

**REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE
FILTROS ACTIVOS BASADOS EN
CONVERTIDORES MULTINIVEL EN
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE
FILTROS ACTIVOS BASADOS EN
CONVERTIDORES MULTINIVEL EN SISTEMAS
DE DISTRIBUCIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: STEVEN ELIAS VELEZ VALDIVIEZO
TUTOR: WILSON DAVID PAVÓN VALLEJOS

Quito -Ecuador 2023

Datos de Catalogación Bibliográfica

Steven Elias Velez Valdiviezo

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN
CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN **Universidad Politécnica
Salesiana, Quito-Ecuador 2023**

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto:



Steven Elias Velez Valdiviezo (Y'1996). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Técnico Salesiano San Rafael. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo está basado en la reducción de armónicos a través de un filtro activo basado en convertidores multinivel para mejorar la calidad de la energía. svelev1@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. Doctor por la Universidad de Ferrara – Italia. 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

©2023 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Yo, Steven Elias Velez Valdiviezo con documento de identificación N° 0803017409 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 17 de octubre del año 2023

Atentamente,



Steven Elias Velez
Valdiviezo

0803017409

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Steven Elias Velez Valdiviezo con documento de identificación No. 0803017409, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Reducción de armónicos a través de filtros activos basados en convertidores multinivel en redes de distribución”, el cual 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 concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 17 de octubre del año 2023

Atentamente,



Steven Elias Velez
Valdiviezo

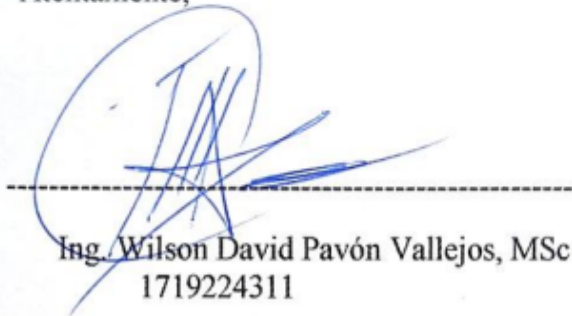
0803017409

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson David Pavón Vallejos con documento de identificación N° 1719224311, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADOS EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN, realizado por Steven Elias Velez Valdiviezo con documento de identificación N° 0803017409, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 17 de octubre del año 2023

Atentamente,



Ing. Wilson David Pavón Vallejos, MSc
1719224311

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	2
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Distribución de energía eléctrica en la red	3
2.2 Distorsión armónica en los sistemas de distribución	3
2.3 Calidad de la energía debido a las cargas no lineales.....	4
2.4 Compensación de armónicos en el sistema de distribución	5
2.4.1 Filtros Pasivos de Potencia.....	6
2.4.2 Filtros Activos de Potencia	6
2.4.3 Convertidores multinivel.....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
3.1 Convertidor – DC-AC	7
3.1 Filtro Activo - AF.....	7
ANÁLISIS DE RESULTADOS	11
4.1 Sistema de Distribución de 13 barras de la IEEE.....	12
4.2 Actuación del Inversor	12
4.3 Actuación del filtro activo.....	13
4.4 Comparación entre Segmento 1 y el Segmento 2.....	14
CONCLUSIONES	15
5.1 Trabajos Futuros.....	16
REFERENCIAS	12
6.1 Matriz de Estado del Arte.....	16
6.2 Resumen de Indicadores.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un sistema de distribución incluyendo filtro activo [autor]	3
Figura 2. Tercer armónico.....	5
Figura 3. Quinto armónico	5
Figura 4. Filtro Pasivo.....	6
Figura 5. Filtro Activo de potencia configuración básica.	7
Figura 6. Sistema de distribución IEEE de 13 barras sin filtro activo.	8
Figura 7. Sistema de distribución IEEE de 13 barras con filtro activo.....	9
Figura 8. Diagrama del filtro activo.....	10
Figura 9. Estructura de control del filtro activo	11
Figura 10. Modelo de un convertidor IGBT.....	13
Figura 11. Unifilar de 13 barras IEEE.	13
Figura 12. Corriente en el nodo 634 del sistema.	15
Figura 13. Corriente suministrada por el inversor abc.	15
Figura 14. Medición del voltaje en capacitores del filtro activo.....	15
Figura 15. Compensación de corriente suministrada por el filtro activo al sistema.	15
Figura 16. Comparación de corriente en nodo 634 con filtro y sin filtro para la fase a	16
Figura 17. Comparación de corriente en nodo 634 con filtro y sin filtro para la fase b.	16
Figura 18. Comparación de corriente en nodo 634 con filtro y sin filtro para la fase c.....	16
Figura 19. THD de Corriente en nodo 634 sin filtro activo	17
Figura 20. TDH de Corriente en nodo 634 con filtro activo	17
Figura 21. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.	32
Figura 22. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.	32
Figura 23. Indicador de solución - Estado del arte.	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información del sistema de 13 barras de la IEEE	11
Tabla 2. Datos respectivos del inversor	12
Tabla 3. Datos respectivos del Filtro Activo.....	12
Tabla 4. Comparación de THD para el Seg 1 y el Seg 2	15
Tabla 5. Matriz de estado del arte	19

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

Resumen

El siguiente trabajo tiene como finalidad desarrollar la creación del filtro activo para reducir los armónicos en la corriente que es afectado al momento de integrar equipos no lineales dentro del sistema de distribución, mediante la implementación de convertidores multinivel, el cual conllevará a que los armónicos de corriente de salida se disminuyan a fin de obtener una buena calidad de la energía consagrada a la red, para lo cual conlleva la simulación respectiva en MATLAB/Simulink para un sistema IEEE de 13 barras. Resultado de lo cual, se establecen los potenciales beneficios de incorporar los filtros activos para reducir los armónicos en los sistemas de distribución, determinar a su vez las correcciones debidas en la corriente, reduciendo aquellas fallas que se ocasionan en la carga, corrigiendo la compensación de los armónicos de corriente. Todo esto garantizando que la aplicación del filtro activo opere en su máxima potencia conforme.

Abstract

The following work aims to develop the design of an active filter to reduce harmonics in the current that is affected at the time of integrating nonlinear equipment in the distribution system, through the implementation of multilevel converters, which will lead to the output current harmonics are decreased in order to obtain a good quality of the energy delivered to the network, for which a simulation in MATLAB / Simulink for an IEEE system of 13 bars will be performed. As a result of which, the potential benefits of incorporating active filters to reduce harmonics in distribution systems are established, determining in turn the corrections due in the current, reducing those faults that are caused in the load, correcting the compensation of current harmonics. All this ensuring that the application of the active filter operates at its maximum compliant power.

Palabras Clave: Filtros, Calidad, Armónicos. **Keywords:** Filters, Quality, Harmonics.

1 Introducción

Es importante destacar como ha aumentado de manera rápida la demanda de electricidad, desde las industrias comerciales hasta los servicios domésticos, todo esto ha facilitado la ejecución de tareas y procesos relacionados con la tecnología en estos ciclos; en relación con el aumento de la demanda, se lleva a cabo la incorporación de filtros activos, dando una mejor calidad de la energía y la carga reduciendo a su vez en el sistema de distribución[1].

Consecuentemente, la fase de consumo ya sea residencial, comercial o industrial, hoy en día se accede a introducir nuevos equipos relacionados con la producción de energía, tales como equipos lineales y no lineales que alteran la calidad de energía. Estos equipos no lineales crean ciertos problemas de armónicos, recalentamiento, entre otros problemas, esto conlleva a distorsionar la estructura de onda sinusoidal suministrada en términos de menor eficiencia del sistema, recalentamiento en transformadores, incorrecto desempeño de motores, incremento de pérdidas en la potencia, escasez de equipos de protección[2].

Complementario a lo descrito, se requieren procedimientos y una correcta aplicación donde se asegure que la calidad de la energía tenga un rango y la acotación de actuales armónicos, tales que se mejoraría la calidad de energía. Consecuentemente, ha sido propuesto múltiples métodos para solucionar aquellos inconvenientes de calidad de energía, como la reproducción de sistemas inestables, habilidad para la estabilidad de carga, estudio de armónicos suministrado, apreciación de corriente en exceso, interrupción de línea en sistemas eléctricos y reproducción de carga en potencia reactiva[3]. Desde la perspectiva, se centrará en analizar aquellos filtros que

reducirán armónicos perjudiciales a la calidad de energía, por lo tanto, impresionará directamente en los factores de potencia que mejoran continuamente, mitigación en pérdidas de potencia, reducción en aumento de temperatura de conductores, recalentamiento en transformadores, y demás[4]. Se puede indicar que en los sistemas suministrados se emplean los filtros hacia la red, en conjunto de filtros pasivos para afrontar armónicos conectados en serie. Por ende, aquellos filtros pasivos poseen un límite de manejo consecuente a inconvenientes que emite difundirse limitadamente, clase de cargas específicas, compensación segura, conectadas en serie malla e impedancia del filtro y grandes tamaños de resonancia paralela negativa, esta dificultad genera la descomposición de los elementos como condensadores, resistencia, inductores, transformadores y diodos[5].

Según se señala que, aquellas cargas no lineales integradas en el sistema, tales como, generadores, transformadores, entre otros, generan inconvenientes de calidad de energía los cuales serán abordados por medio del uso tecnológico de filtrado más avanzado, tales como: agregar filtros activos. Sin embargo, el shunt AF es la mejor solución en pro a la calidad de energía en funciones de reparación de armónicos de corriente y energía reactiva. La productividad del filtro está sujeto, los cuadros de control, las tácticas de exploración de corriente de remisión y a los datos del inversor. Una corriente de remisión se sustrae a base de tácticas de exploración de armónicos, como la serie de potencia al proviso, tratamiento de serie positiva fundamental y exploración sincrónica, para controlar los filtros activos[6].

Los modelos IEC 61000-3-2 e IEEE-519, disponen restricciones en compañías que distribuyen energía eléctrica con la respectiva operación y diseño del sistema. Con el aumento de la demanda de carga, la puntuación de los filtros activos también aumenta con la capacidad y el costo del sistema acumulativo. Como solución, se utilizan filtros activos para reducir armónicos en los sistemas eléctricos de potencia[7], por tanto, el trabajo está distribuido, tales como: a) Parte 2 ilustra el marco teórico junto con la problema establecido dicho anteriormente; b) Parte 3 precisa el modelado del diseño; c) Parte 4 ilustra el diseño y su respectiva aplicación; d) Parte 5 instaure aquellos resultados obtenidos y su respectivo análisis.

Y se concluye con las respectivas conclusiones del documento. En la

se muestra un bloque generalizado para incluir filtros activos a la red del sistema de interconexión.

2 Marco teórico

Se tiene como concepto de armónicos como aquellas corrientes parásitas que afectan a la red de los sistemas eléctricos de potencia y qué posibles métodos pueden solucionar dicho problema.

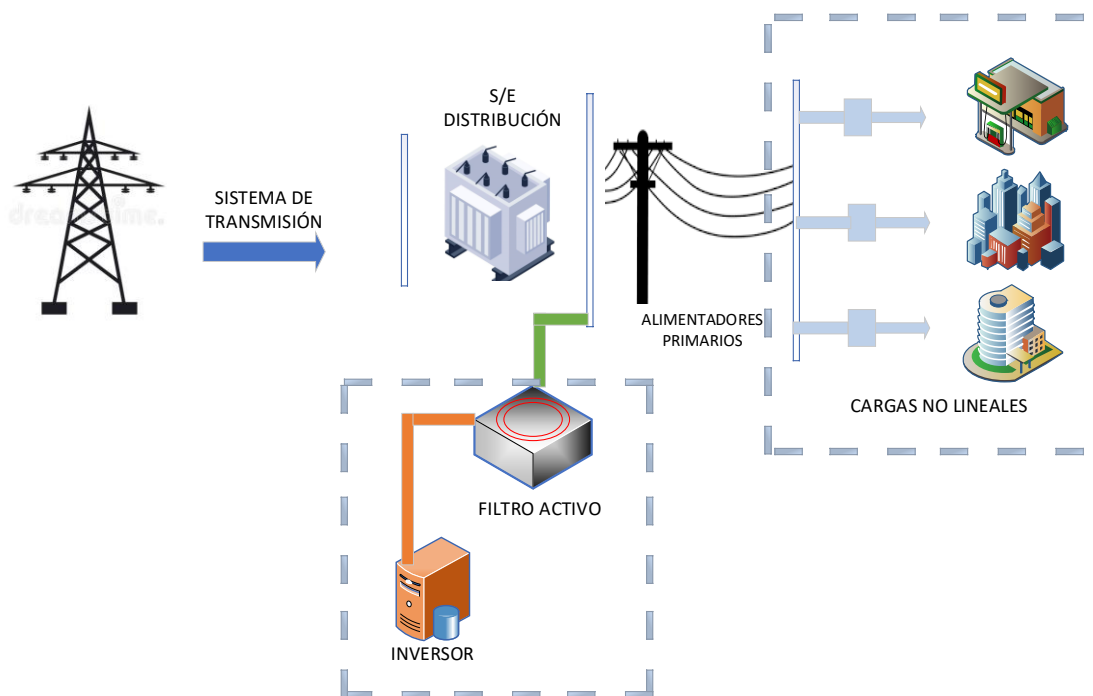


Figura 1. Esquema de un sistema de distribución incluyendo filtro activo [autor]

2.1 Distribución de energía eléctrica en la red.

Es una fase importante del sistema eléctrico motivo por el cual corresponde directo a los usuarios finales que terminan en el esquema de energía eléctrica, esta red está constituida por centros que perciben aquella energía de transferencia y se direcciona a los primeros circuitos, para proveer a diversos lugares como son clientes con mayor énfasis y en consiguiente se desplaza aquella energía hasta los transformadores de distribución, que se pueda enlazar al circuito secundario y por último distribuir a los consumidores[8]. Esta acción de reparto es el desarrollo evolutivo impulsado de aquella amplitud en la demanda por lo que el traslado de aquella tecnología del equipaje, aquella aparición de industrias actualizadas, bienes nuevos de producción, diversas consecuencias que alteran y componen un apoyo que determinen aspectos en el sistema diseñado, ejecución e intervención; los sistemas de distribución actuales hoy por hoy incluyen variación en función de tácticas y planificación guiadas a la prevención ambiental, al confort social, que torna una parte esencial y sugerente al mercado eléctrico[9].

Efecto por distorsión armónica

Se entiende como alteraciones de onda a los armónicos, en el flujo y tensión eléctrica creado a la larga de potencia del sistema que lleva hasta la demanda que aparenta ser ineludible, se producen por componentes exteriores como cargas no lineales, también como hornos de arco, lámparas fluorescentes y equipos permutados como convertidores alternos a continua así como también reguladores,

entre más elementos, como también dentro del propio sistema se origina artefactos no lineales que son usados en potencia electrónica hacia los transformadores rechazando una exaltación, del sincronismo de los alternadores [10].

2.2 Distorsión armónica en los sistemas de distribución.

Se dice que una función periódica constituida por la suma de funciones sinusoidales es una distorsión armónica. La distorsión armónica es una anomalía transitoria que puede generarse en arranques de motor. La dimensión de onda en un punto cualquiera de un sistema eléctrico se dispone alterada, en relación con la onda senoidal que en teoría debe encontrarse, se expresa que la onda tiene componentes de armónicos por lo cual se encuentra contaminada[11]. La distorsión armónica es una alteración que afecta a la calidad de la energía, y su importancia de corregir estas distorsiones van en aumento últimamente, a base de la propagación en cargas no lineales y variables en el tiempo de los sistemas de energía. Aquellos sistemas de potencia deben diseñarse no solo para corrientes y voltajes sinusoidales, sino también para cargas no lineales[12]. Estos tipos de cargas crean contaminación armónica, distorsionan la onda en corriente y voltaje, crean resonancia, aumentan las pérdidas del sistema y acortan la vida conveniente de los equipos eléctricos. Esto requiere un análisis exhaustivo de la generación de armónicos, la medición, los estudios de efectos adversos, el control de armónicos y los límites de nivel aceptables[13].

También son conocidos desviaciones de señales sinusoidales de voltaje y corriente causadas por cargas no lineales, el uso de elementos ferromagnéticos y en general el uso de dispositivos que deben realizar conmutación en su normal operación[14].

La apariencia de voltajes y corrientes con armónicos en los sistemas eléctricos producen daños en los equipos, esto puede ocasionar problemas de crecimiento de mitigación de potencia activa, subida de tensión de condensadores, errores de medida, errores de protección, daños en el aislamiento, ruptura dieléctrica, reducción de la vida necesaria de los equipos, etc[15]. En la Figura 2 se observa el tercer armónico la cual tiene la particularidad frecuencial que es tres veces mayor de la frecuencia fundamental.

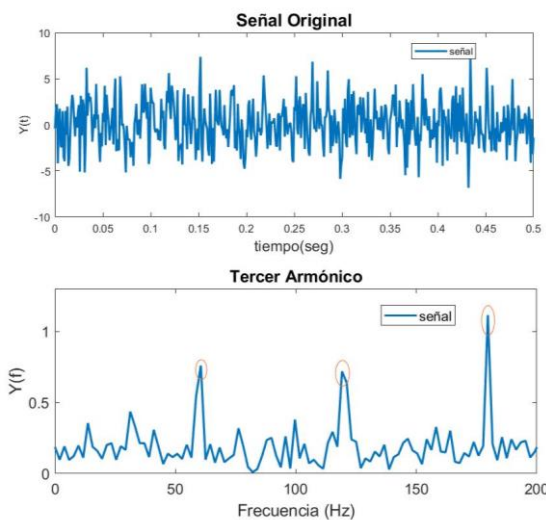


Figura 2. Tercer armónico.

En la Figura 3 se observa el quinto armónico el cual es el armónico que es cinco veces mayor que la fundamental por lo cual afecta a los equipos y sistemas trifásicos, así como el séptimo y undécimo armónico[16].

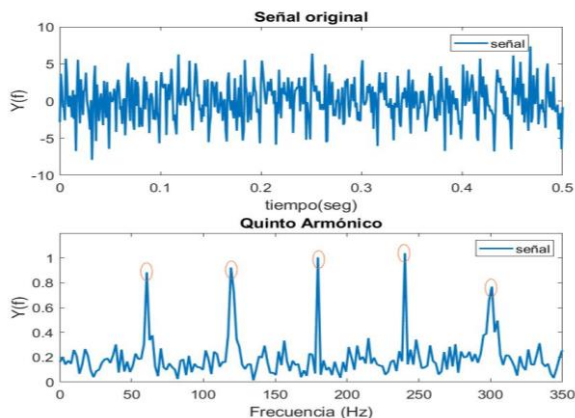


Figura 3. Quinto armónico

2.3 Calidad de la energía debido a las cargas no lineales

En virtud de este problema con respecto a las distorsiones en la onda causado por las cargas no lineales y su aportación negativa a la c de la calidad de energía se prospera este estudio que percibe más allá de los tradicionales estudios, procura demostrar el potencial efecto sobre las corrientes, cuando se anexan cargas no lineales que de vez en cuando afecta con armónicos a la red, motivo por el cual se muestra el diseño y realización de un acondicionador para perfeccionar la calidad de la energía con la reparación de armónicos modificando las corrientes de salida con un filtro activo que se especificará más adelante[17].

Aquellos elementos electrónicos se logró una mejora en la velocidad, seguridad y el control de resolver problemas lo que permite tener una mejor energía consumida. Sin embargo, estos elementos son agregados por semi conductores que generan perturbaciones en la señal de corriente, por lo tanto, estos dispositivos conllevan una sensibilidad alta lo que ocasiona daños de los equipos [18].

2.4 Compensación de Armónicos en el Sistema de Distribución.

La evolución de la tecnología ha hecho que cada elemento que conforma el sistema de potencia, restaure sus características para brindar una mejor eficiencia en el sistema, del mismo modo la potencia electrónica ha perfeccionado en conjunto con las actuales cargas no lineales, las cuales integran a la demanda industrial y comercial de corriente y alteran el plan de comunicación y sobre todo al de reparto; debido a que es el área encargada a la cual se vincula de

forma directa desfavoreciendo su funcionamiento[19]. Es por ello que a raíz del mal funcionamiento se han buscado métodos que permitan que obedezcan hechos de reparación de eléctrica de potencia y estas indagaciones concluyen al avance de la potencia en los diferentes filtros. Es necesario saber que las cargas no lineales contienen dos modelos de cargas, las cuales se reconocen según los transformadores estáticos (rectificadores, inversores, etc.) los cuales son posicionados a propósito debido a la implicación de armónicos, por lo tanto no se puede determinar las cargas de baja potencia por lo que es imposible reconocerlas, por ello en mayor dosis originan mayor desorden en la distribución del sistema de operación[20]. Estos impactos desfavorables de las cargas no lineales y armónicos presentes es imprescindible una inspección de potencia en los filtros, estos han incrementado, métodos de reparación de armónicos, los cuales conciernen a los filtros pasivos y los filtros de potencia activos[21].

2.4.1 Filtro Pasivos de Potencia

Se usan comúnmente los filtros pasivos para limitar las corrientes en los sistemas de distribución. Sin embargo, su desempeño está limitado a algunos armónicos y pueden crear resonancia en la red eléctrica[22]. La Figura 4 ilustra el modelo del filtro pasivo contenido una fuente de energía, una carga no lineal además de un filtro pasivo con inductancia y capacitancia conectados a tierra.

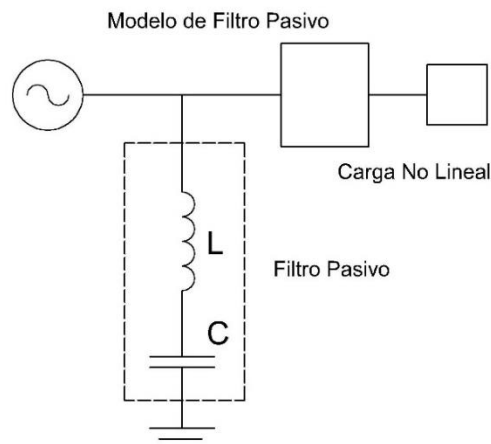


Figura 4. Filtro Pasivo

Este método sostiene la tarea de disminuir la infección armónica y está conformada por elementos conservadores tales son los: inductores, transformadores y capacitadores. Este tipo de filtro tiene cualidades tales como: simplicidad, confiabilidad y durabilidad por su tamaño de las bobinas y capacitores requeridos[23]. La respuesta dinámica en el cambio de carga es el efecto de la resistencia en el filtro lo cual se puede ajustar para eliminar un solo armónico. Los filtros pasivos se desarrollan exponiendo distintos costes de oposición en la resonante de frecuencia. Existe en la serie un filtro que está vinculado para mostrar impedancia mayor a la armónica de frecuencia la cual requiere ser obstruida. Aun cuando se provee una probable conformación en secuencia, es muy a menudo enchufar paralelamente filtros[24].

2.4.2 Filtros Activos de Potencia

Los filtros activos reducen las perturbaciones de la corriente de carga, lo que reduce los armónicos de corriente y voltaje. El filtro activo es utilizado para reducir armónicos según la necesidad de compensación[25]. La idea de usar un filtro

activo es compensar las perturbaciones de corriente y voltaje de la fuente, pero su desarrollo real fue posible gracias a la estrategia correcta en el control de una frecuencia a otra. Los filtros activos se dividen por componentes pasivos y transistores de sintonía, lo que reducen los armónicos de baja frecuencia. El filtro activo se apoya en el control de un vínculo cerrado con un convertidor electrónico o también llamado inversor[26].

Los filtros tienen como características combinarse entre elementos activos y pasivos. Son componentes básicos de los circuitos, tales como: resistencias, condensadores e inductores. Seguidamente estos filtros se puede hacer maniobras como conexiones en cascada esto se debe a que están diseñados para modificar señales y hace que permita la integración entre dos o más circuitos. Si por motivo el circuito cuenta con amplificadores operacionales, la salida de tensión del circuito, está al límite por aquella saturación limitada de los componentes[27].

Es un método de depuración de armónicos, el cual conceptúa la bandeja de corriente que se enchufa de manera exacta o por el transformador y se logra dominar. Aquel filtro logra incluso deshacer armónicos generados en el voltaje o la corriente mediante la introducción de corriente o voltaje conveniente de elementos armónicos de idéntica intensidad a la de aquella carga, en pro de asegurar la transferencia senoidal de la señal. Un AF se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** está integrada por un distrito de subestimación de armónicos el cual equilibra en su totalidad las jerarquías armónicas en tiempo breve y la compensación es descrita en jerarquía exclusivo de reparación[28].

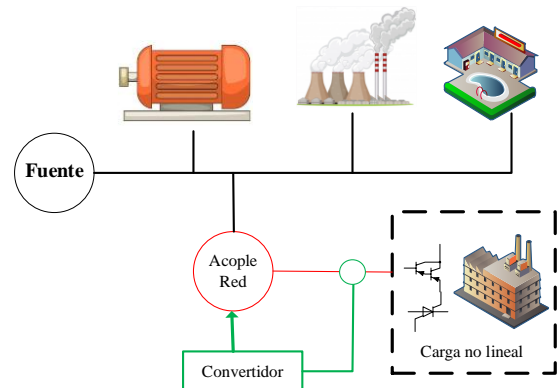


Figura 5. Filtro Activo de potencia configuración básica.

Los filtros activos reducen la probabilidad de espectro de difusión entre la red y el filtro que pueden causar aumento de tensión. Además la propagación armónica y la modificación de potencia como también el balance entre las fases cuando existe un crecimiento en las cargas no lineales alimentadas hacia la red se encuentran problemas de armónicos y la reducción de eficiencia por un bajo factor de potencia[29].

Los armónicos, se acoplan al modelo de filtro el cual no tiene dominio con la impedancia ni con la potencia, este lo transforma en conducto grato por no necesitar de una potencia reactiva, en otras palabras, su manejo es escasamente estricto. Las labores del mencionado filtro son[30]:

- Simplificación de armónicos en la red.
- Simplificación de la corriente por cero.
- Los armónicos de voltaje se abrevian en los puntos de conexión con las cargas.
- Rectificación del factor de potencia.
- Igualdad de la corriente en las fases.
- Igualdad de el voltaje en todas las fases.
- Simplificación del titileo o Flicker.
- Organización de voltaje.

Existen tres filtros activos los cuales ejercen funciones diferentes estos se muestran a continuación:

- a) El filtro número está paralelo lo que elimina corriente de armónicos, mediante la descendencia de energía suprime corriente en los armónicos, todo ello de esta carga, con este filtro las suma y forma una onda sinusoidal.
- b) El de la serie que se asemeja al de paralelo, es el filtro activo 2 el cual produce una señal de voltaje, en la cual la carga es la suma armónica que de manera similar forma una onda sinusoidal.
- c) Para el filtro 3 es el híbrido que pertenece a la unión en serie para fluctuaciones de paralelo y voltaje hacia fluctuaciones de energía.

2.4.3 Convertidores Multinivel

En las circunstancias actuales, los conversores de potencia electrónica son utilizada principalmente para electrodomésticos y en industria. La calidad de la energía es un gran problema asociado con los armónicos de corriente, debido al mayor uso de cargas no lineales como convertidores de potencia electrónica, variadores de frecuencia que degradan execrablemente la calidad de la energía del sistema de distribución[31]. Por lo tanto, se propone un filtro de energía activo como una solución sostenible solución para mitigar estos problemas asociados con los convertidores de electrónica de potencia. Convencionalmente, los filtros pasivos eran la solución para la eliminación de armónicos debido a sus ventajas inherentes de bajo costo y mayor factor de potencia. tales como: sobrecarga del filtro, resonancia paralela entre el sistema de alimentación y los filtros, desafinación de la frecuencia armónica con el envejecimiento de los componentes

pasivos, y las características de filtrado dependen de la impedancia de la fuente, que no se conoce con exactitud[32]. En las últimas dos décadas, los APF (Filtro de Potencia Activa) se utilizan principalmente para la mitigación y compensación de armónicos. Los APF actúan como fuente de corriente que inyecta una magnitud antagónica pero igual a la corriente de carga armónica y reactiva para eliminar los componentes armónicos y reactivos de la corriente de suministro en el sistema de distribución. Estos filtros activos tienen limitaciones en la aplicación de voltaje medio y alto debido a la restricción de clasificación de voltaje inverso de los semiconductores, y el uso de transformadores de clasificación alta en consecuencia, el sistema se vuelve ineficiente, costoso y voluminoso[33].

3 Desarrollo del problema

Se perfecciona la cualidad de energía y se debe reducir por cargas no lineales la mayoría de armónicos, con implemento de un filtro activo hacia el sistema de 13 barras de la IEEE[34]. Si se desea cumplir dicho propósito se debe realizar una simulación de dos segmentos. La simulación del primer segmento considera la simulación del método de distribución de 13 barras, por lo cual ha sido adaptado para incluir cargas trifásicas[35]. En la Figura 6 se muestra la conexión establecida dentro del sistema de 13 barras, adaptado a una carga no lineal.

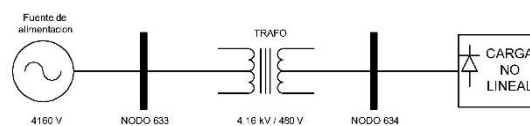


Figura 6. Sistema de distribución IEEE de 13 barras sin filtro activo.

Por su parte, para la simulación del segundo segmento, se considera además de lo descrito anteriormente, el implemento

de un filtro activo[36]. En la figura 7 se visualiza el sistema de 13 barras IEEE, pero con la implementación del filtro activo.

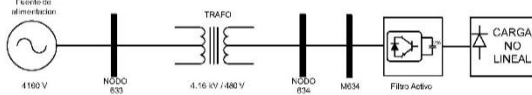


Figura 7. Sistema de distribución IEEE de 13 barras con filtro activo.

Con los escenarios simulados se realizará una comparativa para analizar el beneficio en período de calidad de energía alcanzados debido a la adhesión del filtro activo. Anterior a la ejecución de la simulación es indispensable proponer los diferentes patrones matemáticos y organización de cada elemento del sistema, los cuales estarán detallados posteriormente[37].

3.1 Convertidor DC– AC

Con la ayuda de una Modulación por Ancho de Pulso Sinusoidal (PWM), el mando del inversor se llevará a cabo, mediante la cual será confrontada en tres señales por dependencia para aquellas fases a, b y c con señal mensajera triangular[38]. Este será enlazado al sistema eléctrico, por consiguiente, para evaluar señales de dependencia para las fases una por una, y asegurar que estas se hallen en la red eléctrica mediante fase, se llevará a cabo una unión de inserción en la fase. El cómputo de aquellas señales de informe de las fases a, b y c están determinadas mediante las ecuaciones[39]:

$$a = ma * \sin \omega t \quad (1)$$

$$b = ma(\sin \omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (2)$$

$$c = ma(\sin \omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad (3)$$

Es necesario diseñar un filtro de red, lo que se conoce como la oposición de relación entre la red eléctrica y el inversor. Existen

ecuaciones por las cuales se puede calcular el filtro RL esas ecuaciones son (4) y (5) respectivamente[40].

$$R = \frac{0.0015V_{out}^2}{P} \quad (4)$$

$$L = \frac{0.15 \frac{V_{out}^2}{P}}{2\pi f_{red}} \quad (5)$$

Para el diseño del inversor se intervienen variables las cuales se muestran a continuación [41]:

- a Señal de referencia para la fase a.
- b Señal de referencia para la fase b.
- c Señal de referencia para la fase c.
- ωt Seguimiento de fase de la red eléctrica – PLL.
- ma Amplitud de modulación
- V_{out} Voltaje de salida del inversor.
- P Potencia entregada por el inversor.
- f_{red} Frecuencia de la red eléctrica.
- R Resistencia del filtro de red.
- L Inductancia del filtro de red.

3.2 Filtro Activo – AF

Mediante este párrafo se explica el patrón matemático y manejo del filtro activo, el cual se conecta paralelo al sistema, con el fin de reducir la componente armónica provocada por la conexión de cargas no lineales hacia el sistema de distribución[42].

La implementación de cargas no lineales altera la calidad de energía y desequilibradas, ocasionando que se distorsionen las formas de onda de las ideales. Lo que ocasiona pérdidas y

deterioro a equipos, lo que disminuye su tiempo de vida eficaz[43].

En la Figura 8 muestra un diagrama del filtro activo, el cual está distribuido por red de alimentación, bobinas de enlace, filtro activo y su respectiva carga no lineal donde la bobina de enlace lo hace necesario para aquella conexión paralela con la red de alimentación.

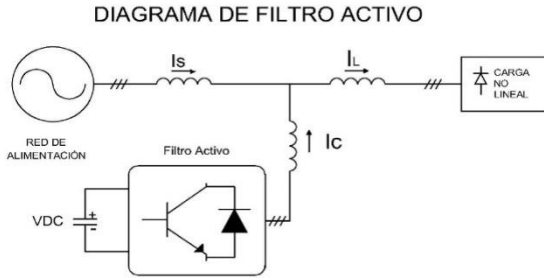


Figura 8. Diagrama del filtro activo.

De este modo primero, se establece la valoración del voltaje DC sobre los capacitores. Es fundamental examinar que aquel peso de voltaje se encarga de proporcionar los picos de voltaje ocasionados por la conmutación del convertidor[44]. En la ecuación (6) se determina el cálculo del voltaje de conmutación.

$$V_{DC}(APF) = \frac{2}{m_a} \hat{V}_s \quad (6)$$

Posteriormente, esta se direcciona hacia el sistema la inyección de la corriente, por lado de la APF, realizando este camino viable un cambio en la energía. Para ello el cálculo se conceptualiza como fuente de proyección al mayor rizado de corriente DC aprobado[45]. En la ecuación (7) nos muestra la inductancia de frecuencia.

$$L_f(APF) = \frac{V_s}{6\sqrt{2} f_{SW} i_{rz}} \quad (7)$$

Por último, se establece el cálculo del capacitor del AFP. Para ello el cálculo se estima como fuente de proyección el máximo rizado de voltaje DC autorizado[46]. Para calcular el valor del capacitor se utiliza esta ecuación (8):

$$C(APF) = \frac{P_{out}}{V_s \cdot \sqrt{6} \cdot f_{SW} \cdot v_{rz}} \quad (8)$$

Una vez evaluado el filtro activo de potencia este será vinculado paralelamente con el sistema, se conduce a establecer su método de control. Se plantea ejecutar al filtro activo un control, apoyándose en la operación de compensación de la corriente de dependencia. En otras palabras, se evalúa los valores de inmediato las pasan por el sistema y son las corrientes no activas[47].

Además, en la simulación se produce un grupo de manejo, el que será delegado para establecer que el filtro activo tenga una corriente de dependencia el cual inyectará la organización para que los armónicos tengan un equilibrio. Dentro del filtro activo el bloque de control, se constituye por lazos esenciales, un lazo principal de control de voltaje llamado DC del convertidor y un lazo secundario de corriente del filtro activo[48].

Sin embargo, se requiere dividir los elementos activos y no activos de energía. De ahí se emplea un inspector de (SRF, por sus siglas en inglés). Mediante el cual el inspector se determinará una dependencia que rodea en complejidad sobre el plano y estará adaptado con el voltaje de conexión en el punto de la red[49].

Los elementos trifásicos a, b, c se administran con los convertidores de Clarke y Park, por lo cual es primordial operar en el punto de conexión la fase del sistema por medio de la Fijación de Fase[50]. La transformada de Clarke se emplea para transformar los elementos

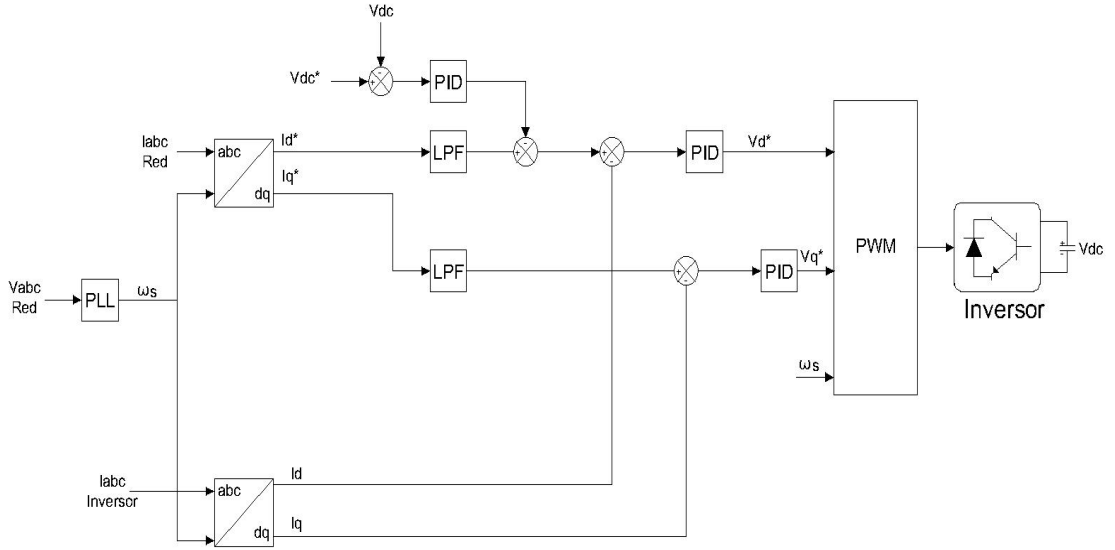


Figura 9. Estructura de control del filtro activo

α, β, c del sistema trifásico en un marco estable ortogonal de elementos α, β . Dado que, la transformada de Park transforma estos elementos α, β en un entorno de dependencia ortogonal rotatorio, de elementos d, q . En la transformada de Clarke, se detallan las siguientes ecuaciones posteriormente[51]:

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ 0 \end{bmatrix} = [T_{\alpha,\beta,0}] \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[T_{\alpha,\beta,0}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ 0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (11)$$

Se describen a la transformada de Park, mediante las siguientes ecuaciones[52]:

$$\begin{bmatrix} d \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & \sen \omega t \\ -\sen \omega t & \cos \omega t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (12)$$

Terminada la simulación se dividen los elementos no activos y activos de la energía, por medio de aquella modificación al proceso de dependencia sincrónico, en la Figura 9, visualizamos el esquema de control del filtro activo, en el cual se resalta que para ordenar la modulación del inversor son I_d y I_q mediante las señales de dependencia productivas. Estas señales conducen a crear las ideas de del inversor de modulación del filtro activo[53]. La dependencia de corriente resultante precedentemente del controlador modelado, el cual se manifiesta en elementos I_q que modifica la señal con elementos $\alpha\beta$ por medio de las ecuaciones (13) y (14)[54].

$$I_{\alpha} = I_d \cos\theta - I_q \sin\theta \quad (13)$$

$$I_{\beta} = I_d \sin\theta - I_q \cos\theta \quad (14)$$

A continuación el vector referencia es calculado mediante la ecuación (15)[54]:

$$V_r = \sqrt{I_{\alpha}^2 + I_{\beta}^2} \quad (15)$$

Después, t_0 , t_1 y t_2 se ejecutarán mediante las ecuaciones, los vectores espaciales(16), (17) y (18)[54].

$$t_0 = \Delta t - t_1 - t_2 \quad (16)$$

$$t_1 = \frac{V_r}{V_{DC}} * T_s * \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_r\right) \quad (17)$$

$$t_2 = \frac{V_r}{V_{DC}} * T_s * \sin(\theta_r) \quad (18)$$

Se miden los tiempos de pulsaciones de los transistores utilizados $S1$, $S2$ y $S3$, referente al lugar en el que se ubica el vector establecido, tal cual como se observa en las siguientes ecuaciones(19),(20),(21),(22),(23)y(24)[55]:

Sección 1:

$$\begin{aligned} S1 &= t_1 + t_2 + \frac{t_0}{2} \\ S2 &= t_2 + \frac{t_0}{2} \\ S3 &= \frac{t_0}{2} \end{aligned} \quad (19)$$

Sección 2:

$$\begin{aligned} S1 &= t_1 + \frac{t_0}{2} \\ S2 &= t_1 + t_2 + \frac{t_0}{2} \\ S3 &= \frac{t_0}{2} \end{aligned} \quad (20)$$

Sección 3:

$$\begin{aligned} S1 &= \frac{t_0}{2} \\ S2 &= t_1 + t_2 + \frac{t_0}{2} \\ S3 &= t_2 + \frac{t_0}{2} \end{aligned} \quad (21)$$

Sección 4:

$$\begin{aligned} S1 &= \frac{t_0}{2} \\ S2 &= t_1 + \frac{t_0}{2} \\ S3 &= t_1 + t_2 + \frac{t_0}{2} \end{aligned} \quad (22)$$

Sección 5:

$$\begin{aligned} S1 &= t_2 + \frac{t_0}{2} \\ S2 &= \frac{t_0}{2} \\ S3 &= t_1 + t_2 + \frac{t_0}{2} \end{aligned} \quad (23)$$

Sección 6:

$$\begin{aligned} S1 &= t_1 + t_2 + \frac{t_0}{2} \\ S2 &= \frac{t_0}{2} \\ S3 &= t_1 + \frac{t_0}{2} \end{aligned} \quad (24)$$

Las variables que se muestran a continuación se utilizan para el modelo del filtro activo.

$V_{DC}(AF)$	Voltaje en los capacitores del filtro activo.
I_s	Corriente del sistema.
$L_f(AF)$	Inductancia del filtro activo.

f_{sw}	Frecuencia de conmutación del inversor.
$C(AF)$	Capacitores del filtro activo.
a, b, c	Sistema de coordenadas trifásicas.
$\alpha, \beta, 0$	Marco de referencia estacionario ortogonal.
$d, q, 0$	Marco de referencia rotatorio ortogonal.
ω_t	Velocidad angular en tiempo de fase.
V_r	Vector de referencia en modulación PWM.
θ_r	Ángulo del Vector de referencia en modulación PWM.
S1	Tiempo de conmutación del transistor S1.
S2	Tiempo de conmutación del transistor S2.
S3	Tiempo de conmutación del transistor S3.

Filtro Activo con un convertidor IGBT

EL convertidor utilizado contiene un inversor de 3 polos con un interruptor controlado el posee señales de entrada para los transistores permitiendo el ingreso de control y un transistor de tres polos[56]. En la Figura 10 se visualiza un conversor IGBT trifásico conectados en paralelos que tiene la capacidad de conmutar en sistemas de alta tensión.

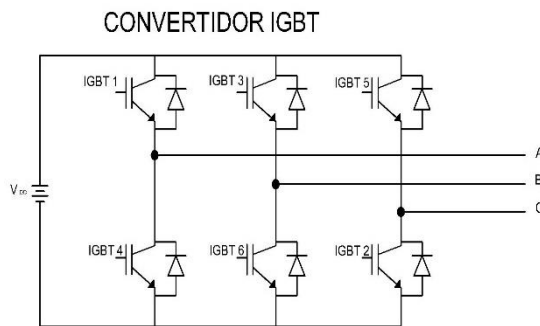


Figura 10. Modelo de un convertidor IGBT.

4 Análisis de resultados

La simulación contiene dos segmentos, los mismos que se diferencian por la inclusión del filtro activo en el segundo segmento.

- 1) El orden de los componentes para el **Segmento 1** es: Simulación a Sistema de 13 barras IEEE.
- 2) En tanto que el orden de los elementos para el **Segmento 2** es: Simulación a Sistema de 13 barras IEEE adaptado a un Filtro Activo (AF).

4.1 Sistema de Distribución de 13 barras de la IEEE.

Los nodos han sido diseñados para incorporar cargas trifásicas. Se estima al nodo 634 como la referencia para el respectivo unifilar de 13 barras IEEE que se observa en la Figura 11.

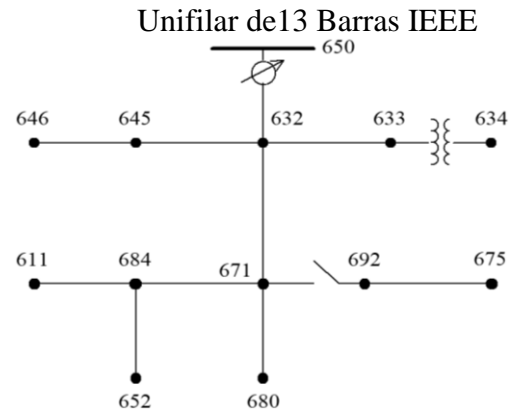


Figura 11. Unifilar de 13 barras IEEE.

La información del sistema de 13 barras IEEE se resume a continuación:

Tabla 1. Información del sistema de 13 barras de la IEEE

Nodo	P (kW)	Q (kVAR)	NIVEL DE VOLTAJE L - L (RMS) (v)
650	-	-	4160

646	B: 170 C: 125	B: 170 C: 125	4160
645	A: 170	A: 125	4160
632	A: 8.5 B: 33 C: 58.5	A: 5 B: 19 C: 34	4160
633	-	-	4160
634	A: 120 B: 120 C: 160	A: 90 B: 90 C: 110	480
611	C: 170	C: 80	4160
684	A: 128	A: 86	4160
671	-	-	4160
692	-	-	4160
675	A: 485 B: 68 C: 290	A: 190 B: 60 C: 212	4160
652	-	-	4160
680	-	-	4160

Seguidamente, se detalla la información diseñada para cada los elementos que pertenecen al sistema objeto de simulación:

La Tabla 2, detalla los datos respectivos que se diseñaron para el Inversor.

Tabla 2. Datos respectivos del inversor IGBT

$V_{in} (V)$	480
$V_{out} (V)$	440

$f_{sw} (Hz)$	5000
$f (Hz)$	60
$R_L (\Omega)$	$1.0000e - 4$
$L (H)$	$1.0000e - 5$

La Tabla 3, detalla las variables respectivas diseñadas del filtro activo.

Tabla 3. Datos respectivos del filtro activo

$V_S (V) - LL RMS$	480
$V_{DC} (V)$	440
$F (Hz)$	60
$R_S (\Omega)$	100
$C_S (F)$	$1.0000e - 6$
$R_{on} (\Omega)$	$1.0000e - 4$
$L_f AF (H)$	$1.0000e - 3$
$C AF (F)$	$5000e - 4$

Seguidamente, se ilustran aquellos resultados obtenidos en las simulaciones del sistema. Se muestra una distinción del estilo de los elementos del sistema, los cuales son: inversor y filtro activo. Seguidamente se finaliza con una comparación entre el Segmento 1 (simulación sin filtro activo) y el Segmento 2 (simulación con filtro activo).

4.2 Actuación del Inversor

Teniendo en cuenta el buen manejo de las anteriores etapas, se convierte de corriente continua a corriente alterna, teniendo en cuenta el funcionamiento del inversor. Se obtiene una corriente deseada a la salida del inversor, obteniendo un valor de 500 A, de modo que se determine el valor de corriente del nodo 634 del sistema sea el mismo, de tal manera es considerado como punto de conexión y la distribución dl sistema. Figura 12 se muestra la corriente que transita en el nodo 634 del sistema, por lo que, se observan perturbaciones provocadas por las cargas no lineales.

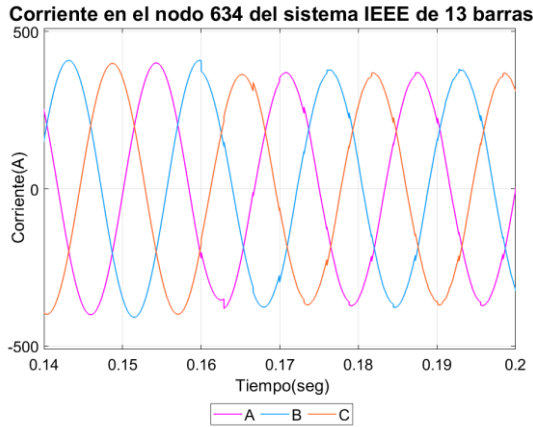


Figura 12. Corriente en el nodo 634 del sistema.

La Figura 13 muestra la salida de la corriente suministrada en el nodo 634 por el inversor del sistema. Podemos observar que no hay un alto grado de perturbación, ya que es censada por los filtros de suministro en la red.

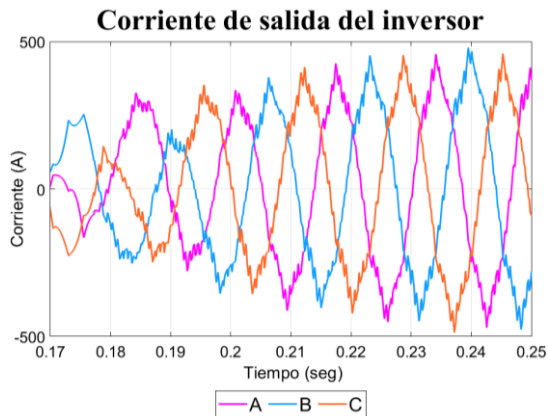


Figura 13. Corriente suministrada por el inversor abc.

4.3 Actuación del filtro activo

El filtro activo requiere de dos etapas, por lo cual la primera etapa consiste que el sistema sea eficaz para ser estudiada la corriente continua que circula por los capacitores. Seguidamente la segunda etapa consiste de un correcto filtrado hacia los armónicos en los elementos (q y d) y al sistema de distribución lo cual suministra una corriente del filtrado, consecuentemente la corriente que llegue a suministrar al filtro activo sea apta de equilibrar los armónicos. La Figura 14, muestra la medición del voltaje en aquellos

capacitores del filtro activo. Ilustra que exhibe una correcta estabilidad en el ámbito transitorio y aquella reacción veloz, esto hace que el sistema de control del filtro activo contiene un procedimiento correcto.

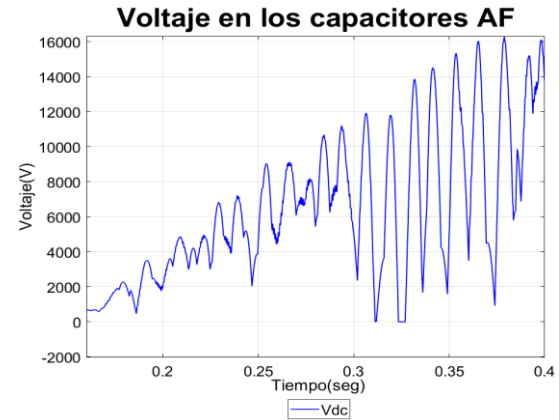


Figura 14. Medición del voltaje en capacitores del filtro activo.

La Figura 15 muestra aquella corriente en los capacitores suministrada por el filtro activo, para descartar armónicos detectados en corriente suministrada al sistema.

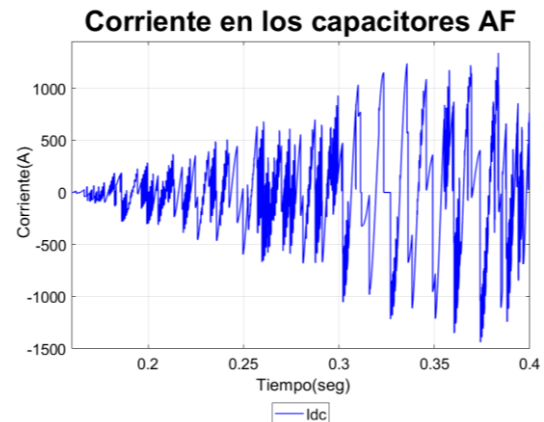


Figura 15. Compensación de corriente suministrada por el filtro activo al sistema.

4.4 Comparación entre el Segmento 1 y el Segmento 2

En el Segmento 1 y 2, se obtiene la utilidad del accionamiento del filtro activo, referente a la mitigación de perturbaciones. Debido a esto, se debe examinar el cambio en la corriente del nodo 634 (enlace en fuente) en el Segmento 1 (sin filtro activo) y Segmento 2 (con filtro activo).

La Figura 16, muestra una comparación entre la corriente tomada del nodo 634 del sistema al igual que la Figura 17 y Figura 18, para el Segmento 1 y 2, de las fases correspondientes.

Luego se muestran las respectivas figuras de integración de un filtro activo, lo que conlleva a una mitigación de los armónicos hacia la señal de corriente.

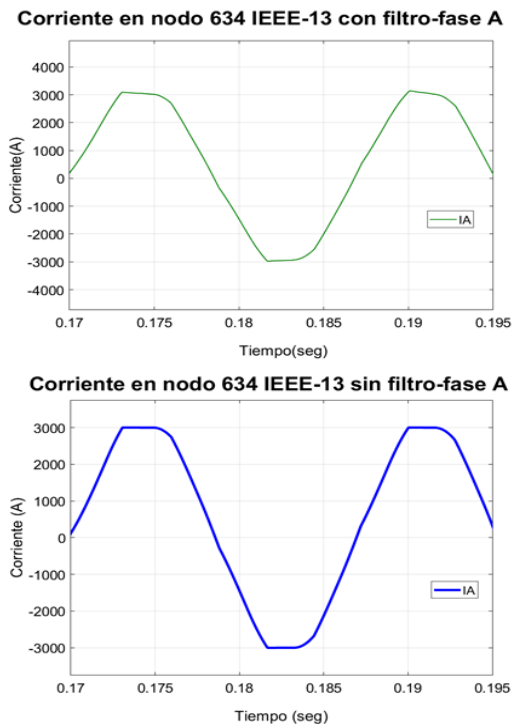


Figura 16. Comparación de corriente en nodo 634 con filtro y sin filtro para la fase a

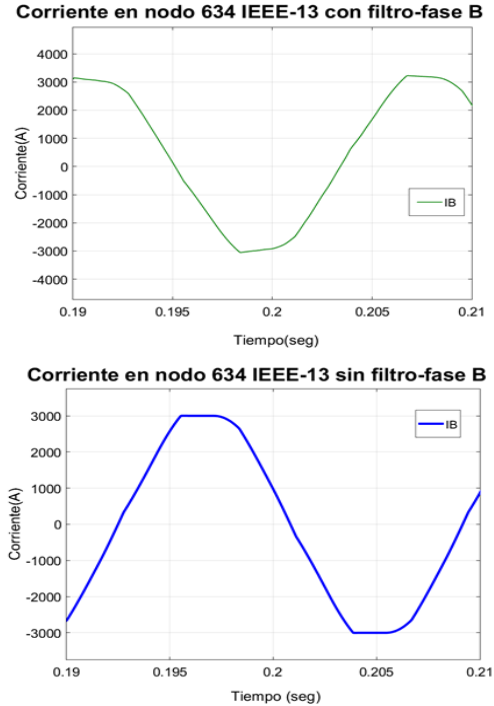


Figura 17. Comparación de corriente en nodo 634 con filtro y sin filtro para la fase b.

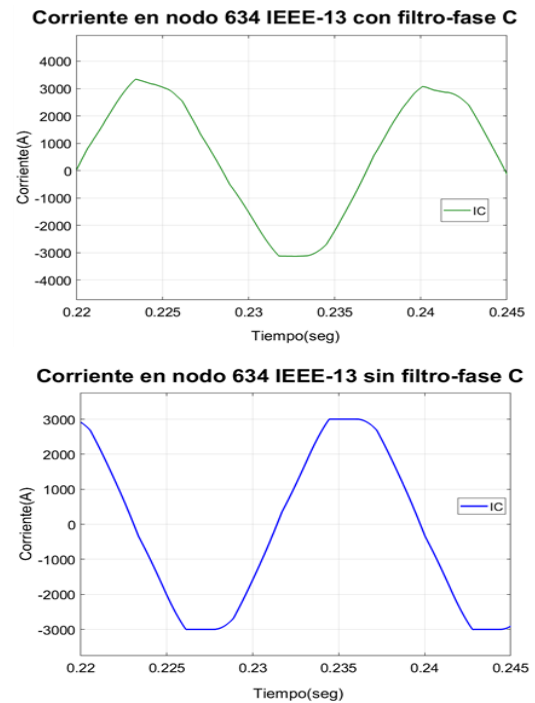


Figura 18. Comparación de corriente en nodo 634 con filtro y sin filtro para la fase c.

Una vez reducido los armónicos con el accionamiento del filtro activo, también se observa en la operación de los armónicos, el cual muestra en la Tabla 4, Figura 19 y Figura 20.

Tabla 4. Comparación de distorsión armónica para el Segmento 1 y el Segmento 2

<i>Linea</i>	<i>THD sin AF</i> %	<i>THD con AF</i> %
a	30%	4%
b	32%	4.5%
c	28%	4%

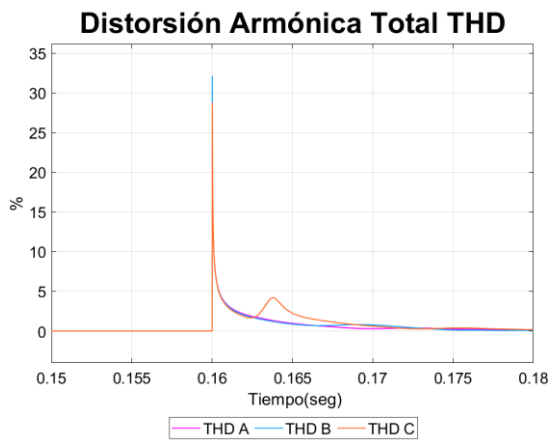


Figura 19. THD de Corriente en nodo 634 **sin filtro activo**

La Figura 19 se observa una señal de distorsión armónica de corriente, mediante un ciclo de tiempo aproximado 0.18 segundos, se demuestran fluctuaciones de los armónicos en cada una de las fases, por lo cual se debe a lo largo de este ciclo de tiempo, son ocasionados por la inestabilidad de operación del sistema. Una vez formalizado el sistema, se decretan el tanto por ciento de perturbaciones de una forma clara como se demuestra en la figura anterior. Aquella integración del filtro activo implica que la distorsión armónica se disminuya gradualmente, a pesar de que, a lo largo de un período leve de tiempo alrededor de 0.16 segundos, se ilustra fluctuaciones de armónicos que generan consecuencias del estado informal de operación, por lo que se muestra en la

Figura 19, dando como resultado un sistema en conjunto ha aumentado ya que se ha incorporado el inversor del filtro activo, lo que generan armónicos y retrasan un tiempo en volver a su normalidad, lo expresado se muestra en la Figura 20.

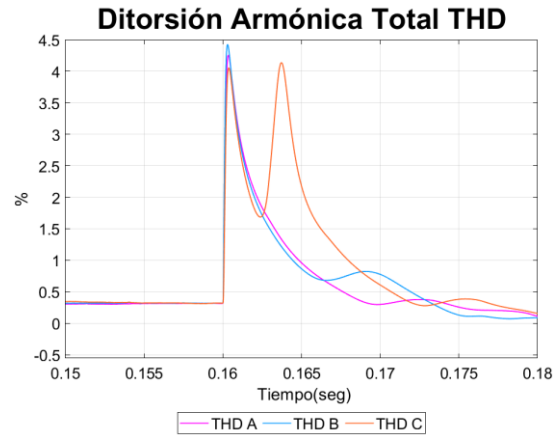


Figura 20. THD de Corriente en nodo 634 **con filtro activo**

Los tiempos de fluctuaciones de los armónicos con la ejecución o no de un filtro activo, se estima una conexión eficaz con su respectiva carga resistiva y los capacitores, por ende, los tiempos obtenidos de los deltas son irrelevantes en comparación a la relación del sistema estacionario de la operación.

5 Conclusiones

Lo descrito e investigado en el actual informe, se describen las siguientes conclusiones:

- Los filtros activos para una red de prueba se utilizó una frecuencia en 5 kHz por lo cual son datos que se esperaban, sin embargo, la perspectiva de estructura y ejecuciones físicas se aconseja usar frecuencias con permutación superior con la finalidad de aminorar el rango de los materiales y los elementos semiconductores.
- Con los datos de las simulaciones respectivas, se puede concluir que tiene un correcto funcionamiento el inversor, ya que los diversos del mismo

- alcanzaron la magnitud establecida de manera apresurada. Seguidamente conseguimos la salida del inversor en corriente alterna proyectada, lo que dio como resultado en 500A.
- El filtro activo, disminuye las perturbaciones provocadas por cargas no lineales. Precisamente se tuvo una disminución de distorsión armónica, por lo tanto, en la fase A se redujo de 30% a 4%, en la fase B se redujo de 32% a 4.5% y concluye en la fase C se redujo de 28% a 4%.
 - La inductancia de conexión al sistema ejerce consecuentemente como un filtrado para la reducción de armónicos, de tal modo que en la conexión hacia el nodo 634 del sistema, inclusive sin ejecutar el filtro activo, demostraba un indicador no tan elevado de distorsión armónica de corriente.

Trabajos Futuros

Según lo investigado en el actual documento, se plantea como temas a investigar, los siguientes:

- Reducción de la distorsión armónica total del inversor multinivel en puente H en cascada con el uso del método de fase.
- Reducción de la distorsión armónica de n-MOSFET de pozo cuántico InAs de 14 nm para una alta eficiencia de conversión de CC a CA y una alta ganancia de voltaje.
- Reducción de varias resonancias armónicas en un sistema de distribución de energía mediante el método de control de corriente.
- Reducción de armónicos en inversores CHB de 13 niveles mediante estrategia de frecuencia fundamental PAM.

- Mitigación de la distorsión armónica total en el voltaje de salida del controlador de voltaje de tiristor para motores asíncronos monofásicos.
- Reducción del contenido de armónicos para aplicaciones de electrónica de potencia utilizando inversores de niveles múltiples con abrazadera de diodo.

6 Referencias

- [1] D. A. L. Brandao, T. M. Parreiras, I. A. Pires, and B. D. J. Cardoso Filho, "Robust Implementation of Zero Harmonic Distortion Converter in Distorted Grids," *Conf. Rec. - IAS Annu. Meet. (IEEE Ind. Appl. Soc.*, vol. 2022-Octob, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1109/IAS54023.2022.9939837.
- [2] K. A. Khalid, M. I. Fahmi, H. F. Liew, M. Z. Aihsan, and M. Saifizi, "Total Harmonic Distortion Comparison Analysis between High-Power Density Inverter and Multilevel Inverter," *19th IEEE Student Conf. Res. Dev. Sustain. Eng. Technol. Towar. Ind. Revolution, SCOReD 2021*, pp. 228–232, 2021, doi: 10.1109/SCOReD53546.2021.9652687.
- [3] L. Alhafadhi and J. Teh, "Kalman Filter for Reducing Total Harmonics Distortion in Stand-alone PV System," *Proc. 2020 Glob. Mosharaka Congr. Electr. Eng. GC-ElecEng 2020*, pp. 81–87, 2020, doi: 10.23919/GC-ElecEng48342.2020.9286275.
- [4] S. Koli, G. Gokhale, and R. Munje, "Case Study on Harmonics Generated by Personal Computers: Analysis and Mitigation," *2018 Int.*

- Conf. Adv. Commun. Comput. Technol. ICACCT 2018*, pp. 335–339, 2018, doi: 10.1109/ICACCT.2018.8529648.
- [5] D. S. Hoo *et al.*, “Mitigation of Harmonic Distortions with Shunt Active Harmonic Filter using SVPWM Technique,” *3rd IEEE Int. Virtual Conf. Innov. Power Adv. Comput. Technol. i-PACT 2021*, pp. 1–6, 2021, doi: 10.1109/i-PACT52855.2021.9696506.
- [6] S. Biricik and Ö. C. Özerdem, “Harmonic distortion comparison of switched capacitors with active power filter for reactive power compensation,” *2010 9th Conf. Environ. Electr. Eng. EEEIC 2010*, vol. 2, no. 4, pp. 269–272, 2017, doi: 10.1109/EEEIC.2010.5489949.
- [7] G. Esposito, F. Foiadelli, and M. Roscia, “Impact of harmonic filters in MV distribution systems,” *ICHQP 2010 - 14th Int. Conf. Harmon. Qual. Power*, pp. 13–16, 2010, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625362.
- [8] N. D. Rao, S. I. Sporea, and A. Sawma, “Analysis of resonance problems and harmonic filter design in power factor correction capacitor applications,” *Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, vol. 1, pp. 293–296, 2018, doi: 10.1109/ccece.1998.682742.
- [9] J. R. Johnson, “Managing harmonics and resonance with active harmonic filters in an offshore ring main oil field,” *ICHQP 2008 13th Int. Conf. Harmon. Qual. Power*, no. 1016, pp. 5–12, 2018, doi: 10.1109/ICHQP.2008.4668749.
- [10] Y. D. Lee, C. S. Chen, C. T. Hsu, and H. S. Cheng, “Harmonic analysis for the distribution system with dispersed generation systems,” *Int. Conf. Power Syst. Technol. POWERCON2006*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/ICPST.2006.321852.
- [11] S. Kihwele, “Modelling of shunt active power filter for harmonics case study of steel industry,” *ICEIC 2019 - Int. Conf. Electron. Information, Commun.*, 2019, doi: 10.23919/ELINFOCOM.2019.8706486.
- [12] S. Deilami, M. A. S. Masoum, and M. Moghbel, “Derating active power filters considering network and bus voltage total harmonic distortions,” *EEEIC 2016 - Int. Conf. Environ. Electr. Eng.*, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555858.
- [13] R. Rob, I. Sora, C. Panoiu, and M. Panoiu, “Using active filters in reducing of the total harmonic distortion on electro thermal installation with electromagnetic induction,” in *SPEEDAM 2010 - International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2010, pp. 233–238. doi: 10.1109/SPEEDAM.2010.5545063.
- [14] K. D. McBee and M. G. Simões, “Evaluating the long-term impact of a continuously increasing harmonic demand on feeder-level voltage distortion,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 50, no. 3, pp. 2142–2149, 2015, doi: 10.1109/TIA.2013.2288606.
- [15] J. Tandekar, A. Ojha, and S. Jain, “Real time implementation of multilevel converter based shunt active power filter for harmonic compensation in distribution system,” *India Int. Conf. Power Electron. IICPE*, vol. 2016-Novem, no. 1, 2016, doi:

- 10.1109/IICPE.2016.8079499.
- [16] L. Motta and N. Faúndes, “Active / passive harmonic filters: Applications, challenges & trends,” *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, vol. 2016-Decem, no. 1, pp. 657–662, 2016, doi: 10.1109/ICHQP.2016.7783319.
- [17] M. Izhar, C. M. Hadzer, M. Syafrudin, S. Taib, and I. Idris, “Performance for passive and active power filter in reducing harmonics in the distribution system,” *Natl. Power Energy Conf. PECon 2004 - Proc.*, pp. 104–108, 2016, doi: 10.1109/PECON.2004.1461625.
- [18] M. E. Farrag, A. Haggag, H. Farooq, and W. Ali, “Analysis and mitigation of harmonics caused by air conditioners in a distribution system,” *2017 19th Int. Middle-East Power Syst. Conf. MEPCON 2017 - Proc.*, vol. 2018-Febru, no. December, pp. 702–707, 2018, doi: 10.1109/MEPCON.2017.8301258.
- [19] S. J. Bester and G. Atkinson-Hope, “Harmonic filter design to mitigate two resonant points in a distribution network,” *2011 21st Australas. Univ. Power Eng. Conf. AUPEC 2011*, 2011.
- [20] K. Wang, S. Guan, Q. Hou, Y. Hou, and Q. Wu, “Investigation of harmonic distortion and losses in distribution systems with non-linear loads,” *2008 China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED 2008*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/CICED.2008.5211816.
- [21] A. M. Fahmy, A. K. Abdelslam, A. A. Lotfy, M. Hamad, and A. Kotb, “A four leg shunt active power filter predictive fuzzy logic controller for low-voltage unbalanced-load distribution networks,” *J. Power Electron.*, vol. 18, no. 2, pp. 573–587, 2018, doi: 10.6113/JPE.2018.18.2.573.
- [22] A. Bueno, M. I. Giménez, J. Restrepo, and J. M. Aller, “Active harmonic filters and balance compensation on electric railway systems using the open delta transformer connection,” *2009 13th Eur. Conf. Power Electron. Appl. EPE '09*, 2019.
- [23] K. P. Kumar, R. Vanitha, and S. S. Hemesh, “Reduction of harmonic distortion in micro grids and distribution systems with photovoltaic generators,” *6th Int. Conf. Comput. Power, Energy, Inf. Commun. ICCPEIC 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 768–772, 2018, doi: 10.1109/ICCPEIC.2017.8290466.
- [24] A. Ravikumar, N. Mohan, and K. P. Soman, “Performance Enhancement of a Series Active Power Filter using Kalman Filter based Neural Network Control Strategy,” *2018 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics, ICACCI 2018*, pp. 1702–1706, 2018, doi: 10.1109/ICACCI.2018.8554889.
- [25] N. A. Rahim, S. Mekhilef, and I. Zahrul, “A single-phase active power filter for harmonic compensation,” *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 1075–1079, 2015, doi: 10.1109/ICIT.2005.1600795.
- [26] T. Kilić, B. Terzić, and M. Despalatović, “Active power filter for harmonic distortion compensation of induction motors with soft starting,” *2005 Eur. Conf. Power Electron. Appl.*, pp. 1–8, 2015, doi: 10.1109/epe.2005.219256.
- [27] M. Brenna, F. Foidelli, G. C. Lazaroiu, and D. Zaninelli,

- “Harmonic analysis of the secondary distribution network in naval systems,” *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, pp. 541–545, 2017, doi: 10.1109/ICHQP.2012.6381288.
- [28] A. A. Valdez-Fernandez, K. O. Mtepele, D. U. Campos-Delgado, and G. Escobar, “A generalized model-based controller for the n-level CHB multilevel converter used as a shunt active filter,” *2015 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2015*, vol. 60, no. 11, pp. 5019–5028, 2016, doi: 10.1109/ROPEC.2015.7395086.
- [29] Y. JianHong, G. BingKun, and W. XiaoHua, “Optimal configuration of the active power filter in distribution network of single/multi harmonic sources,” 2009. doi: 10.1109/SUPERGEN.2009.5348378.
- [30] D. Trelles-Molina, D. A. Ortunno-Gonzalez, R. A. Rosado-Romero, E. Fernandez-Medina, and A. Berrueto-Garza, “Harmonic Filtering Scheme Selection Based on Diagnosis with Independent Component Analysis,” *2021 IEEE Int. Power Renew. Energy Conf. IPRECON 2021*, 2021, doi: 10.1109/IPRECON52453.2021.9640840.
- [31] S. G. 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, 2018, doi: 10.1109/SPEEDHAM.2008.4581063.
- [32] R. Rob, I. Sora, C. Panoiu, and M. Panoiu, “Using active filters in reducing of the total harmonic distortion on electro thermal installation with electromagnetic induction,” *SPEEDAM 2010 - Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion*, pp. 233–238, 2017, doi: 10.1109/SPEEDAM.2010.5545063.
- [33] J. A. Houdek, “Eliminating harmonics problems caused by VFDs,” *Transm. Distrib. Expo. Conf. 2008 IEEE PES Powering Towar. Futur. PIMS 2008*, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/TDC.2008.4517271.
- [34] M. G. Cimatori, M. Tinari, C. Buccella, and C. Cecati, “A high efficiency Selective Harmonic Elimination technique for multilevel converters,” *SPEEDAM 2018 - Proc. Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion*, pp. 673–677, 2018, doi: 10.1109/SPEEDAM.2018.8445285.
- [35] R. Terán, J. Pérez, J. Beristáin, and V. Cárdenas, “Sintonización del controlador en cascada PI-STA para aplicaciones de filtros activos de potencia,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind.*, vol. 17, no. 2, p. 130, 2020, doi: 10.4995/riai.2020.12403.
- [36] M. Golla, K. Chandrasekaran, and S. P. Simon, “Energy for Sustainable Development PV integrated universal active power filter for power quality enhancement and effective power management,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 61, pp. 104–117, 2021, doi: 10.1016/j.esd.2021.01.005.
- [37] N. Nayusrizal, I. Untari, A. A. Putra, and C. Hudaya, “Effects of Harmonic Distortions on the

- Accuracy of Energy and Power Losses Measurements in a Water Treatment Industry,” *2019 IEEE 2nd Int. Conf. Power Energy Appl. ICPEA 2019*, pp. 277–281, 2019, doi: 10.1109/ICPEA.2019.8818547.
- [38] EDISON DANIEL GARCES PATIÑO, “CÁLCULO DE IMPEDANCIA EQUIVALENTE PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS TRANSMISIÓN HVDC MEDIANTE EL CONTROL DE CONVERTORES DE POTENCIA,” 2020.
- [39] M. E. de Lima Tostes, U. H. Bezerra, R. D. S. Silva, J. A. L. Valente, C. C. M. de Moura, and T. M. M. Branco, “Impacts over the distribution grid from the adoption of distributed harmonic filters on low-voltage customers,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 1, pp. 384–389, Jan. 2005, doi: 10.1109/TPWRD.2004.835038.
- [40] L. Monacelli, R. Bianco, M. Cherubini, M. Calandra, I. Errea, and F. Mauri, “The stochastic self-consistent harmonic approximation: Calculating vibrational properties of materials with full quantum and anharmonic effects,” *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 33, no. 36, 2021, doi: 10.1088/1361-648X/ac066b.
- [41] A. B. F. Neves, M. V. B. De Mendonça, A. De Leles Ferreira Filho, and G. Z. Rosa, “Effects of voltage unbalance and harmonic distortion on the torque and efficiency of a Three-Phase Induction Motor,” *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, vol. 2016-Decem, pp. 943–948, 2016, doi: 10.1109/ICHQP.2016.7783350.
- [42] Cárdenas and F. Jiménez, “Aspectos Generales de Filtros Activos de Potencia en Sistemas de Potencia,” *III Simp. Int. sobre Calid. la Energía Eléctrica*, vol. 77, no. December 2014, pp. 1–10, 2015.
- [43] Eduardo Morales Padilla Jorge, ““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,”” Sep. 2021.
- [44] E. H. E. Aboadla, S. Khan, M. H. Habaebi, T. Gunawan, B. A. Hamidah, and M. Tohtayong, “Modulation Optimization Effect on Total Harmonic Distortion of Single Phase H-Bridge Inverter Based Selective Harmonics Elimination Technique,” *Proc. - 6th Int. Conf. Comput. Commun. Eng. Innov. Technol. to Serve Humanit. ICCCE 2016*, pp. 200–203, 2016, doi: 10.1109/ICCCE.2016.52.
- [45] Q. Duan *et al.*, “Flexible power distribution unit - A novel power electronic transformer development and demonstration for distribution system,” in *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2015, pp. 534–537. doi: 10.1109/IECON.2015.7392155.
- [46] D. O. Pinzón Ardila, “Compensación Selectiva de Armónicos Mediante Filtros Activos de Potencia,” *IEEE Int. Conf. Neural Networks - Conf. Proc.*, pp. 1–255, 2017.
- [47] F. Santos, M. Pimentel, E.

- Avendaño, A. Rincon, and J. I. Huircán, “Filtros Activos , Conceptos Básicos y Diseño Filtros Activos , Conceptos Básicos y Diseño,” *IEEE Int. Conf. Neural Networks - Conf. Proc.*, 2019.
- [48] R. E. Morrison, “Harmonic distortion in commercial establishments,” *IEE Colloq.*, no. 96, pp. 311–314, 2017, doi: 10.1049/ic:19970546.
- [49] C. Ling, B. Ge, D. Bi, and Q. Ma, “An effective power electronic transformer applied to distribution system,” 2011. doi: 10.1109/ICEMS.2011.6073552.
- [50] M. R. S. Herrera, *Nuevas propuestas en la teoría de la potencia reactiva instantánea : aplicación a la compensación de cargas industriales con filtros activos de potencia.* 2017.
- [51] S. M. Hosseini and S. Jalilzade, “A new method to analyze power quality phenomena using wavelet and s-transform matrix,” 2013. doi: 10.1109/epdc.2013.6565970.
- [52] FRANCISCO JAVIER VACA DÁVALOS, “MINIMIZACIÓN DE THD EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL EN ESPACIO VECTORIAL EN INVERSORES DE POTENCIA,” Aug. 2021.
- [53] S. Kihwele, “Modelling of shunt active power filter for harmonics case study of steel industry,” *ICEIC 2019 - Int. Conf. Electron. Information, Commun.*, pp. 31–32, 2019, doi: 10.23919/ELINFOCOM.2019.8706486.
- [54] R. Pandurangan, P. Kaliannan, and P. Shanmugam, “Effects of Current Distortion on DC Link Inductor and Capacitor Lifetime in Variable Frequency Drive Connected to Grid with Active Harmonic Filter,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 57, no. 1, pp. 492–505, 2021, doi: 10.1109/TIA.2020.3028555.
- [55] B. A. Aguilar-López, J. A. Juárez-Abad, J. L. Barahona-Avalos, R. Mayoral-Lagunes, J. Linares-Flores, and M. A. Contreras-Ordaz, “Control para el voltaje de salida de un inversor multinivel de capacitores flotantes,” *Ingenius*, no. 24, pp. 68–80, 2020, doi: 10.17163/ings.n24.2020.07.
- [56] H. Skudelny, “Analytical Analysis of the Harmonic Effects of a PWM AC Drive,” *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 3, no. 2, pp. 216–223, 2019.

6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 1. Matriz de estado del arte

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN																			
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		ALGORITMO DE RESOLUCIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA			
				Implementación de filtros activos	Modulación de la corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía
1	2018	A four-leg shunt active power filter predictive fuzzy logic controller for low-voltage unbalanced-load distribution networks	203			☒						☒							
2	2016	A generalized model-based controller for the n-level CHB multilevel converter used as a shunt active filter	57	☒					☒			☒						☒	
3	2016	Current Harmonics Mitigation using a Modular Multilevel Converter-Based Shunt Active Power Filter	56							☒									☒
4	2016	Modular Multilevel Converter Modulation Using Fundamental Switching Selective Harmonic Elimination Method	1633							☒		☒							
5	2014	Identifying the Relationship Between Voltage Harmonic Distortion and the Load of Harmonic Producing Devices in Distribution Networks	144	☒								☒							
6	2019	A New Harmonic Optimization Strategy for Modular Multilevel Converter	2		☒														☒
7	2016	A Harmonic Distortion Analysis of Power Distribution Systems with Hybrid Power Filter	4					☒			☒							☒	
8	2017	Harmonic distortion comparison of switched capacitors with active power filter for reactive power compensation	0							☒				☒					☒

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Implementación de filtros activos	Modulación de la corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía	Diseño e implementación del inversor		
9	2015	Comparing total harmonic distortion for cascade H-bridge multilevel active front-end converters with low carrier ratio	3	☒																	☒	
10	2017	Harmonic distortion in commercial establishments	65		☒			☒					☒									
11	2017	Effect of nonlinear load distributions on total harmonic distortion in a power system	40									☒		☒								☒
12	2015	On the definition of total harmonic distortion and its effect on measurement interpretation	115		☒													☒				
13	2020	Estimation Methods for Power System Harmonic Effects on Power Distribution Transformers	2	☒			☒			☒												
14	2019	Calculation of the harmonic passive filters	24		☒			☒				☒										
15	2013	Harmonic filter design to mitigate two resonant points in a distribution network	8	☒				☒						☒								
16	2021	Harmonic Intelligent Control with Active Power Filter	0						☒													
17	2016	Aplicación de un filtro activo de corriente para mejorar la calidad de la energía en un sistema eléctrico industrial	10													☒						

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Implementación de filtros activos	Modulación del perfil de corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía	Diseño e implementación del inversor	
18	2017	Excitación y control de IGBT de un inversor trifásico sinusoidal	7	<input checked="" type="checkbox"/>																	
19	2020	Simulation of power active filter using instantaneous reactive power theory	2		<input checked="" type="checkbox"/>									<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
20	2018	Estrategia de Control para Inversor Multinivel con Capacitores Flotantes				<input checked="" type="checkbox"/>															
21	2020	Active Filters with reduced Harmonic Distortion					<input checked="" type="checkbox"/>														
22	2018	Case Study on Harmonics Generated by Personal Computers: Analysis and Mitigation												<input checked="" type="checkbox"/>							
23	2020	Kalman Filter for Reducing Total Harmonics Distortion in Stand-alone PV System													<input checked="" type="checkbox"/>						
24	2021	Mitigation of Harmonic Distortions with Shunt Active Harmonic Filter using SVPWM Technique															<input checked="" type="checkbox"/>				

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Implementación de filtros activos	Modulación del perfil de corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía	Diseño e implementación del inversor
25	2017	Excitación y control de IGBT de un inversor trifásico sinusoidal	7	<input checked="" type="checkbox"/>																
26	2020	Simulation of power active filter using instantaneous reactive power theory	2		<input checked="" type="checkbox"/>									<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
27	2018	Estrategia de Control para Inversor Multinivel con Capacitores Flotantes				<input checked="" type="checkbox"/>														
28	2020	Active Filters with reduced Harmonic Distortion					<input checked="" type="checkbox"/>													
29	2018	Case Study on Harmonics Generated by Personal Computers: Analysis and Mitigation												<input checked="" type="checkbox"/>						
30	2020	Kalman Filter for Reducing Total Harmonics Distortion in Stand-alone PV System													<input checked="" type="checkbox"/>					
31	2021	Mitigation of Harmonic Distortions with Shunt Active Harmonic Filter using SVPWM Technique															<input checked="" type="checkbox"/>			

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Implementación de filtros activos	Modulación del perfil de corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía	Diseño e implementación del inversor
32	2020	Performance Analysis on Three-Phase Inverter for Minimizing Total Harmonic Distortion Using Space Vector Pulse Width Modulation Technique	7	<input checked="" type="checkbox"/>																
33	2020	Reduction of Various Harmonic Resonances in a Power Distribution System by Current Control Method	2											<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
34	2020	Robust Implementation of Zero Harmonic Distortion Converter in Distorted Grids			<input checked="" type="checkbox"/>															
35																				
36																				
37																				
38																				

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Implementación de filtros activos	Modulación del perfil de corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía	Diseño e implementación del inversor	
39	2017	Excitación y control de IGBT de un inversor trifásico sinusoidal	7	<input checked="" type="checkbox"/>																	
40	2020	Simulation of power active filter using instantaneous reactive power theory	2		<input checked="" type="checkbox"/>									<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
41	2018	Estrategia de Control para Inversor Multinivel con Capacitores Flotantes				<input checked="" type="checkbox"/>															
42	2020	Active Filters with reduced Harmonic Distortion					<input checked="" type="checkbox"/>														
43	2018	Case Study on Harmonics Generated by Personal Computers: Analysis and Mitigation												<input checked="" type="checkbox"/>							
44	2020	Kalman Filter for Reducing Total Harmonics Distortion in Stand-alone PV System														<input checked="" type="checkbox"/>					
45	2021	Mitigation of Harmonic Distortions with Shunt Active Harmonic Filter using SVPWM Technique															<input checked="" type="checkbox"/>				

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Implementación de filtros activos	Modulación del perfil de corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía	Diseño e implementación del inversor	
46	2017	Excitación y control de IGBT de un inversor trifásico sinusoidal	7	<input checked="" type="checkbox"/>																	
47	2020	Simulation of power active filter using instantaneous reactive power theory	2		<input checked="" type="checkbox"/>									<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
48	2018	Estrategia de Control para Inversor Multinivel con Capacitores Flotantes				<input checked="" type="checkbox"/>															
49	2020	Active Filters with reduced Harmonic Distortion					<input checked="" type="checkbox"/>														
50	2018	Case Study on Harmonics Generated by Personal Computers: Analysis and Mitigation												<input checked="" type="checkbox"/>							
51	2020	Kalman Filter for Reducing Total Harmonics Distortion in Stand-alone PV System													<input checked="" type="checkbox"/>						
52	2021	Mitigation of Harmonic Distortions with Shunt Active Harmonic Filter using SVPWM Technique															<input checked="" type="checkbox"/>				

REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE FILTROS ACTIVOS BASADO EN CONVERTIDORES MULTINIVEL EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACION DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE RESOLUCIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA		
				Implementación de filtros activos	Modulación del perfil de corriente	Calidad de Energía	Modelación y simulación de sistemas desbalanceado	Inversor IGBT	Filtro activo	Simulación de modelo	Evaluación de la operación en relación a la calidad de energía	Convertidor elevador	Inversor	Registro de medidas de parámetros eléctricos voltaje y corriente a la salida del arreglo	Cálculo de los parámetros ajustados	Validación de los parámetros de diseño	Análisis de resultados de las variables de salida del convertidor	Diseño e implementación del filtro activo	Validación de los parámetros asociados a la calidad de energía
53	2017	Excitación y control de IGBT de un inversor trifásico sinusoidal	7		☒														
54	2020	Simulation of power active filter using instantaneous reactive power theory	2			☒							☒		☒	☒			
55	2018	Estrategia de Control para Inversor Multinivel con Capacitores Flotantes					☒												
56	2020	Active Filters with reduced Harmonic Distortion						☒											

6.2 Resumen de Indicadores

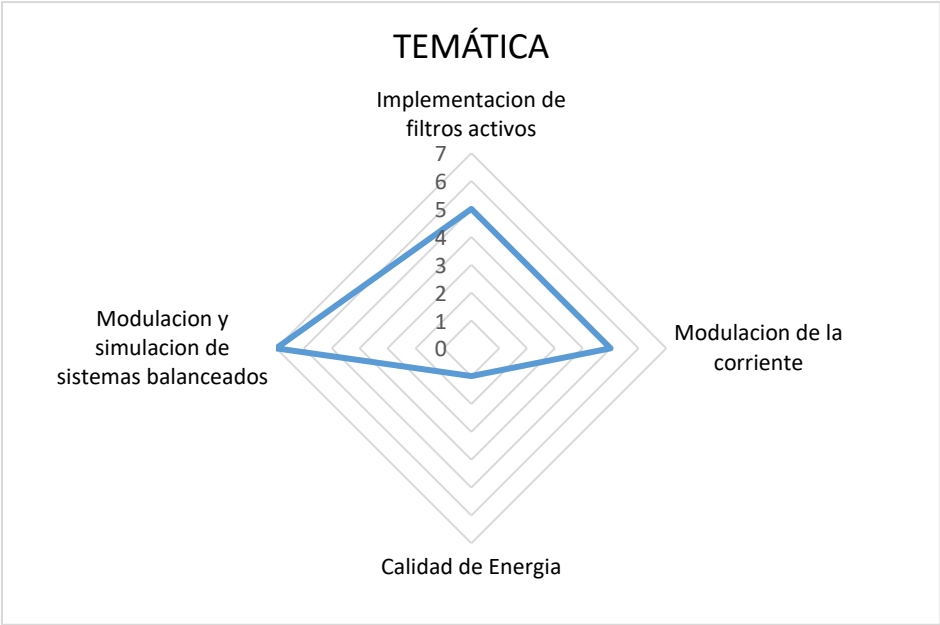


Figura 21. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

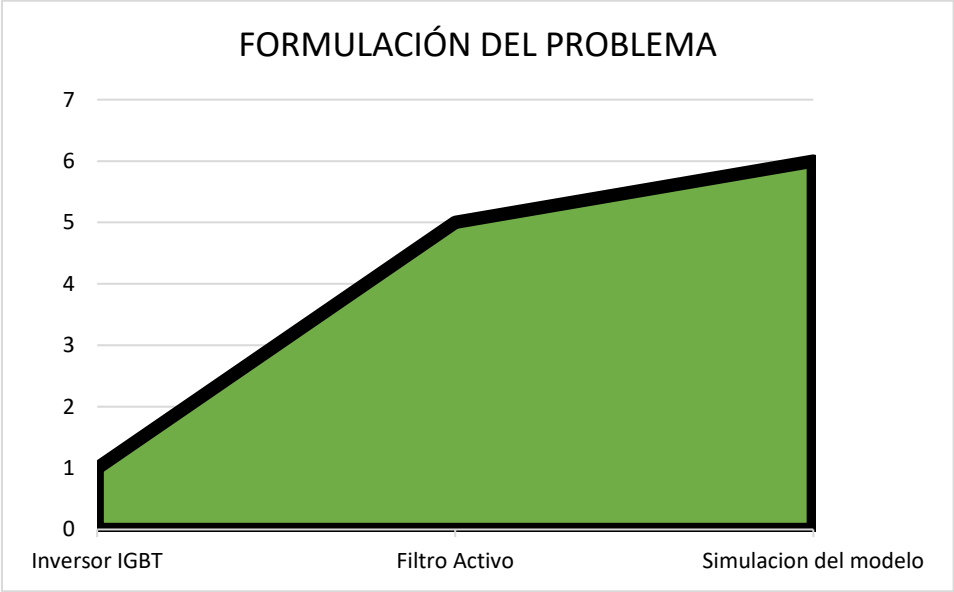


Figura 22. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

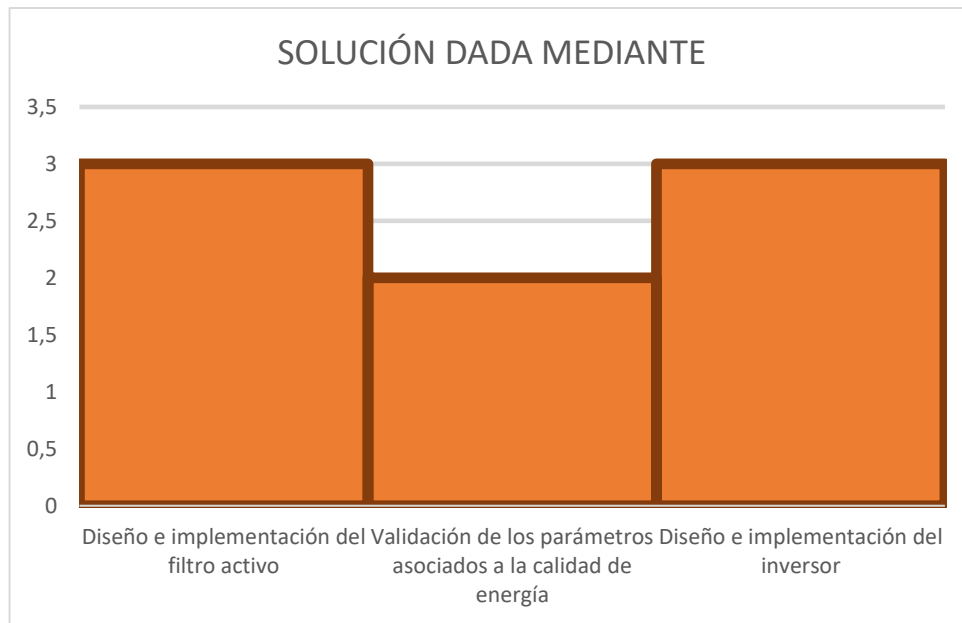


Figura 23. Indicador de solución - Estado del arte.