



Análisis de flujo armónico con alta penetración de recursos renovables en la red eléctrica de distribución.

Harmonic flow analysis with high penetration of renewable resources in the distribution electricity grid.

<p>Edison Roberto Correa Bautista edison.correa1674@utc.edu.ec https://orcid.org/0000-0002-3847-0554</p>
<p>Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador Maestría de Electricidad</p>

Recibido 15 de septiembre de 2025; revisión aceptada 6 de octubre de 2025.

RESUMEN:

Este artículo presenta una revisión exhaustiva del estado del arte en el tema de flujos de potencia armónicos en presencia de alta penetración de recursos renovables en la red eléctrica de distribución. El incremento sostenido en la demanda global de energía eléctrica ha impulsado la necesidad de explorar nuevas fuentes energéticas, entre las que destacan las renovables por su beneficio al medio ambiente. Estas fuentes de energía han experimentado una integración creciente en las redes de distribución durante los últimos años, convirtiéndose en elementos clave para diversificar la matriz energética. Sin embargo, su proliferación ha traído consigo la necesidad de evaluar con detenimiento los problemas técnicos que generan en la calidad de la energía, particularmente en lo relacionado con las distorsiones armónicas y pérdidas de energía. Se pudo verificar que existen factores que inciden en la calidad de la energía eléctrica producto de perturbaciones que afectan la forma de onda de voltaje y corriente. Entre las principales causas de este fenómeno está la conexión de cargas no lineales, electrónica de potencia, cargas altamente inductivas o desequilibradas, así como la operación de transformadores y bancos de capacitores. A partir de esta investigación se evidencia la importancia de realizar estudios detallados de flujo armónico de potencia y el desbalance ante la creciente penetración de fuentes renovables en la red. Para validar este tipo de estudio son utilizados herramientas de simulación de redes que están disponibles en el mercado, lo que permitirá con precisión evaluar la eficacia de las diferentes alternativas de solución a esta problemática.



Palabras claves: Flujo armónico, recursos renovables, red eléctrica, calidad de energía.

ABSTRACT:

This article presents a comprehensive review of the state-of-the-art on harmonic power flows in the presence of high penetration of renewable resources in the electrical distribution grid. The sustained increase in global demand for electrical energy has driven the need to explore new energy sources, particularly renewables due to their environmental benefits. These energy sources have experienced increasing integration into distribution networks in recent years, becoming key elements for diversifying the energy matrix. However, their proliferation has brought with it the need to carefully evaluate the technical problems they generate in power quality, particularly those related to harmonic distortions and energy losses. It was found that there are factors that impact the quality of electrical power due to disturbances that affect the voltage and current waveforms. Among the main causes of this phenomenon are the connection of nonlinear loads, power electronics, highly inductive or unbalanced loads, as well as the operation of transformers and capacitor banks. This research highlights the importance of conducting detailed studies of harmonic power flow and imbalance in the face of the increasing penetration of renewable sources into the grid. Commercially available grid simulation tools are used to validate this type of study, allowing for a precise assessment of the effectiveness of different solutions to this problem.

Keywords: Harmonic flow, renewable resources, electrical grid, power quality



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, asegurar una adecuada calidad del suministro eléctrico constituye un reto de alta prioridad tanto para los usuarios finales como para las empresas distribuidoras en Ecuador [1]. Esta situación se agrava debido a la alta dependencia del país hacia la generación hidroeléctrica, lo cual hace particularmente vulnerable a la red en relación a fenómenos climáticos extremos como sequías prolongadas o eventos de precipitación excesiva [2]. Estos cambios, impulsados por el cambio climático, han promovido la adopción de energías renovables distribuidas, como la solar fotovoltaica y la eólica, que además de reducir la huella de carbono, permiten una descentralización de la generación eléctrica y acercar las fuentes de generación a los consumidores para la reducción de las pérdidas de transmisión [3].

Sin embargo, la integración masiva de fuentes renovables trae consigo desafíos técnicos que deben ser analizados cuidadosamente. Muchas de estas tecnologías, al estar basadas en electrónica de potencia como los inversores en sistemas fotovoltaicos, generan distorsiones en la forma de onda de tensión y corriente, afectando la calidad de la energía entregada [4]. Esta situación se vuelve especialmente crítica en las redes de distribución, donde las cargas son cada vez más diversas y numerosas, y su infraestructura no siempre está preparada para soportar condiciones de operación tan variables.

Uno de los principales problemas identificados es la presencia de componentes armónicas, las cuales se manifiestan como distorsiones en la señal eléctrica y pueden causar múltiples efectos indeseables como el calentamiento excesivo en transformadores, disparo erróneo de protecciones, errores de medición, resonancias, y la reducción en la vida útil de los equipos [5]. En aquellas redes que presentan alta penetración renovable, la propagación de armónicos se ve intensificada por la cantidad de dispositivos que inyectan señales no lineales a la red [6].

Para comprender con precisión los efectos de los flujos armónicos bajo estas condiciones, se requiere construir un modelo representativo de la red de distribución. Este modelo se basa en una estructura nodal, donde cada nodo representa un punto de carga o generación conectado mediante líneas o transformadores, y la subestación actúa como la fuente principal [7]. Adicionalmente, es fundamental incorporar datos detallados sobre las cargas presentes en cada nodo, ya que estas pueden ser pasivas o activas, e incluso inyectar potencia hacia la red en determinados momentos.

El análisis de este modelo permite calcular variables claves como las potencias activas y reactivas en cada componente, los flujos de potencia en líneas, las pérdidas energéticas, así como la magnitud y el ángulo de fase de las tensiones nodales [8]. Para el caso específico del análisis armónico, se requiere descomponer las señales en sus diferentes componentes frecuenciales, lo que posibilita identificar los armónicos individuales, evaluar el Total Harmonic Distortion (THD) y verificar el cumplimiento de las recomendaciones técnicas que aparecen en las normas técnicas como la IEEE 519 o la IEC 61000-3-6 [9]. En este tipo de estudio son de gran utilidad las herramientas informáticas disponibles en el mercado, como DIGSILENT PowerFactory, ETAP o MATLAB/Simulink que permiten evaluar diferentes condiciones de operación de la red [11]. La simulación permite la validación del modelo y las soluciones propuestas, así como verificar el estudio de proyectos de planificación y mejora de redes de distribución con generación renovable.



El objetivo de este trabajo consiste en realizar un estudio sobre las problemáticas presentes en las redes de distribución relacionada con la distorsión armónica generada por la presencia de cargas no lineales y alta penetración de fuentes renovables. Este fenómeno se manifiesta en diferentes escenarios que afectan la calidad de energía y la búsqueda de soluciones, por lo que se debe apoyar en las diferentes normas como la IEEE [10].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Métodos utilizados y procedimientos

En la realización de este trabajo se realizaron revisiones sistemáticas para poder evaluar y sintetizar las investigaciones realizadas más relevantes sobre el tema y con las revisiones descriptivas se buscó el estado actual de los conocimientos para tener una visión general amplia y conocer los hallazgos de estudios ya realizados. También se utilizó la revisión de alcance con vista a poder ver resultados de las investigaciones realizadas y las evidencias que existen.

El trabajo tuvo como punto de partida la definición clara del problema y las preguntas de investigación para poder realizar la búsqueda de información en las diferentes bases de datos de revistas científicas y realizar la selección de la bibliografía más relevante, sus contribuciones y poder discutir los principales hallazgos teniendo en cuenta la calidad de las diferentes fuentes encontradas.

Es así como en la realización del estado actual del conocimiento se tiene como tema la calidad de energía y los flujos armónicos en redes de distribución con alta integración de fuentes renovables desde una metodología estructurada de carácter cualitativo – cuantitativo. El procedimiento seguido incluyó los siguientes pasos:

- Primero se definió el alcance de la investigación, enfocándose en publicaciones y estudios relacionados con flujos armónicos en redes eléctricas de distribución con una significativa presencia de energías renovables, abarcando el periodo comprendido entre 2018 y 2025, así como fuentes históricas relevantes previamente publicadas.
- Posteriormente, se efectuó una indagación en diversas bases de datos académicas y técnicas. En la Tabla 1 se detallan las plataformas consultadas, así como el número de artículos identificados y seleccionados, haciendo uso de los diferentes buscadores especializados de internet en plataformas multidisciplinarias como Google Scholar, Scopus y Web of Science, bases de datos temáticas, y distintos portales que ofrecen acceso abierto a publicaciones científicas como SciELO y DOAJ que fueron de gran utilidad [11].

Tabla 1. Resumen de la búsqueda de información de diferentes fuentes

Base de datos, directorios y repositorios	Artículos encontrados	Artículos seleccionados
IEEE Xplore	2	2
ScienceDirect	50	7
Research4life	10	3
Repositorio UTC	18	7
Google Scholar	62	19

2.2. Revisión de fuentes bibliográficas

Se incluyeron en la revisión artículos de revistas científicas arbitradas en bases de datos, publicaciones de conferencias nacionales e internacionales y páginas web oficiales de las empresas eléctricas e instituciones gubernamentales del Ecuador. Durante la revisión se encontraron artículos con temas afines, pero se excluyeron aquellos que no estaban relacionados directamente con análisis de flujo armónico en redes de alta penetración con recursos renovables en la red eléctrica de distribución.

Dentro de las diferentes fuentes revisadas, se analizaron en detalle 19 artículos seleccionados por estar más ajustados al tema y en la Figura 1 se muestra la distribución de los temas principales abordados en estos artículos, donde la información se organizó en cuatro categorías temáticas principales asociadas con los armónicos, la penetración de recursos de generación, las redes eléctricas y la contaminación armónica. También fueron objeto de estudio aquellos trabajos que estaban asociados a las tecnologías que generan armónicos como las fuentes renovables y la electrónica de potencia.



Figura 1. Distribución por temas seleccionados de los artículos analizados

La investigación realizada sobre el análisis de armónicos con el uso de diferentes métodos de flujos de potencia armónica e inyección armónica, permiten hallar las tensiones armónicas que existen en una red contaminada debido a las cargas no lineales e interruptores eléctricos presentes en electrónica de potencia. Se pudo identificar que en el estudio de las redes con problemas de armónicos se llevan a cabo los siguientes pasos [4]:

- Ingreso de los datos iniciales del sistema a partir del diagrama unifilar
- Aplicación del método de flujos de potencia armónica.
- Ejecutar el barrido de frecuencias.
- Ejecutar la penetración armónica.
- Evaluación de la solución a partir de las recomendaciones de las normas de calidad de energía



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evolución tecnológica y la generación de armónicos

El análisis de la literatura seleccionada sobre flujo armónico con alta penetración de recursos renovables en la red eléctrica de distribución reveló varios hallazgos, que se detallan a continuación. Mediante el uso de herramientas informáticas como Matlab y el Power Factory DigSilent que permiten realizar un análisis de las variaciones de potencia reactiva y voltaje debido a la penetración de recursos renovables en la red eléctrica de distribución balanceada, que produce armónicos debido a la electrónica de potencia presente en los inversores y filtros.

La investigación se centra en el análisis técnico de dispositivos y sistemas cuya evolución ha incidido directamente en la generación de distorsiones armónicas, tales como:

- Cargas no lineales industriales (variadores de velocidad, hornos de arco)
- Equipos electrónicos de consumo masivo (computadoras, iluminación LED, cargadores)
- Convertidores e inversores usados en energías renovables
- Estaciones de carga para vehículos eléctricos

La medición de armónicos en las empresas de generación y los usuarios finales son los responsables de la inyección de armónicos a la red, por lo que ambos son los responsables de disminuir al máximo los armónicos, para ello se debe medir las corrientes que se inyectan y el voltaje resultante.

De acuerdo con la norma [12] para obtener un apropiado estudio de armónicos se debe realizar mediciones adecuadas en un punto de acople común (PCC) entre la red y el usuario donde se pueda evaluar la distorsión armónica. Los equipos de medición utilizados para medir el componente armónico, están basados en microprocesadores que capturan las señales de voltaje y corriente instantánea y, a través de la transformada rápida de Fourier (FFT) muestran el espectro en módulo y ángulo de la señal en función de la frecuencia nominal [13].

3.2. Influencia de las fuentes de energía renovable

Son las fuentes de energía que se obtienen de recursos renovables, que no emiten emisiones de gases contaminantes y producen energía de forma indefinida e inagotable. Son fuentes de energía variables ya que dependen de las condiciones meteorológicas. Algunos tipos de fuentes de energía renovable pueden ser la energía fotovoltaica, eólica, hidráulica o termosolar entre muchas otras. En este estudio se centró en la energía fotovoltaica y la energía eólica que se obtiene por la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica. Cuando un fotón incide sobre la superficie de un semiconductor es capaz de energizar la capa externa del mismo, creando así una diferencia de potencial. Cuando se conecta un hilo entre las dos capas del semiconductor, los electrones energizados circulan y crean una corriente eléctrica [14].

Esta tecnología agrupa diferentes celdas fotovoltaicas para generar energía eléctrica y una de sus ventajas es que es modular, por lo tanto, se pueden agrupar diferentes módulos según el tamaño del sistema deseado. Esta energía eléctrica puede ser utilizada en:

- El suministro de energía a una microrred.
- Inyección de energía eléctrica en las redes eléctricas.
- Aplicaciones específicas como puede ser suministrar energía a un satélite o recarga de vehículos eléctricos.

También existe la energía eólica que a través de turbinas convierte la energía eólica en energía eléctrica. La generación eólica ha experimentado una enorme mejora desde sus inicios hasta la actualidad, siendo



12 kW la potencia máxima conseguida por los primeros molinos y en torno a 9 MW con tecnología offshore [14].

Actualmente existen dos tipos de generación de energía eólica: mediante un generador síncrono o a través de un generador asíncrono, la más común es la obtenida mediante generadores asíncronos controlados por convertidores. Una de las ventajas que tiene este tipo de tecnología es que es fácilmente escalable al tamaño de la microrred, pudiendo elegirse pequeñas turbinas eólicas. En el momento del diseño de la instalación eólica es necesario considerar los siguientes aspectos: [15]

- Potencia del viento: es la cantidad de potencia que el viento es capaz de proporcionar a la turbina, por lo tanto, es importante la correcta ubicación de la instalación eólica.
- Potencia máxima aprovechable: se define como la máxima potencia que el molino es capaz de captar del viento, se rige por la ley de Betz, que formula que el generador solamente es capaz de captar como máximo entorno a un 59 % de la potencia del viento.
- Características físicas de los generadores: en el momento de la elección de un generador debe considerarse el rendimiento, la altura, el diámetro de las palas y otros factores que influyen en la transformación de energía eléctrica.
- Rosa de los vientos: define la velocidad y dirección del viento, por lo tanto, es un factor clave en el momento del diseño de la instalación eólica.

3.3. Herramientas de simulación. Power Factory DigSilent

Es el software de análisis de sistemas de potencia para el análisis de sistemas industriales, de generación, transmisión y distribución. Cubre funciones estándar hasta aplicaciones avanzadas y altamente complejas, entre ellas está incluida la generación de energía eólica, la generación distribuida, la simulación en tiempo real y el monitoreo del rendimiento y las pruebas del sistema. Fácil de usar, totalmente amigable con el usuario, está disponible para distintos sistemas operativos. Power Factory combina capacidades de modelado de sistemas confiables y flexibles con algoritmos avanzados y un concepto de base de datos único. Además, Power Factory, con su scripting y flexibilidad de interfaz, es adecuado para soluciones altamente automatizadas e integración en sus aplicaciones comerciales. Power Factory es un software de uso bajo licencia de compra, existe versiones de prueba con tiempo limitado de 30 días, pero la disponibilidad del uso de sus módulos no es completa. Este software es usado actualmente por dos de las principales entidades del sector eléctrico del Ecuador como es TRANSELECTRIC y CENACE, la finalidad del uso de este software es para obtener información necesaria para poder realizar sus funciones técnicas [16].

3.4. Definición y Componentes de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP):

Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. Como hemos mencionado anteriormente, los Sistemas Eléctricos de Potencia son complejas redes interconectadas que permiten la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica desde las plantas de generación hasta los consumidores finales [17].

Estos sistemas están diseñados para suministrar electricidad de manera eficiente, segura y confiable. La energía eléctrica es una forma de energía altamente versátil y esencial para el funcionamiento de la sociedad moderna, impulsando todo, desde hogares y oficinas hasta fábricas y redes de transporte. Un Sistema Eléctrico de Potencia se define como una red de componentes eléctricos que se utiliza para generar, transmitir y distribuir electricidad, o sea abarca todos los elementos necesarios para producir energía eléctrica y entregarla a los puntos de consumo. Estos elementos incluyen generadores, transformadores, líneas de transmisión, subestaciones y equipos de distribución. Se componen principalmente de tres secciones: generación, transmisión y distribución, donde cada una de estas



secciones desempeña un papel crucial en el suministro de energía eléctrica y está compuesta por varios componentes y sistemas interdependientes.

Durante la transmisión y distribución de la energía existen pérdidas de energía en las líneas, principalmente, hay pérdidas por efecto joule y, en menor medida, pérdidas por corriente de fuga y pérdidas por efecto corona. El efecto corona se produce por la ionización del fluido que rodea al conductor cargado, se manifiesta en forma de halo luminoso. Para tensiones altas, las pérdidas por corriente fuga y pérdidas por efecto corona son más significativas [17]. Si se tienen estratégicamente ubicadas las unidades de la generación distribuida, estas producirán una significativa reducción de pérdidas en las líneas más vulnerables. Para situar estas tecnologías se deben colocar cerca de las cargas, ya que el generador situado lejos del centro de la carga puede incrementar las pérdidas. Si están bien ubicadas, la generación distribuida puede llegar a reducir entre el 10% y 20% de las pérdidas eléctricas. Una forma de disminuir las pérdidas por efecto joule es aumentar la tensión de la operación de la línea, así disminuye el paso de la corriente por el conductor, también se pueden disminuir las pérdidas aumentando la sección del conductor y así disminuyendo la resistencia.

3.5. Penetración de energías renovables y simulación la de sistemas

El fin de evaluar los efectos de la alta penetración de fuentes renovables sobre el comportamiento eléctrico de redes de distribución [18].

Se enfoca en redes de distribución de media tensión con integración creciente de generación renovable distribuida, particularmente:

- Sistemas solares fotovoltaicos (FV)
- Generación eólica de pequeña escala
- Baterías integradas con inversores bidireccionales

Se analizan los efectos sobre variables como:

- Distorsión armónica (THD)
- Flujos de potencia (activa/reactiva)
- Perfil de tensión
- Pérdidas eléctricas
- Calidad de energía

En este tipo de estudio se requiere modelado del sistema eléctrico y para ello se puede seleccionar sistemas de prueba representativo como los propuestos por la IEEE que constituyen una red de distribución real y en ellos es posible analizar diferentes grados de penetración renovable conectados en nodos estratégicos. Donde cada generador se modela con sus respectivos convertidores electrónicos, siguiendo parámetros técnicos realistas tipo de inversor, control de corriente, punto de máxima potencia MPPT, filtros de salida, etc.

Durante la experimentación en la simulación se deben considerar diferentes escenarios con vista a evaluar su impacto, estos escenarios podrían ser definidos como:

- Escenario 1: Red sin generación renovable (caso base)
- Escenario 2: Penetración del 30% FV distribuida
- Escenario 3: Penetración del 50% FV y eólica.
- Escenario 4: Penetración del 70% con perfiles de carga variables y alta irradiancia solar

Las simulaciones generalmente se realizan con los softwares como MATLAB/Simulink o DIgSILENT PowerFactory, incorporando análisis de estado estacionario, flujo de carga armónico y calidad de energía.



Los datos obtenidos se contrastan con estudios similares y experiencias documentadas en sistemas reales, donde es evaluada la efectividad de posibles soluciones como:

- Filtros activos
- Controladores inteligentes de inversores
- Regulación del factor de potencia
- Técnicas de sincronización con la red (PLL)

Una vez concluida la evaluación de alternativas de mejora y la mitigación de los problemas de calidad se puede establecer conclusiones sólidas sobre los efectos cuantificables de la penetración renovable, así como recomendaciones técnicas para su integración segura y eficiente

4. CONCLUSIONES

Se realizó una revisión bibliográfica donde se pudo establecer un marco teórico integrado de los fundamentos teóricos y principales investigaciones relacionadas con la penetración de fuentes de generación renovables en la actualidad y sus consecuencias en la calidad y estabilidad de la red.

Como parte de la investigación, se revisaron diferentes normas y recomendaciones internacionales de calidad de energía, así como disposiciones para el sistema eléctrico ecuatoriano del ARCONEL 005/18 emitido por la Autoridad de Regulación y Control Eléctrico, el cual fija indicadores y limita la calidad de la energía que deben realizar las empresas sobre la base de estándares internacionales como la IEEE 519 y la IEC 61000-3-6. Donde al no cumplir con los parámetros estipulados la empresa distribuidora puede ser penalizada por el ente regulador.

Se pudo establecer cuáles son las afectaciones presentes durante la variabilidad de la inyección a red y la incidencia que tienen los convertidores de potencia electrónicos que generan problemas de armónicos, pérdidas y afectaciones a la tensión de la red. Además, se verifica la importancia de la modelación o simulación de la red para poder evaluar vías de mejoras y establecer estrategias de generación distribuida sin afectar la estabilidad del sistema

La tendencia actual de ampliar en el uso de las fuentes renovables para cubrir el déficit de energía en el país y lograr una mayor sostenibilidad energética, hace que esta problemática deba ser estudiada con detenimiento antes de incorporar las diferentes fuentes de energía alternativa a la red, esto sin dudas plantea exigencias futuras para la ampliación de la red nacional de generación que debe ser estudiada detalladamente por el ente regulador nacional para evitar variaciones de voltaje y potencias no deseadas.



BIBLIOGRAFÍA

1. Bibliografía

- [1] A. Torres, C. Junia y O. Salazar, «Panorama Electrico,» arconel Edición 26, 2025.
- [2] M. Diaz, I. Sanchez y A. Torres, «Panorama Electrico,» arconel Edicion 24 Septiembre, 2024.
- [3] «EL NUEVO ECUADOR,» Ministerio de energia y minas, [En línea]. Available: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>. [Último acceso: 24 06 2025].
- [4] C. Ante y C. Ruiz , «Análisis de flujo armónico en redes de distribución desbalanceados, para determinar los THDv y THDi en los nodos del sistema,» Ecuador : Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), Latacunga, 2022.
- [5] M. Jorge y R. Adonis, «Efectos armónicos debidos a la alta penetración de la generación fotovoltaica en un sistema de distribución,» ENERGIES, 2021.
- [6] G. Esparza, S. Mario y G. Mata, «Las cargas no Lineales, su Repercusión en las Instalaciones Eléctricas y sus Soluciones,» *Comciencia Tecnológica*, p. 32, 07 2016.
- [7] C. Vargas Guevara y J. Guamán Molina, «Estrategia para la Reducción del Consumo Eléctrico en el Sector Residencial del Ecuador,» *Revista Técnica de energía "cenace"*, vol. 1, nº 15, pp. 110-140, 2018.
- [8] M. S. SARMA, T. J. OVERBYE y J. DUNCAN GLOVER, «Power System analysis and Design,» Cengage Learning, Boston, 2018.
- [9] I. E. Commission, «IEC 61000-3-6 Electromagnetic Compatibility (EMC) – Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems,» Geneva, Switzerland, 2008.
- [10] I. S. Association, « IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (Brown Book),» IEEE Std 399-1997, 1998.
- [11] M. C. Byron Gerardo, T. R. Danilo Fabricio y M. Yoandrys, «Estado del arte de Contadores Bidimensionales utilizados para la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos conectados a la Red,» Repositorio UTC, La Mana, 2024.
- [12] IEEE, «Standars Association,» IEEE Std 1547-2018 - IEEE Standard for Interconnection and Interoperabilidad of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. IEEE, 2018.
- [13] J. Bernardo Peña y V. Mercado Polo, «Calidad de la energía electrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesto a tierra,» *Ciencia e Ingenieria*, vol. 38, nº 2, pp. 167-176, 2017.
- [14] A. F. Jaya Carvajal y D. E. Lagla Chasiluisa, «DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL DESPACHO ECONÓMICO MEDIANTE PENETRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE NO CONVENCIONAL,» Repositorio UTC, Latacunaga, 2021.
- [15] A. J. Pico Jiménez, «PERTURBACIONES GENERADAS EN EL SISTEMA POR GENERACIÓN EÓLICA,» Repositorio utc, Latacunga, 2023.



- [16] A. K. Ortiz Santiana, «Análisis de protecciones eléctricas de microgrids modo isla con,» Repositorio UTC, Latacunga, 2023.
- [17] E. D. Aguirre Manosalvas, «EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN FRENTE AL INGRESO DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE NO CONVENCIONAL,» Repositorio UTC, Latacunga, 2023.
- [18] A. Rivas Trujillo y J. M., «Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medicion de armonicos,» scielo, Bogota, 2024.