

**“COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS CRUZ Y PQ PARA EL CONTROL DE FILTRO ACTIVO, PARA DISMINUIR ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO ANTE UN ESCENARIO DE CARGA NO LINEAL DESBALANCEADA”**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:  
“COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS CRUZ Y PQ PARA EL CONTROL DE  
FILTRO ACTIVO, PARA DISMINUIR ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO ANTE UN ESCENARIO DE CARGA NO LINEAL  
DESBALANCEADA”**

**AUTOR:  
Jorge Eduardo Morales Padilla**

**TUTOR:  
Ing. Wilson David Pavón Vallejos**

**Quito, septiembre 2021**

## Datos de Catalogación Bibliográfica

Jorge Eduardo Morales Padilla

**“COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS CRUZ Y PQ PARA EL CONTROL DE FILTRO ACTIVO, PARA DISMINUIR ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO ANTE UN ESCENARIO DE CARGA NO LINEAL DESBALANCEADA”**

Universidad Politécnica Salesiana  
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



**Jorge Eduardo Morales Padilla** (Y'1994). Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Técnico San José de la capital del Ecuador. Su trabajo se base en la comparación de metodologías cruz y p-q para el control de filtro activo para disminuir armónicos en un sistema de distribución.

[jmoralesp3@est.ups.edu.ec](mailto:jmoralesp3@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Wilson David Pavón Vallejos** (Y'1989). Actualmente es docente a tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. Obtuvo su título de tercer nivel en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE como Ingeniero Electrónico en Automatización y Control. Obtuvo su título de cuarto nivel en la Universidad de Newcastle upon Tyne como Magister en Automatización y Control. Candidato a Doctor por la Universidad de Ferrara - Italia

[wpavon@ups.edu.ec](mailto:wpavon@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**

©2021 Universidad Politécnica Salesiana  
QUITO-ECUADOR

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

Yo, Wilson David Pavón Vallejos declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*Comparación de metodologías Cruz y PQ para el control de filtro activo, para disminuir armónicos en un sistema de distribución eléctrico ante un escenario de carga no lineal desbalanceada*”, realizado por Jorge Eduardo Morales Padilla obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2021



.....  
Wilson David Pavón Vallejos  
C.I: 171922431-1

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jorge Eduardo Morales Padilla, con documento de identificación N°172346037-2, 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: *“Comparación de metodologías Cruz y PQ para el control de filtro activo, para disminuir armónicos en un sistema de distribución eléctrico ante un escenario de carga no lineal desbalanceada”*, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, septiembre de 2021



Nombre: Jorge Eduardo Morales Padilla

C.I: 172346037-2

## ÍNDICE GENERAL

1. Introducción .....	2
2. Marco teórico .....	4
2.1 Teoría P-Q.....	6
2.2 Teoría Cruz.....	7
3. Metodología .....	8
3.1 Sistema de compensación basado en la teoría PQ .....	9
3.2 Sistema de compensación basado en la teoría Cruz.....	10
3.3 Caso de estudio .....	12
4. Análisis de resultados.....	13
4.1 Resultados método de compensación P-Q .....	15
4.2 Resultados método de compensación Cruz.....	17
5. Conclusiones .....	20
6. Trabajos Futuros .....	20
7. Referencias .....	20
8. Matriz de estado del arte .....	25
9. Anexos .....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Micro-red centralizada con conexión de filtros, P-Q y Cruz [autor].....	3
Figura 2. Tipos de filtros activos [autor].....	5
Figura 3. Diagrama de flujo teoría PQ [autor] .....	9
Figura 4. Diagrama de flujo teoría Cruz [autor] .....	11
Figura 5. Modelo de prueba IEEE 13 barras-distribución [autor] .....	12
Figura 6. Sistema equivalente de prueba [autor].....	12
Figura 7. Diagrama electrónico del inversor [autor].....	13
Figura 8. Diagrama de control filtro P-Q [autor] .....	14
Figura 9. Diagrama de control filtro Cruz [autor].....	14
Figura 10. Voltaje en la barra de generación, teoría PQ [autor] .....	15
Figura 11. Corriente en la barra de generación, teoría PQ [autor].....	15
Figura 12. THD total, teoría PQ [autor].....	15
Figura 13. Corriente de referencia barra del filtro, teoría PQ [autor] .....	16
Figura 14. Flujo de potencia generación, teoría PQ [autor].....	16
Figura 15. Corrientes de carga, teoría PQ [autor] .....	16
Figura 16. Tensión de carga, teoría PQ [autor].....	16
Figura 17. Voltaje en la barra de generación, teoría Cruz [autor].....	17
Figura 18. Corriente en la barra de generación, teoría Cruz [autor] .....	17
Figura 19. THD total, teoría Cruz [autor] .....	17
Figura 20. Corriente de referencia barra del filtro, teoría Cruz [autor].....	18
Figura 21. Flujo de potencia generación, teoría Cruz [autor] .....	18
Figura 22. Corrientes de carga, teoría Cruz [autor] .....	18
Figura 23. Tensión de carga, teoría Cruz [autor] .....	18
Figura 24. Comparación de THD metodologías PQ y Cruz [autor] .....	19
Figura 25. Indicador de matriz de estado del arte, temática [autor].....	34
Figura 26. Formulación del problema [autor] .....	34
Figura 27. Solución al problema [autor] .....	35



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de prueba metodologías P-Q y Cruz [autor] .....	13
Tabla 2. Comparación de metodologías P-Q y Cruz [autor].....	19
Tabla 3. Matriz de estado del arte [autor] .....	25
Tabla 4. Datos de líneas aéreas [4].....	36
Tabla 5. Datos de líneas subterráneas .....	36
Tabla 6. Datos de los segmentos de las líneas [4].....	36
Tabla 7. Datos del transformador [4] .....	36
Tabla 8. Datos de los capacitores [4] .....	36
Tabla 9. Datos de los reguladores [4].....	37
Tabla 10. Datos de las cargas [4] .....	37
Tabla 11. Datos de las cargas distribuidas [4].....	37

# “COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS CRUZ Y PQ PARA EL CONTROL DE FILTRO ACTIVO, PARA DISMINUIR ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO ANTE UN ESCENARIO DE CARGA NO LINEAL DESBALANCEADA”

## Resumen

Esta investigación diseña y compara el desempeño de un filtro activo de potencia (FAP), este será controlado por dos métodos de compensación de forma separada. El primero, es el método de compensación de potencia activa y reactiva instantánea (P-Q), mientras que, el segundo es el método de compensación Cruz. Cada técnica será evaluada en el sistema de prueba IEEE de 13 nodos, con cargas no lineales, de manera independiente. Las variables que se analizarán son, la corriente, el voltaje, la potencia y la distorsión armónica (THD), siendo esta última de especial interés para la investigación. Con los resultados obtenidos, se puede aseverar que la teoría PQ es mejor porque reduce el THD en un 25.57 %, mientras que, la teoría Cruz un 25.19 %. Por lo que, el filtro PQ demuestra mejores resultados de compensación con respecto al filtro Cruz.

**Palabras Clave:** Filtros activos, Distorsión Armónica Total, Teoría Cruz, Teoría de la potencia activa y reactiva instantánea, Filtro activo de potencia.

## Abstract

This research designs and compares the performance of an active power filter (APF), it will be controlled by two separate compensation methods. The first, is the instantaneous active and reactive power compensation method (P-Q), while the second is the CRUZ compensation method. Each technique will be evaluated in the IEEE test system of 13 distribution nodes, with non-linear loads. The variables to be analyzed include current, voltage, power, and harmonic distortion (THD), the latter being of special interest for research. The PQ theory is better because it reduces THD by 25.57%, while the Cruz theory by 25.19%. Therefore, the PQ filter shows better compensation results compared to the Cross filter.

**Keywords:** Active filters, Total Harmonic Distortion, Cross Theory, Theory of instantaneous active and reactive power, Active power filter.

## 1. Introducción

Conforme avanza el tiempo, a través de los años, se ha podido experimentar varios cambios en el desarrollo de distintas tecnologías de electrónica de potencia, estas han permitido que la calidad de energía, que recibe el consumidor, cumpla con los parámetros admisibles establecidos en algunas normativas. Además, las tecnologías evitan anomalías que afectan a la calidad de energía eléctrica, como la distorsión Armónica Total (THD) [1].

El THD es una medida que determina la cantidad de distorsión armónica que presenta una forma de onda de corriente o voltaje, pues estas se comparan con sus ondas fundamentales. No obstante, las tecnologías de electrónica de potencia deben seguir desarrollándose, con la finalidad de mejorar aún más su desempeño. Por lo anterior, es necesario una revisión detallada de las anomalías que afectan al nivel de la calidad de energía [2].

La calidad de energía incluye dos aspectos esenciales, la calidad de tensión y fiabilidad del suministro. En este contexto, la calidad de voltaje se ve afectado por varias perturbaciones, como cambios rápidos, armónicos, inter armónicos, transitorios, flickers y desequilibrio. Por otro lado, en la confiabilidad intervienen fenómenos de mayor duración, estos incluyen: caídas de voltaje, sobrevoltajes, subvoltajes y desviaciones de frecuencia [3].

En las últimas décadas se ha reforzado aún más el análisis de compensación, lo cual tiene como finalidad mantener el sistema de distribución en un estándar de calidad aceptable. Para lo que, uno de los dispositivos que lleva a cabo tal función son los Filtros Activos de Potencia (FAP), estos dispositivos ayudan a contrarrestar anomalías existentes en las variables eléctricas, de corriente, voltaje, frecuencia y factor de potencia [2], [3].

Las anomalías antes descritas, se producen por cargas electrónicas o cargas de alto consumo de potencia, estas se componen de elementos no lineales que afecta a su funcionamiento, pues producen un comportamiento no lineal. En este contexto, los dispositivos, que conectan los usuarios finales a la red, representan una carga no lineal, además, estos producen pérdidas técnicas [6].

A finales de los años 1960 e inicios de 1970 se inicia las primeras investigaciones por parte de Erlicki y Emmanuel Eigeles, Fukao, Iida y Muyairide [7]. Este grupo de investigadores presentaron el principio base de compensación controlada de potencia no activa. En años posteriores, Akagi, Kanazawa y Nabae publican la primera teoría de compensación de energía reactiva bajo fundamento matemático, de esta se derivarían formulaciones alternativas para la creación de varias metodologías de compensación [8].

Las metodologías de compensación forman parte de los FAP, estos permiten la reducción del porcentaje de THD de sistemas previamente diseñados, para este fin, los FAP emplean un proceso algorítmico.

El resultado de las técnicas antes mencionadas es una respuesta de compensación. Esta permite disipar, en gran medida, los armónicos y por consecuencia restablece la forma de onda distorsionada, a su forma original [8], [9].

La efectividad y el rendimiento de los FAP, frente a cargas de tipo no lineal ya sean balanceadas o no balanceadas, depende en su totalidad de tres factores. El primero, es la técnica de modulación empleada. El segundo, es el sistema de control, que interviene en la generación de potencia, esta se encarga de entregar la energía reactiva que requiere el sistema de distribución [9].

El tercer factor corresponde al tipo de tecnología de switcheo, que emplea el inversor de potencia. Estas se diseñan con

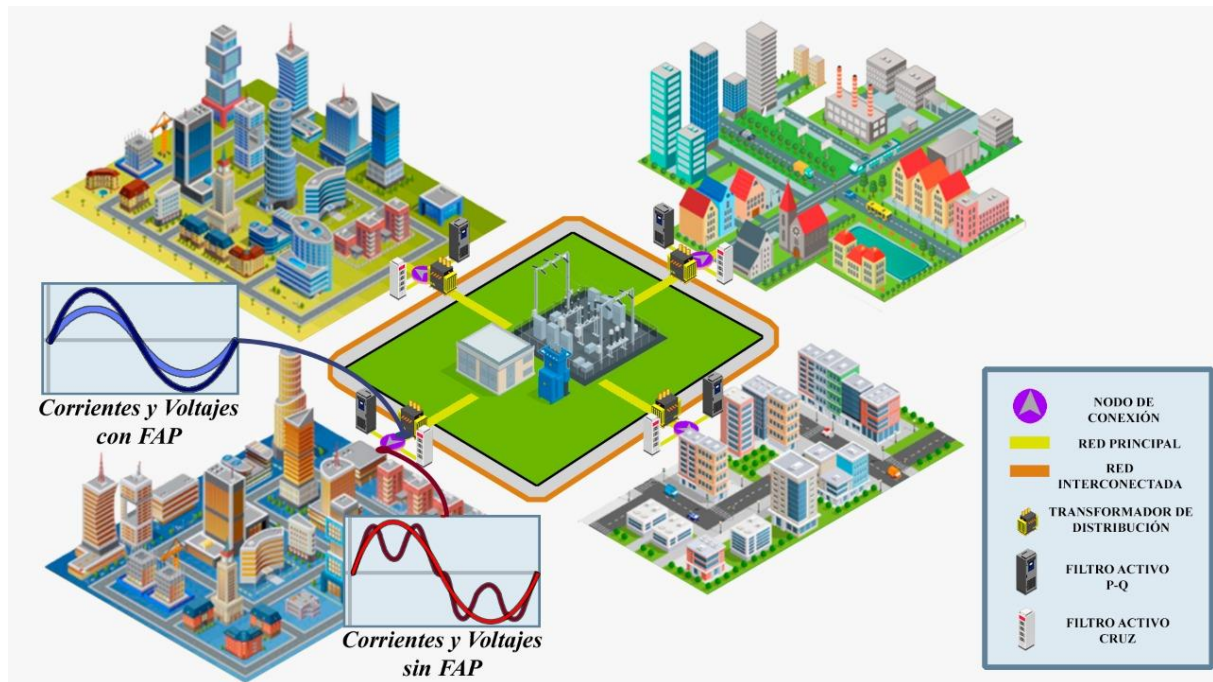


Figura 1. Micro-red centralizada con conexión de filtros, P-Q y Cruz [autor]

tecnología de contacto Transistor Bipolar de Puerta Aislada (IGBT), Transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico (MOSFET) y Tiristor de apagado de puerta (GTO) [11].

El tiempo y la velocidad de respuesta, que posea la tecnología de switcheo, son parámetros esenciales para la operación correcta del FAP. Así mismo son importantes, la capacidad de soportar grandes magnitudes de corriente o voltaje que serán inyectadas a la red de distribución.

Los FAP generan señales erróneas cuando su parametrización es incorrecta. Esto produce pérdidas, sobreconsumos y déficit de calidad eléctrica [11].

Por otro lado, los avances tecnológicos permiten la construcción de nuevos dispositivos electrónicos, que se alimentan principalmente de Corriente Continua (DC).

Estos dispositivos producen e inyectan un alto contenido armónico en el sistema eléctrico. La anomalía empeora con el incremento de usuarios, que emplean cargas de características electrónicas [12].

Por otro lado, existen máquinas eléctricas que tienen la propiedad de consumir picos de corriente o voltaje muy elevados, durante períodos cortos de tiempo, esto produce armónicos.

El uso de FAP para compensar los armónicos, que producen las cargas no lineales, implican pérdidas. Las pérdidas más comunes son, el calentamiento del cableado, calentamiento de devanados en transformadores, saturación de transformadores, ruptura de circuitos, avería de máquinas móviles (motores de inducción), mayor consumo eléctrico, recargos de energía reactiva y picos de consumo eléctrico [13].

En contraste, al existir muchas fuentes de generación de anomalías, algunos investigadores han realizado estudios exhaustivos, que permiten mitigar los fenómenos perjudiciales. Estos se basan en el tipo de carga y en la magnitud de la fuente. De esta forma, surgieron métodos de compensación, que trabajan con objetivos semejantes, pero parametrizaciones distintas [14]. Esto se debe a que, cada metodología obtiene el contenido armónico mediante distintas formas de cálculo, el arreglo

resultante es la clave para generar una respuesta de compensación [12].

Sin embargo, una cantidad menor de metodologías presentan una respuesta aceptable, esto depende en gran medida del matemático que se emplea. Por lo que, existen software de simulación y otras herramientas de cálculo, que permiten determinar la metodología más efectiva para contrarrestar la presencia de armónicos en el SEP [15].

En [16] se comparan 4 métodos de compensación de filtro activo, para lo cual, se emplean condiciones de desequilibrio operativo y un suministro desbalanceado. La finalidad es determinar las ventajas, desventajas y limitaciones de cada técnica. Los cuatro métodos son empleados para un filtro activo de potencia en derivación, de 3 hilos trifásico, con convertidor de fuente de voltaje de 6 interruptores [12].

En [17] se implementan dos estrategias de control, P-Q y Fryze aplicados a un filtro activo, con el fin de reducir el contenido armónico. La implementación consta de un circuito de sincronización PLL, este se aplica al método de control PQ, para el control de corriente de la fuente sinusoidal. De la misma forma, el PLL se aplica al método Fryze. El resultado de la investigación demuestra que la variante de control PQ-PLL presenta una mejor respuesta, a comparación de la técnica Fryze-PLL.

En [18] se emplea el método Fryze para la reducción del THD, pues, menciona que, esta metodología posee un grado de complejidad reducida, pues, Fryze no emplea ningún tipo de transformada. En contraposición, el método implica las variables eléctricas en la conductancia, para calcular la corriente de compensación. Algo muy importantes es que, bajo escenarios con cargas equilibradas, todos los métodos propuestos, presentan resultados muy similares. No obstante, en escenarios con cargas desequilibradas, el comportamiento de las técnicas de control del APF varia. Por lo que, es necesario ajustar ciertos parámetros

del FAP para obtener la señal de compensación deseada.

Bajo esta perspectiva, es necesario realizar un estudio que permita determinar el grado de efectividad de los métodos más usuales, para la compensación de armónicos. Por lo que, se simularán dos métodos de control aplicados al funcionamiento de los FAP. El primero, es el método de compensación de potencia activa y reactiva instantánea (P-Q) [2], [19], mientras que, el segundo es el método de la descomposición de corriente (Cruz) [19], [20].

Esta investigación tiene como finalidad comprobar el desempeño de cada técnica (P-Q y Cruz) aplicado al sistema de distribución IEEE de 13 barras. Para lo cual, se comparará los niveles de porcentaje THD, tiempos de establecimiento, voltajes y corrientes del sistema, esto se realizará previa y posterior a la compensación del FAP. Además, se resaltarán las ventajas y desventajas asociadas a cada técnica.

De aquí en adelante, la investigación se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se describe todo lo referente al Marco Teórico. En la sección 3 se presenta la Metodología y el caso de estudio. En la sección 4 se presenta los resultados de la investigación. Por último, en la sección 5 y sección 6 se presentan las conclusiones de la investigación y trabajos futuros respectivamente.

## **2. Marco teórico**

Los armónicos eléctricos son perturbaciones que alteran la calidad de energía eléctrica, estas perturbaciones son señales cuya frecuencia son múltiplos de la fundamental. Para el cálculo de los armónicos de forma analítica se implementa el estudio de las series de Fourier [29].

Los filtros activos de potencia (FAP) son circuitos de electrónica de potencia que se conectan en paralelo o en serie en relación con la carga. Con el fin de actuar como una fuente controlada de corriente, si su conexión es en

paralelo, o como fuente de voltaje, si su conexión es en serie. Están compuestos por una fuente de modulación de ancho de pulso (PWM), una fuente inversora de tensión o corriente y un controlador, que suele ser la técnica de compensación [22].

El funcionamiento de un FAP se basa en el proceso de tratamiento para la obtención de las señales a ser medidas, para lo cual, se emplea transformadores de medición, que permiten adaptar las magnitudes de voltaje y corriente, en baja y media tensión.

Luego estas señales atraviesan un proceso de transformación, que consiste en el uso de teoremas o métodos matemáticos como la transformada de Clarke o el teorema de la Conductancia equivalente. Con la finalidad de obtener nuevas referencias, para los dos casos. De este modo, se obtienen las componentes necesarias que se utilizara para el cálculo de las magnitudes de compensación, en términos de tensión o corriente [23].

De forma posterior, el PWM recepta las señales de compensación y las señales de referencia, para compararlas y emitir pulsos.

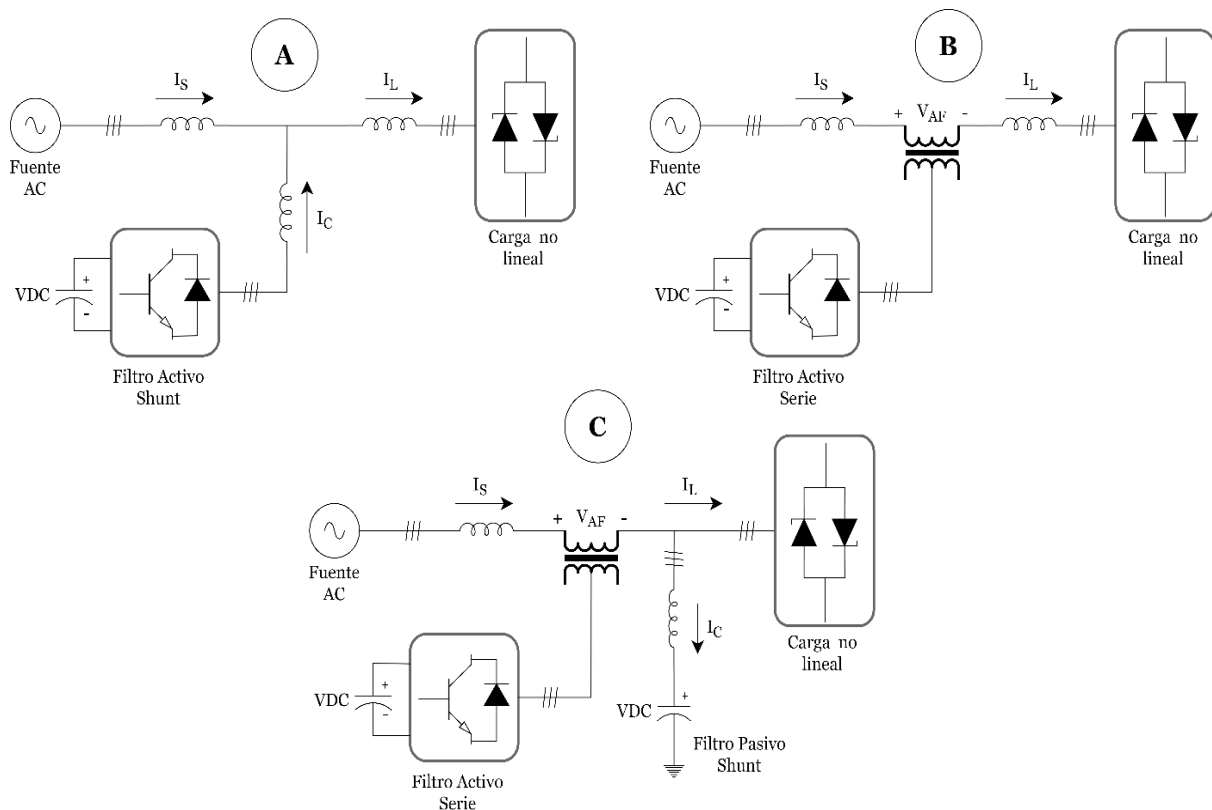


Figura 2. Tipos de filtros activos [autor]

Luego las señales que emite el modulador son receptadas por la fuente inversora que está conectada a la red, esta es la encargada de proporcionar la corriente o voltaje necesaria para estabilizar la fluctuación armónica, y por consecuencia la naturaleza de la forma de onda [24].

Existen diferentes tipos de FAP's, los más relevantes en cuanto a compensación en el

lado de AC se refiere, es el filtro activo shunt, el filtro activo serie, filtro activo híbrido.

El filtro activo shunto posee una conexión en paralelo con la carga a compensar, su inversor tiene la función de generar corrientes de compensación, las cuales se inyectan de forma directa al sistema, Figura 2. Por otro lado, el filtro activo en serie consta de un transformador conectado en serie con la carga, y su inversor tiene la función de generar

voltajes de compensación que serán suministrados, a través del transformador de acople, hacia la red. Por último, el filtro activo híbrido combina las funciones de un filtro activo y pasivo, esto le permite ser más eficiente que los antes mencionados [25], [29].

El THD es un parámetro de medición que cuantifica el porcentaje o cantidad de contenido armónico, que poseen las magnitudes eléctricas de voltaje y corriente. En términos analíticos es la relación entre el contenido armónico de la señal a medir y la fundamental, Ecuación 1, los valores resultantes suelen apreciarse en un diagrama de barras que representa su magnitud y el número de armónicos, que se manifiestan en frecuencia o en función del tiempo [30].

$$THD = \left( \frac{1}{I_1} * \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_i^2} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde, THD es la distorsión armónica expresada en porcentaje,  $I_1$  es la corriente fundamental,  $i$  es el número de armónicos,  $I$  es la magnitud de corriente RMS de cada armónico. La sumatoria empieza desde la segunda corriente armónica, donde cada termino  $I_i$  se eleva al cuadrado. Así mismo, el resultado obtenido se divide para la corriente fundamental [29].

## 2.1 Teoría P-Q

La teoría P-Q es una de las primeras y principales teorías de control para filtros activos. Su modo de operación emplea las variables eléctricas de corriente y voltaje, estas se relacionan con el análisis de la carga no lineal y su contenido armónico. De tal forma que, las magnitudes de voltaje, Ecuación 2, y corriente, Ecuación 3, se incluyen en la transformada de un sistema denominado  $\alpha\beta 0$ , o la transformada de Clarke [31].

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

Donde,  $V_0$ ,  $V_\alpha$  y  $V_\beta$  son las componentes de voltaje, secuencia cero, eje  $\alpha$  y eje  $\beta$ , respectivamente. Del mismo modo,  $I_0$ ,  $I_\alpha$  y  $I_\beta$  son las componentes de corriente, secuencia cero, eje  $\alpha$  y eje  $\beta$ , respectivamente [32], [33]. Los voltajes de entrada,  $V_a$ ,  $V_b$  y  $V_c$  son valores de fase en la barra de la fuente, mientras que, las corrientes de entrada  $I_a$ ,  $I_b$  e  $I_c$  son corrientes de línea en la carga. Una vez que se calcula la transformada de corrientes y voltajes en los ejes  $\alpha$  y  $\beta$ , se determinan las ecuaciones de potencia instantánea activa, Ecuación 4-5 y reactiva, Ecuación 6 [34].

$$p_o(t) = V_0(t)i_o(t) \quad (4)$$

$$p(t) = V_\alpha(t) \cdot i_\alpha(t) + V_\beta(t) \cdot i_\beta(t) \quad (5)$$

$$q(t) = V_\alpha(t) \cdot i_\beta(t) - V_\beta(t) \cdot i_\alpha(t) \quad (6)$$

Donde,  $p_o(t)$ ,  $p(t)$  y  $q(t)$  son las componentes de potencia de, secuencia cero, potencia activa en el eje P y potencia reactiva en el eje Q respectivamente.

En el caso de que no exista un desbalance de las magnitudes de corriente o tensión, o si los armónicos de secuencia cero son nulos, la  $p_o(t)$  es igual a 0, Ecuación 7. La teoría P-Q divide la potencia instantánea activa y reactiva, en componentes DC y AC, Ecuación 8.

$$\begin{bmatrix} p_o \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_0 & 0 & 0 \\ 0 & V_\alpha & V_\beta \\ 0 & -V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_o \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{p} \\ \bar{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Donde, la componente DC de la expresión de potencia activa y reactiva asociada con el voltaje y corriente fundamental se denota como  $\bar{p}$  y  $\bar{q}$  respectivamente, mientras que, el valor oscilatorio en AC y su relación con la potencia armónica activa y reactiva se denota como  $\tilde{p}$  y  $\tilde{q}$  respectivamente.[35]

En este contexto, para eliminar el contenido armónico se debe separar los valores de DC, Ecuación 9, y AC, Ecuación 10. De esta forma, la información oscilatoria se obtiene mediante procesos de filtrado de señal, siendo esta la potencia de compensación que se inyecta al sistema [36]. Para lo cual, es necesario incluir dentro de la potencia reactiva de compensación, la componente media DC, Ecuación 11 [35].

$$p_c = -\tilde{p} \quad (9)$$

$$q_c = -\tilde{q} \quad (10)$$

$$q_c = -\bar{q} - \tilde{q} \quad (11)$$

Por otro lado, cuando no exista desbalance de tensión y corriente o contenido armónico de secuencia cero, el valor de potencia será nulo. Por el contrario, cuando exista contenido armónico, la magnitud de potencia de compensación será diferente de cero, Ecuación 12 [37]. Una vez que las señales se filtren deben ser remplazadas en el arreglo de potencia instantánea, Ecuación 13, para hallar las corrientes de compensación en los ejes de  $\alpha\beta 0$ , Ecuación 14.

$$p_{oc} = -p_0 \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p_c \\ q_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_o & 0 & 0 \\ 0 & V_\alpha & V_\beta \\ 0 & -V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_o \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} i_{oc} \\ i_{\alpha c} \\ i_{\beta c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_o & 0 & 0 \\ 0 & V_\alpha & V_\beta \\ 0 & -V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_0 \\ p_c \\ q_c \end{bmatrix} \quad (14)$$

La solución de la matriz inversa de los voltajes de Clark, con su respectiva simplificación de términos, da como resultado una nueva expresión matricial (Ecuación 15). Donde las corrientes cambian su etiqueta con el subíndice “c”, esto representa que son magnitudes de compensación.

$$\begin{bmatrix} i_{oc} \\ i_{\alpha c} \\ i_{\beta c} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} (v_\alpha^2 + v_\beta^2) & 0 & 0 \\ V_o & V_\alpha & -V_\beta \\ 0 & V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 \\ p_c \\ q_c \end{bmatrix} \quad (15)$$

En este contexto, la corriente de compensación cero, es negativa, Ecuación 16. Así mismo, se procede a calcular la inversa del resultado obtenido, con el fin de regresar al sistema de referencia inicial, Ecuación 17.

$$i_{oc} = -i_0 \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{oc} \\ i_{\alpha c} \\ i_{\beta c} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Donde, las corrientes de compensación de cada fase  $i_{ca}$ ,  $i_{cb}$  e  $i_{cc}$ , sirven de referencia para el subsistema PWM, debido a que, se necesita pulsos que controlen el tiempo de activación del inversor [38].

## 2.2 Teoría Cruz

La teoría Cruz se basa en la descomposición de componentes activos y reactivos de voltajes y corrientes de la fuente primaria, sin la necesidad de aplicar las series de Fourier.

Fryze se opuso a la idea de elaborar la teoría de potencia sobre la base de series de Fourier, pues señaló que, considerando el fenómeno de Gibbs en los puntos de discontinuidad, no es posible minimizar el error que se produce por la función descrita en las series de Fourier. El fenómeno de Gibbs se refiere al comportamiento de una serie de Fourier periódica y continuamente diferenciable ante discontinuidades de salto [39]. De tal forma que, la teoría de Fryze facilita la cuantificación de la componente de corriente



reactiva, de forma analítica, así como por medición [40].

Por lo anterior, se deduce que esta teoría es un nuevo enfoque, que usa la potencia reactiva, para las formas de onda periódicas no sinusoidales. En primer lugar, cualquier medición periódica de voltaje, corriente, potencia activa y factor de potencia debe simplificarse, Ecuación 18.

En segundo lugar, se debe generalizar la descripción de las propiedades energéticas reales para las formas de onda sinusoidales, de tal forma, que sean válidas para toda onda periódica [41].

$$\lambda = \frac{P}{|S|} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t)dt} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t)dt}} \quad (18)$$

$$i(t) = i_a(t) + i_b(t) \quad (19)$$

Donde, la componente activa y reactiva de la corriente se denota como  $i_a(t)$  y  $i_b(t)$  respectivamente. Por otro lado, se debe comprobar la prueba de ortogonalidad, Ecuación 20 y 21. Además, la potencia activa, Ecuación 22 y reactiva, Ecuación 23, se pueden calcular por separado [41].

$$\int_0^T i_a(t) * i_b(t)dt = 0 \quad (20)$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i_a(t)dt = P \quad (21)$$

$$P = |V||I_a| \quad (22)$$

$$Q_F = |V||I_b| \quad (23)$$

Para la aplicación del algoritmo a formas de onda periódicas no sinusoidales se siguen tres pasos.

En primer lugar, se determina la corriente de la fuente activa, Ecuación 24, donde la conductancia de fuente equivalente se denota

como  $G_e$  y se calcula mediante la Ecuación 25.

$$i_a(t) = G_v(t) \quad (24)$$

$$G_e = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)i_a(t)dt}{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t)dt} \quad (25)$$

En segundo lugar, la corriente activa se caracteriza por un valor RMS mínimo, mientras se asegura el flujo de energía requerido por la carga.

En tercer lugar, se representa la fuente de corriente como superposición de corriente activa y reactiva, Ecuación 19.

Por otro lado, en el caso de la teoría Cruz se reduce a la descomposición actual, Ecuación 26. Por último, al multiplicar a ambos lados de la Ecuación 26 por  $\|v\|^2$  se obtiene la potencia, Ecuación 27.

$$\|i\|_{L^2}^2 = \|i_a\|_{L^2}^2 + \|i_b\|_{L^2}^2 \quad (26)$$

$$|S|^2 = P^2 + Q_F^2 \quad (27)$$

Donde, la variable  $Q_F$  se la conoce como potencia reactiva Fryze [42].

### 3. Metodología

A nivel de distribución, la calidad de energía se ve afectada por las cargas no lineales y desbalanceadas, esto provoca que las formas de onda disten mucho de las ideales. Esto produce pérdidas y daños a los dispositivos, pues reduce su tiempo de vida útil.

Por lo anterior, es necesario realizar el diseño de un sistema de compensación. Para lo cual, se diseña un filtro activo que será controlado por dos metodologías de forma individual, P-Q y Cruz.

El diseño de los filtros se lo realiza en base a una revisión bibliográfica, esto permite resaltar las características electrónicas de cada uno de estos, así como, los componentes

esenciales que forman parte de cada uno de estos.

Cada filtro se representa con un diagrama de bloques, estos se implementan en Matlab-Simulink con la finalidad de comprobar su funcionamiento sobre el modelo de distribución IEEE de 13 barras, en la zona de barra de carga 634, el cual consta con un transformador y la barra donde están conectadas las cargas no lineales y desbalanceadas. Para determinar la mejor opción se realiza una comparación de los parámetros, THD, corrientes y voltajes.

### 3.1 Sistema de compensación basado en la teoría PQ

El algoritmo de control que describe la teoría PQ consta de una serie de bloques de control, que se conectan de forma lógica, Figura 3. Las magnitudes instantáneas de voltajes y corrientes de fase se transforman a un sistema de coordenadas cartesianas, bloque 1, esto se realiza conforme a la Ecuación 28 [40].

$$\begin{bmatrix} f_{\alpha}[n] \\ f_{\beta}[n] \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_a[n] \\ f_b[n] \\ f_c[n] \end{bmatrix} \quad (28)$$

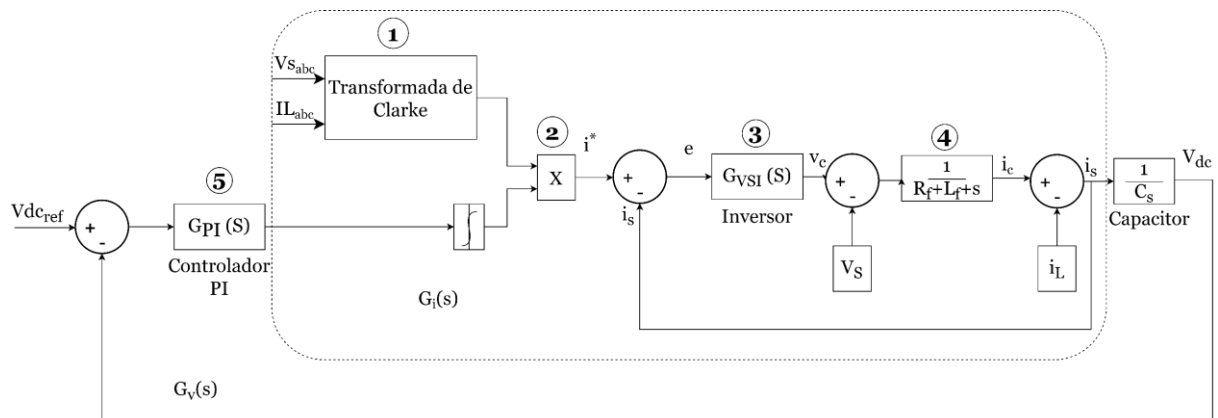


Figura 3. Diagrama de flujo teoría PQ [autor]

$\bar{q}$  es la constante de potencia imaginaria relacionada con el armónico fundamental.  $\tilde{q}$  es la componente imaginaria de la potencia instantánea. El uso de filtros permite la descomposición de componentes con

Seguido se comprueba el estado de la potencia del sistema, bloque 2. Para lo cual, se calcula la potencia instantánea del sistema empleando la Ecuación 29. Luego estos resultados se descomponen en componentes. Las componentes individuales se relacionan con el armónico fundamental de secuencia positiva, los armónicos de las magnitudes de corrientes de mayor amplitud y los armónicos de secuencia negativa, Ecuación 30.

$$\begin{bmatrix} p[n] \\ q[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha}[n] & v_{\beta}[n] \\ -v_{\beta}[n] & v_{\alpha}[n] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha}[n] \\ i_{\beta}[n] \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\begin{bmatrix} p[n] \\ q[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{p} & + & \tilde{p}[n] \\ \bar{q} & + & \tilde{q}[n] \end{bmatrix} \quad (30)$$

El armónico fundamental de secuencia positiva, relacionado con la potencia activa instantánea, se denota como  $\bar{p}$ . Esta corresponde a la magnitud mínima de corriente RMS, que se requiere para garantizar la potencia activa necesaria para la carga.

$\tilde{p}$  es la componente de la armónica de secuencia negativa, así como, los armónicos de superiores de la corriente de la fuente.

respuesta infinita, bloque 3. Por otro lado, las principales ventajas de las coordenadas a-b es la simplicidad de las ecuaciones que se reflejan en las corrientes compensatorias. Previo a la activación del filtro, la fuente de

corriente transformada en el sistema  $\alpha$ - $\beta$  se expresa mediante la Ecuación 31.

A continuación, se presenta el pseudocódigo del sistema de compensación basado en la teoría PQ.

<b>Algoritmo 1.</b> Sistema de compensación teoría P-Q	
Paso 1	iniciar medición de variables eléctricas Voltajes, corrientes, potencias
Paso 2	calcular potencia instantánea Hacer para todo t $p(t) = V_\alpha(t) \cdot i_\alpha(t) + V_\beta(t) \cdot i_\beta(t)$ $q(t) = V_\alpha(t) \cdot i_\beta(t) - V_\beta(t) \cdot i_\alpha(t)$
Paso 3	Separar componentes y filtrar Hacer para todo t $p_c = -\tilde{p}$ $q_c = -\tilde{q}$
Paso 4	sintonización de los convertidores del sistema $K_p, K_i$ Hacer para todo n $k_p = \frac{n_1 d_1 - n_0 d_2}{d_1^2}$ $k_i = \frac{n_0}{d_1}$
Paso 5	Aplicar la compensación Hacer para todo t $q_c = -\bar{q} - \tilde{q}$
Paso 6	Calcular las corrientes de compensación. Hacer para todo t $i_{ca}, i_{cb}, i_{cc}$
Paso 7	Generar pulsos PWM Hacer para todo t $I_o = I_c - I_{abc}$ Si $I_o \geq 0.02$ Pulso=1 Caso contrario Si $I_o < -0.02$ Pulso=0 Fin si
Paso 8	regresar a paso 1

Así mismo, la fuente de alimentación de tensión asimétrica se representa mediante la Ecuación 32. La corriente de compensación,

bloque 4, se determina mediante la ecuación 33.

$$= \frac{1}{v_\alpha^2[n] + v_\beta^2[n]} \begin{bmatrix} i_\alpha[n] \\ i_\beta[n] \\ v_\alpha[n] & -v_\beta[n] \\ \bar{p} & + \tilde{p}[n] \\ \bar{q} & + \tilde{q}[n] \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$v_\alpha[n]^2 + v_\beta[n]^2 = 3|V_\alpha|^2 \quad (32)$$

$$= \frac{1}{v_\alpha^2[n] + v_\beta^2[n]} \begin{bmatrix} i_\alpha[n] \\ i_\beta[n] \\ v_\alpha[n] & -v_\beta[n] \\ v_\beta[n] & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_k[n] \\ q_k[n] \end{bmatrix} \quad (33)$$

Dependiendo de la compensación que se necesite ejecutar, se elimina la componente  $p_k$  y  $q_k$ .

Por último, las corrientes obtenidas se transforman de un sistema cartesiano a un sistema trifásico natural. Así mismo, por medio de un controlador PI, bloque 5, y el generador de pulsos PWM se controla al inversor.

### 3.2 Sistema de compensación basado en la teoría Cruz

El diagrama de bloques que describe la teoría Cruz consta de una serie de bloques, que se conectan de forma lógica, Figura 4, que se describe a continuación.

El algoritmo de control se ejecuta en base al accionamiento de los IGBT que se genera en el bloque PWM. La cuantificación de los valores instantáneos de corrientes de fase y voltajes de carga se realiza mediante el bloque 1, con las magnitudes obtenidas es posible calcular la potencia instantánea, Ecuación 34. Por otro lado, el valor promedio de la potencia instantánea, potencia activa de la carga, se

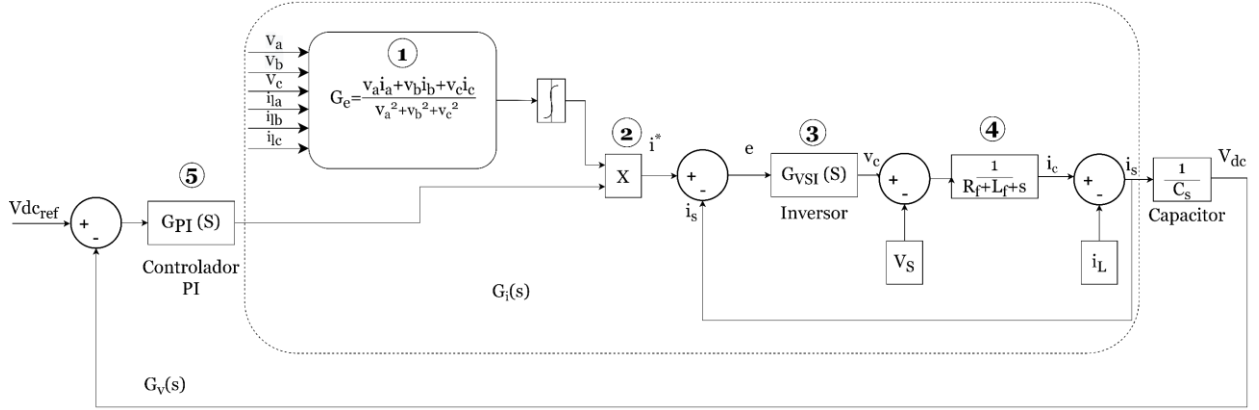


Figura 4. Diagrama de flujo teoría Cruz [autor]

calcula mediante un filtro pasa bajo IR, Ecuación 35. Además, el bloque 2 se usa para calcular los valores promedio de los voltajes instantáneos. Para lo cual, se emplea filtros pasa bajo IR, Ecuación 36 [40].

$$p[n] = i_a[n]v_a[n] + i_b[n]v_b[n] + i_c[n]v_c[n] \quad (34)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt \quad (35)$$

$$\overline{v_x^2[n]} = \overline{v_x[n] \times v_x[n]} \quad (36)$$

$$x = \{a, b, c\}$$

De la misma manera, la conductividad de carga equivalente, Ecuación 37, se determina mediante los valores obtenidos de la potencia activa, así como los valores medidos de las tensiones de fase al cuadrado. Luego, en el bloque 3 se calculan las magnitudes de muestra de las corrientes activas, Ecuación 38.

$$G_e[n] = \frac{P[n]}{\overline{v_a^2[n]} + \overline{v_b^2[n]} + \overline{v_c^2[n]}} \quad (37)$$

$$i_x^a[n] = G_e[n]v_x[n] \quad (38)$$

$$x = \{a, b, c\}$$

En la teoría Cruz, la corriente activa corresponde al valor mínimo RMS de corriente, esta garantiza la potencia activa que requiere la carga. Por lo que, la corriente de compensación del FAP se obtiene mediante el bloque 4, Ecuación 39.

$$i_{fx}[n] = i_x[n] - i_x^a[n] \quad (39)$$

$$x = \{a, b, c\}$$

Por último, los valores obtenidos se transfieren a la entrada del controlador PI. Este emplea un lazo de control abierto, para lo cual, un voltaje de referencia se resta del voltaje del capacitor y luego se aplica el control PI, Ecuaciones 40-41 y bloque 5, con el fin de mejorar el error en estado estable del sistema. Así mismo, la salida controlada se conecta al bloque que genera la señal PWM.

$$k_p = \frac{n_1 d_1 - n_0 d_2}{d_1^2} \quad (40)$$

$$k_i = \frac{n_0}{d_1} \quad (41)$$

A continuación, se presenta el pseudocódigo del sistema de compensación basado en la teoría Cruz.

**Algoritmo 2.** Sistema de compensación-teoría Cruz

- Paso 1** iniciar medición de variables eléctricas  
Voltajes, corrientes, potencias
- Paso 2** calcular potencia instantánea  
**Hacer para todo n**  
$$p[n] = i_a[n]v_a[n] + i_b[n]v_b[n] + i_c[n]v_c[n]$$
- Paso 3** aplicar filtro pasa bajo  
**Hacer para todo n**  
$$v_x^2[n] = v_x[n] \times v_x[n]$$
- Paso 4** sintonización de los convertidores del sistema  $K_p, K_i$   
**Hacer para todo n**  
$$k_p = \frac{n_1 d_1 - n_0 d_2}{d_1^2}$$
  
$$k_i = \frac{n_0}{d_1}$$
- Paso 5** calcular la conductancia  $G_e$   
**Hacer para todo n**  
$$G_e[n] = \frac{P[n]}{v_a^2[n] + v_b^2[n] + v_c^2[n]}$$
- Paso 6** calcular las corrientes de compensación  
**Hacer para todo n**  
$$i_{fx}[n] = i_x[n] - i_x^a[n]$$
- Paso 7** generar pulso PWM  
**Hacer para todo t**  
$$I_o = I_c - I_{abc}$$
  
**Si  $I_o \geq 0.02$**   
Pulso=1  
**Caso contrario**  
**Si  $I_o < -0.02$**   
Pulso=0  
**End if**
- Paso 8** regresar al paso 1

### 3.3 Caso de estudio

El sistema de pruebas IEEE 13 barras de distribución, Figura 5. Este modelo es un circuito pequeño que sirve para comprobar nuevas técnicas de software, debido a que, el sistema posee una gran variedad de dispositivos, incluyendo: líneas aéreas y subterráneas, regulador único de subestaciones, condensadores en derivación, carga desequilibrada y transformadores en

línea. Los parámetros técnicos del sistema se adjunta como anexos [4].

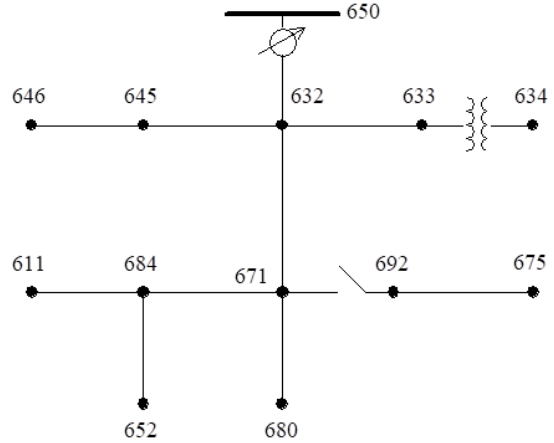


Figura 5. Modelo de prueba IEEE 13 barras-distribución [autor]

Al sistema de prueba de la IEEE de 13 barras se le adiciona una carga no lineal desbalanceada, en el nodo 634. El APF se conecta de forma paralela a la carga como se presenta en la Figura 6.

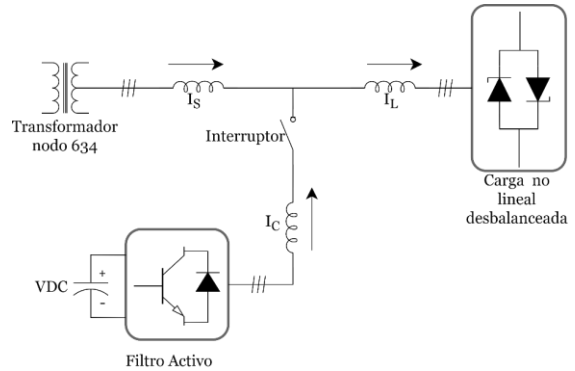


Figura 6. Sistema equivalente de prueba [autor]

El sistema inicialmente funciona con el interruptor abierto del filtro APF. Una vez que se establece el sistema, a los 0.2 segundos el interruptor se cierra y el APF entra en funcionamiento, es decir la corriente  $I_c$  se inyecta al sistema para compensar el THD. La sintonización y dimensionamiento del controlador PI se realiza en función de la respuesta al escalón de lazo cerrado. Además, la Ecuación 42 describe el funcionamiento de este lazo [38]. Además, los parámetros

empleados para ambas metodologías se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de prueba metodologías P-Q y Cruz [autor]

Parámetros del sistema y del filtro	
Vs (L-L)	220 V (RMS)
Carga (R-L)	R= 20, L=10e-3
Carga desbalanceada	R1=150 Ω
	R2=170 Ω
	R3= 190 Ω
Frecuencia	60 Hz
Reactancia de Filtrado	9 mH
Capacitor DC	40 uF
Vdc de referencia	660 V
Parámetro de línea en la carga (R, L)	R=0.01 Ω
	L=1 mH
Constante del Control PI	Kp=0.1
	Ki=1

$$\frac{V_{dc}}{V_{dc_{ref}}} = \frac{\frac{kp * ki}{C}}{s^2 + \frac{kp}{C} * S + \frac{kp * ki}{C}} \quad (42)$$

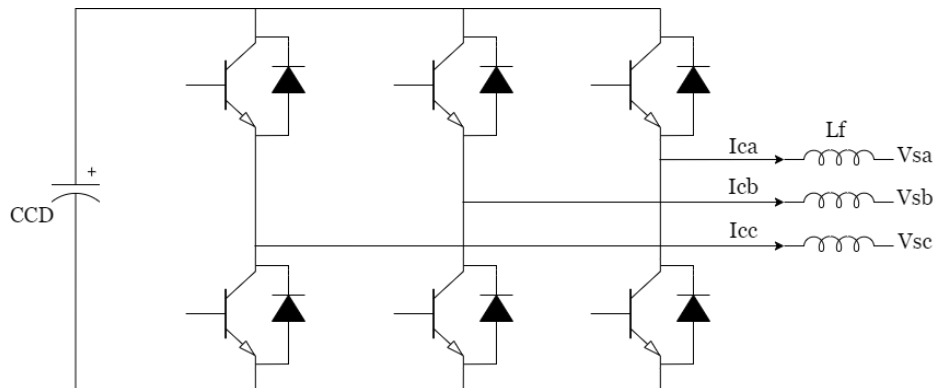


Figura 7. Diagrama electrónico del inversor [autor]

#### 4. Análisis de resultados

Sobre esta perspectiva se realiza un análisis en estado estable y transitorio, para lo cual se considera dos estados, antes y después de la conexión del filtro. Para cada estado se cuantifica las variables de, tensión en la barra de generación, tensión en la barra de carga, corriente en la barra de carga y corriente en la

Donde, el voltaje de corriente continua (CC) se denota como  $V_{dc}$ . Por otro lado,  $V_{dc_{ref}}$  es el voltaje de referencia de CC,  $kp$  es la ganancia proporcional,  $ki$  es la ganancia integral y  $C$  es el capacitor. El valor que adopta  $ki$  y  $kp$  se determina mediante las Ecuaciones 43 y 44 [38].

$$kp = 2 * L * w_n \quad (43)$$

$$ki = \frac{w_n}{2 * L} \quad (44)$$

Donde,  $w_n$  es la frecuencia natural de amortiguación,  $L$  es el factor de amortiguación. Por último, los diagramas de control de los filtros P-Q y Cruz, se presentan en las Figuras 8 y 9 respectivamente. Además, en la Figura 7 se presenta el diagrama electrónico del inversor.

barra de generación, distorsión armónica en la barra de generación, corrientes de referencia en el filtro de potencia, corrientes de referencia en la barra del filtro y potencia en la barra de generación. Estas variables se cuantificarán para los dos métodos de compensación: PQ y Cruz. Las bases que se emplearon para visualizar los resultados en por unidad (pu) son, 5kW y 180VLL

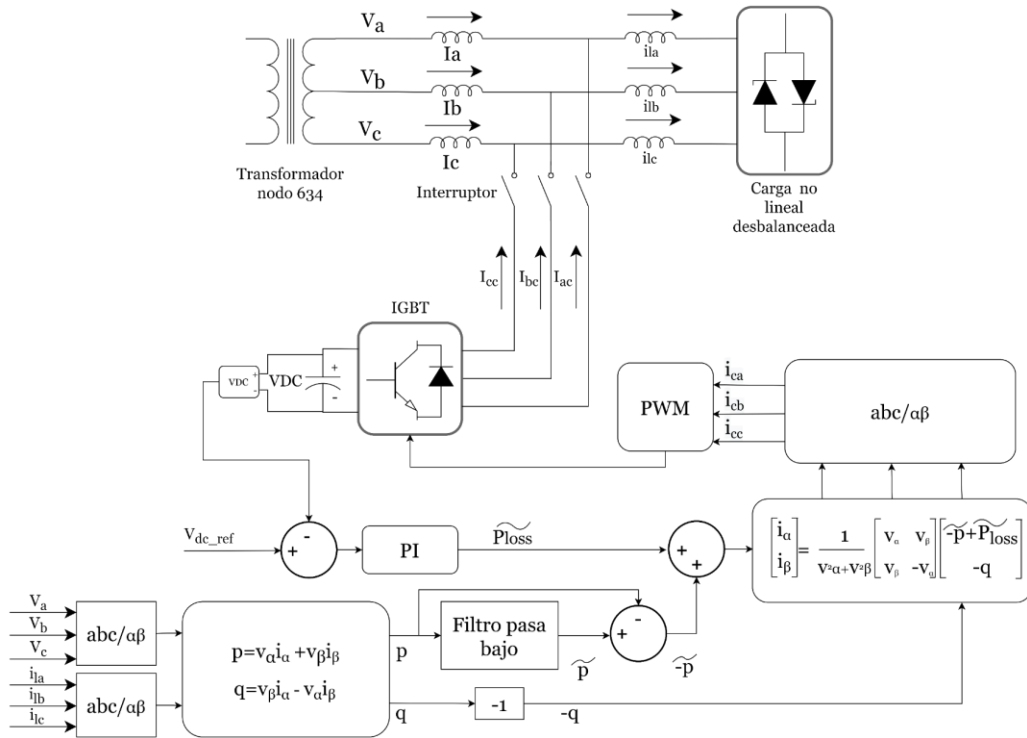


Figura 8. Diagrama de control filtro P-Q [autor]

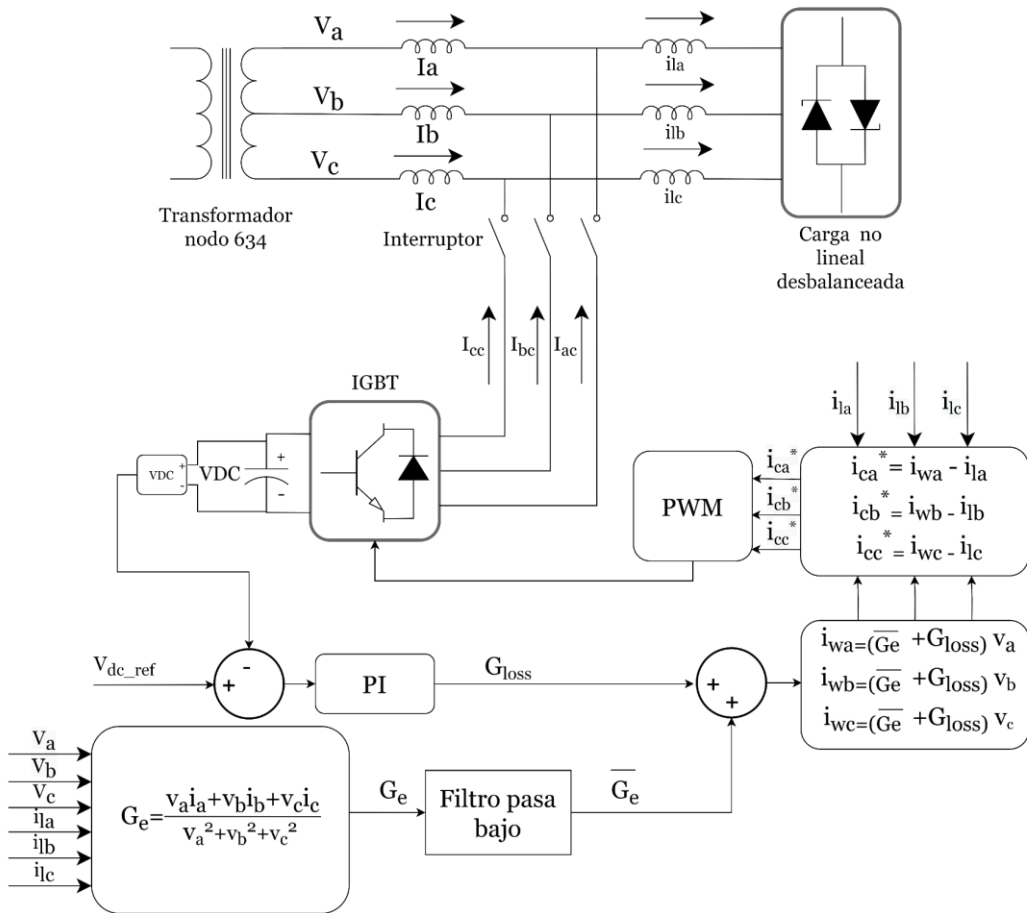


Figura 9. Diagrama de control filtro Cruz [autor]

#### 4.1 Resultados método de compensación P-Q

El voltaje de generación posee una amplitud de 1 en pu, Figura 10, sin ninguna distorsión. Por otro lado, en la Figura 11 se presenta la corriente en la barra del generador. En el lapso de 0 a 0.2 segundos se observa que, la corriente distorsionada, posee una amplitud de 0.55 pu, sin embargo, a partir de los 0.2 segundos el FAP empieza la inyección de potencia, esto produce un pico en la onda de las corrientes de cada fase. Las fases A y C adoptan una magnitud de 0.95 pu, mientras que, la fase B un valor de 1.2 pu. La magnitud de pico dura 10 microsegundos, posterior a este tiempo se observa que la onda de corriente de las tres fases se asemeja a una onda sinusoidal casi perfecta, esta posee una amplitud de 0.6 pu.

En la Figura 12 se observa el comportamiento del THD en las tres fases, antes y posterior a la compensación. Las tres fases poseen un 26.22% de distorsión armónica, antes de la compensación. Sin embargo, cuando se activa el FAP, a los 0.2 segundos, se observa que existe un tiempo de transición de 0.06 segundos, para que, el THD se reduzca a 0.65% en las tres fases. Así mismo, la fase A reduce su amplitud de forma gradual, mientras que las Fases B y C se reducen de forma brusca a los 0.215 segundos.

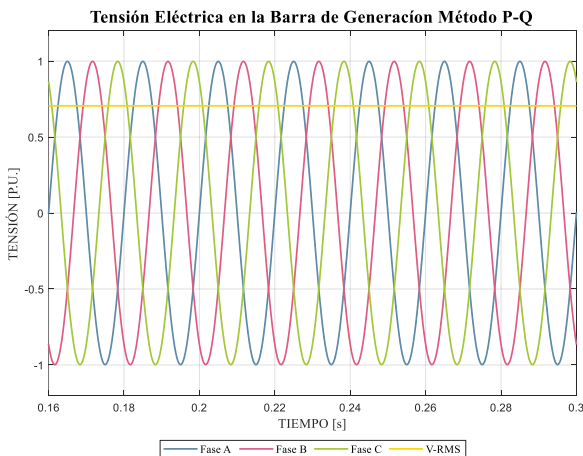


Figura 10. Voltaje en la barra de generación, teoría PQ [autor]

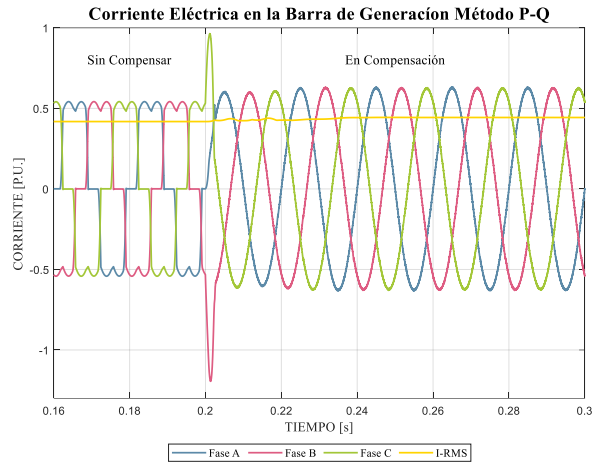


Figura 11. Corriente en la barra de generación, teoría PQ [autor]

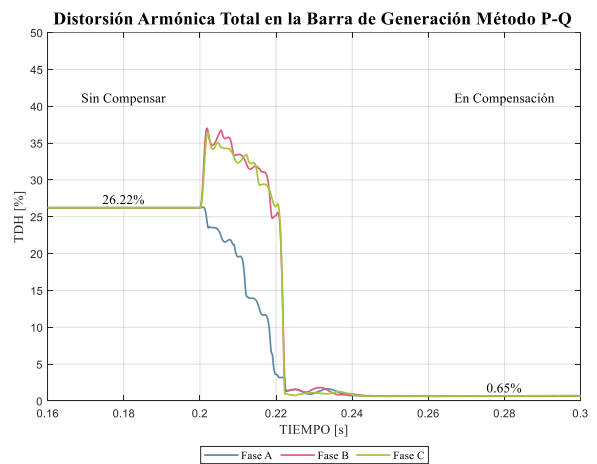


Figura 12. THD total, teoría PQ [autor]

En la Figura 13 se observa la corriente de referencia en la barra del filtro, es evidente que, en el lapso de 0 a 0.2 segundos no existe una corriente de compensación, debido a que, el filtro se encuentra desconectado. Sin embargo, cuando se activa el filtro, a los 0.2 segundos, la corriente de compensación adopta una amplitud de 0.3 pu para las tres fases. Esta corriente influye en la generación de pulsos PWM, que controlan la puerta del inversor, y hace posible la compensación del THD en las tres fases.

En la Figura 14 se observa el comportamiento de la potencia. Antes de la compensación, la potencia activa, reactiva y aparente poseen valores de 4244.76 W, 1256.44 VAR y



4426.81 VA, no obstante, a los 0.2 segundos se activa el APF y se produce un cambio significativo, pues la potencia activa, reactiva y aparente cambian sus valores a 4677.77 W, 30.97 VAR y 4677.77 VA respectivamente. El período de transición de las potencias ocurre en el lapso de 0.2 a 0.23 segundos. Es evidente que la potencia reactiva disminuye y por consecuencia la potencia activa se iguala a la potencia aparente, esto se debe a que el APF elimina la componente reactiva de la red.

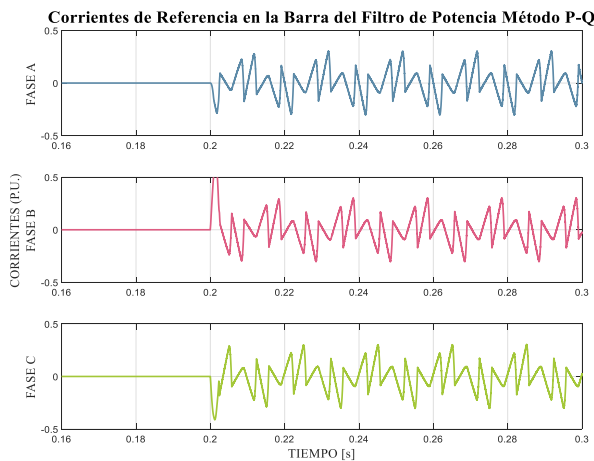


Figura 13. Corriente de referencia barra del filtro, teoría PQ [autor]

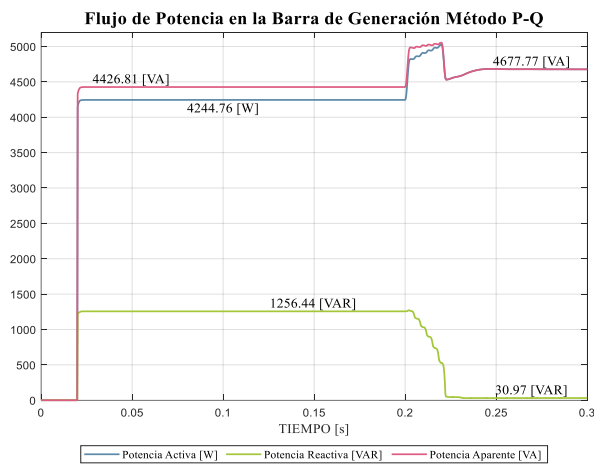


Figura 14. Flujo de potencia generación, teoría PQ [autor]

En la Figura 15 se observa la corriente eléctrica en la barra de carga. En el lapso de 0 a 0.2 segundos, las formas de onda de corrientes de las fases A, B y C, poseen distorsión y una amplitud de 0.55 pu. Sin

embargo, a partir de la activación del filtro a los 0.2 segundos, la distorsión se mantiene y la amplitud aumenta a 0.59 pu. Esto se debe a la inyección de corriente que representa el filtro a partir de los 0.2 segundos.

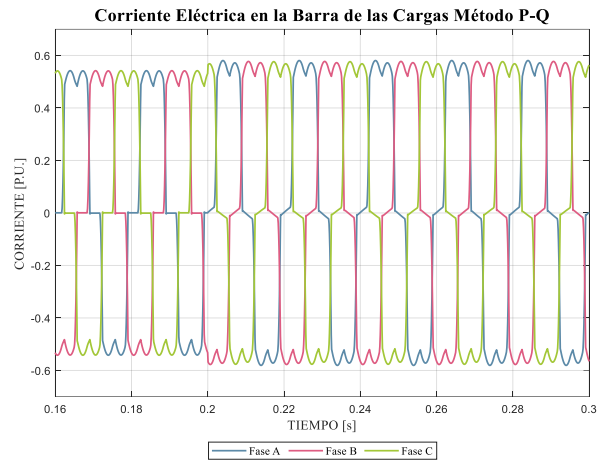


Figura 15. Corrientes de carga, teoría PQ [autor]

Por último, en la Figura 16 se observa las tensiones de las fases A, B y C, en la barra de la carga. Estas no contienen distorsión de ningún tipo y poseen una amplitud de 1 pu. La forma de onda de voltaje no sufre distorsión debido a la naturaleza de la carga, pues no se está empleando ninguna carga de tipo capacitivo.

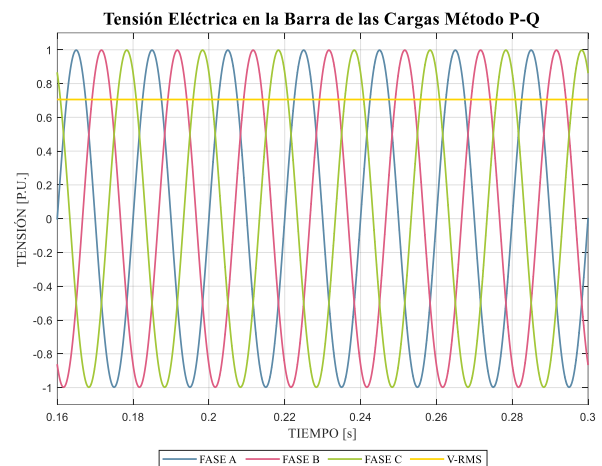


Figura 16. Tensión de carga, teoría PQ [autor]

## 4.2 Resultados método de compensación Cruz

El voltaje de generación posee una amplitud de 1 en pu, Figura 17, sin ninguna distorsión. Por otro lado, en la Figura 18 se presenta la corriente en la barra del generador. En el lapso de 0 a 0.2 segundos se observa que, la corriente distorsionada, posee una amplitud de 0.55 pu, sin embargo, a partir de los 0.2 segundos el FAP empieza la inyección de potencia, esto produce un pico en la onda de las corrientes de cada fase. La fase A incrementa ligeramente su amplitud a 0.6 pu, mientras que las fases B y C adoptan una magnitud de 1.4 pu y 1.5 pu, respectivamente. La magnitud de pico dura 10 microsegundos, posterior a este tiempo se observa que la onda de corriente de las tres fases se asemeja a una onda sinusoidal casi perfecta, esta posee una amplitud de 0.6pu.

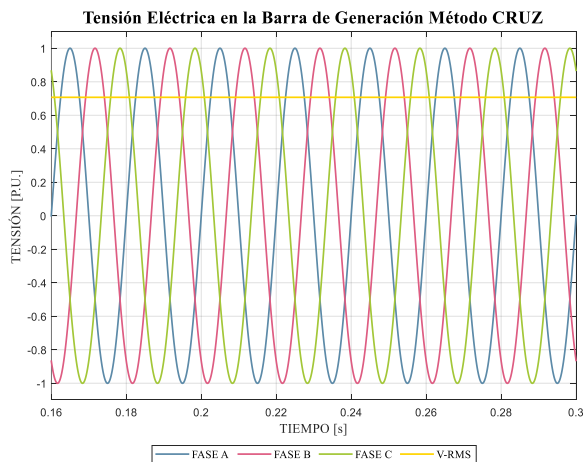


Figura 17. Voltaje en la barra de generación, teoría Cruz [autor]

En la Figura 19 se observa el comportamiento del THD en las tres fases, antes y posterior a la compensación. Las fases A, B y C, poseen un 26.22% de distorsión armónica, antes de la compensación. Sin embargo, cuando se activa el FAP, a los 0.2 segundos, se observa que existe un tiempo de transición de 0.06 segundos, para que, el THD se reduzca a 1.03% en las tres fases. Así mismo, la fase A reduce su amplitud de forma gradual, mientras que las Fases B y C se reducen de forma

brusca a los 0.22 segundos, sobrepasando el 1 pu.

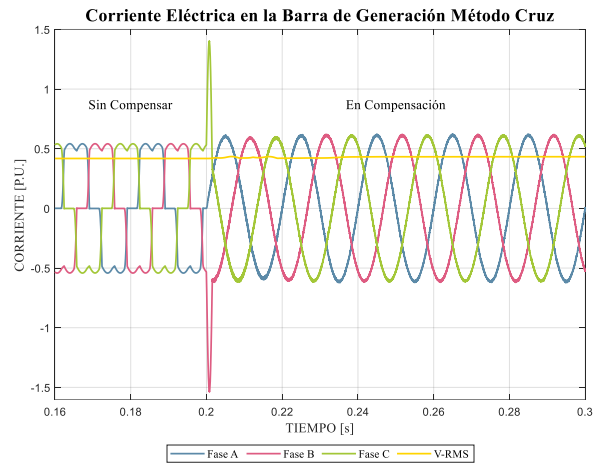


Figura 18. Corriente en la barra de generación, teoría Cruz [autor]

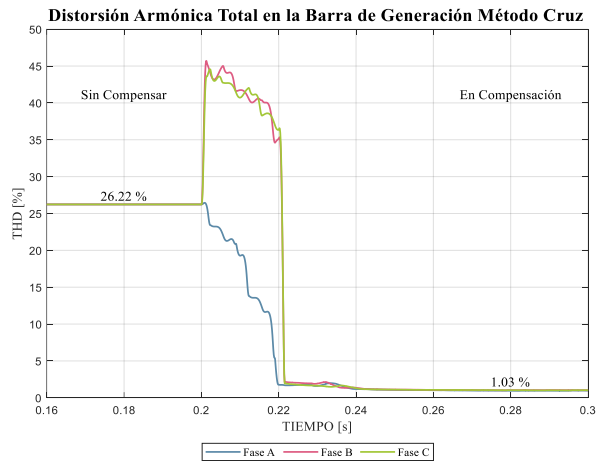


Figura 19. THD total, teoría Cruz [autor]

En la Figura 20 se observa la corriente de referencia en la barra del filtro, es evidente que, en el lapso de 0 a 0.2 segundos no existe una corriente de compensación, debido a que, el filtro se encuentra desconectado. Sin embargo, cuando se activa el filtro, a los 0.2 segundos, la corriente de compensación adopta una amplitud de 0.3 pu para las tres fases. Esta corriente influye en la generación de pulsos PWM, que controlan la puerta del inversor, y hace posible la compensación del THD en las tres fases.

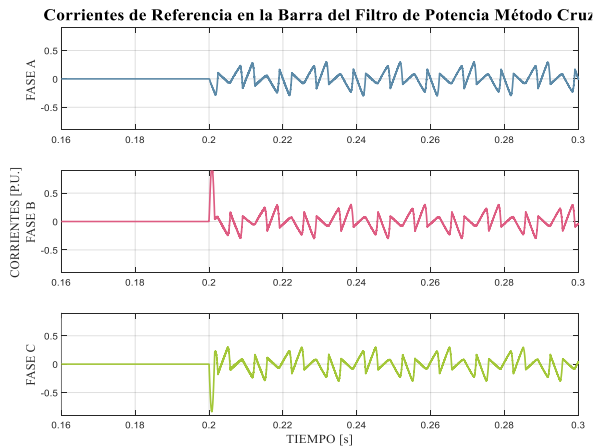


Figura 20. Corriente de referencia barra del filtro, teoría Cruz [autor]

En la Figura 21 se observa el comportamiento de la potencia. Antes de la compensación, la potencia activa, reactiva y aparente poseen valores de 4244.76 W, 1256.44 VAR y 4426.81 VA, no obstante, a los 0.2 segundos se activa el APF y se produce un cambio significativo, pues la potencia activa, reactiva y aparente cambian sus valores a 4563.69 W, 40.86 VAR y 4563.69 VA. El período de transición de las potencias ocurre en el lapso de 0.2 a 0.25 segundos. Es evidente que la potencia reactiva disminuye y por consecuencia la potencia activa se iguala a la potencia aparente, esto se debe a que el APF elimina la componente reactiva de la red.

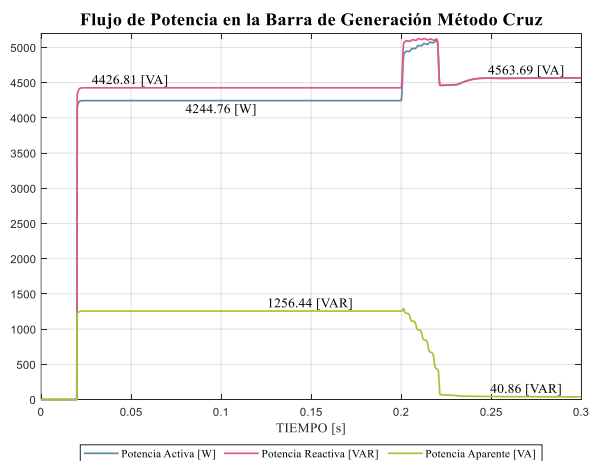


Figura 21. Flujo de potencia generación, teoría Cruz [autor]

En la Figura 22 se observa la corriente eléctrica en la barra de carga. En el lapso de 0 a 0.2 segundos, las formas de onda de corrientes de las fases A, B y C, poseen distorsión y una amplitud de 0.55 pu. Sin embargo, a partir de la activación del filtro a los 0.2 segundos, la distorsión se mantiene y la amplitud aumenta a 0.59 pu. Esto se debe a la inyección de corriente que representa el filtro a partir de los 0.2 segundos.

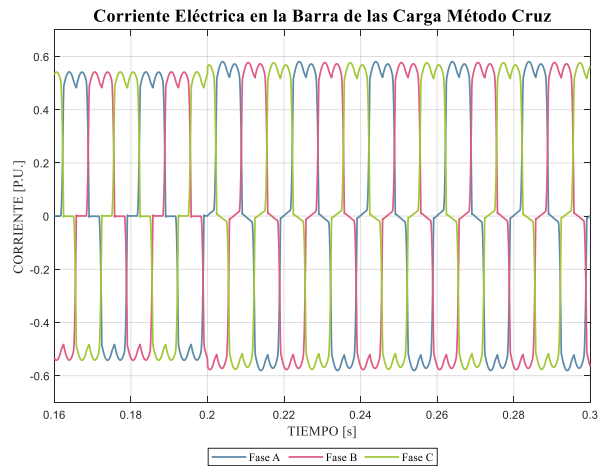


Figura 22. Corrientes de carga, teoría Cruz [autor]

Por último, en la Figura 23 se observa las tensiones de las fases A, B y C, en la barra de la carga. Estas no contienen distorsión de ningún tipo y poseen una amplitud de 1 pu. La forma de onda de voltaje no sufre distorsión debido a la naturaleza de la carga, pues no se está empleando ninguna carga de tipo capacitivo.

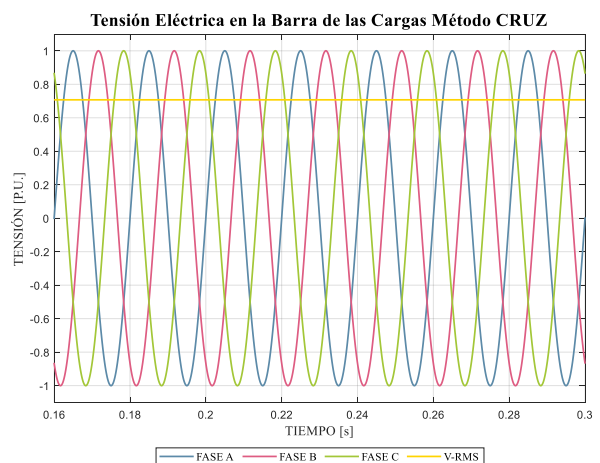


Figura 23. Tensión de carga, teoría Cruz [autor]

Ahora se procede a comparar los resultados obtenidos del THD de las metodologías PQ y Cruz, para lo cual se realiza un promedio de los valores obtenidos por cada fase y se presentan en la Figura 24.

Se pudo constatar que la metodología de compensación que reduce en mayor medida el porcentaje armónico es la teoría PQ, puesto que el THD se reduce de 26.22% a 0.65%, por el contrario, la técnica Cruz reduce el THD de 26.22% a 1.03%.

En la Tabla 2 se presenta una comparación de los voltajes, corrientes, THD y potencias, obtenidos en las pruebas realizadas en la barra de generación.

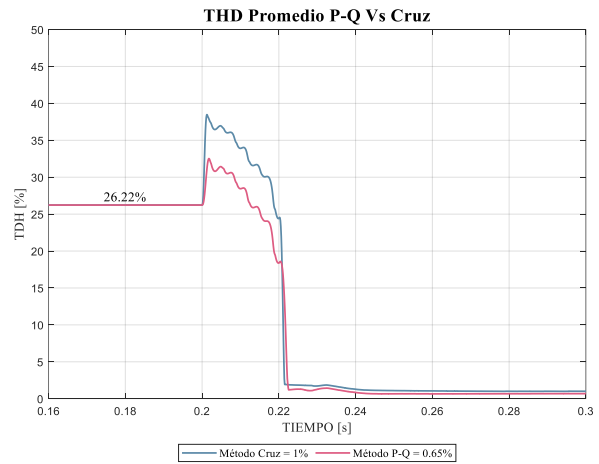


Figura 24. Comparación de THD metodologías PQ y Cruz [autor]

Tabla 2. Comparación de metodologías P-Q y Cruz [autor]

Antes de la compensación							
Método de control	Voltaje (pu)	Corriente (pu)	THD (%)	Potencia			Tiempo de transición Segundos
				Activa (W)	Reactiva (VAR)	Aparente (VA)	
P-Q	1	0.55	26.22	4244.76	1256.44	4426.81	0.2
Cruz	1	0.55	26.22	4244.76	1256.44	4426.81	0.2
Después de la compensación							
Método de control	Voltaje (pu)	Corriente (pu)	THD (%)	Potencia			Tiempo de transición Segundos
				Activa (W)	Reactiva (VAR)	Aparente (VA)	
P-Q	1	0.6	0.65	4677.77	30.97	4677.77	0.2
Cruz	1	0.6	1.03	4563.69	40.86	4563.69	0.2

Según los resultados obtenidos y descritos en la Tabla 2, se evidencia que el voltaje obtenido tanto en la metodología P-Q como en la Cruz no varían, pues se mantienen con un valor de 1 pu, antes y posterior a la compensación.

Por otro lado, el THD antes de la compensación es de 26.22%, no obstante, posterior a la compensación, el THD, empleando el método Cruz, se reduce a 1.03%, mientras que, para el método P-Q se reduce a 0.65%.

La reducción del THD se relaciona de forma directa con la potencia reactiva, en este sentido, antes de la compensación, el sistema posee una potencia activa, reactiva y aparente

de 4244.76 W, 1256.44 VAR y 4426.81, respectivamente. Por el contrario, posterior a la compensación se constata que en ambos métodos la potencia activa se iguala a la potencia aparente, sin embargo, la potencia reactiva, para el método Cruz, es de 40.86, mientras que para el P-Q es de 30.97.

Por lo tanto, es evidente que el método P-Q es superior al Cruz, debido a que reduce 40 veces la potencia reactiva, mientras que el método Cruz solo 30 veces. Además, esto se ve reflejado en un valor inferior de THD del método PQ a comparación del Cruz.

Así mismo, en términos de THD, el método P-Q reduce en un 25.57%, mientras que el Cruz un 25.19 %.

## 5. Conclusiones

La teoría P-Q se basa en el cálculo de la potencia activa y reactiva instantánea, estas se descomponen en componentes AC y DC mediante filtros. La componente DC es la más importante, debido a que, esta se convierte en la corriente de compensación para eliminar el THD. En otras palabras, la metodología P-Q elimina la componente DC reactiva que produce la conexión de una carga no lineal desbalanceada.

En el diseño del filtro P-Q es esencial determinar elementos como reactancia de filtrado, voltaje DC de referencia, valor del capacitor y las constantes del controlador PI. Estos son exclusivos para cada sistema, es decir que, los parámetros mencionados se deben recalcular para un sistema con nuevas características en cuanto a voltaje y carga se refiere. En el caso de que no se determinen nuevos parámetros se produce una variación en la potencia instantánea del circuito, esto provoca una compensación deficiente e inclusive distorsiona aún más la onda de corriente.

Por otra parte, una sintonización adecuada del controlador PI permite reducir el error en estado estable del sistema, que se produce por el accionamiento de los dispositivos IGBT. Por el contrario, cuando las constantes  $k_i$  y  $k_p$  se eligen de forma incorrecta el error en estado estable no se reduce, esto produce una ligera variación en las corrientes de compensación.

Por otro lado, la metodología Cruz se basa en la conductividad de carga equivalente a partir de la potencia instantánea. Esta se emplea para obtener corrientes de muestra, las cuales sirven para calcular las corrientes de compensación.

Al igual que la metodología PQ, el método Cruz requiere el cálculo de algunos dispositivos como: reactancia de filtrado, voltaje DC de referencia, valor del capacitor y las constantes del controlador PI. Así mismo estos deben ser recalculados para cada sistema.

Al comparar el rendimiento de ambas metodologías se pudo comprobar que la teoría P-Q reduce el THD en un 25.57%, mientras que la teoría Cruz un 25.19%. En cuanto a los voltajes se constató que en ambas metodologías no existe distorsión armónica. En el tiempo de transición a partir de la activación del APF, existe una corriente pico en las tres fases, que dura un lapso corto. Posterior a la activación del APF, la onda de corriente se asemeja mucho a una sinusoidal perfecta.

Por otro lado, los voltajes de la carga se mantienen en cuanto a amplitud, mientras que, la corriente se mantiene con distorsión y su amplitud aumenta ligeramente a causa de las corrientes de compensación del APF. Por lo anterior, se concluye que la mejor metodología es la P-Q, seguida de la Cruz.

## 6. Trabajos Futuros

Existen un amplio y creciente interés en la evaluación de armónicos en diferentes escenarios, por lo que los experimentos que se llevaron a cabo en esta investigación han arrojado algunos hallazgos interesantes e inusuales que se necesitan investigar a profundidad como el hecho de que en el método Cruz la compensación ocurre en un lapso después que se activa el FAP, así mismo la elevación inusual de la corriente que presenta dicho método. Para lo cual, se propone una investigación para el desarrollo de una simulación para los controladores PI y Cruz con el fin de contribuir a una mejor respuesta de los FAP aplicando las diferentes metodologías de compensación.

## 7. Referencias

- [1] B. Ruggero and M. Sánchez, "Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución," *Revista Científica de la UCSA*, vol. 1, no. 1, pp. 33–51, 2014.
- [2] S. Seifossadat, R. Kianinezhad, A. Ghasemi, and M. Monadi, "Quality improvement of shunt active power

- filter, using optimized tuned harmonic passive filters,” *SPEEDAM 2008 - Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion*, pp. 1388–1393, 2008, doi: 10.1109/SPEEDHAM.2008.4581063 .
- [3] S. T. Jafrodi, M. Ghanbari, M. Mahmoudian, A. Najafi, E. M. G. Rodrigues, and E. Pouresmaeil, “A novel control strategy to active power filter with load voltage support considering current harmonic compensation,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 5, 2020, doi: 10.3390/app10051664.
- [4] M. Bajaj, A. Flah, M. Alowaidi, N. K. Sharma, S. Mishra, and S. K. Sharma, “A Lyapunov-Function Based Controller for 3-Phase Shunt Active Power Filter and Performance Assessment Considering Different System Scenarios,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 66079–66102, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075274.
- [5] W. Pavon, E. Inga, and S. Simani, “Optimal distribution network planning applying heuristic algorithms considering allocation of PV rooftop generation,” *2020 Ieee Andescon, Andescon 2020*, 2020, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272062.
- [6] J. D. Arcila, “Armónicos En Sistemas Eléctricos,” *Armónicos En Sistemas Eléctricos*. pp. 1–26, 2016, [Online]. Available: <http://www.ieb.com.co>.
- [7] Y. kadi, fatimazahra baghli, and yassine lakhall, “Harmonic Pollution Compensation by Connected Photovoltaic Systems Using the Instantaneous Power Method,” *Int. J. Adv. Res.*, vol. 6, no. 11, pp. 526–537, 2018, doi: 10.21474/ijar01/8027.
- [8] J. S. Malhotra, M. Kumar, and A. K. Sharma, “Low cost solution to high capacity  $32 \times 32$  channel FTTH duplex link employing triple play services,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 125, no. 1, pp. 93–96, 2014, doi: 10.1016/j.ijleo.2013.06.030.
- [9] J. Ruiz and O. Francisco, “Metodologías para identificar fuentes armónicas en sistemas eléctricos,” Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.
- [10] J. James, A. Escobar, and A. Gómez, “Estudio comparativo de cinco estrategias de compensación de armónicos en filtros activos de potencia,” *Tecnura*, vol. 21, no. 52, pp. 15–31, 2017, doi: 10.14483/udis-trital.jour.tecnura.2017.2.a01.
- [11] D. L. Morales, “Diseño y simulación de un filtro activo de potencia para la eliminación de armónicos,” *In Vestigium Ire*, vol. 3, no. 1, 2010.
- [12] A. Gutierrez and L. Torres, “Análisis de métodos de compensación de armónicos con filtros activos,” Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2007.
- [13] F. Clavijo and A. Águila, “Análisis de factibilidad para la compensación de reactivo en función del mínimo de pérdidas en redes de distribución,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2015.
- [14] D. P. Suthar, S. N. Pandya, and R. P. Keshawala, “Comparison of different control strategies for shunt active power filter,” *2018 IEEMA Eng. Infin. Conf. eTechNxT 2018*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ETECHNXT.2018.8385309 .
- [15] M. Montufar, W. Pavón, M. Jaramillo, and S. Simani, “Control Strategy Applied to Smart Photovoltaic Inverters for Reactive Power Exchange through Volt-Var Control to Improve Voltage Quality in Electrical Distribution Networks,” 2021, doi: 10.1007/978-981-16-

- 4126-8.
- [16] J. A. Sejpal and M. H. Ayalani, "Comparison of 3-Phase 3-Wire Shunt Active Power Filters through Current Control Topologies," *Proc. 2018 Int. Conf. Curr. Trends Toward Converging Technol. ICCTCT 2018*, pp. 4–9, 2018, doi: 10.1109/ICCTCT.2018.8550958.
- [17] A. M. A. Soliman, S. K. El-Sayed, and M. A. Mehanna, "Effect of Utility Voltage Distortion on the Performance of Different Control Strategies for Shunt Active Power Filter," *Eur. J. Eng. Res. Sci.*, vol. 2, no. 8, p. 27, 2017, doi: 10.24018/ejers.2017.2.8.445.
- [18] K. R. Chaudhari and T. A. Trivedi, "Analysis on control strategy of Shunt Active Power Filter for three-phase three-wire system," *2014 IEEE PES Transm. Distrib. Conf. Expo. PES T D-LA 2014 - Conf. Proc.*, vol. 2014-Octob, pp. 0–5, 2014, doi: 10.1109/TDC-LA.2014.6955179.
- [19] M. Y. Lada, I. Bugis, and M. H. N. Talib, "Simulation a shunt active power filter using MATLAB/Simulink," *PEOCO 2010 - 4th Int. Power Eng. Optim. Conf. Progr. Abstr.*, no. June, pp. 371–375, 2010, doi: 10.1109/PEOCO.2010.5559218.
- [20] D. Shuhua and Z. Yanyu, "Shunt active power filter control," *J. Adv. Oxid. Technol.*, vol. 21, no. 2, 2018, doi: 10.26802/jaots.2018.02121.
- [21] M. Y. Artemenko, L. M. Batrak, and S. Y. Polishchuk, "Current Filtering in Three-Phase Three-Wire Power System at Asymmetric Sinusoidal Voltages," *2018 IEEE 38th Int. Conf. Electron. Nanotechnology, ELNANO 2018 - Proc.*, pp. 611–616, 2018, doi: 10.1109/ELNANO.2018.8477580.
- [22] L. Alhafadhi, C. M. Lai, J. Teh, and M. Salem, "Predictive adaptive filter for reducing total harmonics distortion in PV systems," *Energies*, vol. 13, no. 12, 2020, doi: 10.3390/en13123286.
- [23] A. Baliyan, M. Jamil, M. Rizwan, I. Alsaidan, and M. Alaraj, "An Intelligent PI Controller-Based Hybrid Series Active Power Filter for Power Quality Improvement," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6565841.
- [24] D. Buła, D. Grabowski, M. Lewandowski, M. Maciażek, and A. Piwowar, "Software solution for modeling, sizing, and allocation of active power filters in distribution networks," *Energies*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.3390/en14010133.
- [25] G. Xue *et al.*, "A novel hybrid active power filter with multi-coupled coils," *Electron.*, vol. 10, no. 9, 2021, doi: 10.3390/electronics10090998.
- [26] M. Diab, M. El-Habrouk, T. H. Abdelhamid, and S. Deghedie, "Survey of Active Power Filters Configurations," *2018 IEEE Int. Conf. Syst. Comput. Autom. Networking, ICSCA 2018*, pp. 1–14, 2018, doi: 10.1109/ICSCAN.2018.8541225.
- [27] R. Rajagopal, K. Palanisamy, and S. Paramasivam, "A technical review on control strategies for active power filters," *2018 Int. Conf. Emerg. Trends Innov. Eng. Technol. Res. ICETIETR 2018*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICETIETR.2018.8529008.
- [28] A. Bielecka and D. Wojciechowski, "Stability analysis of shunt active power filter with predictive closed-loop control of supply current," *Energies*, vol. 14, no. 8, pp. 24–26, 2021, doi: 10.3390/en14082208.
- [29] E. Sundaram, M. Gunasekaran, R. Krishnan, S. Padmanaban, S. Chenniappan, and A. H. Ertas, "Genetic algorithm based reference

- current control extraction based shunt active power filter,” *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 31, no. 1, pp. 1–22, 2021, doi: 10.1002/2050-7038.12623.
- [30] S. Kosiorowski and A. Stobiecki, “Reduction of Total Harmonic Distortion and Effective Source Current in Circuits with Nonsinusoidal Waveforms,” *2019 15th Sel. Issues Electr. Eng. Electron. WZEE 2019*, no. 2, 2019, doi: 10.1109/WZEE48932.2019.8979702.
- [31] O. Manari and M. Zazi, “Comparison of a PQ Theory Based Method and a Fuzzy Logic based Method in Harmonic Compensation,” *Proc. 2017 Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2017*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/IRSEC.2017.8477427.
- [32] R. Martinek *et al.*, “Design of a measuring system for electricity quality monitoring within the smart street lighting test polygon: Pilot study on adaptive current control strategy for three-phase shunt active power filters,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 6, pp. 1–31, 2020, doi: 10.3390/s20061718.
- [33] S. Vargas and W. Pavón, “Óptimo Dimensionamiento Y Ubicación De Generación Fotovoltaica En Una Microred Georeferenciada Utilizando Generación De Columnas,” *Rev. Técnica “energía,”* vol. 17, no. 1, pp. 71–79, 2020, doi: 10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.393.
- [34] L. V. Assiene Mouodo, J. G. Tamba, O. S. Mayi, and L. Bibaya, “H-Infinity Control of an Adaptive Hybrid Active Power Filter for Power Quality Compensation,” *Energy Power Eng.*, vol. 12, no. 11, pp. 603–640, 2020, doi: 10.4236/epe.2020.1211037.
- [35] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, “Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-20, no. 3, pp. 625–630, 1984, doi: 10.1109/TIA.1984.4504460.
- [36] V. Jones and J. C. Balda, “Correcting current imbalances in three-phase four-wire distribution systems,” *Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC*, vol. 2016-May, pp. 1387–1391, 2016, doi: 10.1109/APEC.2016.7468049.
- [37] V. Parimala, D. Ganeshkumar, and B. H. A, “Harmonic Reduction Using Shunt Active Power Filter With Pi Controller,” vol. 2, no. 4, pp. 85–90, 2014, doi: 10.15662/IJAREEIE.2016.0506053.
- [38] A. A. Imam, R. Sreerama Kumar, and Y. A. Al-Turki, “Modeling and simulation of a pi controlled shunt active power filter for power quality enhancement based on p-q theory,” *Electron.*, vol. 9, no. 4, 2020, doi: 10.3390/electronics9040637.
- [39] D. Gottlieb, C. W. Shu, A. Solomonoff, and H. Vandeven, “On the Gibbs phenomenon I: recovering exponential accuracy from the Fourier partial sum of a nonperiodic analytic function,” *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 43, no. 1–2, pp. 81–98, 1992, doi: 10.1016/0377-0427(92)90260-5.
- [40] G. Benysek and M. Pasko, *Power Theories for Improved Power Quality*, vol. 1. 2012.
- [41] R. Bahrekazemi, “Assessment of Different Compensation Strategies in Hybrid Active Power Filters,” vol. 2, no. 3, pp. 34–39, 2013.
- [42] J. Asumadu, M. Atashbar, and C. Cho, “Total Harmonic Distortion Reduction Using Adaptive, Weiner



and Kalman Filters,” Western Michigan University, Michigan, 2016.

## 8. Matriz de estado del arte

Tabla 3. Matriz de estado del arte [autor]

ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN																															
ITEM	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA						PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA						SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoria PQ	Teoria Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía	Identificación de armónicos
1	2008	Quality improvement of shunt active power filter, using optimized tuned harmonic passive filters	41	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2010	Armónicos en sistemas eléctricos	26	<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 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 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"/>
3	2007	Metodologías para identificar fuentes armónicas en sistemas eléctricos	2	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	2015	Tecnura	3	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2010	Diseño Y Simulación De Un Filtro Activo De Potencia Para La Eliminación De Armónicos	0	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN

ITEM	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA							
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía	Identificación de armónicos	
6	2012	Los Armónicos y la Calidad de la Energía Eléctrica	3	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
7	2015	Procedimientos para el Estudio y Análisis de Perturbaciones Armónicas	0	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒
8	2017	Power quality improvement using hybrid passive filter configuration for wind energy systems	26	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐
9	2020	Control of Power Electronic Converters in AC Microgrid	8	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
10	2016	Active / passive harmonic filters: Applications, challenges & trends	55	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒
11	2019	Digital Active Power Filter Controller Design for Current Harmonics in Power System	12	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN

ITEM	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía	Identificación de armónicos
12	2007	Analisis de metodos de compensacion de armonicos con filtros activos	2	<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 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 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"/>
13	2010	Simulation a shunt active power filter using MATLAB/Simulink	38	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	2004	Shunt active power filter control	147	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	2018	Current Filtering in Three-Phase Three-Wire Power System at Asymmetric Sinusoidal Voltages	0	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	2018	Comparison of different control strategies for shunt active power filter	3	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	2012	Power Theories for Improved Power Quality	81	<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 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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	2013	Assessment of Different Compensation Strategies in Hybrid Active Power Filters	2	<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 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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	2017	Total harmonics distortion reduction using adaptive, Wiener, and Kalman filters	13	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN

ITEM	DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía	Identificación de armónicos
20	2021	A Lyapunov-Function Based Shunt Active Power Filter and Performance Assessment Considering Different System Scenarios	0	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	2020	A novel control strategy to active power filter with load voltage support considering current harmonic compensation	2	<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 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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	2020	Design of a measuring system for electricity quality monitoring within the smart street lighting test polygon: Pilot study on adaptive current control strategy for three-phase shunt active power filters	7	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	
23	2020	H-Infinity Control of an Adaptive Hybrid Active Power Filter for Power Quality Compensation	0	<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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN**

ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía	Identificación de armónicos	
24	2016	Correcting current imbalances in three-phase four-wire distribution systems	5	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	2014	Harmonic Reduction Using Shunt Active Power Filter With PI Controller	6	<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 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 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"/>
26	2015	Análisis de factibilidad para la compensación de reactivo en función del mínimo de pérdidas en redes de distribución	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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	2014	Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos	11	<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 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"/>	<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 type="checkbox"/>	
28	2014	Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en niveles de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora 1 de Holcim Ecuador planta Guayaquil	5	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN

ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA							
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía	Identificación de armónicos
29	2014	Incidenias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución	5	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
30	2015	Modelación del THD en los sistemas de alimentación residencial	0	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐
31	2017	Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos	12	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐
32	2013	Harmonic mitigation techniques applied to power distribution networks	61	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐
33	2019	THD reduction using shunt active power filter: A real case study	0	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐
34	2021	An Intelligent PI Controller-Based Hybrid Series Active Power Filter for Power Quality Improvement	0	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐
35	2021	Software solution for modeling, sizing, and allocation of active power filters in distribution networks	3	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐

ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN

ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA					
				Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía
36	202	Predictive adaptive filter for reducing total harmonics distortion in PV systems	3	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
37	2021	A novel hybrid active power filter with multi-coupled coils	0	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38	2018	Survey of Active Power Filters Configurations	13	<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 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"/>	
39	2018	A technical review on control strategies for active power filters	5	<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 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 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"/>	
40	2021	Stability analysis of shunt active power filter with predictive closed-loop control of supply current	0	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41	2021	Genetic algorithm based reference current control extraction based shunt active power filter	1	<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 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"/>	
42	2019	Reduction of Total Harmonic Distortion and Effective Source Current in Circuits with Nonsinusoidal Waveforms	0	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	



ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN

ITEM	DATOS		CITAS	TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO		Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía
43	2018	Harmonic Pollution Compensation by Connected Photovoltaic Systems Using the Instantaneous Power Method	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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44	2020	Modeling and simulation of a pi controlled shunt active power filter for power quality enhancement based on p-q theory	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 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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45	2020	Optimal distribution network planning applying heuristic algorithms considering allocation of PV rooftop generation	3	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
46	2021	Control Strategy Applied to Smart Photovoltaic Inverters for Reactive Power Exchange through Volt-Var Control to Improve Voltage Quality in Electrical Distribution Networks	0	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**ENRUTAMIENTO ÓPTIMO DE FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN**

ITEM	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA						PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de armónicos	Calidad de energía	Comparación de APF	Técnicas de control de APF	Diseño de filtros	Estrategias de control	Armonicos	THD	Parámetros óptimos	Factor de potencia	Calidad de energía	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Distorsión armónica	inductancia	capacitancia	Filtros activos	Filtros Pasivos	Teoría PQ	Teoría Fryze	Método Híbrido	Wavelet	Disminución de armónicos	Disminución de THD	Disminución de pérdidas	Calidad de energía
47	2020	Óptimo Dimensionamiento Y Ubicación De Generación Fotovoltaica En Una Microred Georeferenciada Utilizando Generación De Columnas	1	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CANTIDAD:				30	22	18	20	2	1	45	42	11	14	47	47	47			15	21	15		5		9	37	20	8	20	6

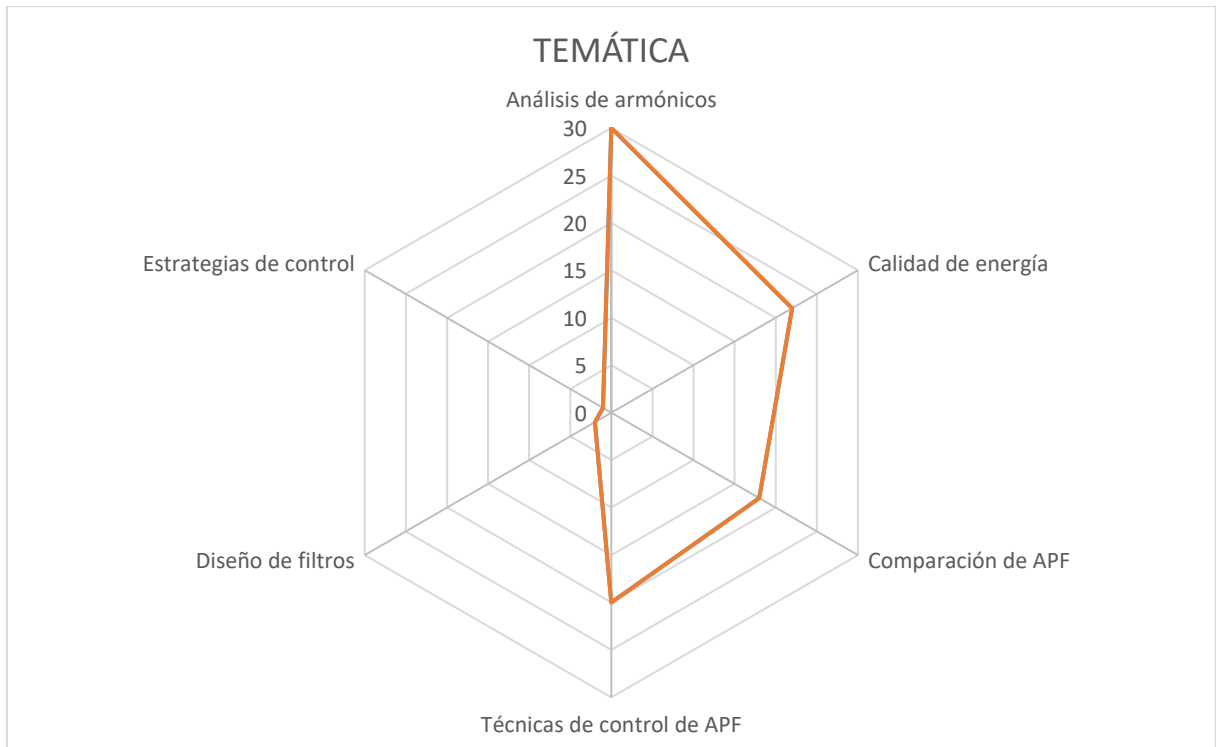


Figura 25. Indicador de matriz de estado del arte, temática [autor]

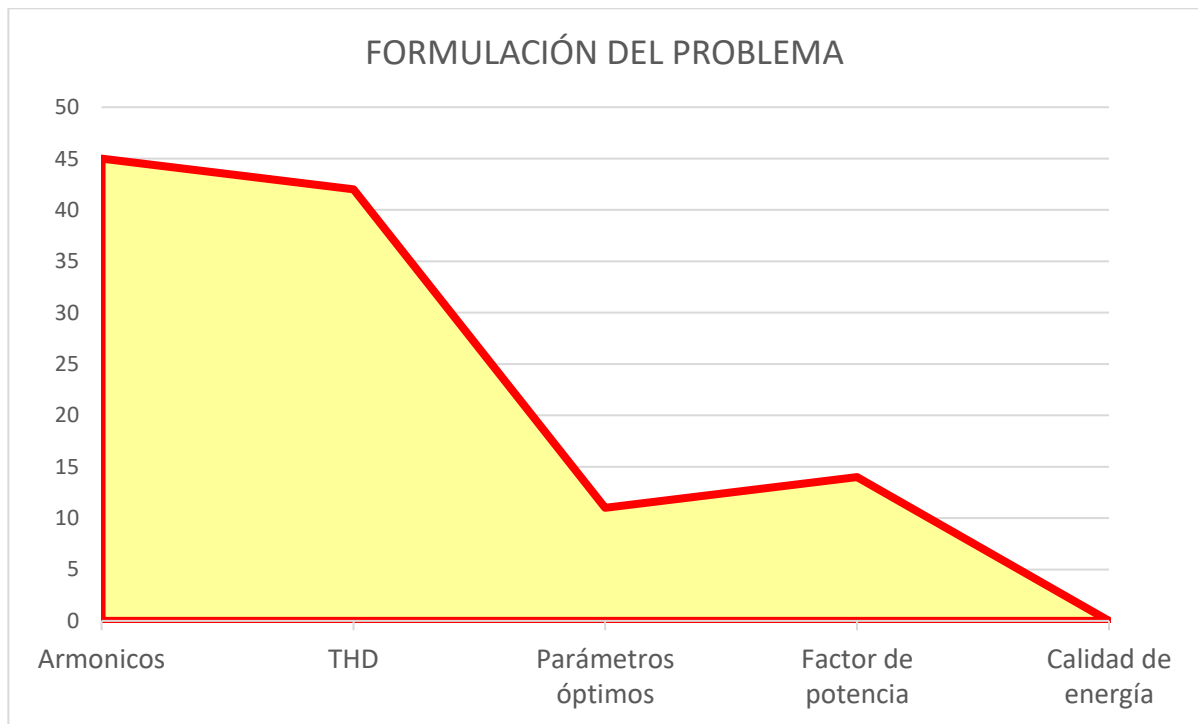


Figura 26. Formulación del problema [autor]

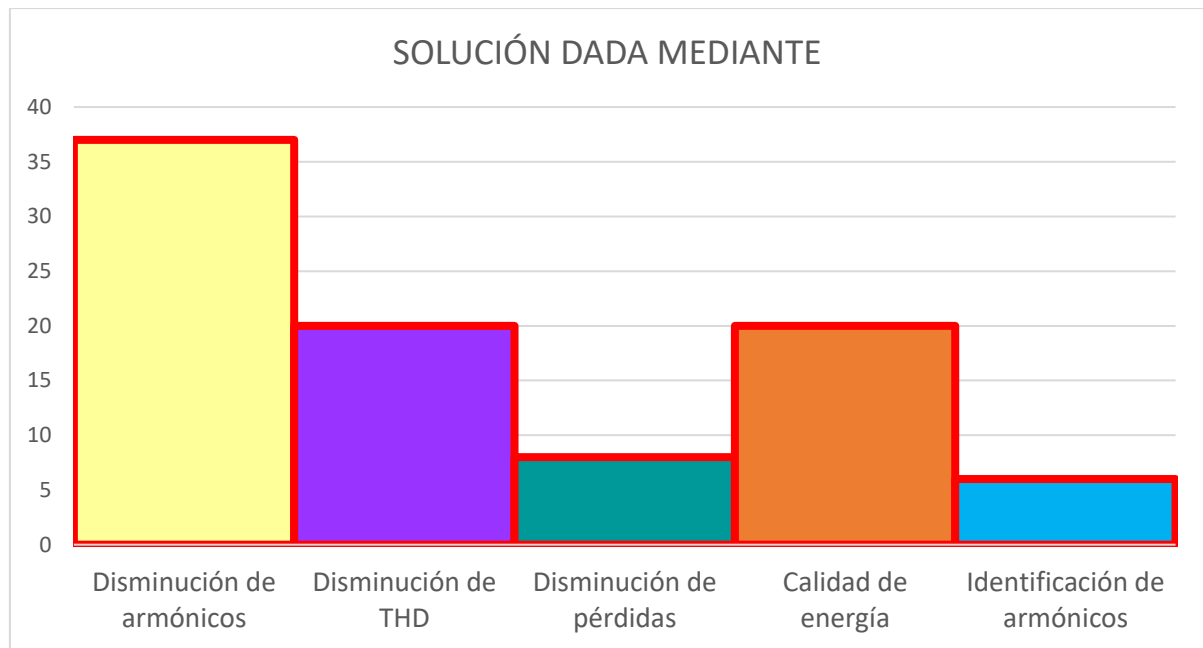


Figura 27. Solución al problema [autor]

## 9. Anexos

### Datos de sistema de 13 nodos de distribución

Tabla 4. Datos de líneas aéreas [4]

Configuración	Fases	Calibre	Calibre del neutro	ID
		ACSR	ACSR	
601	B A C N	556,500 26/7	4/0 6/1	500
602	C A B N	4/0 6/1	4/0 6/1	500
603	C B N	1/0	1/0	505
604	A C N	1/0	1/0	505
605	C N	1/0	1/0	510

Tabla 5. Datos de líneas subterráneas

Configuración	Fases	Conductor	Neutro	ID
606	A B C N	250,000 AA, CN	None	515
607	A N	1/0 AA, TS	1/0 Cu	520

Tabla 6. Datos de los segmentos de las líneas [4]

Nodo A	Nodo B	Longitud(ft.)	Configuración
632	645	500	603
632	633	500	602
633	634	0	XFM-1
645	646	300	603
650	632	2000	601
684	652	800	607
632	671	2000	601
671	684	300	604
671	680	1000	601
671	692	0	Switch
684	611	300	605
692	675	500	606

Tabla 7. Datos del transformador [4]

	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Substation:	5,000	115 - D	4.16 Gr. Y	1	8
XFM -1	500	4.16 - Gr.W	0.48 - Gr.W	1.1	2

Tabla 8. Datos de los capacitores [4]

Nodo	Ph-A kVAr	Ph-B kVAr	Ph-C kVAr
675	200	200	200
611			100
Total	200	200	300

Tabla 9. Datos de los reguladores [4]

<b>ID del regulador</b>	<b>1</b>		
Line Segment:	650 - 632		
Location:	50		
Phases:	A - B -C		
Connection:	3-Ph,LG		
Monitoring Phase:	A-B-C		
Bandwidth:	2.0 volts		
PT Ratio:	20		
Primary CT Rating:	700		
Compensator Settings:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Setting:	3	3	3
X - Setting:	9	9	9
Voltage Level:	122	122	122

Tabla 10. Datos de las cargas [4]

<b>Nodo</b>	<b>Carga Modelo</b>	<b>Ph-1 kW</b>	<b>Ph-1 kVAr</b>	<b>Ph-2 kW</b>	<b>Ph-2 kVAr</b>	<b>Ph-3 kW</b>	<b>Ph-3 kVAr</b>
634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0
646	D-Z	0	0	230	132	0	0
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
692	D-I	0	0	0	0	170	151
611	Y-I	0	0	0	0	170	80
	<b>TOTAL</b>	<b>1158</b>	<b>606</b>	<b>973</b>	<b>627</b>	<b>1135</b>	<b>753</b>

Tabla 11. Datos de las cargas distribuidas [4]

<b>Nodo A</b>	<b>Nodo B</b>	<b>Carga Modelo</b>	<b>Ph-1 kW</b>	<b>Ph-1 kVAr</b>	<b>Ph-2 kW</b>	<b>Ph-2 kVAr</b>	<b>Ph-3 kW</b>	<b>Ph-3 kVAr</b>
632	671	Y-PQ	17	10	66	38	117	68