

**DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA
LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN
UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO
EL CONTROLADOR PROPORCIONAL
INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA.**



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

**DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA
LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN
UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO
EL CONTROLADOR PROPORCIONAL
INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA.**

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

AUTOR: KAREN NICOLE TISALEMA ARIAS
TUTOR: WILSON DAVID PAVÓN VALLEJOS

Quito -Ecuador
2023

Karen Nicle Tisalema Arias

DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO EL CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Karen Nicole Tisalema Arias (Y'1996). Ella Realizó sus estudios secundarios en el Colegio “Municipal Antonio José de Sucre, con título de bachiller en ciencias generales. Estudiante de último nivel de la carrera de Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la disminución de armónicos con un acondicionador de cálida de energía unificado. ktisalema@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@est.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, Karen Nicole Tisalema Arias con documento de identificación N° 1725524233 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, 3 de julio del año 2023

Atentamente,

Karen Tisalema

Karen Nicole Tisalema Arias

1725524233

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

Yo, Karen Nicole Tisalema Arias con documento de identificación No. 1725524233, 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: "Diseño de un acondicionador para la reducción de los armónicos en una micro-red eléctrica utilizando el controlador proporcional integral con corriente interna", 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, 3 de julio del año 2023

Atentamente,

Karen Tisalema

Karen Nicole Tisalema Arias

1725524233

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: **DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO EL CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA**, realizado por Karen Nicole Tisalema Arias con documento de identificación N° 1725524233, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 3 de julio del año 2023

Atentamente,



Ing. Wilson David Pavón Vallejos, MSc
1719224311

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Estado del Arte.....	2
2.1	Micro-Redes.....	2
2.2	Calidad de Energía.....	4
2.3	Armónicos.	4
2.4	Acondicionador de calidad de energía unificado (UPQC).	5
3	Metodología.....	6
3.1	Conexión del Acondicionador de calidad de energía unificado (UPQC).	6
3.2	Controlador Proporcional integral (PI).....	8
3.3	Caso de Estudio.....	8
4	Análisis de resultados	9
4.1	Resultados de la barra 7 antes y después de la conexión del UPQC.	10
4.2	Resultados del THDv antes y después de la conexión del UPQC.	11
4.3	Resultados del voltaje en las barras del sistema antes y después de la conexión del UPQC.....	12
4.4	Resultados de la magnitud de los armónicos en la barra 7 antes y después de la conexión del UPQC.....	12
4.5	Resultados relevantes.....	14
5	Conclusiones.....	14
6	Referencias.....	15
6.1	Matriz de Estado del Arte	18
6.2	Resumen de Indicadores.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura básica de una microrred.....	2
Figura 2. Configuración de una micro-red en CC.....	3
Figura 3. Configuración de una micro-red en CA.....	3
Figura 4. Configuración de una micro-red hibrida.....	4
Figura 5. Carga lineal.	4
Figura 6. Comportamiento de la corriente de una carga lineal cuando es alimentado con una señal sinusoidal.....	5
Figura 7. Grafica de distorsión de la señal.	5
Figura 8. Estructura básica del UPQC.	6
Figura 9. Diagrama UPQC.....	6
Figura 10. Flujograma del proceso.....	7
Figura 11. Controlador PI.	8
Figura 12. Sistema de 13 barras de la IEEE.....	8
Figura 13. Sistema de 13 barras incrementado el UPQC.....	9
Figura 14. Voltaje trifasico en la barra 7 en condiciones normales.	10
Figura 15. Voltaje trifasico en la barra 7 incrementando la carga no lineal	10
Figura 16. Voltaje trifasico en la barra 7 con el UPQC..	11
Figura 17. THDv antes de la conexión del UPQC.	11
Figura 18. THDv despues de la conexión del UPQC.....	12
Figura 19. Volta del siste de 13 barras antes de la conexión del UPQC.....	12
Figura 20. Volta del siste de 13 barras despues de la conexión del UPQC.	12
Figura 21. Armónicos de la barra 7 antes de la conexión del UPQC.....	13
Figura 22. Armónicos de la barra 7 despues de la conexión del UPQC.	13
Figura 23. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.	20
Figura 24. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	20
Figura 25. Indicador de solución - Estado del arte.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de THD de voltaje.....	4
Tabla 2: Valores del PI.....	9
Tabla 3: Valores correspondientes a cada elemento del sistema.	9
Tabla 4: Valores de la carga no lineal.	10
Tabla 5: Voltajes en los diferentes casos de estudio.	11

Tabla 6: Resumen de los resultados	13
Tabla 7: Resultado del sistema de 13 barras.	13
Tabla 8: Resultados de los armónicos en la barra 7	14
Tabla 9: Matriz de estado de arte	18-19-20

DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO EL CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA.

Resumen

En el presente documento se diseña un Acondicionador de Calidad de Energía Unificado (UPQC, por sus siglas en inglés) para reducir la distorsión armónica de voltaje, producida por la presencia de cargas no lineales.

Los armónicos se evaluaron antes y después de implementar la compensación en el sistema puesto a prueba. Se analizan diferentes tiempos de conexión y desconexión del compensador UPQC, con el propósito de poder reconocer el correcto funcionamiento, se implementa un controlador proporcional integral (PI) con corriente interna el cual ayuda a la atenuación de la señal de salida, mediante la visualización de las señales de voltaje corregidas.

La micro-red (MR) que se utiliza es el sistema IEEE de 13 barras, en el cual se estudia la reducción de los armónicos en la barra 7 del sistema. Con el propósito de desarrollar, simular y analizar los resultados se utiliza el programa MATLAB/Simulink, usando como base el sistema de 13 barras de referencia desbalanceado.

Los resultados que se obtuvieron son importantes, ya que los armónicos de voltaje disminuyeron desde 6.3% a un 3%, de esta manera cumpliendo los límites que establece la norma IEEE 1159 que denota que el porcentaje máximo de THDv debe ser del 5%

Palabras Clave: Distorsión armónica, Acondicionador de Calidad de Energía Unificado, carga no lineal, calidad de energía.

Abstract

In this document, a Unified Power Quality Conditioner (UPQC) was designed to reduce voltage harmonic distortion, produced by the presence of non-linear loads.

The harmonics were evaluated before and after implementing the compensation in the tested system. Different connection and disconnection times of the UPQC compensator are analyzed, with the purpose of being able to recognize the correct operation, an integral proportional controller (PI) with internal current is implemented, which helps to attenuate the output signal, through the visualization of the corrected voltage signals.

The microgrid (MR) used is the IEEE 13-bar system, in which the reduction of harmonics in the 7th bar of the system is studied. With the purpose of developing, simulating and analyzing the results, the MATLAB/Simulink program is used, using as a base the system of 13 unbalanced reference bars.

The results obtained are important, since the voltage harmonics decreased from 6.3% to 3%, thus complying with the limits established by the IEEE 1159 standard, which indicates that the maximum percentage of THDv must be 5%.

1 Introducción

Uno de los principales problemas que se presenta es la calidad de energía en el sistema de distribución. Depende de factores como la distorsión armónica (THD, por sus siglas en inglés) de corriente (THDi) y voltaje (THDv), variación de voltaje, entre otras. El THD aumenta cuando existen cargas no lineales que principalmente son equipos con microprocesadores basados en electrónica de potencia [1], [2].

Las posibles soluciones son: restaurador de voltaje dinámico (DVR), compensador estático de distribución (D-STATCOM), la que se utilizará es la compensación a través del Acondicionador de Calidad de Energía unificado (UPQC, por sus siglas en inglés) [3]. Su principal objetivo es corregir las distorsiones de la forma de onda ya sean los armónicos o parpadeos que presentan en el sistema, el UPQC está diseñado para proteger las cargas en el punto de montaje que se encuentra conectado a un sistema distorsionado al corregir errores como distorsión armónica, perturbaciones de voltaje y regulación de voltaje [4].

El controlador proporcional integral (PI) es uno de los controladores comúnmente utilizados para la eliminación del error en régimen permanente, también se recomienda utilizarlo cuando hay retrasos en el proceso ya que no resulta insertar una acción derivativa [5].

Las micro-redes (MR) tienen la capacidad de trabajar en forma paralela al sistema u operar de forma aislada, una de las características que identifica a las MR es el poder aislarse y separarse del sistema en el momento que esté pasando por alguna dificultad ya sea fallas en el sistema o caída de voltaje [6].

El principal objetivo de este estudio es el diseño de un acondicionador que reduzca los armónicos en una micro-red eléctrica utilizando el controlador proporcional integral con corriente interna.

El presente escrito está distribuido de la siguiente manera, en el siguiente apartado

se detallan los conceptos generales del trabajo y las principales investigaciones en el campo. En el apartado 3 se describe la metodología que se siguió para solucionar el problema. En el apartado 4 se muestra el análisis de resultados. Por último, en el apartado 5 se indican las conclusiones.

2 Estado del Arte

En la presente sección se pretende dar a conocer los aspectos fundamentales para la reducir la distorsión armónica de voltaje mediante la implementación del acondicionador UPQC.

2.1 Micro-Redes

Las Micro-Redes (MR) tienen el objetivo de suministrar energía a un bajo costo tomando en cuenta las restricciones ambientales como lo explica en el artículo [7].

Las MR forman parte del sistema de distribución en su mayoría empleando fuentes de energía renovables y no renovables [8].

Una MR tiene la capacidad de operar en modo aislado o conectado a la red [6].

Una MR está constituida por generación distribuida (GD), almacenamiento y cargas como se presenta en la figura 1 [8].

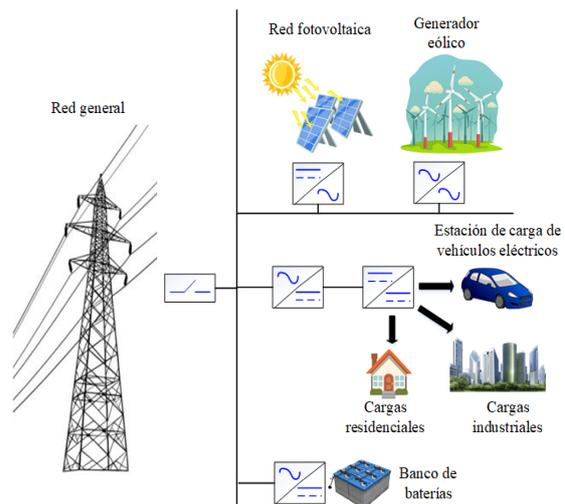


Figura 1. Estructura básica de una micro-red.

A continuación, se detallará la composición básica de una micro-red por

generación distribuida (GD), almacenamiento y cargas.

La red tiene varias fuentes de generación distribuida de pequeña capacidad para satisfacer la demanda de la red y mejorar la calidad de la energía. La (GD) mejora la calidad de energía, puede incluir fuentes de energía renovables y no renovables [8].

El almacenamiento distribuido permite que la energía eléctrica se almacene en distintas formas y luego se la utilice en el momento requerido. Las posibles alternativas son: baterías, volantes de inercia, supercapacitores, almacenamiento de hidrogeno, almacenamiento de aire comprimido.

Las cargas pueden ser residenciales, comerciales e industriales, su objetivo es brindar cargar que sean de buena calidad y menor costo [9].

Las MR se clasifican en MR de corriente continua (DC), MR de corriente alterna (AC) y MR mixtas (AC/DC).

Las MR en AC contienen las fuentes de carga de AC, tiene un punto común de AC en el que está conectado todas las cargas y las fuentes que pueden ser utilizadas en el sector industrial o residencial como está descrito en el artículo [10] y como podemos ver en la figura 2.

La principal ventaja es la alimentación eléctrica a las cargas en forma directa, teniendo en cuenta que el acoplamiento de una MR en AC tiene menor costo en lo económico, lo que implica un menor tamaño de convertidor AC-DC para el manejo de los flujos de energía entre la red de suministro eléctrico y la red de DC [11].

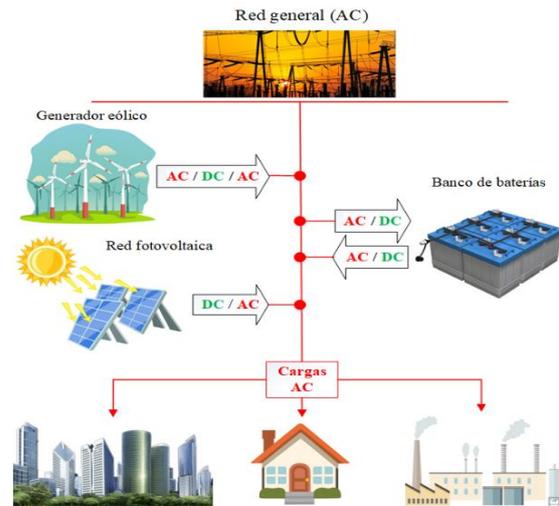


Figura 2. Configuración de una micro-red en AC.

Las MR en DC alimentan cargas electrónicas como cargas de alta sensibilidad y transmisiones de energía a largas distancias como describe el artículo [12].

La mayor parte de las cargas eléctricas están compuestas por electrónica de potencia, por lo que necesitan corriente AC para su funcionamiento que precisamente requiere una conversión de DC a AC, utilizado rectificadores, como se aprecia en la figura 3 [11].

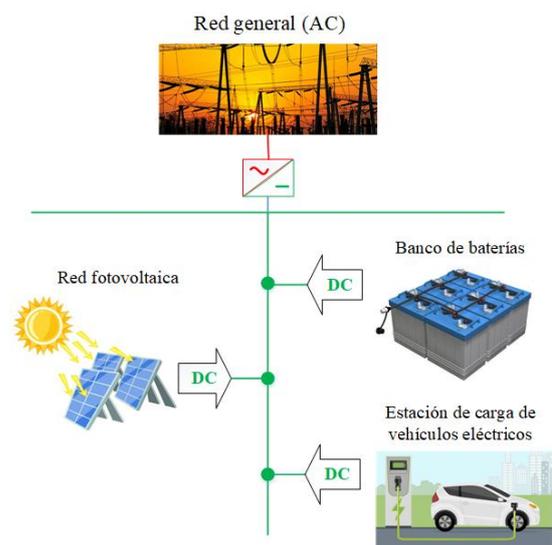


Figura 3. Configuración de una micro-red en DC.

La red de distribución de DC incrementa la eficiencia, en referencia a la entrega de energía a la red distribuida y una mejor

calidad de energía. Las MR de DC tienen ventajas como son las bajas pérdidas, solo hay pérdidas resistivas [12].

Las MR híbridas son una combinación de MR en AC y DC de manera independiente, por lo cual esta MR toma todas las ventajas al mismo tiempo de las dos MR ya mencionadas [13].

Al poseer la combinación de ambas MR estas poseen un buen ajuste y conexión de distintos sistemas de generación y almacenamiento de energía, también puede integrar varios tipos de cargas existentes en el sistema como podemos ver en la figura 4. [14].

El control suele ser un poco complicado en modo aislado esto se debe a la dificultad de sincronismo [15].

Las MR híbridas pueden ser apropiadas para incrementar las unidades en DC, en cuanto a los dispositivos en AC se encuentran conectados a la red en AC [14].

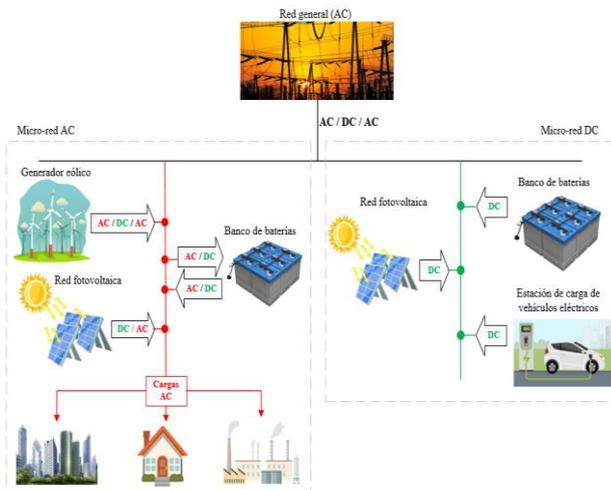


Figura 4. Configuración de una micro-red híbrida.

2.2 Calidad de Energía.

Con el pasar del tiempo se ha catalogado como un tema muy significativo, debido al uso de las cargas no lineales y el incremento de energías renovables tanto en redes de distribución como en transmisión [16].

La principal función de la calidad de la energía es brindar electricidad confiable, ideal y limpia al consumidor final. Los

problemas principales que se presenta en la calidad de energía son: armónicos de corriente y de voltaje que son inyectados por las cargas no lineales los cuales perturban al sistema [2].

Para mejorar la calidad de energía existen agentes reguladores como: La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), la cual se basa en la normativa internacional IEEE 1159, en la tabla 1 podemos observar los límites del THDv [17].

Tabla 1. Límites de THD de voltaje.

Nivel de Voltaje	Armónica individual	THD
LV	5.0	8.0
MV	3.0	5.0
HV	1.5	<2.5
HV	1.0	1.5

2.3 Armónicos.

La distorsión armónica actualmente es importante debido a las cargas basadas en su mayoría en la electrónica de potencia. En el pasado la mayor parte de cargas eran lineales, por ejemplo, las bombillas y los motores de inducción, esto quiere decir que cuando se conectaba un voltaje sinusoidal a los dispositivos generan una corriente sinusoidal, como podemos apreciar en la figura 5 [18].

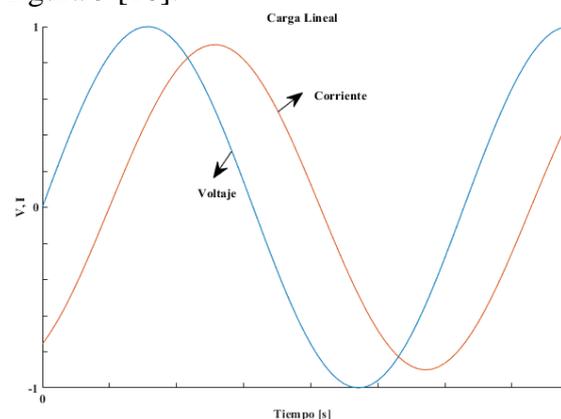


Figura 5. Carga lineal.

Conforme pasa el tiempo la mayor parte de cargas operan de forma no lineal por ejemplo rectificadores, fuentes de alimentación entre otros, que cuando se conecta una tensión sinusoidal dichos dispositivos generan corriente no sinusoidal, como podemos apreciar en la figura 6 [19].

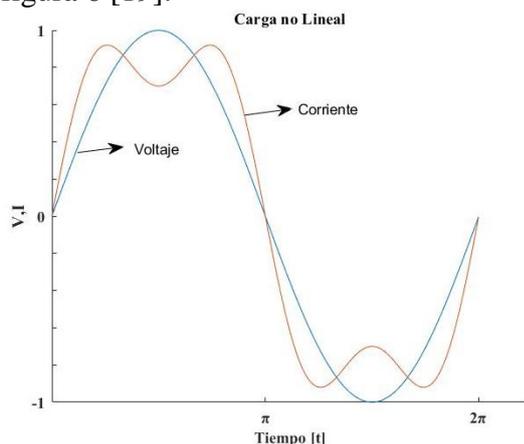


Figura 6. Carga no lineal.

Los armónicos se definen por los datos más significativos que se los caracteriza, como podemos observar en la figura 7 [18].

Amplitud: Valor de la tensión o de intensidad del armónico, la amplitud de un armónico es un pequeño porcentaje de la componente fundamental.

Orden: Valor de su frecuencia referida a la componente fundamental. El espectro es la distribución de la amplitud de distintos armónicos como una función del número del armónico [19].

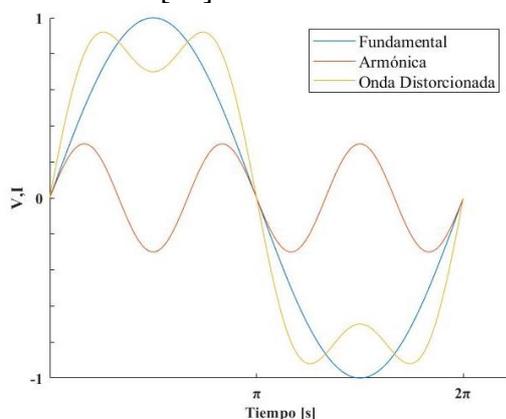


Figura 7. Distorsión de la señal.

El THD se refiere al cambio que ocurre en la forma de onda de voltaje o corriente generada por una o varias cargas no lineales que están en la red. Se utiliza como un índice en porcentaje para determinar el grado de distorsión que puede ser de voltaje o corriente. La distorsión armónica es una medida que nos muestra que tan distorsionada se encuentra la señal fundamental. Para determinar el THD tenemos la siguiente fórmula [20].

$$THD = 100 \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_f^2}} \quad (1)$$

Donde

I_n : Componente armónico.

I_f : Componente fundamental.

n: Número de armónicos.

Debemos tener en cuenta que el nivel de distorsión que se acepta depende de las normativas ya sean nacionales o internacionales que se enfocan en la calidad de energía donde utilizamos la normativa IEEE 1159 [18].

2.4 Acondicionador de calidad de energía unificado (UPQC).

Los acondicionadores de calidad de energía unificados (UPQC) han ido mejorando con el pasar del tiempo para lograr ser una solución de energía.

El principal problema en la calidad de energía está relacionado con las cargas no lineales y efectos de perturbación de voltaje [22].

Los UPQC se destaca debido al aporte único en compensación simultánea de voltaje de red y corriente de carga [23].

La configuración del UPQC se basa en la composición de un convertidor en serie y convertidor en derivación, que están conectados por medio de un enlace CC común [22].

El convertidor en serie actúa como fuente de voltaje en cambio el de derivación opera como fuente de corriente para mitigar los armónicos presentes en el sistema [23].

El convertidor en derivación debe introducir armónicos de corriente de carga además del componente reactivo fundamental requerido por la carga para que la corriente de suministro esté libre de armónicos [24].

El convertidor en serie introduce armónicos de tensión de alimentación en oposición de fase a la tensión de alimentación, para mitigar los armónicos de tensión que se presentan en la carga [25].

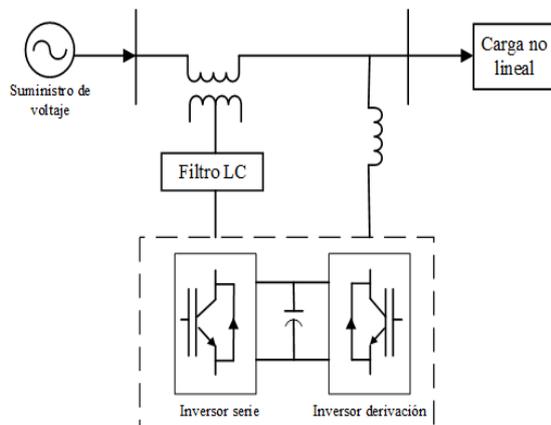


Figura 8. Estructura básica del UPQC.

3 Metodología

Existen componentes que perjudican a la calidad de energía, el principal origen es la THD ya sea de voltaje o corriente, el THD se origina debido a cargas no lineales.

Los armónicos afectan al sistema provocando disminución de la calidad de energía que el usuario requiere, reducción de la eficiencia en la instalación, sobrecargas de conductores, disparos de protecciones. El UPQC es uno de los equipos utilizados para la mejora de la calidad de la energía, lo que reduce la presencia de armónicos de voltaje y corriente.

El presente flujograma presenta el proceso para la disminución del THDv del

sistema propuesto que se aprecia en la figura 9.

El proceso inicia tomando los valores de voltaje y de corriente de la barra 7 donde se tiene un THDv elevado. Para ello el sistema se conecta al acondicionador pasando por el filtro en serie el cual inyecta voltaje para eliminar la distorsión armónica de voltaje. De igual forma pasa por el filtro de derivación el cual inyecta corriente para disminuir la distorsión de corriente, al finalizar el proceso se obtiene nuevos datos de voltaje y corriente llegando a mejorar el THD.

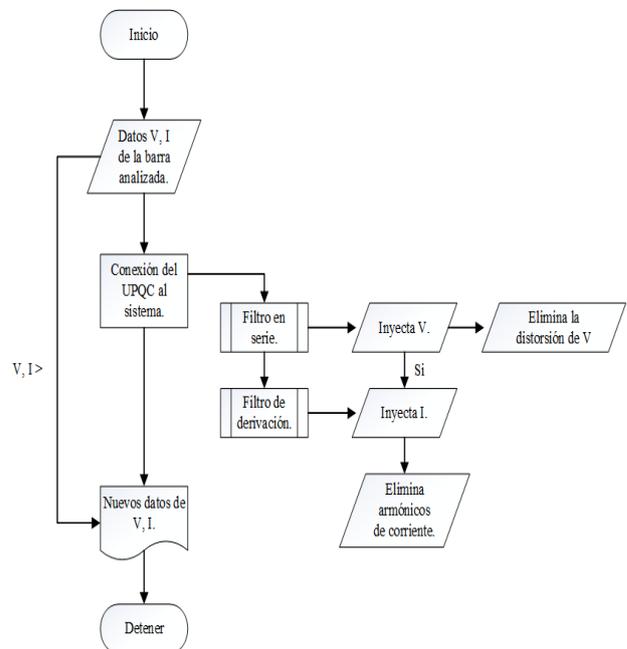


Figura 9. Flujograma del proceso.

3.1 Conexión del Acondicionador de calidad de energía unificado (UPQC).

El acondicionador de calidad de energía unificado (UPQC) como podemos ver tiene una configuración *back to back*, tiene un convertidor en serie y en derivación que están unidos por un enlace común CC.

La estrategia de control en serie emplea la teoría del marco de referencia síncrono (SRF) que está dada por las ecuaciones 4 y 5.

Donde se obtiene la señal de referencia para crear el pulso para el convertidor trifásico el cual se compara la tensión de la fuente con distorsión y la tensión constante, dichas tensiones se transformarán para volver a compararse donde se obtendrá la señal de error que se convertirá de nuevo en señal de referencia para generar los impulsos.

El convertidor está formado por varios IGBT cada una está formado con su respectivo control, estos IGBT empiezan a

funcionar por las señales de voltaje de la carga las que generan pequeñas variaciones.

Este convertidor suele crear ondas de conmutación elevadas, para ello el filtro LC se conecta a la salida del filtro activo en serie el cual provoca ondas de conmutación elevadas que afectan al sistema.

El filtro LC disminuye las ondas del sistema, el cual también actúa como filtro de paso bajo dicho filtro está conectado al convertidor en serie. También tenemos un transformador que está conectado en serie entre la carga y la fuente

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \sin(\omega t) & \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \sin(\omega t) & \cos(\omega t) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V'_a \\ V'_b \\ V'_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

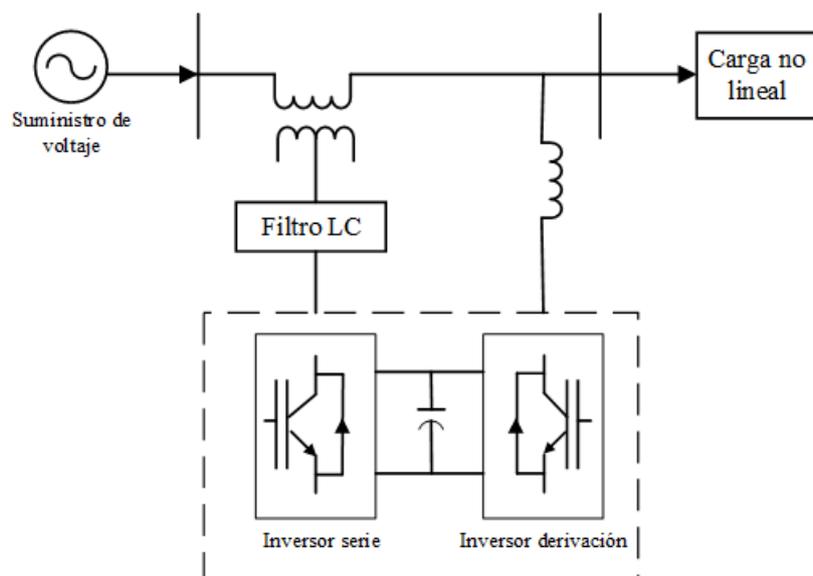


Figura 10. Diagrama UPQC.

La función del convertidor en derivación es ayudar en los problemas que están relacionados con la corriente, con la ayuda del compensador de DC.

Donde se invierte nuevamente el voltaje el cual se transforma a la señal de referencia y la medida es la banda de histéresis PWM, el cual produce las señales de pulso para que funciones el convertidor de derivación.

Al convertidor en derivación se conecta a un filtro Lsh, este filtro actúa como filtro de paso alto.

Por medio del filtro Lsh se disminuye las ondas que se generan durante el modo de conmutación, el cual se coloca en la salida del convertidor en derivación. El que se encarga de suministrar la tensión CC es el control de corriente continua.

3.2 Controlador Proporcional integral (PI)

El controlador PI opera como un dispositivo de cambio en un lazo de control de bucle cerrado que consta de dos componentes: proporcional e integral. El objetivo es reducir y eliminar el error en estado estacionario, incitado por el modo proporcional.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau \quad (4)$$

De igual manera podemos observar al controlador PI en la figura 11.

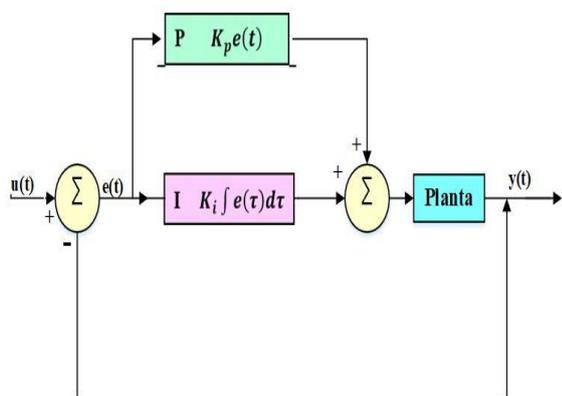


Figura 11. Controlador PI. [18]

La función resultante es igual al valor de la salida del controlador proporcional que cambia con el tiempo que permanece el error y su magnitud del mismo y su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_N * s} \right) \quad (5)$$

Donde:

K_p : Ganancia proporcional

T_N : Tiempo de acción integral

El periodo de integración especificado controla la rapidez de la operación, en cambio el K_p afecta a la parte integral y proporcional de la operación de control.

3.3 Caso de Estudio.

En el presente caso de estudio se considera el sistema de 13 barras IEEE que podemos observar en la figura 12.

El cual nos enfocaremos en la barra número 7 a la que se incrementará la carga no lineal para analizar los efectos que se generarán en la forma de onda del voltaje.

De igual la distorsión armónica que se presentará a causa del incremento de la carga no lineal.

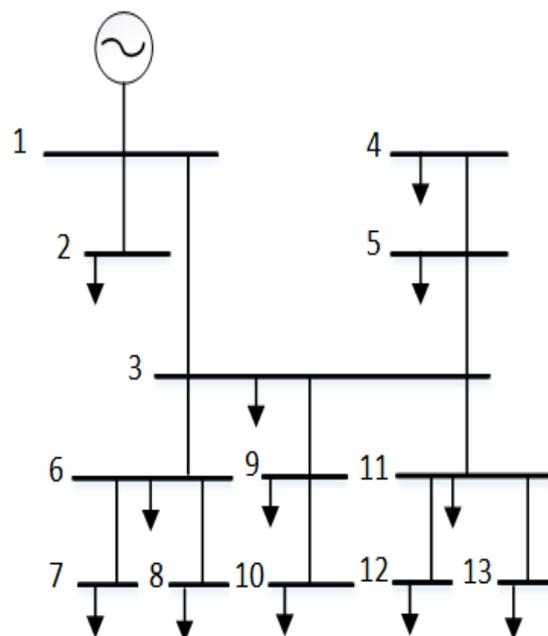


Figura 12. Sistema de 13 barras de la IEEE.

Caso 1: se considerará cómo actúa el sistema de referencia bajo condiciones normales, dicho sistema consiste en barras, líneas de transmisión, generadores y cargas, los valores correspondientes a cada elemento se describen en la tabla 3.

Tabla 2. Parámetros correspondientes a cada elemento del sistema.

Parámetros del sistema	Valores	Unidad
Voltaje de la red	13.8	kV
Frecuencia	60	Hz
Resistencia	50	m Ω
Inductancia	1	mH

Caso 2: En el siguiente caso de estudio se realiza la implementación de la carga no lineal en la barra 7 donde se observan los cambios que se generan en las ondas de voltaje.

En la siguiente tabla 4 se aprecia los datos de la carga que se incrementará en la barra 7.

Tabla 3. Datos de la carga no lineal.

Parámetros	Valores	Unidad
Voltaje	480	V
Transformador	13.8/480	kV/V
Resistencia	20	Ω
Capacitancia	500	Uf
Resistencia	1	m Ω
Inductancia	1	m Ω

Caso 3: El estudio del incremento de la conexión del UPQC que se conectara en la barra 7 y la carga como podemos apreciar en la figura 13. Donde podremos observar el funcionamiento del UPQC para el mejoramiento de la calidad de la energía reduciendo los armónicos de voltaje.

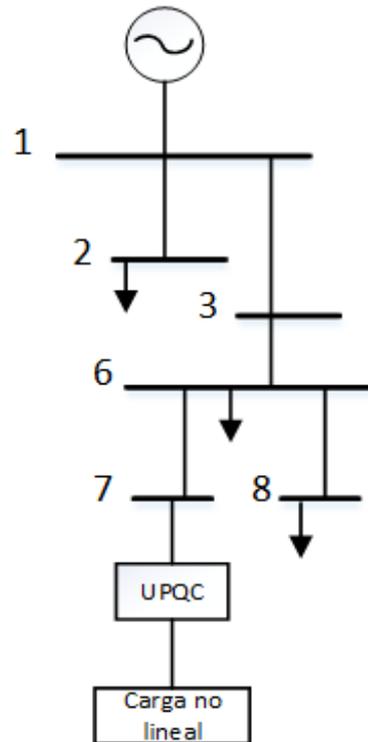


Figura 13. Sistema de 13 barras incrementado el UPQC.

4 Análisis de resultados

El acondicionador de calidad de energía unificada (UPQC) se evaluará en un sistema de 13 barras, se lo ubicará específicamente en la barra 7. El UPQC se conectará al sistema a los 0.05 [s] de simulación, posterior a ello se podrá apreciar el comportamiento del sistema con la implementación del acondicionador juntamente con el controlador PI.

El valor de salida del controlador PI varía proporcionalmente con el tiempo del error y la magnitud de este, para operar este controlador es necesario insertar ciertas ganancias para obtener un valor de salida deseado.

Estas ganancias son K_p y K_i , la primera corresponde a una ganancia proporcional, mientras que la segunda indica el tiempo de acción integral. Ambas ganancias son ajustables. El tiempo de acción integral ayuda a regular la velocidad del control, mientras que la ganancia proporcional afecta la parte integral y la acción del control.

Los valores de las constantes se tomaron por medio del método de prueba y error, el cual consta de colocar los valores de manera manual hasta llegar a tener el resultado deseado. Este método se lo realiza teniendo en cuenta los conceptos básicos a los que queremos llegar. [26]

Para K_i se tomaron valores entre 0.9 a 1.5 y para los K_p se tomaron valores entre 2.0 a 2.5 los valores que se eligieron para las dos constantes están detalladas en la tabla 4. Se han tomado dichos valores porque son los que otorgan una salida del control eficiente, donde el error es mínimo y la velocidad con la que trabaja el controlador es ideal.

Al variar estas constantes la onda de salida se ve afectada, mientras mayor sea el valor de las constantes aumentará el error de la onda provocando distorsiones en las mismas, por otro lado, si se toma valores menores el error será bajo y la forma de la onda será óptima.

Tabla 4. Valores del PI

Ganancia	Valor
K_i	1.1
K_p	2.3

En la presente tabla 4 se presentan los valores de ganancia para el controlador PI, el cual se conecta al filtro en derivación llegando a obtener un aumento de ganancia en la retro alimentación hacia la señal de salida donde se puede ver la atenuación de la onda.

El UPQC se implementará en un sistema de 13 barras donde primero se analiza el comportamiento que tiene la barra 7 en condiciones normales. Así lo podemos apreciar en la figura 14. Donde el voltaje de la barra 7 es 1 p.u.

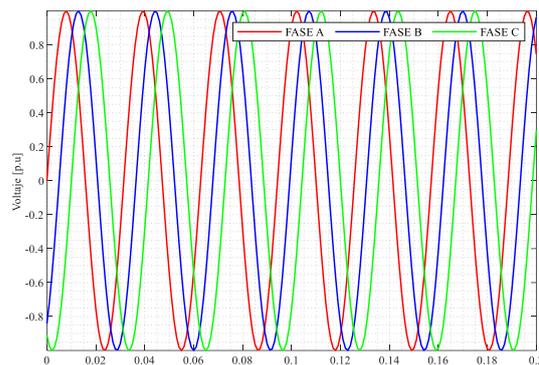


Figura 14. Voltaje trifásico en la barra 7 en condiciones normales.

4.1 Resultados de la barra 7 antes y después de la conexión del UPQC.

Para comprobar el desempeño del sistema al conectar la carga, se acopla como carga no lineal una carga RC con rectificador de diodos. Con los valores mencionados en la tabla 3, esta carga al conectarse a la barra 7 produce los armónicos de voltaje y se analizan los efectos que se generan en la barra tanto en la forma de onda del voltaje como en THDv.

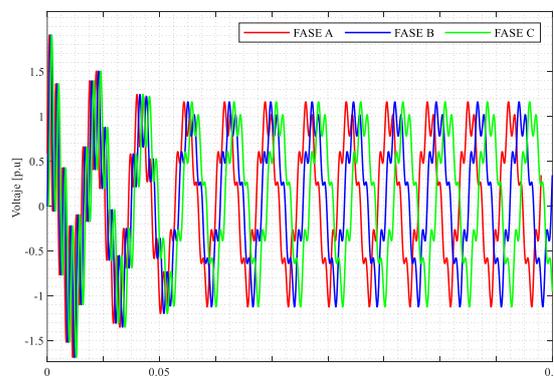


Figura 15. Voltaje trifásico en la barra 7 antes de la conexión del UPQC.

Como se observa en la figura 15 la onda ya tiene cambios que son muy notorios, al momento que inicia la simulación tiene picos altos que son de 1.8 pu y después de un tiempo se va estabilizando hasta llegar a 1.1 p.u.

Para disminuir los armónicos de voltaje se conecta el UPQC en la barra que se está analizando, como podemos observar en la figura 16 se aprecia las formas de onda del voltaje durante la conexión del UPQC.

En los 0.05 [s] de simulación se realiza la conexión del UPQC, se evidencia que al momento de iniciar la simulación los picos en las ondas donde el voltaje es alto de 1.8 p.u.

Conforme avanza la simulación las ondas van disminuyendo, pero sigue existiendo armónicos de voltaje, antes de llegar a conectarse en el tiempo de 0.05 [s] podemos ver que el voltaje está en 1.25V y con distorsiones, en el tiempo de 0.05 [s] donde ya se da la conexión podemos ver que el voltaje disminuye poco a poco hasta llegar a 0.98 p.u y de igual manera la distorsión va desapareciendo.

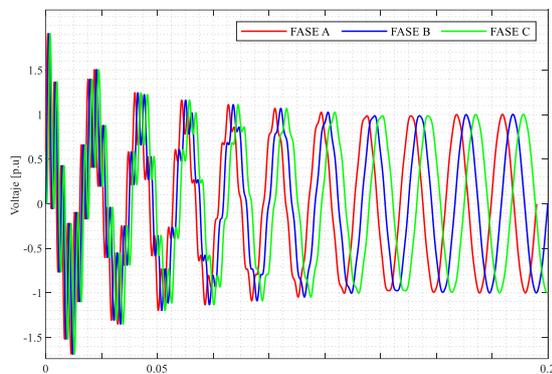


Figura 16. Voltaje trifásico en la barra 7 durante la conexión del UPQC.

A partir de la conexión la forma de onda de los voltajes empieza a estabilizarse, esto denota la eficiencia del UPQC al conectarse al sistema de potencia, ayuda a reducir los armónicos del sistema, generando ondas de voltaje menos distorsionadas.

A continuación, podemos ver los voltajes de cada caso y realizar la comparación donde podemos observar que el UPQC cumple con su función de mejorar los valores de voltaje en la barra 7.

Tabla 5. Voltaje en los diferentes casos de estudio.

Barra N°7	
Casos	Valor [p.u]
V. condiciones normales	1

V. con carga no lineal	1.8
V. con la conexión al UPQC	0.98

4.2 Resultados del THDv antes y después de la conexión del UPQC.

En la figura 7 se puede observar el comportamiento de la componente THDv en la barra 7 al momento que está insertada la carga, se evidencia la existencia de picos elevados, siendo el mayor el de la fase A con uno de 19.8 %. Además, se muestra un transitorio que dura 0.143 [s], donde las fases ya se estabilizan en diferentes valores de THDv.

Una vez culminado el transitorio se aprecia que el THDv no cumple con los requisitos de la normativa IEEE 1159 que denota que el porcentaje máximo de THDv debe ser del 5%, y en el sistema simulado se evidencia que la fase B y A no se rigen a la normativa con valores de 6.3% y 7%, respectivamente. Por ello, es imprescindible la implementación del UPQC en el sistema.

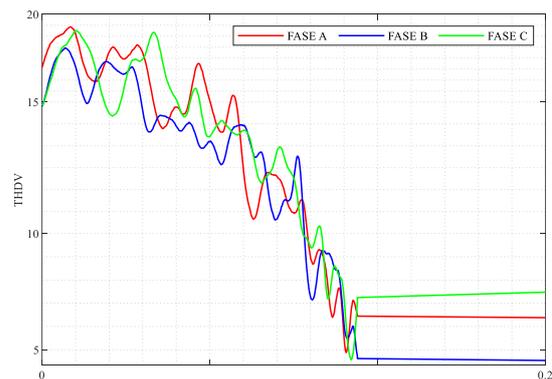


Figura 17. THDv [%] antes de la conexión del UPQC.

En la Figura 18 se observa la componente THDv de la barra 7 donde se coloca la carga no lineal y se implementa el UPQC al sistema en el tiempo de 0.05 [s], se puede evidenciar que los picos se han reducido, llegando a obtener un máximo en

el voltaje que es de 15.5% en la fase B. Además, se muestra un transitorio que dura 0.143 [s], donde las fases ya se estabilizan en diferentes valores de THDv.

Una vez culminado el transitorio se aprecia que el THDv cumple con los requisitos de la normativa IEEE 1159 que denota que el porcentaje máximo de THDv debe ser del 5%, y en el sistema simulado se evidencia que todas las fases están por debajo de dicho valor siendo el mínimo de la fase B, con un valor de 1.33%. Este comportamiento denota la eficiencia de la implementación del UPQC al sistema.

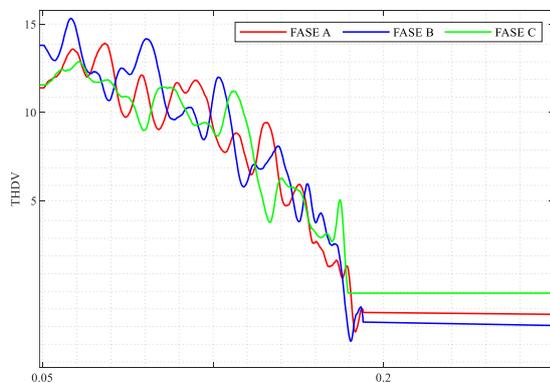


Figura 18. THDv [%] después de la conexión del UPQC.

4.3 Resultados del voltaje en las barras del sistema antes y después de la conexión del UPQC.

En la Figura 19, se aprecia la magnitud de los voltajes en p.u de las barras antes de la conexión del UPQC, es evidente que en la barra 7 existe un exceso de voltaje, exactamente de 1.12 [p.u.], que puede ocasionar daños a las diferentes cargas que se conecten en ese punto. Por ello, es imprescindible la conexión del UPQC.

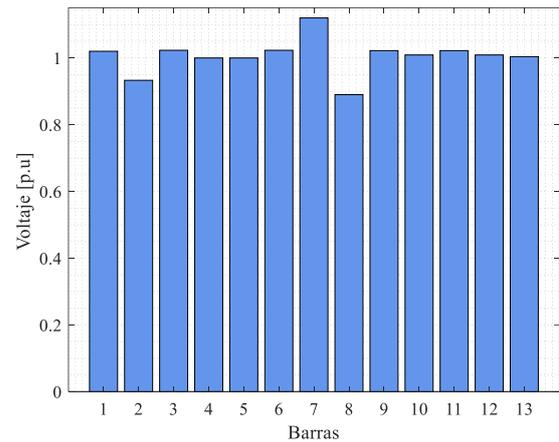


Figura 19. Voltajes de las barras antes de la conexión del UPQC.

En la Figura 20, se aprecia la magnitud de los voltajes en p.u de las barras después de la conexión del UPQC, se aprecia la rectificación del perfil de voltaje de la barra 7, barra donde se conectó el UPQC, esto denota la eficacia de dicha conexión y cómo solventa los problemas derivados del contenido armónico en la red.

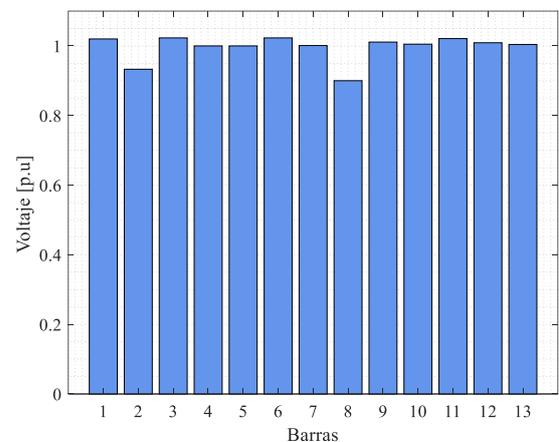


Figura 20. Voltajes de las barras después de la conexión del UPQC.

4.4 Resultados de la magnitud de los armónicos en la barra 7 antes y después de la conexión del UPQC.

En la Figura 21, se evidencia la magnitud de los armónicos de la barra 7 antes de implementar el UPQC, es fácil notar los altos valores armónico de la barra, teniendo un pico máximo de 45.838% en el armónico

11, por ello, era necesario un filtro que ayude a disminuir este contenido que afecta.

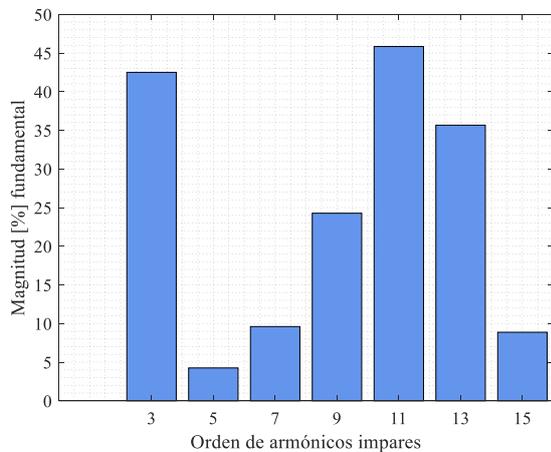


Figura 21. Armónicos de la barra 7 antes de la conexión del UPQC.

En la Figura 22, se evidencia la magnitud de los armónicos de la barra 7 después de implementar el UPQC, es notable mencionar la gran disminución del contenido armónico de la barra, se tiene un pico máximo de 1.532% de armónicos de tercer orden. Esto denota la eficiencia de la implementación del UPQC en un sistema que estaba con armónicos muy elevados.

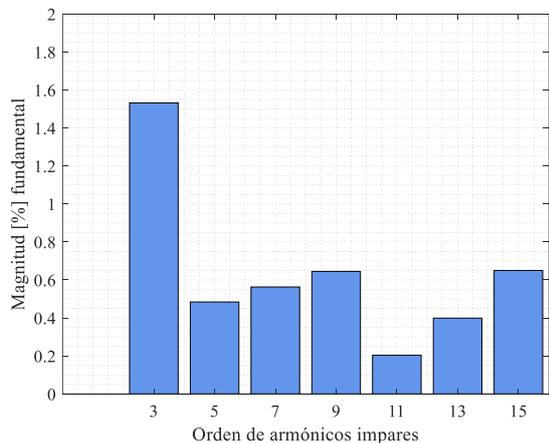


Figura 22. Armónicos de la barra 7 después de la conexión del UPQC.

Como se observa el funcionamiento del acondicionador es correcto ya que se pudo evidenciar en la simulación que sí disminuye el voltaje y la distorsión armónica en cada caso planteado.

A continuación, se observa una tabla resumen donde se detalla los resultados obtenidos antes y después de la conexión del acondicionador, de igual manera podemos observar los valores con los que se trabajó en el sistema.

Tabla 6. Resumen de los Resultados.

Datos del sistema.		
Voltaje de la red	13.8	kV
Frecuencia	60	Hz
Resistencia	50	mΩ
Inductancia	1	mH
Valores del voltaje .		
	Antes de la conexión del UPQC	Después de la conexión del UPQC
V. barra 7	1.8	0.98
THDv	Fase A 19.8 V Fase B 18.7 V Fase C 17 V	Fase A 14.4V Fase B 15.5V Fase c 14.6V

En la tabla 7 se observan los valores de voltaje en p.u. de las barras del sistema demostrando que la simulación funciona correctamente. En la barra 7 sí tiene un cambio al momento de comparar los dos casos, también se ve que hay cambios mínimos en las demás barras del sistema.

Tabla 7. Resultado del sistema de 13 barras

Datos del sistema de 13 barras		
Nº de barras	Antes de la conexión del UPQC [p.u]	Después de la conexión del UPQC [p.u]
1	1.02	1.02
2	0.933	0.933
3	1.023	1.023
4	1	1
5	1	1
6	1.023	1.023
7	1.12	1.001
8	0.89	0.79
9	1.022	1.011
10	1.009	0.005
11	1.022	1.021
12	1.009	1.009
13	1.004	1.004

En la siguiente tabla 8 se puede observar los resultados obtenidos antes de la conexión y después de la conexión del UPQC.

En la barra 7 se puede observar que nuestro acondicionador nos da una mejora de armónicos para mejorar la calidad de energía.

Tabla 8. Resultado de los Armónicos Barra 7

Datos de los armónicos barra 7		
N° de armónico	Antes de la conexión del UPQC [p.u]	Después de la conexión del UPQC [p.u]
3	42.5	1.532
5	4.253	0.484
7	9.608	0.563
9	24.271	0.645
11	45.838	0.204
13	35.664	0.399
15	8.87	0.65

4.5 Resultados relevantes.

En la figura 16 muestra el oscilograma de los voltajes de fase al conectar el UPQC en la barra 7 .

Al iniciar la simulación la forma de onda de voltaje llega a 1.8 p.u, en el lapso de 0.05 s de la simulación se realiza la conexión al UPQC.

Se puede evidencia cómo a partir de ese tiempo la forma de onda de los voltajes empieza a estabilizarse hasta llegar a 0.98 p.u. como se describe en la sección 4.1.

Así se observa la eficiencia del UPQC al conectarse a la barra 7, ya que cumple con una de sus funciones que es disminuir los armónicos.

5 Conclusiones

Los acondicionadores de calidad de energía unificados (UPQC), se han mejorado a lo largo de los años con la integración de filtros activos en serie y paralelo.

Esto con el afán de ser la solución más completa para los inconvenientes en la calidad de energía relacionados con las cargas que ocasionan armónicos y derivan en la distorsión del voltaje y corriente.

El UPQC diseñado en el presente documento es simulado en el software Matlab/Simulink y evaluado en un sistema de 13 barras, conectándolo específicamente

a la barra 7 (barra de mayor distorsión armónica). El UPQC se conecta al sistema en los 0.05 [s] de simulación.

Se han extraído las métricas del UPQC antes y después de su conexión. Antes de la conexión se demuestra que las formas de onda del voltaje están totalmente distorsionadas y tienen picos de hasta 1.8 [p.u.], durante la conexión del UPQC en los 0.05 [s] de simulación se demuestra que las formas de onda del voltaje empiezan a estabilizarse quedando el voltaje en 1 [p.u.], esto denota que el UPQC está operando correctamente.

Después de la conexión del UPQC se evidencia formas de onda del voltaje sin ningún tipo de distorsión, ya que con la distorsión llegaba a un voltaje de 1.8 p.u el cual al momento de conectar el acondicionador el voltaje en la barra baja a 0.98 p.u lo cual muestra la eficacia de la implementación UPQC a un sistema de potencia que tenía serios problemas de distorsión en sus ondas de voltaje. Además, se evidencia la disminución considerable del THDv posterior a la conexión del UPQC, de esta manera el THDv está dentro de los límites máximos de armónicos, que según, la normativa IEEE 1159 no debe superar el 5%.

En cuanto a los valores de THDv de la barra 7 también se aprecian cambios notables. Antes de la conexión del UPQC se aprecia valores sumamente elevados de armónicos teniendo un pico máximo de 45.83% en el armónico 11, mientras que, posterior a la conexión del UPQC, se obtienen valores sumamente pequeños teniendo un máximo de 1.53% de armónicos en tercer orden. Por ello, es necesario la aplicación de UPQC en sistemas que poseen valores de armónicos muy altos que pueden afectar de forma relevante al sistema de potencia.

6 Referencias

- [1] ALDAZ PEDRAZA VICTOR HUGO, “Estrategia de control robusto descentralizado para una micro-red aislada con generación distribuida acoplada para mejorar la estabilidad de voltaje,” 2021.
- [2] 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.
- [3] S. S. Bhosale, Y. N. Bhosale, U. M. Chavan, and S. A. Malvekar, “Power Quality Improvement by Using UPQC: A Review,” 2018 Int. Conf. Control. Power, Commun. Comput. Technol. ICCPCCT 2018, pp. 375–380, 2018, doi: 10.1109/ICCPCCT.2018.8574264.
- [4] R. Dharmalingam, S. S. Dash, K. Senthilnathan, A. B. Mayilvaganan, and S. Chinnamuthu, “Power quality improvement by unified power quality conditioner based on csc topology using synchronous reference frame theory,” Sci. World J., vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/391975.
- [5] S. Sakunthala, R. Kiranmayi, and P. N. Mandadi, “Investigation of PI and Fuzzy Controllers for Speed Control of PMSM Motor Drive,” Proc. IEEE Int. Conf. Recent Trends Electr. Control Commun. RTECC 2018, pp. 133–136, 2019, doi: 10.1109/RTECC.2018.8625636.
- [6] A. Kumar, D. M. A. Hussain, and M. Z. U. Khan, “Microgrids Technology: A Review Paper,” Gyancity J. Electron. Comput. Sci., vol. 3, no. 1, pp. 11–20, 2018, doi: 10.21058/gjecs.2018.31002.
- [7] L. Ortiz, J. W. González, L. B. Gutierrez, and O. Llanes-Santiago, “A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids,” Heliyon, vol. 6, no. 8, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04799.
- [8] G. K. Chinchuña Toledo and L. Ortiz Matos, “Mejoramiento de la fiabilidad en microredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos,” 2018, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15342>.
- [9] R. D. Medina, “Microrredes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad,” Ingenius, no. 12, pp. 15–23, 2014, doi: 10.17163/ings.n12.2014.02.
- [10] M. Zolfaghari, G. B. Gharehpetian, M. Shafie-khah, and J. P. S. Catalão, “Comprehensive review on the strategies for controlling the interconnection of AC and DC microgrids,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 136, no. November 2020, 2022, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107742.
- [11] J. J. Justo, F. Mwasilu, J. Lee, and J. W. Jung, “AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 24, pp. 387–405, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.03.067.
- [12] E. Unamuno and J. A. Barrena, “Equivalence of primary control strategies for AC and DC microgrids,” Energies, vol. 10, no. 1, pp. 1–13, 2017, doi: 10.3390/en10010091.
- [13] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Águila, J. W. González, G. J. López, and I. Isaac, “Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode,” Heliyon, vol. 5, no. 12, 2019,

- doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02862.
- [14] J. Hofer, B. Svetozarevic, and A. Schlueter, "Hybrid AC/DC building microgrid for solar PV and battery storage integration," 2017 IEEE 2nd Int. Conf. Direct Curr. Microgrids, ICDCM 2017, pp. 188–191, 2017, doi: 10.1109/ICDCM.2017.8001042.
- [15] H. Armghan, M. Yang, A. Armghan, N. Ali, M. Q. Wang, and I. Ahmad, "Design of integral terminal sliding mode controller for the hybrid AC/DC microgrids involving renewables and energy storage systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 119, no. November 2019, p. 105857, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105857.
- [16] Y. Naderi, S. H. Hosseini, S. Ghassem Zadeh, B. Mohammadi-Ivatloo, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "An overview of power quality enhancement techniques applied to distributed generation in electrical distribution networks," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 93, no. March, pp. 201–214, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.013.
- [17] M. Aguirre and S. Xavier, "Calidad y gestión de energía en centros de carga para vehículos eléctricos considerando tipos de cargabilidad."
- [18] J. Lu, X. Zhao, and H. Li, "Harmonic analysis in Microgrid and distributed energy system using Harmonic Balance Method," *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, vol. 2016-Decem, pp. 262–266, 2016, doi: 10.1109/APPEEC.2016.7779509.
- [19] O. Eduardo, "Estudio de la distorsión armónica de corriente del hotel old town quito suites producida por la inclusión de calentadores de agua del tipo inductivo y determinación de acciones correctivas," Tesis, pp. 1–114, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [20] N. Saudin, Junaidah Ali Mohd Jobran, Muhammad Firdaus Mohd Isa, Mohd Azizi Mohamed, L. Mohamed, and S. M. Suboh, "Study on the effect of Distributed Generation towards unified power quality conditioner performance in mitigating voltage sags," *PECon 2012 - 2012 IEEE Int. Conf. Power Energy*, no. December, pp. 695–700, 2012, doi: 10.1109/PECon.2012.6450304.
- [21] N. Alawadhi and A. Elnady, "Mitigation of power quality problems using unified power quality conditioner by an improved disturbance extraction technique," 2017 Int. Conf. Electr. Comput. Technol. Appl. ICECTA 2017, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, 2017, doi: 10.1109/ICECTA.2017.8252026.
- [22] S. Vinnakoti, "Nine Switch Converter based UPQC," pp. 31–34, 2017.
- [23] P. Deshpande, A. Shrivastava, and A. Khare, "Different modeling aspects and energy systems of unified power quality conditioner (UPQC): An overview," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 395–402, 2013.
- [24] R. B. Megadum and D. B. Kulkarni, "Minimization of power loss with enhancement of the voltage profile using optimal placement of distribution transformer and distributed generator," *Proc. 2019 IEEE Int. Conf. Commun. Signal Process. ICCSP 2019*, pp. 392–395, 2019, doi: 10.1109/ICCSP.2019.8698019.
- [25] S. Lahunikam and K. K. Sandeep, "Analysis of modified three-phase four-wire UPQC design," *ICONSTEM 2017 - Proc. 3rd IEEE*

Int. Conf. Sci. Technol. Eng. Manag.,
vol. 2018-Janua, pp. 586–590, 2017,
doi:
10.1109/ICONSTEM.2017.8261390

- [26] F. M. García, “Ajuste empírico de controladores PID,” 2006.

6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 9. Matriz de estado del arte.

DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO EL CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA.																			
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA		SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Micro-redes	Calidad de Energía	Armónicos	Acondicionador de calidad de energía unificado	Controlador proporcional integral	Conexión del UPQC	Reducción del THDi	mejoramiento de la calidad de energía	limites del THDv	Normativas del thdv	Infraestructura	IMPLEMENTACIÓN DEL UPQC	SIMULACIONES	SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DESBALANCEADO	ACOPLAMIENTO DEL UPQC EN LA BARRA DE ANÁLISIS	ANÁLISIS DEL THDi DESPUÉS DE LA COMPENSACIÓN
1	2012	Study on the effect of Distributed Generation towards unified power quality conditioner performance in mitigating voltage sags	8			☒													
2	2013	Different modeling aspects and energy systems of unified power quality conditioner (UPQC): An overview	50		☒		☒			☒									
3	2014	Power quality improvement by unified power quality conditioner based on csc topology using synchronous reference frame theory	9				☒	☒		☒					☒		☒	☒	
4	2014	Microrredes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad	31	☒															
5	2016	Active / passive harmonic filters: Applications, challenges & trends	7			☒													
6	2016	Harmonic analysis in Microgrid and distributed energy system using Harmonic Balance Method	9			☒													
7	2017	Equivalence of primary control strategies for AC and DC microgrids	29	☒															

DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO EL CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA.																	
8	2017	Hybrid AC/DC building microgrid for solar PV and battery storage integration	16	✗													
9	2017	Mitigation of power quality problems using unified power quality conditioner by an improved disturbance extraction technique	12	✗													
10	2017	Nine Switch Converter based UPQC	18				✗		✗								
11	2017	Minimization of power loss with enhancement of the voltage profile using optimal placement of distribution transformer and distributed generator	7		✗		✗										
12	2017	Analysis of modified three-phase four-wire UPQC design	11				✗		✗				✗		✗		✗
13	2018	“Power Quality Improvement by Using UPQC: A Review,”10.1109/ICCPCCT.2018.8574264.	25				✗		✗				✗			✗	
14	2018	Investigation of PI and Fuzzy Controllers for Speed Control of PMSM Motor Drive	20					✗									✗
15	2018	Microgrids Technology: A Review Paper	52	✗							✗						
16	2018	Mejoramiento de la fiabilidad en microredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos	47	✗													
17	2018	An overview of power quality enhancement techniques applied to distributed generation in electrical distribution networks	203				✗						✗		✗		
18	2019	Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode	50	✗													
19	2019	Design of integral terminal sliding mode controller for the hybrid AC/DC microgrids involving renewables and energy storage systems	39	✗													
20	2020	A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids	124	✗													
21	2020	Comprehensive review on the strategies for controlling the interconnection of AC and DC microgrids	117	✗													
22	2021	Estrategia de control robusto descentralizado para una micro-red aislada con generación distribuida acoplada para mejorar la estabilidad de voltaje	50	✗													
23	2021	Calidad y gestión de energía en centros de carga para vehículos eléctricos considerando tipos de cargabilidad	27		✗		✗			✗		✗	✗				

DISEÑO DE UN ACONDICIONADOR PARA LA REDUCCIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN UNA MICRO-RED ELÉCTRICA UTILIZANDO EL CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL CON CORRIENTE INTERNA.																			
24	2021	estudio de la distorsión armónica de corriente del hotel old town quito suites producida por la inclusión de calentadores de agua del tipo inductivo y determinación de acciones correctivas	40			✘					✘								
25	2017	AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review	124	✘															
26	2006	Ajuste empírico de controladores PID	10										✘						
CANTIDAD:				12	3	4	8	1	4	2	3	1	1	3	1	2	1	1	3

6.2 Resumen de Indicadores

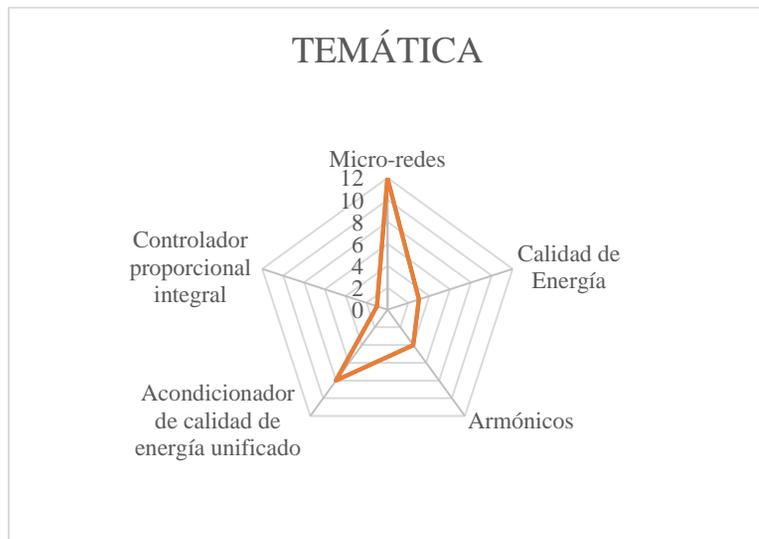


Figura 23. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

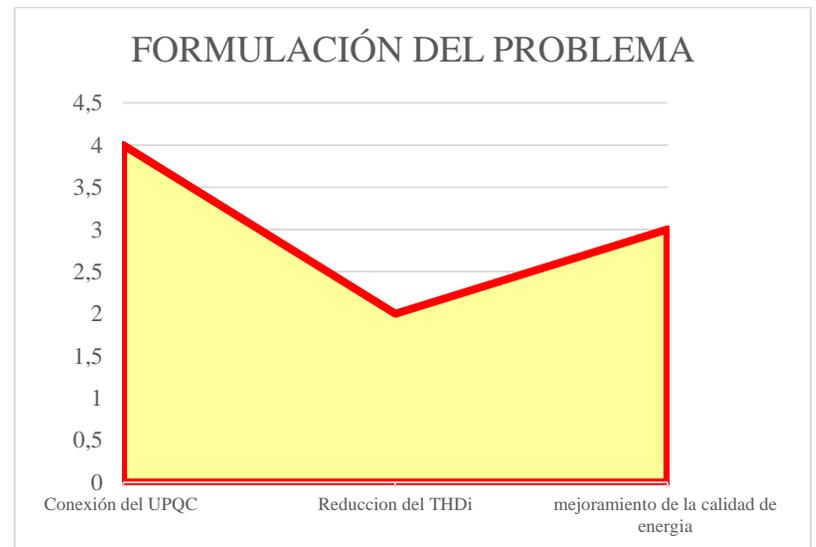


Figura 24. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

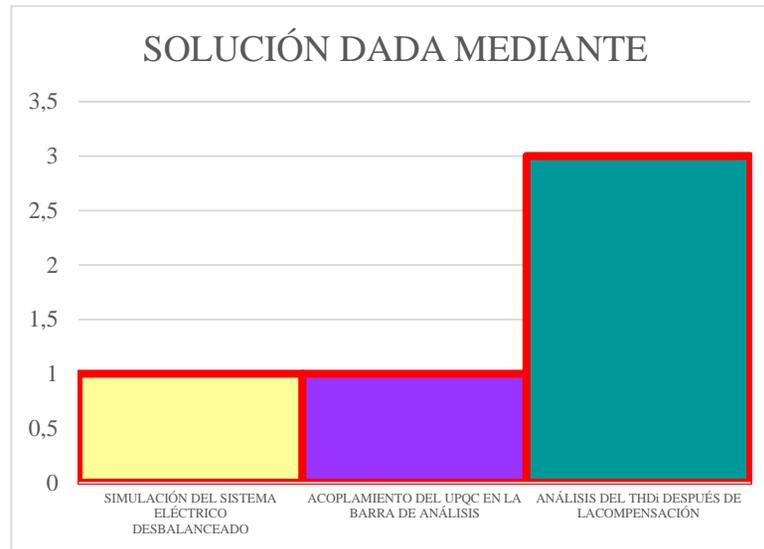


Figura 25. Indicador de solución - Estado del arte