






Compensador estático var para sistemas de distribución

Var static compensator for distribution systems

^aYeison Yair Ojeda-Rebolledo, ^bLuis David Pabón-Fernández, ^cEdison Caicedo-Peñaranda,
^dJorge Luis Díaz-Rodríguez, ^eAldo Pardo-García

-  ^aIngeniero eléctrico, yeisonyairo@gmail.com, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
-  ^bMagíster controles industriales, davidpabon@hotmail.es, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
-  ^cMagíster controles industriales, eacaicedop@gmail.com, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
-  ^dMaestría en automática, jdiazcu@gmail.com, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
-  ^ePosdoctor en ingeniería eléctrica, apardo13@hotmail.com, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

Recibido: Julio 12 de 2020 Aceptado: Noviembre 10 de 2020.

Forma de citar: .Y. Ojeda-Rebolledo, L.D. Pabón-Fernández, E. Caicedo-Peñaranda, J.L. Díaz-Rodríguez, A. Pardo-García "Compensador estático var para sistemas de distribución", *Mundo Fesc*, vol. 11, no. 21, pp. 70-86, 2021

Resumen

Este artículo presenta el diseño y simulación de un compensador estático para el control del factor de potencia mediante la inyección de potencia reactiva en la red. para esto, el sistema estima el consumo de reactivos de la carga y el aporte de reactivos proveniente del suministro es suprimido a través de un sistema de control a lazo cerrado que actúa en los ángulos de disparo de los tiristores del compensador, llevando el factor de potencia a un valor de uno y minimizando la corriente proveniente de la red.

Palabras clave: corrección del factor de potencia, compensadores, potencia reactiva, energía reactiva, eficiencia.

Abstract

This article presents the design and simulation of a static compensator for power factor control by injecting reactive power into the network. For this, the system estimates the reagent consumption of the load and the reagent contribution from the supply is suppressed through a closed-loop control system that acts on the firing angles of the compensator thyristors, taking the factor of power to a value of one and minimizing the current coming from the network.

Keywords: power factor correction, compensators, reactive power, reactive energy, efficiency

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: davidpabon@hotmail.es



Introducción

El factor de potencia se relaciona intrínsecamente con la eficiencia de los sistemas eléctricos, ya que indica la fracción de la potencia aparente que se convierte en potencia activa, definiendo el porcentaje de corriente convertida en trabajo útil, si el factor de potencia es bajo, se requiere más corriente para llevar a cabo un mismo trabajo [1].

Este parámetro es establecido con prioridad en el estudio de calidad de la energía y eficiencia de los sistemas, debido a los efectos nocivos que presentan los sistemas eléctricos de potencia, [2]-[4], la presencia de un bajo factor de potencia (fdp) incrementa la corriente del sistema, disminuyendo los niveles de tensión e incrementando el consumo de potencia, presentando pérdidas en la red, la deficiencia del fdp se presenta con la existencia de reactivos en la red debido a las cargas inductivas y capacitivas [5].

La corrección del factor de potencia está a cargo de los compensadores de reactivos, estos elementos aportan la potencia reactiva necesaria para la creación de los campos magnéticos y eléctricos que requieren las cargas inductivas y capacitivas respectivamente, para su funcionamiento integran condensadores e inductores con un sistema de control que permite entregar la energía reactiva necesitada por la carga [6].

El acercamiento del factor de potencia a uno mediante el uso de un compensador estático de reactivos se obtiene al conectar en paralelo un condensador y unos reactores cuya corriente puede ser controlada mediante válvulas de tiristores, es decir que los reactores son conectados en serie con dos tiristores en anti paralelo, la configuración de estos elementos se llama reactor controlado por tiristores (TCR), y se encargan de suministrar la potencia reactiva absorbiendo

cierta parte de la energía generada por el condensador y entregando el resto a la red, si el reactor se apaga el condensador entregará toda la potencia reactiva [7]. Las aplicaciones de diferentes técnicas de control en los dispositivos compensadores de energía reactiva permiten un control al aporte de esta energía por parte del compensador, controlando la corrección del factor de potencia del sistema, evitando el aporte excesivo de potencia reactiva y las perturbaciones que esto acarrea [8]-[10].

En los últimos años en el área de la ingeniería se han realizado múltiples investigaciones en el campo del mejoramiento de las estrategias de control en la conversión de energía [11],[12] en el campo específico de esta investigación se ha buscado generar sistemas robustos de compensación de reactivos, en este desarrollo se encuentra sistemas como el Stacom, D-Statcom, entre otros. Estos sistemas suelen ser complejos, con altos requerimientos de cálculos y en términos de la topología, costoso [13]-[17]. Dada de la versatilidad actual de los sistemas de cómputo se han realizado mejoramientos internacionales, nacionales y regionales a diversos sistemas de múltiples campos de aplicaciones [18]-[24] a un costo relativamente bajo, lo cual indica que los procesos se pueden mejorar con estrategias que involucren bajos recursos inclusive en el área del aprendizaje [25].

Es por esta razón que en este artículo se presenta el diseño y simulación de una solución simple al problema de la compensación reactiva a nivel de distribución bajo el esquema de un compensador estático de potencia reactiva, buscando generar una solución económica a un problema recurrente de los sistemas de distribución.

Compensador estático de reactivos

El compensador estático de reactivos

pertenece a los controladores FACTS conectados en derivación, cuya función principal es la corrección del factor de potencia mediante la inyección o consumo de potencia reactiva en el punto de conexión del sistema, permitiendo controlar la tensión del bus, estabilizando la potencia del sistema [26].

El componente principal del compensador estático de reactivos (SVC) es un inductor controlado por tiristores (TCR), cuya reactancia efectiva varía de forma continua mediante el control de la conducción parcial del tiristor. El TCR contiene dos tiristores en antiparalelo conectados en serie con un inductor, la corriente del inductor es controlada continuamente por el ángulo de disparos de los tiristores (ver figura 1).

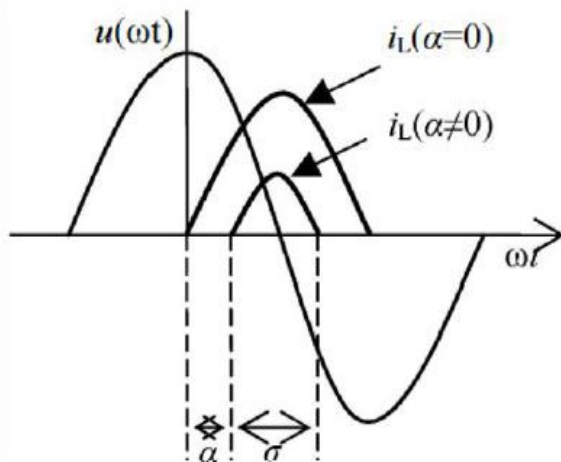


Figura 1. Tensión y corriente en función del ángulo de disparo α .

Este es el tiempo de retardo entre el valor pico de tensión de alimentación y el pulso de disparo al momento de activar algún tiristor. Cuando $\alpha = 0^\circ$, el tiristor se conecta completamente alcanzando el valor más alto de corriente, por otro parte, cuando $\alpha = 90^\circ$, el tiristor se encuentra desconectado evitando el flujo de corriente. De acuerdo con esto, es posible controlar la corriente del inductor variando el valor de α . Por otra

parte, σ es el intervalo de conducción [27].

El compensador estático de reactivos se compone de un inductor controlado por tiristores (TCR) conectado en paralelo con un condensador fijo (FC) ver figura 2. La potencia reactiva del FC es la mitad de la potencia máxima del TCR. Así, la potencia reactiva de salida del SVC es controlada en ambas direcciones, desde la máxima generación de reactivos hasta la máxima absorción de potencia reactiva, corrigiendo así el factor de potencia.

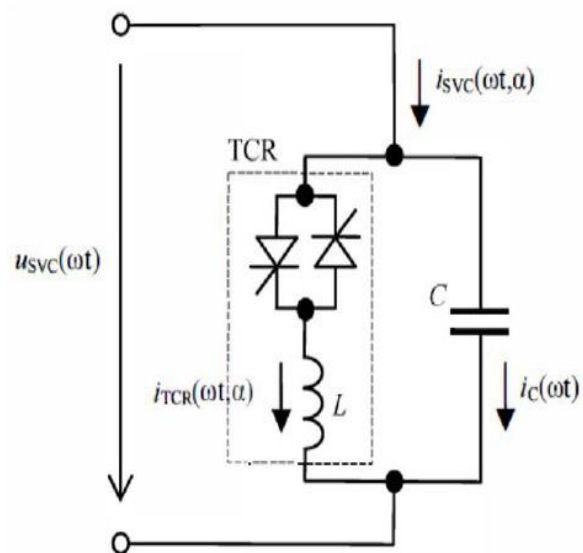


Figura 2. Compensador estático de reactivos con condensador fijo.

El modelo del SVC propuesto se basa en un TCR-FC trifásico en conexión estrella, más un filtro sintonizado para mitigar los armónicos inyectados por el TCR. Este está diseñado para controlar la potencia reactiva en cada fase de forma independiente y adaptándose automáticamente a las condiciones de carga presente.

Modelado

A. Inductor y condensador del SVC. Las reactancias del compensador estático de reactivos dependen de la capacidad máxima de potencia reactiva que este aportará o se consumirá del sistema [26] [27]. Si se asume que el máximo consumo de reactivos será

Q_{SVCmin} , se tiene:

$$X_C = \frac{V^2}{Q_{SVCm\acute{a}x}} \quad (1)$$

$$X_L = \frac{V^2}{Q_{SVCmin}} \quad (2)$$

Donde V es la tensión de fase a la que funcionará el compensador y $Q_{SVCm\acute{a}x}$ es la potencia máxima que puede aportar el SVC. Utilizando las ecuaciones estándar de estas reactancias con las ecuaciones 1 y 2, respectivamente se obtienen las expresiones del L y C del compensador estático, ver ecuaciones 3 y 4.

$$C = \frac{Q_{SVCm\acute{a}x}}{j\omega * V^2} \quad (3)$$

$$L = \frac{V^2}{j\omega * Q_{SVCmin}} \quad (4)$$

Donde ω es la frecuencia angular del sistema, esta se obtiene mediante la multiplicación de la frecuencia de la red por 2π , con estas expresiones el compensador aportara los reactivos necesarios hasta lograr su capacidad máxima [28] [29] o absorberá reactivos hasta su capacidad máxima de absorción que será:

$$Q_{SVCabs} = Q_{SVCmin} - Q_{SVCm\acute{a}x} \quad (5)$$

B. Filtro para armónicos. El inductor del TCR genera corrientes armónicas que circulan al sistema, siendo el 3, 5, y 7 los de mayor amplitud. Por ende, la configuración del SVC suele estar acompañada de filtros sintonizados compuestos por un condensador en serie con un inductor, para mitigar los armónicos de mayor amplitud generados por los TCR [20], estos armónicos pueden introducir efectos nefastos producto de los SVC o de los inversores de potencia [21],[22].

Utilizando la ecuación 5, se obtiene la reactancia del filtro.

$$X_{filtro} = \frac{V^2}{Q_C} \quad (6)$$

Donde v es la tensión nominal de trabajo del filtro y Q_C es la potencia reactiva que prodra consumir el filtro. Estableciendo el armónico a controlar se determina la reactancia del condensador por medio de la ecuación 6.

$$X_C = \frac{h^2}{h^2-1} X_{filtro} \quad (7)$$

Donde h es el orden del armónico que se quiere sintonizar, implementando la ecuación 8, se obtiene el valor del condensador del filtro.

$$C = \frac{1}{\omega * X_C} \quad (8)$$

Al obtener el condensador del filtro, se puede obtener la reactancia inductiva por medio de la ecuación siguiente.

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} \quad (9)$$

Implementando la ecuación 9, se obtiene la inductancia del filtro.

$$L = \frac{X_L}{\omega} \quad (10)$$

Los filtros no suelen sintonizarse a un valor exacto frecuencia, disminuyendo la probabilidad de entrar en resonancia con la impedancia propia del sistema [30]. El filtro implementado para el SVC diseñado posee un factor de sintonía de 0.95, esto para no ser sintonizado con la frecuencia exacta del armónico a mitigar. Para diseñar el compensador se aplicaron las ecuaciones (1) -(10) para un compensador con una

capacidad máxima de 48 [KVAR] a 220 [V] de tensión de trabajo, con un banco de filtros sintonizados para el 3, 5 y 7 armónico. Este se conectará a un sistema de distribución que cuenta con un transformado de 80 [KVA] y una frecuencia nominal de 60 Hz. Los parámetros determinados fueron:

$$L=1.33 \times 10^{-3} \approx 1.3[mH] \quad C=2.63 \times 10^{-3} \approx 2.63[mF]$$

$$C_{\text{filtro 1}}=0.069[mF] \quad L_{\text{filtro 1}}=12.5[mH]$$

$$C_{\text{filtro 2}}=0.069[mF] \quad L_{\text{filtro 2}}=12.5[mH]$$

$$C_{\text{filtro 3}}=0.069[mF] \quad L_{\text{filtro 3}}=12.5[mH]$$

A continuación, se describen las demás etapas del compensador.

Control de disparo

Para lograr controlar el aporte de reactivos del compensador, se desarrolla el control de disparo de los tiristores del TCR, permitiendo controlar el consumo de reactivos del inductor, y el comportamiento del compensador. El control de disparo diseñado se divide en 4 etapas que trabajan en conjunto para accionar las válvulas de tiristores, mediante la medición de la corriente de la red y la aplicación de condiciones lógicas, estas etapas se observan en la figura 3

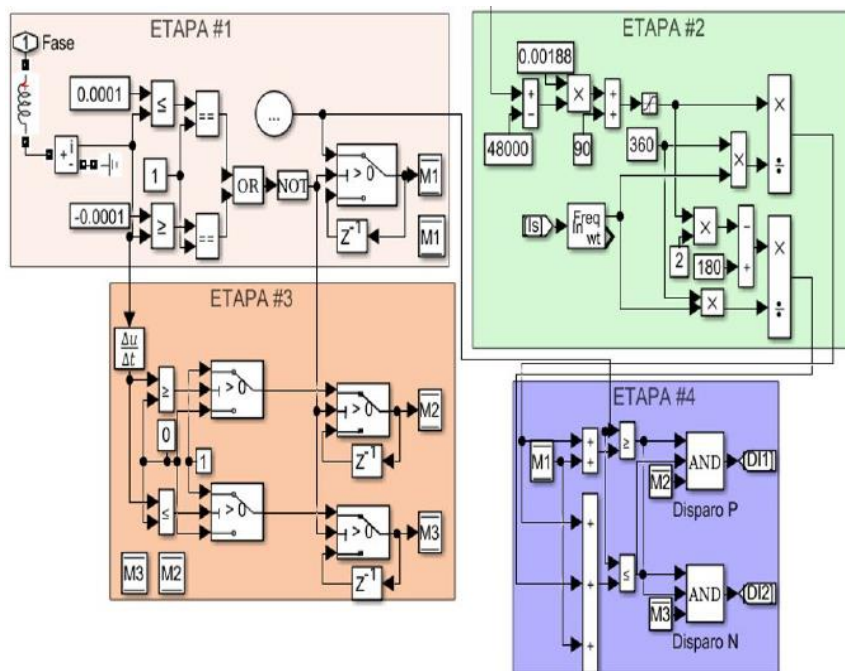


Figura 3. Control de disparo de los tiristores.

En la primera etapa se mide la corriente de la fase donde se conecta el SVC, determinando mediante condiciones lógicas su cruce por cero o cambio de semiciclo, generando un pulso y guardando en una memoria el tiempo en que se realiza el pulso como T0.

La segunda etapa calcula el tiempo de retardo dependiendo del ángulo de disparo

establecido para variar el aporte de reactivos del compensador y el tiempo que dura el disparo del tiristor, implementando la frecuencia del sistema para determinar los tiempos Tr y Td.

Durante la tercera etapa se determina el semiciclo donde se generó el pulso de la primera etapa, derivando la corriente medida

y aplicando condiciones lógicas es posible determinar el signo del semiciclo donde la corriente cruza por cero, guardando un 1 en la memoria M2 y 0 en M3 cuando la onda de corriente se encuentra en el semiciclo positivo, el caso contrario cuando la onda cruza por cero en el semiciclo negativo.

Por último, se desarrolla una comparación de resultados en la cuarta etapa, donde se suman los tiempos obtenidos en la segunda etapa con el tiempo de la primera etapa, comparándolos con el tiempo de simulación para generar el disparo de los tiristores, y condicionándolos con los datos de las memorias de la tercera etapa.

- Sí T_0 más T_r es menor que el tiempo del reloj de simulación y la suma T_0 , T_r y T_d es mayor que el tiempo del reloj, cuando la memoria M2 posee un 1 en su remanencia, el disparo se genera el tiristor de semiciclo positivo.

- Sí la suma de T_0 , T_r y T_d es mayor que el tiempo del reloj de simulación y T_0 más T_r

es menor que el tiempo de reloj, mientras la memoria M3 posee un 1 en su remanencia, el tiristor del semiciclo negativos es disparado.

Las memorias M2 y M3 no pueden poseer el mismo parámetro en su remanencia en el mismo instante. Controlando el disparo de los tiristores en base al ángulo de disparo es posible controlar el aporte de reactivos del compensador, sin embargo, esto no garantiza que el SVC supla la demanda de reactivos de la carga.

Sintonización del controlador

Para garantizar que el compensador supla la demanda de reactivos de la carga, se implementa un controlador proporcional integral derivativo en un sistema de lazo cerrado, este se observa en la figura 4.

El control realiza la comparación entre la potencia reactiva de la carga (Q_{ref}), con la potencia generada por el compensador, el error proveniente de esta comparación funge como la variable de entrada del controlador

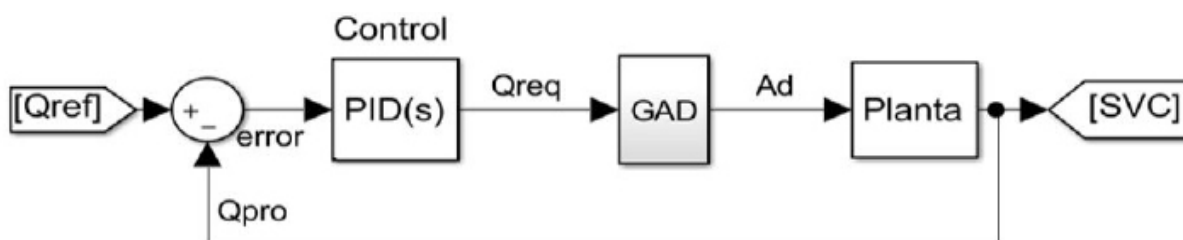


Figura 4. Sistema de lazo cerrado para el control de la potencia reactiva.

La potencia determinada por el controlador entra a un bloque que desarrolla el cálculo para obtener el ángulo de disparo de los tiristores, implementando la ecuación 10, para obtener el punto exacto donde el compensador aporta la potencia necesaria para reducir el error del lazo.

$$\alpha_n = 0.00188(Q_n - 48000) + 90 \quad (10)$$

Donde Q_n es la potencia determinada por

el PID para suplir la demanda del sistema y reducir a cero el error en el sistema de lazo cerrado y α_n es el ángulo necesario para que el compensador aporte la potencia demandada por la carga.

Para obtener el controlador se implementa la ecuación 10, en un bloque conectado a la segunda etapa del control de disparo, variando la potencia de entrada a este bloque se simula el sistema con el fin de obtenerla

respuesta del sistema y obtener la función de transferencia. El primer paso para esto es modelar la planta, para sintonizar el controlador en base a la respuesta del sistema.

Modelado de la planta

Para obtener el controlador es necesario determinar la respuesta del sistema al variar los ángulos con base al incremento de potencias, para ello se implementan una serie de step que se encargaran de incrementar la potencia reactiva en tiempos específicos, estos se conectan a la entrada del bloque calculador de ángulos para controlar el aporte de reactivos por parte del compensador en cada incremento de potencia, el bloque desarrollado se observa en la figura 5.



Figura 5. Conexión de los step al calculador de ángulos

PID, que determina la potencia requerida para reducir el error de la comparación a cero.

Al simular el sistema con esta variación se obtiene la respuesta de este al incremento de potencia, determinando así el comportamiento de la potencia reactiva de la carga al incrementar el aporte del compensador, para utilizar esta respuesta del sistema en el controlador, se guardan los resultados de la potencia del compensador y la variación de potencias en los step, como salida y entrada respectivamente.

B.Sintonización del PID. Con el fin de obtener la función de transferencia del sistema con esta variación, dicha función se implementa en un sistema de lazo cerrado, donde la retroalimentación es la salida de la función y la entrada es la comparación entre dicha salida y la potencia de un step que introduce potencia, el error proveniente de esta comparación ingresa al controlador PID, como se observa en la figura 6.

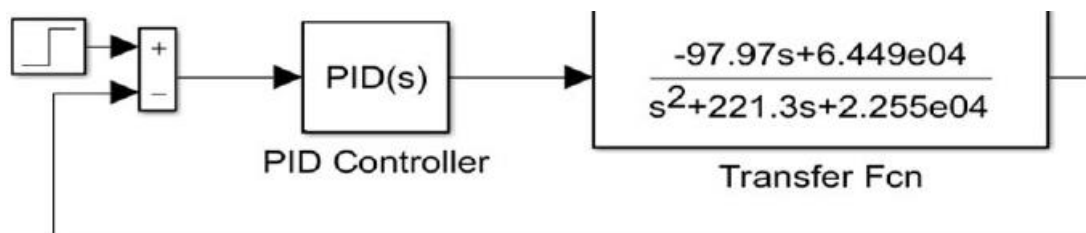


Figura 6. Sintonización del PID.

Iniciar el controlador con en este sistema permite sintonizarlo y obtener automáticamente los parámetros proporcional integral y derivativo del controlador, obteniendo la respuesta del control a la presencia de cargas variantes, esta se observa en la figura 7.

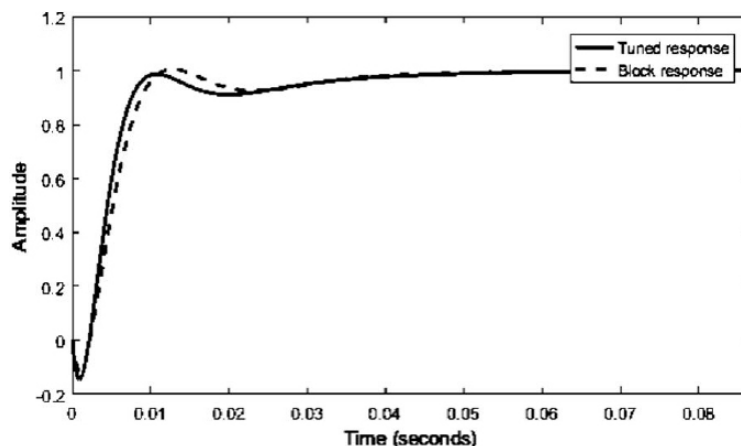


Figura 7. Respuesta del control PID.

Luego de obtener la respuesta del controlador al funcionamiento del sistema, se instala este al control de disparo de los tiristores del compensador, estabilizando el aporte de reactivos con base a la demanda de la carga, incrementando el aporte del SVC variando el ángulo de disparo dependiendo de requerimiento de la carga. En la figura 8 se observa el comportamiento del inductor referido a la corriente del inductor del TCR.

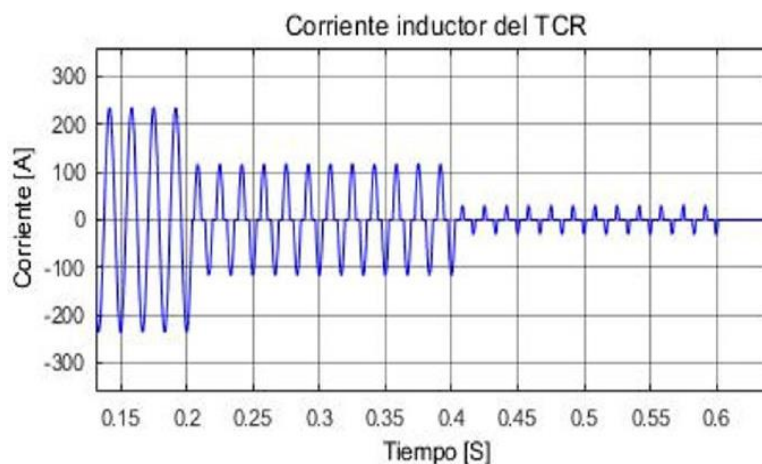


Figura 8. Corriente del inductor del TCR controlado.

El compensador estático aporta su capacidad máxima de reactivos en un ángulo de 90° , en este punto el consumo de potencia reactiva del inductor del TCR es nulo debido a que el condensador aporta todos los reactivos a la red, por otra parte, cuando el ángulo es 0° el inductor consume todos los reactivos del FC. Esto se observa en la figura 8, donde la corriente del inductor expresa el aporte de reactivos del condensador fijo.

Simulación

En esta sección se muestra la simulación del compensador. Esta se desarrolló en el software profesional simulink de matlab, con el fin de verificar el comportamiento del factor de

potencia del sistema y la potencia reactiva de la carga, al conectar el compensador diseñado. El esquema del compensador desarrollado se observa en la figura 9.

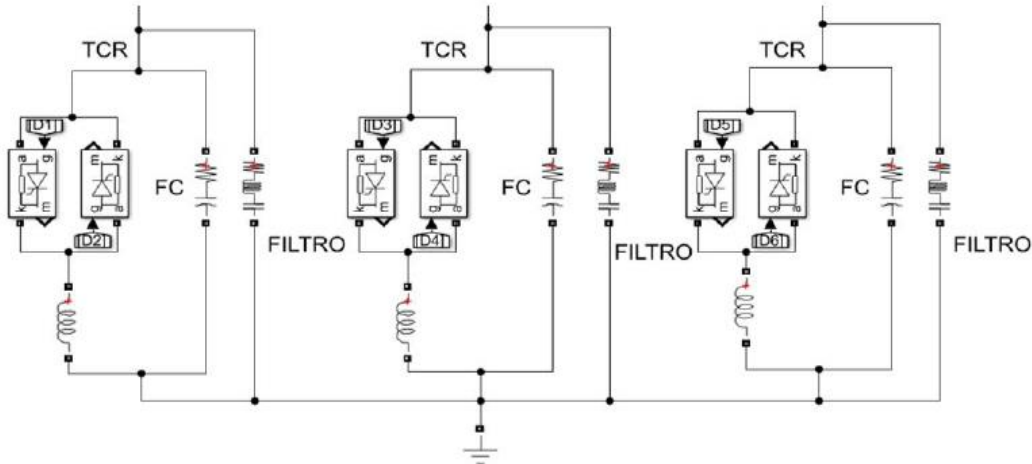


Figura 9. Compensador estático de reactivos diseñado.

Este se conectó a un sistema de distribución que cuenta con un transformado de 80 [KVA] que alimenta un bloque de 4 cargas, donde 3 de estas se conectan a la red en tiempos diferentes, mientras la cuarta permanece conectada durante toda la simulación. Este sistema se observa en la figura 10.

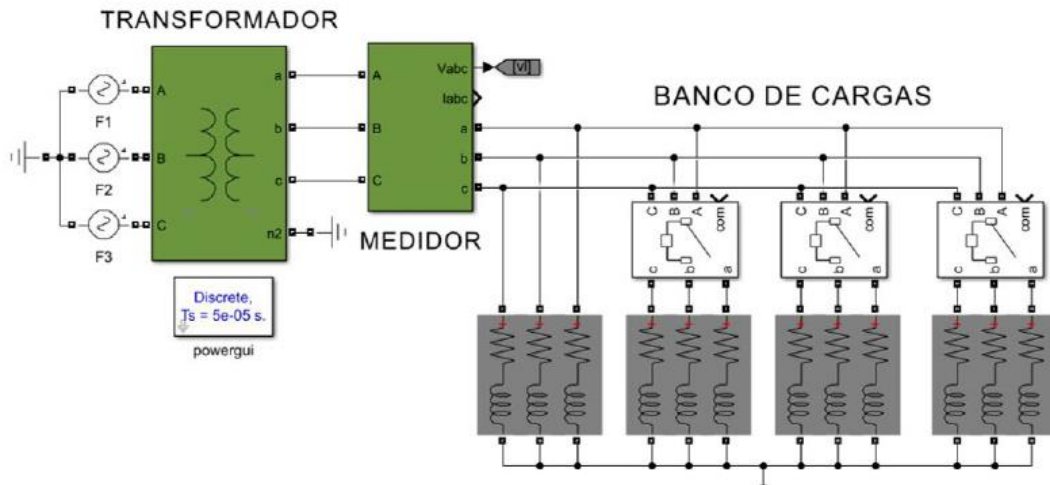


Figura 10. Sistema de distribución establecido para probar el SVC.

En la figura 11, se muestra el comportamiento del factor de potencia del sistema frente a la conexión de diferentes cargas en tiempos diferentes, sin tener el compensador conectado a la red.

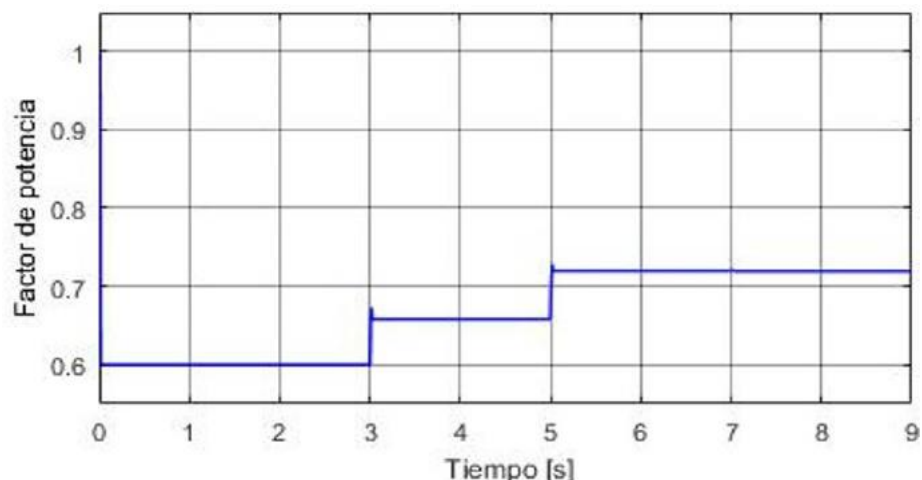


Figura 11. Comportamiento del factor de potencia.

En la figura se observa que el factor de potencia ve afectado por la variación de la carga presentando valores muy por debajo de la unidad, para corregir esto se instala el compensador a la red como se muestra en la figura 12.

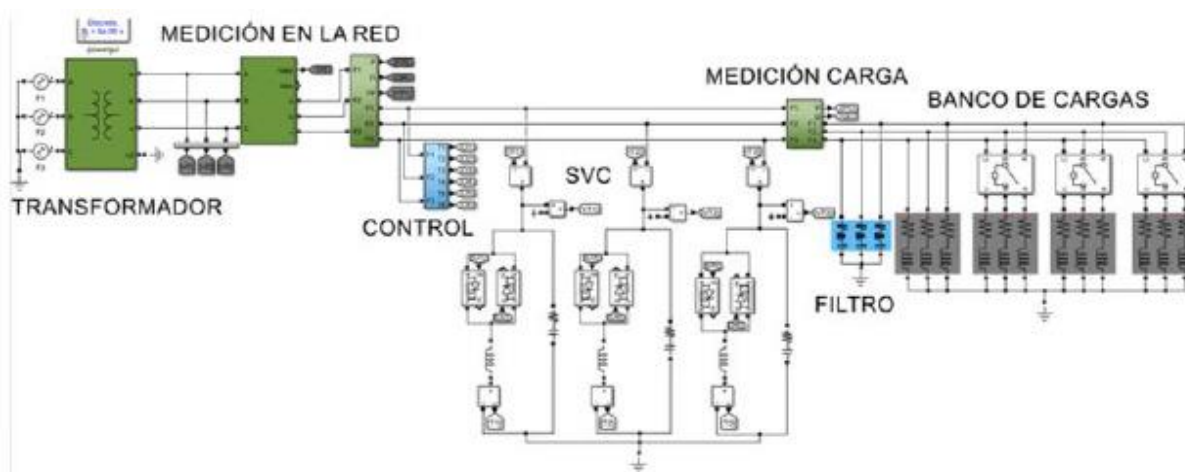


Figura 12. Conexión del SVC a la red.

El comportamiento de las potencias del sistema y el factor de potencia al conectar el compensador, se observan a continuación (ver figura 13). Las cargas presentes en este sistema son conectadas escalonadamente en diferentes intervalos de tiempo, incrementando el consumo de potencia en la carga, forzando al sistema a suplir la demanda de la carga, esto es controlado con la adición del SVC a la red, aportando los reactivos consumidos por la carga, eliminando los reactivos aportados por la red, que solo aporta la potencia activa para el funcionamiento de la carga, donde se percibe el comportamiento del compensador frente a la variación de carga.

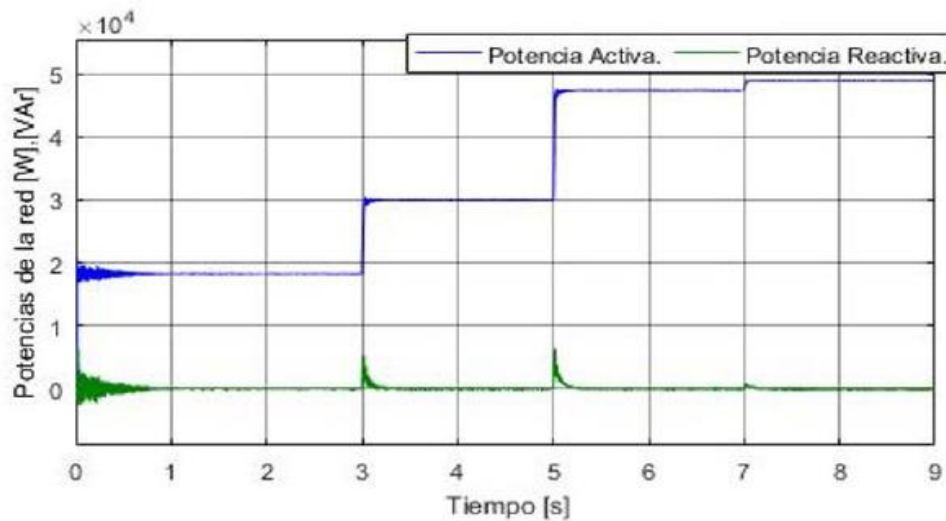


Figura 13. Comportamiento de las potencias del sistema al conectar el SVC.

En la figura 14, se observa la inexistencia de potencia activa en el compensador, debido a que este solo aporta potencia reactiva dependiendo de la orden del control desarrollado, al modificar la carga, esta incrementa el consumo de reactivos, exigiendo que el control modifique el ángulo de disparo para elevar el aporte de reactivos del compensador. Esto se percibe en la fig.15, donde se observa que el consumo de reactivos de la carga es el mismo aportado por el SVC.

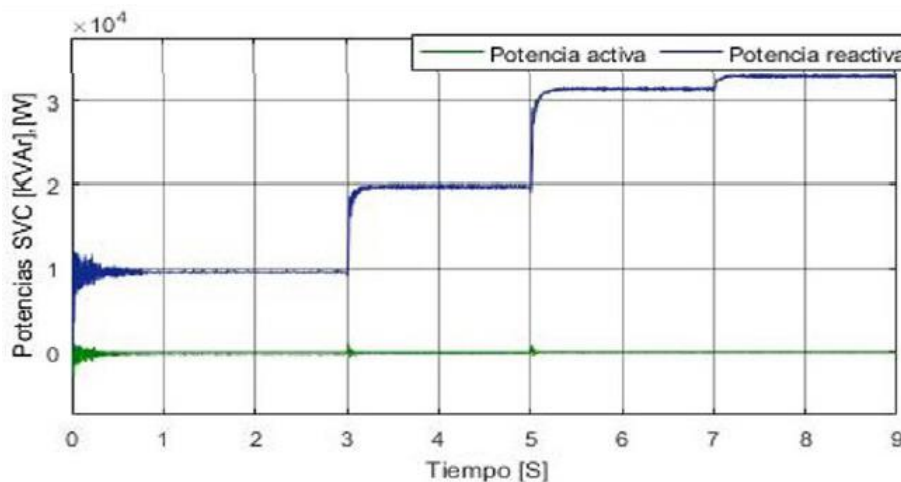


Figura 14. Comportamiento del compensador.

En la fig.15, se percibe la variación del consumo de potencia activa de la carga, observando la fig.13, se comprueba que el aporte de potencia activa de la red es el mismo consumido por la carga, a diferencia de los reactivos, demostrando que la red no aporta reactivos a la carga, esto significa que el compensador aporta toda la energía reactiva que consume la carga.

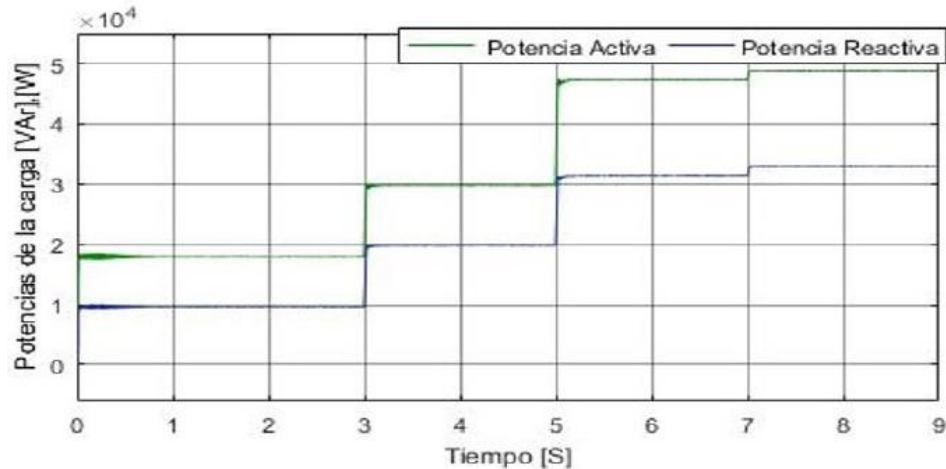


Figura 15. Comportamiento de la carga con la conexión del compensador.

Esto permite corregir el factor de potencia del sistema estableciendo control sobre el mismo, durante los escenarios de cargas que se presentan. Esta corrección del factor de potencia se observa en la figura 16.

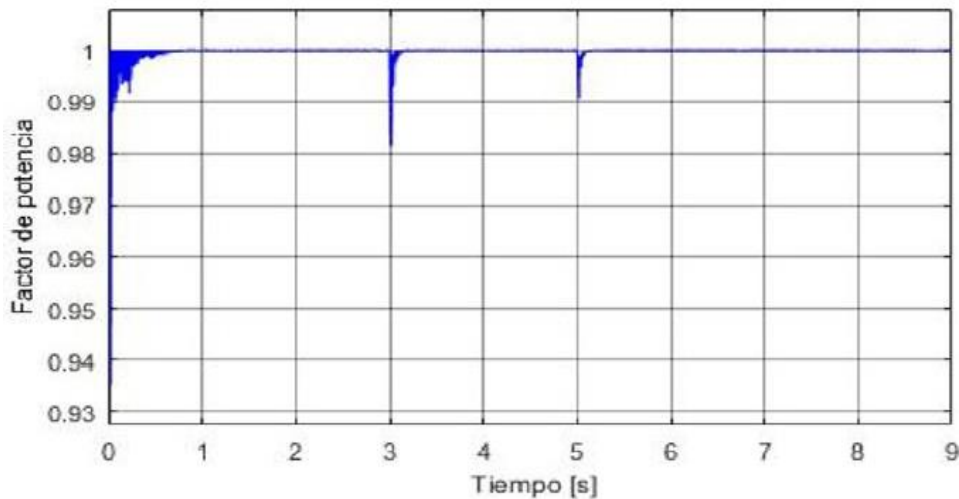


Figura 16. Factor de potencia al conectar el compensador.

El factor de potencia del sistema mantiene el valor de 1, presentando una variación transitoria al entrar en funcionamiento una carga distinta en la red, sin embargo, el control desarrollado para el compensador logra estabilizar nuevamente el factor de potencia en 1. El compensador logra corregir el factor de potencia del sistema al incrementar el consumo de reactivos de la carga, gracias al control diseñado. Sin embargo, en los sistemas de distribución las cargas suelen entrar en tiempos específicos para luego desconectarse del sistema, esto implica un cambio distinto en el factor de potencia al que este presenta al conectar las cargas, debido a que estas no se desconectan en el mismo orden; en la figura 17, se presenta el comportamiento del factor de potencia en uno de los posibles casos de conexión y desconexión de las cargas del sistema presentado en la figura 10, sin el compensador funcionando.

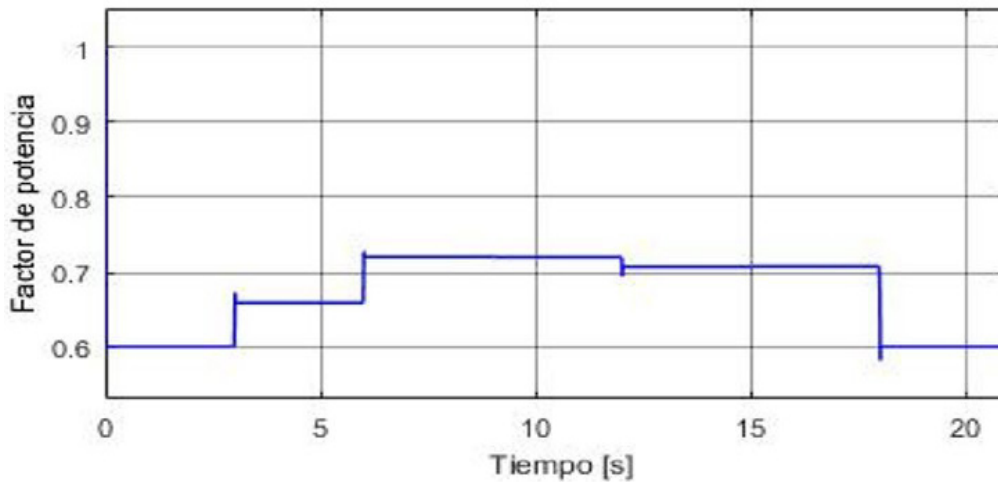


Figura 17. Comportamiento del factor de potencia a la salida de las cargas.

En la figura 17 se observa que el factor de potencia presenta variaciones al desconectar las cargas conectadas anteriormente, disminuyendo hasta el valor mínimo de la carga fija. El compensador debe responder adecuadamente en la corrección del factor de potencia en el escenario planteado, el comportamiento del compensador conectado a este sistema con las variaciones descritas se observa en la figura 18.

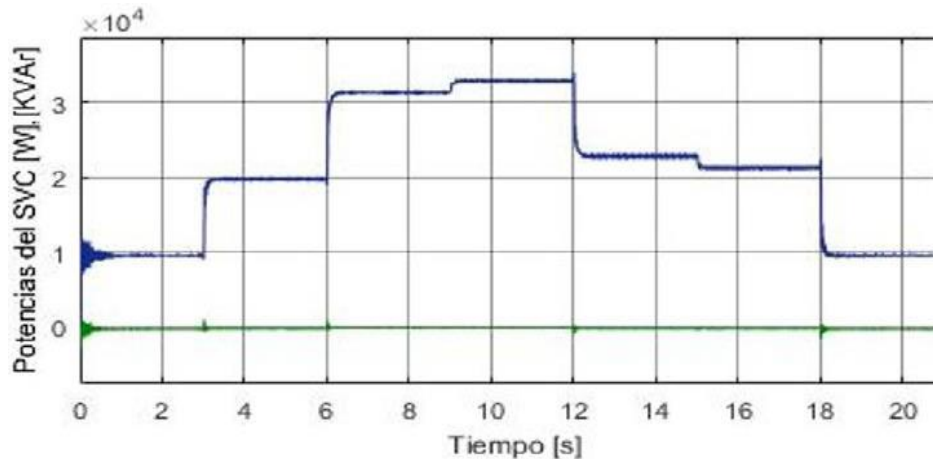


Figura 18. Comportamiento del SVC a la salida de las cargas

En la figura 18, se observa que el compensador adapta el aporte de reactivos al cambio en el consumo de la carga, al incrementar la demanda de reactivos este incrementa su aporte, por otra parte, la disminuir repentinamente el consumo de reactivos este automáticamente reduce la inyección de potencia reactiva para mantener estable el factor de potencia como se observa en la figura 19.

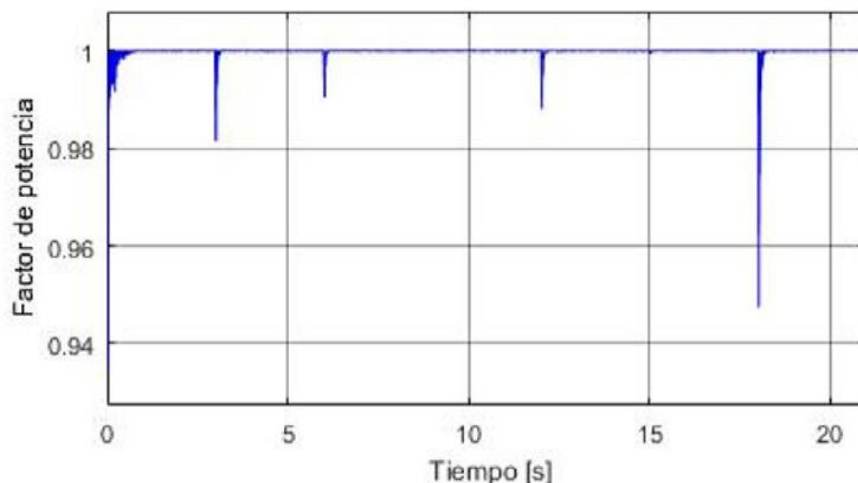


Figura 19. Comportamiento del factor de potencia a la salida de las cargas con el SVC conectado.

El factor de potencia se mantiene en 1 al incrementar la demanda de reactivos en el sistema o disminuir dicha demanda, esto se observa en la figura 19, donde se presenta el comportamiento del factor de potencia al variar las cargas del sistema en conexión o desconexión de las mismas de la red, este presenta disminución momentánea al ingresar o salir las cargas, sin embargo, el control estabiliza el factor de potencia en 1 permanentemente durante la simulación, demostrando la eficiencia del compensador diseñado y el control propuesto para controlar la potencia reactiva del mismo.

Conclusiones

La implementación del controlador PID permite al compensador aportar los reactivos al sistema evitando sobrecompensación, estableciendo un control sobre el ángulo de disparo de los tiristores, mediante la comparación entre la demanda de reactivos y el aporte del compensador, permitiendo estabilizar el aporte de potencia reactiva del compensador al presentarse una variación en la carga, logrando que el compensador incremente o disminuya el aporte de reactivos en función de la demanda de la carga en cualquier instante de tiempo. El compensador estático de reactivos diseñado garantiza la corrección del factor de potencia

en diferentes condiciones de carga, gracias al control implementado que censa los reactivos de la carga y los compra con los reactivos del compensador, permitiendo que este aporte la diferencia restante para suplir la demanda de la carga, esto garantiza que el factor de potencia en la red se mantenga en un valor igual o cercano a la unidad, ya sea con una demanda de reactivos fija o variable en el tiempo. El uso de filtros para mitigar las corrientes armónicas garantiza la eficiencia del compensador de reactivos en su funcionamiento, eliminando los armónicos más representativos presentes en la red al conectar el compensador debido al componente inductivo del TCR que genera armónicos que circulan a sistema sin no son eliminados, por ende, la implementación de estos filtros junto a la configuración del compensador debe ser indispensable si este no cuenta con algún control especial para la mitigación de armónicos.

Referencias

- [1] H. Yang and M. Hsieh, "Applying static synchronous compensator in white organic light-emitting diodes for power factor correction," *2016 IEEE Photonics Conference (IPC)*, 2016, pp. 676-677, doi: 10.1109/IPCon.2016.7831278

- [2] K.M. Rafi and P.V.N. Prasad, "Comparision of control algorithms for power factor correction in a distribution system using DSTATCOM," *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, 2017, pp. 1736-1741, doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8392011
- [3] S. Khanmohammadi, M.T. Hagh and M. Abapour, "Fuzzy logic based SVC for reactive power compensation and power factor correction," *2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007)*, 2007, pp. 1241-1246
- [4] F. Zheng and W. Zhang, "Long term effect of power factor correction on the industrial load: A case study," *2017 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/AUPEC.2017.8282382
- [5] S.A. Zemerick, P. Klinkhachorn and A. Feliachi, "Prototype design of a personal static VAR compensator," *Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium on System Theory (Cat. No.02EX540)*, 2002, pp. 311-315, doi: 10.1109/SSST.2002.1027057
- [6] D.L. Logue and P.T. Krein, "Utility distributed reactive power control using correlation techniques," *APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (Cat. No.01CH37181)*, 2001, pp. 1294-1300 vol.2, doi: 10.1109/APEC.2001.912532
- [7] C.-M. Luis Enrique, R.R. Jaime José, and H.G. Pedro Francisco, "Simulación del compensador estático de VAR de la subestación Culiacán Tres para el análisis de transitorios," *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 14, no. 3, pp. 421-434, 2015
- [8] L. Wang, K. Lao, C. Lam and M. Wong, "Delta-connected static var compensator (SVC) based hybrid active power filter (SVC-HAPF) and its control method," *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2017, pp. 6384-6388, doi: 10.1109/IECON.2017.8217112
- [9] R.A. Susilo, Ipniansyah, Qomaruddin and I. Mahfudi, "Improve Performance Electrical Power System on Mahakam System Using Static Var Compensator," *2018 2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering (BICAME)*, Balikpapan, Indonesia, 2018, pp. 270-274, doi: 10.1109/BICAME45512.2018.1570510241
- [10] D. I. Panfilov, A. E. ElGebaly and M. G. Astashev, "Design and assessment of static VAR compensator on railways power grid operation under normal and contingencies conditions," *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Florence, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555525
- [11] S. Prinz, H. Pietzsch and D. Stade, "Optimal control of static VAR compensators in power supply systems with electrical arc furnaces," *2005 European Conference on Power Electronics and Applications, Dresden*, 2005, pp. 10 pp. 10, doi: 10.1109/EPE.2005.219506
- [12] H. Acevedo Meza, J.L. Mendoza García, S. Sepúlveda Mora. "Estrategias de control mppt aplicadas en un convertidor dc/dc tipo boost para sistemas fotovoltaicos". *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 2, Núm. 30. 2017
- [13] W.L. Bermeo, et al. "Sliding model control applied in current loop for a

- dspbased position control applied to squirrel-cage induction motor", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 1, no. 27, 2016
- [14] V. Mateo, A.M. Gole and C.N.M. Ho, "Design and implementation of laboratory scale static var compensator to demonstrate dynamic load balancing and power factor correction," *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Saskatoon, SK, 2017*, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPEC.2017.8286229
- [15] R.K. Varma and R. Salehi, "SSR Mitigation With a New Control of PV Solar Farm as STATCOM (PV-STATCOM)," *in IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 8, no. 4, pp. 1473-1483, Oct. 2017, doi: 10.1109/TSTE.2017.2691279
- [16] R.K. Varma and H. Maleki, "PV Solar System Control as STATCOM (PV-STATCOM) for Power Oscillation Damping," *in IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 10, no. 4, pp. 1793-1803, Oct. 2019, doi: 10.1109/TSTE.2018.2871074
- [17] E. Gupta, C. Nickell, R. Moghe, H. Chun and D. Tholomier, "Using Secondary VAR Controllers to Enhance Integrated Volt-VAR Optimization Benefits," *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Edmonton, AB, Canada, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CCECE.2019.8861932
- [18] E.J. Santiago, J.S. Allende. "Diseño de un sistema multiagentes híbrido basado en aprendizaje profundo para la detección y contención de ciberataques", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 2, no. 28, 2016
- [19] S.A. Castro Casadiego, C.V. Niño Rondón, B. Medina Delgado. "Caracterización para la ubicación en la captura de video aplicado a técnicas de visión artificial en la detección de personas", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 2, no. 36, 2020
- [20] E. Flórez Solano, R.A.G. León, E.A. Sánchez Ortiz. "Diseño de un sistema alimentador para un horno rotatorio en la producción de fosfato en norte de santander design of a feeding system for a rotary oven in the production of phosphate in norte of santander.", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 1, no. 29, 2017
- [21] D. Ospina-Toro, E.M. Toro-Ocampo, R.A. Gallego-Rendón. "Solución del mdvrp usando el algoritmo de búsqueda local iterada", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 1, no. 31, 2018
- [22] E.D. Lambraño García, J. L. Lázaro Plata, J. L. Lázaro Plata, Alfredo Emilio Trigos Quintero, Alfredo Emilio Trigos Quintero. "Revisión De Técnicas De Sistemas De Visión Artificial Para La Inspección De Procesos De Soldadura Tipo Gmaw", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 1, no. 29, 2017
- [24] J.A. Gómez, H.Y. Jaramillo, L.A. Coronel Rojas. "Sistema Para Detección De Fallos Críticos En Tuberías Horizontales Detection System Of Critical Faults In Horizontal Pipes", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 1, no. 35, 2020
- [25] E. Bayona Ibáñez, I.K. Ricon Parada. "Hábitos De Estudio Y Rendimiento Académico En Los Estudiantes De Ingeniería mecánica", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 1, no. 29, 2017

- [26]H.M. Rodríguez, G.C. Delgado, J. Edwin, and C. Becerra, "Ubicación de FACTS para mejorar la estabilidad de tensión", *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 30, no. 1, pp. 23-44, 2012
- [27]V. Mateo, A.M. Gole, and C.N.M. Ho, "Design and implementation of laboratory scale static var compensator to demonstrate dynamic load balancing and power factor correction," *2017 IEEE Electr. Power Energy Conf. EPEC 2017*, vol. 2017-October, pp. 1-6, 2018
- [28]Y. Tian and Z. Li, "Research status analysis of reactive power compensation technology for power grid," in *2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, 2018, pp. 1-7.
- [29]M.N. Thi, D. Truong, T. Hoang, M. Le Dang, and H.P. Lam, "Enhancing Voltage Stability of Thu Duc Transmission System Using Static Var Compensator," in *2018 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, 2018, pp. 706-709
- [30]J.S. Molano, R.E. Tique "Diseño y construcción de un kit de filtros pasivos para la mitigación de corrientes armónicas," 2013 Universidad de la Salle
- [31]J.L. Diaz Rodriguez, L.D. Pabón Fernández y I. Torres Chavez, "Análisis comparativo de la distorsión armónica en inversores de potencia", *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, 2013
- [32]L.D Pabón F.L. Diaz Rodriguez, J. & A. Pardo, "Optimización evolutiva del contenido armónico de un inversor." *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Basicas*, vol. 13, 2015. doi. org/10.24054/01204211.v2.n2.2015.1798