quad \Delta v_f \quad \Delta \beta]^T \quad (8)$$

$$U = [\Delta T_m] \quad (9)$$

Dónde:

w_r	Velocidad angular del rotor
T_m	Torque mecánico

δ	Angulo del rotor
v_f	Volteje final
β	Factor de escala
X	Vector de estado
U	Señal de entrada
A y B	Matrices de constantes
E_q	Voltaje interno del generador de eje transitorio

El vector de estado es X y el vector de señal de entrada es U . A y B son matrices de constantes reales y variables con dimensiones adecuadas.

Cabe destacar que el sistema SMIB es ideal [30] los parámetros del sistema se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros del sistema SMIB

Componentes	Parámetros
Excitación	$K_R=100$
	$T_R=0.05$
Línea de Transmisión	$R_e=0.0$
	$X_e=0.65$
Generador	$H=2$
	$T_{d0}=5.2$
	$D=1$
	$X_d=1.93$
	$X_q=1.77$

Dónde:

K_R	Constante del Circuito
T_R	Constante de tiempo
R_e	Resistencia de la línea
X_e	Reactancia de la línea
T_{d0}	Constante de tiempo de circuito abierto de eje directo
D	Coefficiente de amortiguamiento
X_d	Reactancia sincrónica en eje directo
X_q	Reactancia sincrónica en eje de cuadratura
H	Constante de inercia

2.2 Compensador Estático Var

El compensador estático var SVC, de acuerdo con la co-definición IEEE-CIGRE, un SVC es un generador var estático cuya salida es controlada para mantener o controlar parámetros específicos como la tensión y la potencia reactiva del sistema de transmisión [6]. El modelo del compensador estático var se muestra en la figura 4.

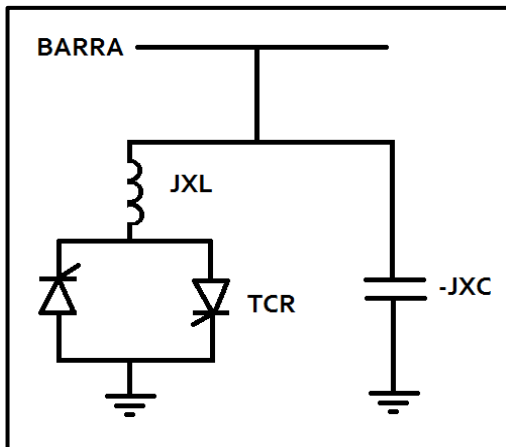


Figura 4. Modelo SVC.

El SVC está conformado por un reactor controlado por tiristor TCR con un condensador fijo FC o un condensador conmutado por tiristor TSC. Un par de tiristores polarizados opuestos está conectado en serie con un inductor fijo para formar un módulo TCR mientras que los tiristores están conectados en serie con un condensador para formar un módulo TSC, existen dos configuraciones del SVC[15],[21].

Las principales características del SVC son, brindar una rápida compensación de la potencia reactiva, la regulación de tensión es muy rápida, la corriente de cortocircuito es limitada, la estabilidad dinámica aumenta, disminuye las oscilaciones del sistema de potencia.

La principal función del SVC es mejorar el voltaje tanto con

perturbaciones como sin perturbaciones en la barra que se lo coloque, ya que tiene la capacidad de manipular la magnitud de la tensión en la barra que este ubicado mejorara de una manera radical el perfil de voltaje [6]. Una función adicional que posee el compensador estático var es mitigar la amortiguación de oscilaciones de potencia [7].

El SVC inyecta potencia reactiva en el punto en el cual está situado lo que eleva el voltaje ejecutándose la zona capacitiva al contrario en el momento que absorbe potencia reactiva disminuye el voltaje y la zona que se ejecuta es la inductiva, a más de tener una velocidad de respuesta instantánea aumenta el margen de estabilidad en el sistema [8].

2.3 Controlador PID

El controlador PID está conformado por la unión de tres controladores al tener la capacidad de brindar soluciones simples y efectivas ante problemas de control que se suscitan en la vida real son los más utilizados en aplicaciones industriales. El controlador proporcional actúa sobre el error, el controlador integral nos ayuda a compensar las perturbaciones del sistema tiene la capacidad de eliminar errores estacionarios y al disminuir demasiado el sistema podría inestabilizarse [24], el controlador derivativo predice el efecto del control proporcional para estabilizar de una manera más rápida la variable que estemos controlando ante cualquier perturbación [9],[20].

La señal de accionamiento y la función de transferencia del regulador PID vienen dados por [10],[22]:

$$E_a = K_p E(s) \left[1 + sT_d + \frac{1}{sT_i} \right] \quad (10)$$

$$G_c(s) = \left[K_p + sK_d + \frac{K_i}{s} \right] \quad (11)$$

Dónde:

K_i	Constante integral
K_d	Constante derivativa
K_p	Constante proporcional
E_a	Señal de accionamiento
G_c	Función de transferencia
s	Constante de Laplace

Las ganancias del controlador PID son K_p , K_i , K_d , en ocasiones se usa T_i y T_d llamadas tiempo integral y tiempo derivativo en lugar de las ganancias integral y derivada, Es es la diferencia entre el valor deseado Y la salida obtenida, y G_s es la función de transferencia del controlador PID [9].

2.4 Formulación del problema

Mejorar la estabilidad del voltaje y disminuir las pérdidas de potencia en un sistema eléctrico de potencia en la parte de transmisión se puede lograr mediante el uso de dispositivos FACTS [19], para poder analizar el comportamiento del SEP se utilizó el modelo SMIB conjunto con el sistema de transmisión, ya que es el modelo más utilizado para probar estos dispositivos el modelo se muestra en la figura 5.

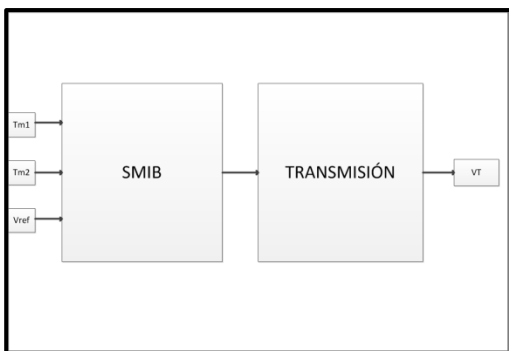


Figura 5. Modelo SMIB y Sistema de Transmisión.

En el sistema de transmisión consideramos 3 variables de entrada para el problema propuesto contamos con dos perturbaciones que van afectar el comportamiento de nuestro sistema y el voltaje de referencia se utiliza el escalón ya que consideramos el peor de los escenarios para la obtención de los resultados tanto antes y después de la optimización.

Al sistema agregamos el modelo SVC-PID el cual actuara controlando y compensando el sistema de transmisión de las perturbaciones que ingresemos al sistema, la figura 6 es la representación del sistema utilizado con el acoplamiento del SVC-PID.

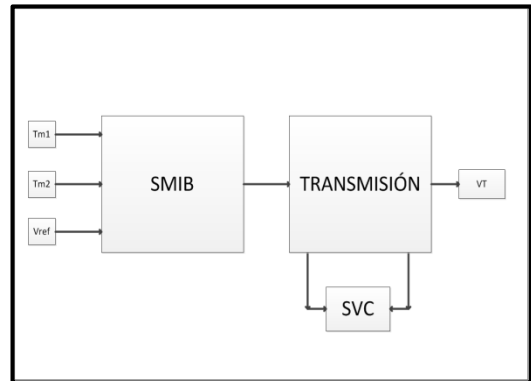


Figura 6. Sistema de Transmisión con SVC-PID.

Para que el sistema de transmisión con SVC-PID pueda ser online, se realiza una reducción de bloques con las leyes que se encuentran en [16], estas leyes a través de sumas, multiplicaciones, divisiones, cambios de signos en las funciones de transferencia del sistema nos deja como resultado una función de transferencia con las 3 variables de entrada $TM1$, $TM2$ Y $Vref$, con el fin de poder controlar estas variables en el algoritmo de optimización.

Dónde:

$TM1$	Primera perturbación
$TM2$	Segunda perturbación

Vref	Voltaje de referencia
MP	Máximo sobrepico
Ts	Tiempo de Estabilización
TR	Tiempo de Subida
ESS	Error en estado estacionario

La respuesta del modelo SVC-PID en el sistema de transmisión está dada en la figura 7, en la cual observamos que al no tener valores óptimos para nuestro problema la utilización del modelo perjudica al sistema por lo tanto es necesario la utilización del algoritmo PSO.

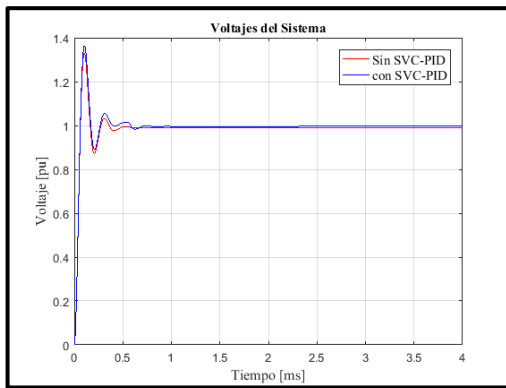


Figura 7. Respuesta del sistema con el modelo SVC-PID.

En la tabla 2 se observa como los tiempos de subida y estabilización del sistema, el máximo sobrepico y el error en estado estacionario aumentan al colocar el modelo sin que se dimensione correctamente, el sistema S2, mientras que en el sistema S1 sin la colocación del modelo obtenemos valores menores en los parámetros medidos.

Tabla 2: Parámetros Mp, Ts, Tr, Ess, utilizando el modelo SVC-PID

	S1	S2
MP	1.334	1.366
TR	0.091	0.110
TS	0.68	0.86
ESS	-0.0563	-0.0850

3. Implementación de PSO-SVC/PID

Al no obtener valores que aporten de positivamente a la estabilidad del

sistema con la implementación del modelo SVC-PID, se necesitó del algoritmo optimizador PSO para la obtención de variables óptimas que permitieron una sintonización correcta mejorando la estabilidad transitoria del sistema.

3.1 Algoritmo PSO

La optimización por enjambre de partículas es una técnica evolutiva que está basada en la naturaleza[11], se basa en el comportamiento social del enjambre de las aves que busca su alimento en un espacio teniendo en cuenta las experiencias tanto grupales como experiencias individuales, Kennedy y Eberhart introdujeron este método en 1995 [12],[13].

El grupo de partículas se llama enjambre considerándose como una solución a cada partícula, cada partícula posee posición y velocidad con los cuales se mueven en el espacio de búsqueda y se actualiza escogiendo obteniendo una posición y velocidad mejorada buscando así la solución más adecuada [14]. La mejor posición local se llama pbest y la mejor posición global se llama Gbest [23], las fórmulas utilizadas para desarrollar el algoritmo son:

$$v_{i,m}^{t+1} = wv_{i,m}^t + c_1rand_1 * (P_{best\ i,m} - x_{i,m}^t) + c_2rand_2 * (g_{best\ i,m} - x_{i,m}^t) \quad (12)$$

$$x_{i,m}^{t+1} = x_{i,m}^t + \Delta t v_{i,m}^{t+1} \quad (13)$$

Los pasos a seguir en el algoritmo son:

- 1): Generar los vectores x y v.
- 2): Determinar Pbest y Gbest.
- 3): Actualizar los vectores x y v mejorados mediante las ecuaciones (12) y (13).
- 4): Se visualiza los valores óptimos.

3.2 Pseudocódigo

Tabla 3: Algoritmo utilizado y descripción de variables

Nomenclatura	Descripción
c1,c2	constantes de aceleración
w	factor de inercia
X	vector posición
V	vector velocidad
ki, kp, kd	variables iniciales PID
ki1, kp1, kd1	variables evaluadas PID
Pbest	posición local
Gbest	posición global
Fo	función objetivo final
P	función objetivo evaluada
L	función objetivo inicial
ki op, kp op, kd op	variables optimas PID
rand	número randomico
i,j	variables contadores

Algoritmo PSO

Paso 1: Inicialización $c1=0.5$; $c2=0.5$; $w=0.45$

Paso 2: Asignación de valores a X y V.

```

Para todo i ∈ R+ hasta 100
  Para todo j ∈ R+ hasta 3
    X(i,j)
    V(i,j)
    Pbest(i,j)=X(i,j)
  Fin para todo;
Fin para todo;

```

Paso 3: Asignación de valores kp, kd, ki.

```

Para todo i ∈ R+ hasta 100
  kd=x(i,1) kp=x(i,2) ki=x(i,3)
  F(i,1)=FO(kd, kp, ki)
Fin para todo;

```

Paso 4: Optimizador.

```

Para todo m ∈ R+ hasta 30
  Para todo i ∈ R+ hasta 100
    Para todo j ∈ R+ hasta 3
      V(i,j)=w*V(i,j)+c1*rand*(Pbest(i,j)- X(i,j))+
      c2*rand*(Gbest(1,j)-X(i,j))
      X(i,j)=X(i,j)+V(i,j)
    Fin para todo;
  Fin para todo;
  kd=x(i,1) kp=x(i,2) ki=x(i,3)
  kd1=Pbest(i,1) kp1= Pbest (i,2) ki1= Pbest (i,3)

```

Evaluación en la función objetivo

```

P=Fo(kd1, kp1, ki1)
L=Fo(kd, kp, ki)
Si P>L entonces

```

```

  Pbest=X
  Fin Si
  Fin para todo;
  Fin para todo;

```

Paso 5: kd opt; kp opt; ki opt

Paso 6: Fin del Algoritmo

3.3 Caso de Estudio

La sistema utilizado para comprobar cómo actúa el modelo SVC-PID ante perturbaciones es el modelo de alimentación de barra infinita de una sola maquina SMIB, este sistema es el más utilizado en el momento de observar el comportamiento de los dispositivos FACTS en el sistema de transmisión en nuestro caso del modelo SVC-PID.

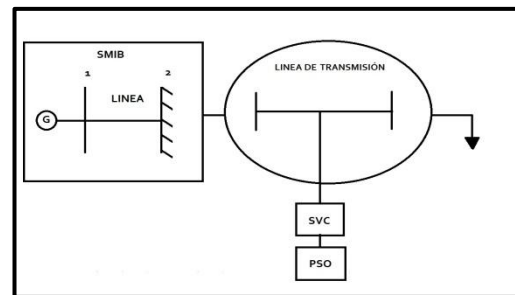


Figura 8. Modelo utilizado para el Caso de estudio.

Con este sistema analizamos como actúa el sistema ante perturbaciones con la presencia del modelo SVC-PID además de utilizar el PSO para obtener variables óptimas para una correcta sintonización.

4. Resultados

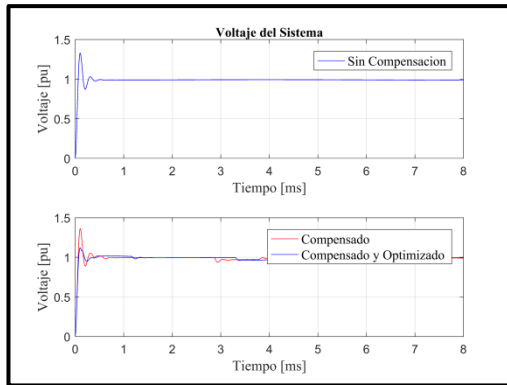


Figura 9. Voltajes del sistema.

En la figura 9 se observa el voltaje del sistema en condiciones normales en la primera gráfica en la siguiente se observa el voltaje del sistema con perturbaciones, compensado y sintonizado.

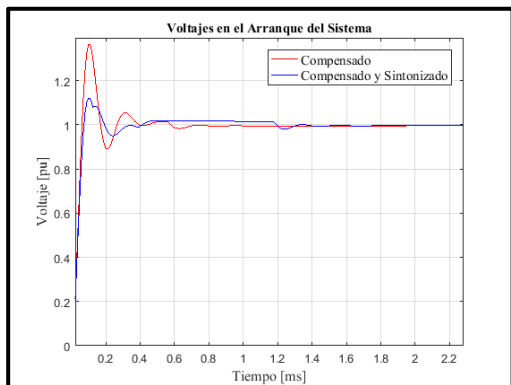


Figura 10. Voltaje en el arranque del sistema.

En la figura 10 se observa el comportamiento del sistema en el arranque, tenemos los voltajes compensados y sintonizado, en la tabla 2 tenemos los valores del máximo sobre picó (Mp), el tiempo de subida (tr), tiempo de estabilización (ts), el error en estado estacionario (Ess), la tabla 4 muestra los parámetros correctamente sintonizadas.

Tabla 4: Parámetros Mp, Ts, Tr, Ess

	S1	S2	S3
MP	1.362	1.331	1.265
TR	0.110	0.091	0.088
TS	0.64	0.84	1.23
ESS	-0.0870	-0.0563	-0.0331

Los 3 sistemas S1 el sistema sin compensación, S2 compensado y S3 compensando y sintonizado se muestra en la tabla 5, teniendo como resultado que el máximo sobre picó, el tiempo de subida y el error en estado estacionario disminuyen, el tiempo de estabilización aumenta.

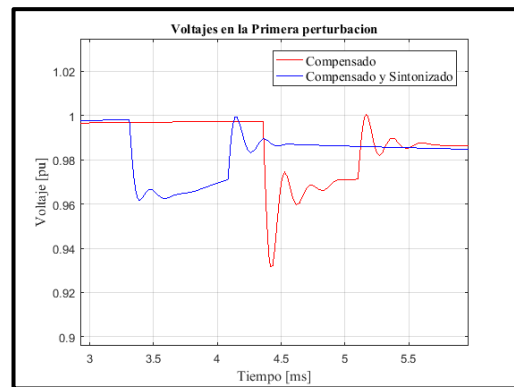


Figura 11. Voltajes en la primera perturbación.

Con la utilización del PSO la estabilidad transitoria de tensión ante la presencia del modelo SVC-PID sintonizado tiene una notable mejora en el ingreso de la primera perturbación $TM1=1$, como se observa en la figura 11.

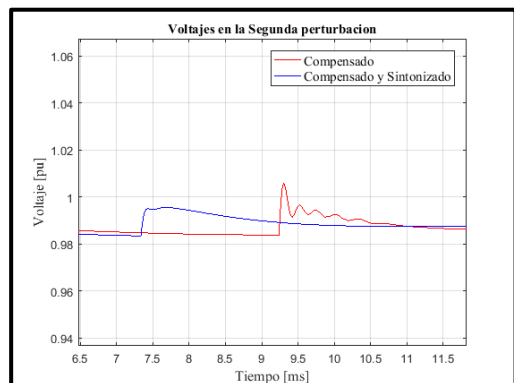


Figura 12. Voltajes en la segunda perturbación.

La figura 12 muestra el resultado de la estabilidad de tensión del sistema ingresando la segunda perturbación de $TM2= 0.5$.

5. Conclusiones

Con la ayuda de los dispositivos FACTS se puede controlar distintas variables en un sistema eléctrico, para el trabajo utilizamos el compensador estático Var que controla parámetros específicos como son el voltaje y la potencia reactiva, los cuales adaptamos a las necesidades de nuestro sistema de transmisión, mejorando así la estabilidad de tensión.

Una vez analizado el comportamiento del modelo SVC-PID sobre el sistema de simple maquina con barra infinita, al ser sometido ante perturbaciones en el torque mecánico se obtuvo como resultados valores menores de las variables de los tiempos de estabilización, tiempos de subida, máximo sobrepico y error de estado estacionario, menores a los del sistema de transmisión sin la colocación del modelo por lo tanto fue necesario la implementación del algoritmo PSO para obtener mejores resultados.

Con la utilización del modelo SVC-PID conjunto con el algoritmo PSO logramos el objetivo mejorar la estabilidad de tensión, de esta manera podemos concluir que el modelo y el algoritmo utilizado en el sistema funcionaron de una manera correcta mejorando al sistema con la estabilidad transitoria de tensión ante la presencia del modelo SVC-PID sintonizado.

El optimizador por enjambre de partículas ayudo en el trabajo a encontrar los valores óptimos para sintonizar nuestro modelo, la implementación del algoritmo para conseguir los resultados esperados se basó en la función de transferencia del

sistema SMIB con el modelo SVC-PID, buscando la disminución de tr , ts , mp , ess , con los valores de k_p , k_i , k_d , cumpliendo el objetivo de mejorar la estabilidad de tensión en el sistema de transmisión.

6. Referencias

- [1] N. A. M. Kamari, I. Musirin, Z. A. Hamid, and N. A. Rahim, "Computational Intelligence Approach for SVC- PID Controller in Angle Stability Improvement," *2012 IEEE Int. Power Eng. Optim. Conf.*, no. June, p. 7, 2012.
- [2] N. A. M. Kamari, I. Musirin, and M. M. Othman, "SVC-PID Based Angle Stability Enhancement Using PSO Technique," *Recent Adv. Comput. Sci. Appl.*, pp. 103–110, 2015.
- [3] M. Sridhar, K. Vaisakh, and K. S. L. Murthy, "Adaptive PSO Based Tuning of PID- Fuzzy and SVC-PI Controllers for Dynamic Stability Enhancement : A Comparative Analysis," *Second Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol. ICETET-09 Adapt.*, pp. 985–990, 2009.
- [4] N. G. Pillay, "A Particle Swarm Optimization Approach For Tuning Of Siso Pid Control Loops," 2009.
- [5] P. Kundur, "Power System Stability And Control." 1994.
- [6] M. C. Pandya and J. G. Jamnani, "Coordinated control of SVC and PSS in Multimachine Power System employing Particle Swarm Optimization," *2016 IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst.*, pp. 7–10, 2016.
- [7] S. Khan, R. Meena, and S. Bhowmick, "Small signal stability improvement of a

- single machine infinite bus system using SVC,” *12th IEEE Int. Conf. Electron. Energy, Environ. Commun. Comput. Control (E3-C3), INDICON 2015*, pp. 1–5, 2016.
- [8] P. Kar, P. C. Panda, S. C. Swain, and A. Kumar, “Dynamic stability performance improvement of SMIB power system using TCSC and SVC,” *2015 IEEE Power, Commun. Inf. Technol. Conf. PCITC 2015 - Proc.*, pp. 517–521, 2016.
- [9] N. Abbas, “Power System Stability Enhancement using SVC with Modified PSO Tuned PID Controller,” vol. 71, no. 3, pp. 15–22, 2013.
- [10] M. B. S., “LINEAR with MATLAB Applications,” *KHANNA Publ.*, vol. 8th Editio, 2006.
- [11] S. A. Jumaat, I. Musirin, M. M. Othman, and H. Mokhlis, “PSO Based Technique for Loss Minimization Considering Voltage Profile and Cost Function,” *5th Int. Power Eng. Optim. Conf.*, pp. 6–7, 2011.
- [12] P. K. Ray, S. R. Paital, A. Mohanty, and T. K. Panigrahi, “Improvement of Stability in Solar Energy Based Power System Using Hybrid PSO-GS Based Optimal SVC Damping Controller,” *Energy Procedia*, vol. 109, pp. 130–137, 2017.
- [13] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle Swarm Optimization,” *1995 IEEE Int. Conf. Neural Netw.*, vol. vol 4, pp. 1942–1948, 1995.
- [14] S. Shrivastava and S. Mishra, “Pso optimized svc for optimal power transfer,” *Int. J. Technol. Res. Eng.*, vol. 3, no. 11, pp. 3181–3185, 2016.
- [15] M. Shafiullah, M. S. Alam, M. I. Hossain, and M. N. Hasan, “Transient performance improvement of power system by optimal design of SVC controller employing genetic algorithm,” *8th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. Adv. Technol. a Better Tomorrow, ICECE 2014*, pp. 540–543, 2015.
- [16] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, 5th ed. 2010.
- [17] P. Singhal, “Advanced Adaptive Particle Swarm Optimization based SVC Controller for Power System Stability,” *I.J. Intell. Syst. Appl. 2015, 01, 101-110*, pp. 101–110, 2015.
- [18] N. A. M. Kamari, I. Musirin, and M. M. Othman, “IPSO Based SVC-PID for Angle Stability Enhancement,” *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.*, vol. 17, pp. 1–7, 2017.
- [19] T. K. Das, S. R. Jetti, and G. K. Venayagamoorthy, “Optimal Design of SVC Damping Controllers with Wide Area Measurements Using Small Population based PSO,” *2006 Int. Jt. Conf. Neural Networks*, pp. 2255–2260, 2006.
- [20] P. Ray, P. Shiba, T. K. Panigrahi, A. Mohanty, and M. Kumar, “Differential Evolution-Swarm Hybrid Optimization Based SVC Controller for Transient Stability Analysis in SMIB,” *2016 Int. Conf. Inf. Technol.*, 2017.
- [21] D. Mondal, A. Chakrabarti, and A. Sengupta, “PSO Based Location and Parameter setting of Advance SVC Controller with Comparison to GA in Mitigating Small Signal Oscillations,” *2011 Int. Conf. Energy, Autom. Signal*, pp. 1–6, 2011.
- [22] M. I. Solihin, L. F. Tack, and

- M. L. Kean, "Tuning of PID Controller Using Particle Swarm Optimization (PSO)," *Eng. Inf. Technol.* 2011, 2011.
- [23] S. Ram and V. Reddy, Engineering Science and Technology an International Journal, "Optimal setting of FACTS devices for voltage stability improvement using PSO adaptive GSA hybrid algorithm," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 19, no. 3, pp. 1166–1176, 2016.
- [24] K. H. Ang, G. Chong, and Y. Li, "PID Control System Analysis , Design , and Technology," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 559–576, 2005.
- [25] A. Aguila, D. Carrión, and L. Ortiz, "Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015.
- [26] P. Mahapure and A. R. Soman, "Transient Stability Improvement using FACTS Devices," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 5, no. 5, pp. 1553–1556, 2016.
- [27] M. O. Benaissa, S. Hadjeri, and S. A. Zidi, "Impact of PSS and SVC on the Power System Transient Stability," *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst.*, vol. 2, no. 3, pp. 562–568, 2017.
- [28] B. T. R. Rao, P. Chanti, N. Lavanya, S. Sekhar, and Y. Mohan, "Power System Stability Enhancement Using Fact Devices," *Eng. Res. Appl.*, vol. 4, no. 4, pp. 339–344, 2014.
- [29] T. Kaur and S. Kakran, "Transient Stability Improvement of Long Transmission Line System by Using SVC," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 1, no. 4, pp. 218–227, 2012.
- [30] A. B. M. F. Hernandez. Bibian Tatiana, "Análisis De Oscilaciones De Un Sistema Smib Mediante El Ajuste Del Compensador (Pod) Del Svc," vol. 1, p. 72, 2012.

6.1 Estado del Arte

Tabla 5.- Matriz de estado del arte

DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE SVC PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE VOLTAJE Y DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (PSO)																								
DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
ITEM	AÑO	TITULO DEL ARTICULO	REFERENCIA	SVC	Perdidas de Potencia	Estabilidad de voltaje	Dimensionamiento de SVC	Mejorar la Estabilidad de voltaje	Transmisión	Disminuir pérdidas de potencia	Dimensionamiento óptimo de SVC	Enjambre de Partículas PSO	Límites de Tensión	SVC-PID	KP, KIKD	Límites de potencia	FACTS	SVC	SVC-PID	PSO	SVC-PID	PSO-SVC-PID	PSO	SMIB
1	2012	Computational Intelligence Approach for SVC- PID Controller in Angle Stability Improvement	Kamari, Musirin, Hamid, Rahim	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒
2	2015	SVC-PID Based Angle Stability Enhancement Using PSO Technique	Kamari, Musirin, Othman	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
3	2009	Adaptive PSO Based Tuning of PID- Fuzzy and SVC-PI Controllers for Dynamic Stability Enhancement : A Comparative Analysis	Sridhar, Vaisakh, Murthy	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
4	2009	A Particle Swarm Optimization Approach For Tuning Of Siso Pid Control Loops	Pillay	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒
5	1994	Power System Stability And Control.	Kundur	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐
6	2016	Coordinated control of SVC and PSS in Multimachine Power System employing Particle Swarm Optimization	Pandya, Jamnani	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☒
7	2016	Small signal stability improvement of a single machine infinite bus system using SVC	Khan, Meena, Bhowmick	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒
8	2016	Dynamic stability performance improvement of SMIB power system using TCSC and SVC	Kar, Panda, Swain, Kumar	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒
9	2013	Power System Stability Enhancement using SVC with Modified PSO Tuned PID Controller	Abbas	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒
10	2006	LINEAR with MATLAB Applications	M. B. S.	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
11	2011	PSO Based Technique for Loss Minimization Considering Voltage Profile and Cost Function	Jumaat, Musirin, Othman, Mokhlis	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐
12	2017	Improvement of Stability in Solar Energy Based Power System Using Hybrid PSO-GS Based Optimal SVC Damping Controller	Ray, Paital, Mohanty	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☒

DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE SVC PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE VOLTAJE Y DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (PSO)

ITEM	DATOS			TEMÁTICA		FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
	Año	TÍTULO DEL ARTICULO	REFERENCIA	SVC	Perdidas de Potencia	Estabilidad de voltaje	Dimensionamiento de SVC	Mejorar la Estabilidad de voltaje	Transmisión	Disminuir pérdidas de potencia	Dimensionamiento óptimo de SVC	Enjambre de Partículas PSO	Límites de Tensión	SVC-PID	KP, KI, KD	Límites de potencia	FACTS	SVC	SVC-PID	PSO	SVC-PID	PSO-SVC-PID	PSO	SMIB
13	1995	Particle Swarm Optimization	Kennedy, Eberhart	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	2016	Pso optimized svc for optimal power transfer	Shrivastava, Mishra	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	2015	Transient performance improvement of power system by optimal design of SVC controller employing genetic algorithm	Shafiullah, Alam, Hossain, Hasan	<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 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"/>
16	2010	Ingeniería de control moderna	Ogata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	2015	Advanced Adaptive Particle Swarm Optimization based SVC Controller for Power System Stability	Singhal	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	2017	IPSO Based SVC-PID for Angle Stability Enhancement	Kamari, Musirin, Othman	<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 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"/>
19	2006	Optimal Design of SVC Damping Controllers with Wide Area Measurements Using Small Population based PSO	Das, Jeti, Venayagamoorthy	<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 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 checked="" type="checkbox"/>
20	2017	Differential Evolution-Swarm Hybrid Optimization Based SVC Controller for Transient Stability Analysis in	Ray, Shiba, Panigrahi, Mohanty, Kumar	<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 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 checked="" type="checkbox"/>
21	2011	PSO Based Location and Parameter setting of Advance SVC Controller with Comparison to GA in Mitigating Small Signal Oscillations	Mondal, Chakrabarti, Sengupta	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2011	Tuning of PID Controller Using Particle Swarm Optimization (PSO)	Solihin, Tack, Kean	<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 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 checked="" type="checkbox"/>
23	2016	Optimal setting of FACTS devices for voltage stability improvement using PSO adaptive GSA hybrid algorithm	Ram, Reddy	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	2005	PID Control System Analysis , Design , and Technology	Ang, Chong, Li	<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 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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	2015	Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems	Aguila, Carrión, Ortiz	<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 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"/>
CANTIDAD:				17	8	12	16	12	7	9	19	17	8	16	18	5	13	19	13	16	17	4	14	17

Tabla 6.- Resumen e Indicadores del estado del arte

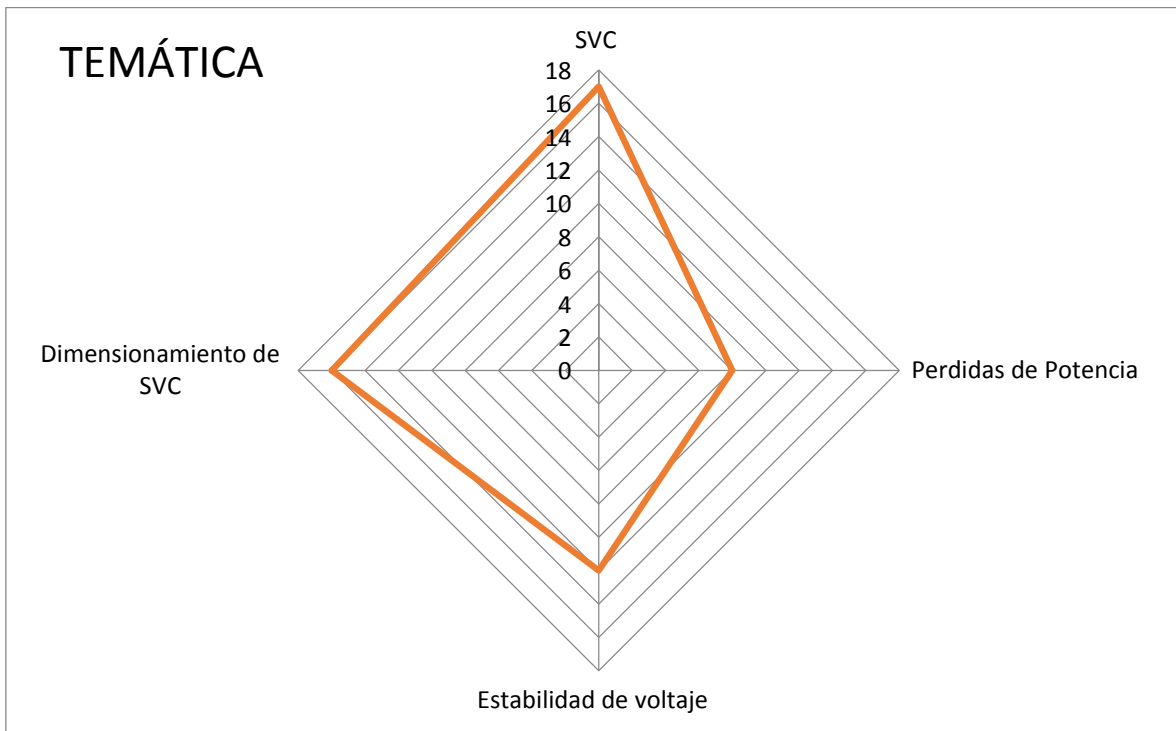


Tabla 7.- Resumen para la formulación del problema.

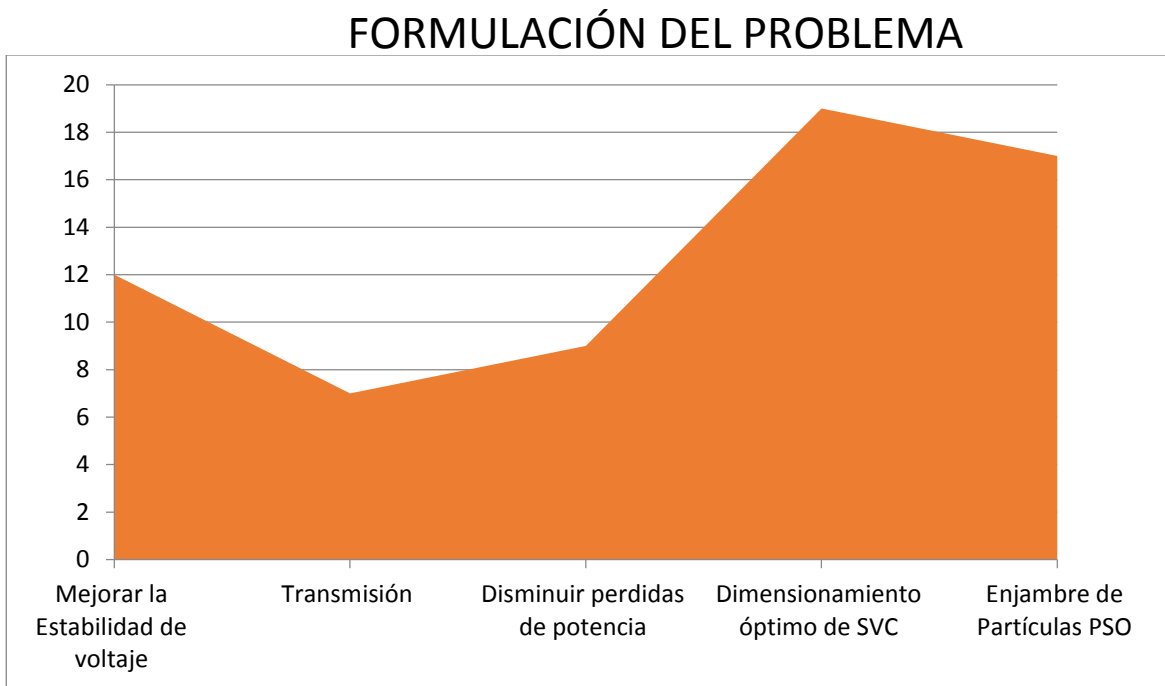


Tabla 8.- Solución para el análisis del problema

