

Análisis de la eficiencia energética en los sistemas de distribución de bajo voltaje por medio de la reducción de armónicos

Analysis of energy efficiency in low voltage distribution systems through the reduction of harmonics

Análise da eficiência energética em sistemas de distribuição de baixa tensão através da redução de harmônicos

Luis Alfredo Erazo Ávila

lerazo5109@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9604-0346>

Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador

Julio César Guamán Segarra

julio.guaman@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8985-1519>

Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador

RESUMEN

Los problemas de calidad de energía se manifiestan en desviaciones de voltaje, corriente o frecuencia que causan un mal funcionamiento de equipos sensibles. La integración de plantas fotovoltaicas y eólicas conectadas a inversores y el aumento desenfrenado de las cargas no lineales han provocado problemas de armónicos en el sistema eléctrico. Las cargas lineales y no lineales, los dispositivos conmutados energizados por fuentes sinusoidales y no sinusoidales producen armónicos en el sistema de distribución. En ese sentido se desarrolla una revisión bibliográfica que describe aportes significativos sobre la eficiencia energética en los sistemas de distribución de bajo voltaje por medio de la reducción de armónicos; Para alcanzar el propósito tomaron en consideración criterios de investigadores experimentales que a menudo usan analizadores de armónicos para medir los armónicos en sistemas reales para evaluar alternativas de mitigación adecuadas. Las pérdidas de potencia distorsionantes obligan a las empresas de servicios públicos a aumentar la potencia aparente para mantener una fuente de alimentación fiable y uniforme. Los analizadores de armónicos ayudan a encontrar el factor de potencia real, las distorsiones armónicas totales, las pérdidas de potencia reactiva y distorsionada. Se concluye que las cargas no lineales que originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectan los índices de calidad del suministro de energía (Disminución de la vida útil de los equipos eléctricos, calentamiento de conductores y aumento en el consumo energético). Esta distorsión puede causar efectos indeseables en otros equipos ubicados en la misma vivienda, como en los dispositivos de protección, bancos de condensadores, motores, computadoras, etc., además de los problemas de calentamiento que originan en las líneas y transformadores de distribución; este fenómeno debe reducirse a través de la utilización de transformadores delta-estrella las corrientes armónicas “triples; un transformador configurado en estrella-delta para el bloqueo del tercer armónico (H3) y de los armónicos de secuencia cero.

Palabras claves: armónicos, eficiencia energética, bajo voltaje.

ABSTRACT

Power quality problems manifest themselves in voltage, current, or frequency deviations that cause sensitive equipment to malfunction. The integration of photovoltaic and wind plants connected to inverters and the rampant increase in non-linear loads have caused harmonic problems in the electrical system. Linear and non-linear loads, switched devices powered by sinusoidal and non-sinusoidal sources produce harmonics in the distribution system. In this sense, a bibliographic review is developed that describes significant contributions on energy efficiency in low voltage distribution systems through the reduction of harmonics; To achieve the purpose, they took into consideration the criteria of experimental researchers who often use harmonic analyzers to measure harmonics in real systems to evaluate suitable mitigation alternatives. Distorting power losses force utilities to increase apparent power to maintain a reliable and consistent power supply. Harmonic analyzers help find true power factor, total harmonic distortions, reactive and distorted power losses. It is concluded that the non-linear loads that originate harmonic currents that propagate in the electrical transmission and distribution networks, affect the quality indices of the energy supply (decrease in the useful life of electrical equipment, heating of conductors and increase in the energy consumption). This distortion can cause undesirable effects on other equipment located in the same home, such as protection devices, capacitor banks, motors, computers, etc., in addition to the overheating problems that originate in distribution lines and transformers; this phenomenon must be reduced through the use of delta-star transformers the “triple” harmonic currents; a transformer configured in star-delta for the blocking of the third harmonic (H3) and zero sequence harmonics.

Keywords: harmonics, energy efficiency, low voltage.

RESUMO

Os problemas de qualidade de energia se manifestam em desvios de tensão, corrente ou frequência que causam mau funcionamento de equipamentos sensíveis. A integração de usinas fotovoltaicas e eólicas conectadas a inversores e o aumento desenfreado de cargas não lineares têm causado problemas harmônicos no sistema elétrico. Cargas lineares e não lineares, dispositivos chaveados alimentados por fontes senoidais e não senoidais produzem harmônicos no sistema de distribuição. Nesse sentido, é desenvolvida uma revisão bibliográfica que descreve contribuições significativas na eficiência energética em sistemas de distribuição de baixa tensão através da redução de harmônicos; Para atingir o objetivo, eles levaram em consideração os critérios de pesquisadores experimentais que costumam usar analisadores harmônicos para medir harmônicos em sistemas reais para avaliar alternativas de mitigação adequadas. Perdas de energia distorcidas forçam as concessionárias a aumentar a potência aparente para manter uma fonte de alimentação confiável e consistente. Os analisadores harmônicos ajudam a encontrar o verdadeiro fator de potência, distorções harmônicas totais, perdas de potência reativas e distorcidas. Se concluye que las cargas no lineales que originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectan los índices de calidad del suministro de energía (Disminución de la vida útil de los equipos eléctricos, calentamiento de conductores y aumento en el consumo energético). Essa distorção pode causar efeitos indesejáveis em outros equipamentos localizados na mesma residência, como dispositivos de proteção, bancos de capacitores, motores, computadores, etc., além dos problemas de superaquecimento originados em linhas de distribuição e transformadores; este fenômeno deve ser reduzido através do uso de transformadores delta-estrela as correntes harmónicas “triplas”; um transformador configurado em estrela-triângulo para o bloqueio do terceiro harmónico (H3) e dos harmónicos de sequência zero.

Palavras-chave: harmônicos, eficiência energética, baixa tensão.

Introducción

Para cursar el sendero de la sostenibilidad de los países de América Latina y el Caribe, deben garantizarse el desarrollo económico y con éste, mayores niveles de eficiencia energética. Si se asume una perspectiva de mediano plazo, entre los principales factores que movilizan la promoción de la eficiencia energética están la seguridad en el suministro de la energía, la mayor eficiencia en el gasto y el alto potencial de producir ahorros energéticos, las preocupaciones por mitigar los impactos ambientales de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las limitaciones que pudieran generarse en relación con la inversión orientada a expandir la oferta energética en los países en desarrollo. En este sentido, según consideraciones hechas por (Hernández, y otros, 2017) el permanente desarrollo industrial, la prácticamente indetenible exigencia cada vez mayor por parte de la población por el uso de nuevas tecnologías para acceder a nuevos servicios y comodidades y una preocupante cultura de despilfarro de la energía eléctrica, ha traído como consecuencia un considerable incremento en su consumo, lo que ha conllevado a que no sean pocos los países que actualmente estén en el límite de su capacidad de generación o simplemente ya la hayan superado. Estos mismos investigadores han señalado que generación eléctrica a nivel global se produce principalmente a partir del carbón, durante el año 2018, el 37.95% de electricidad fue generada a partir de esta fuente; sin embargo, en América latina la dependencia de este recurso es considerablemente menor, con una alta penetración de hidroelectricidad, (46.64% con respecto al 15.75% a nivel global).

Ahora bien es significativo considerar que contextualizando este artículo se tiene que en Ecuador, la sostenibilidad del desarrollo hacia el Buen Vivir implica repensar la estructura y composición de la economía, disminuyendo la dependencia de actividades extractivas y orientando su transición hacia una economía basada en el bioconocimiento y en el aprovechamiento de los recursos biológicos (bioeconomía), que reduce la dependencia de productos derivados de energías fósiles y modifica el patrón de producción y acumulación, considerando los límites biofísicos y ciclos naturales (Consituyente, 2017), lo que incluye también en el replanteamientos de formas de obtención de energía eléctrica (López & Ventural, 2019).

Ahora bien, se ha señalado que el estudio de la calidad de la energía eléctrica, es el primer y más importante paso para identificar y solucionar problemas del sistema de potencia. Los problemas eléctricos pueden dañar el comportamiento del equipo y reducir su confiabilidad, disminuir la productividad y la rentabilidad e incluso puede poner en peligro la seguridad del personal si permanecen sin corregirse se ha señalado que la calidad de energía y servicio eléctrico, debe cumplir ciertos estándares que aseguren la conformidad del cliente. En este sentido, los aspectos más importantes que deben cumplir estos estándares tienen que ver con: a) frecuencia, b) nivel de tensión, c) fluctuaciones de tensión (flicker), d) armónicos y componentes de frecuencia superior, e) desequilibrio de tensión y corriente, f) factor de potencia, g) huecos y sobretensiones, y h) potencia activa y reactiva. Entra en esta denominación, la calidad del voltaje, la cual es una descripción de la aplicabilidad de la energía eléctrica y se describe como la magnitud o forma de onda que se desvía de los valores ideales. El voltaje debe estar dentro de una calidad dada para ser utilizable y no causar daños a los equipos eléctricos. Las consecuencias de la baja calidad del voltaje incluyen la falla del equipo, la vida útil reducida de los dispositivos y el parpadeo de la iluminación (Erazo, R. & Quevedo, P, 2018).

Las empresas de distribución han tenido que registrar continuamente caídas, crecidas y cambios rápidos de voltaje en su propia red característica de alta y medio voltaje desde 2006. Un aspecto importante es que los niveles de calidad se encuentran normados por organizaciones

internacionales los cuales son acogidas y reformuladas por cada país o región (Kit, Tse, & Lau, 2012). Existen dos organizaciones destacadas de estándares de calidad de energía que son: el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, IEEE, y la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC. En el Ecuador, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, es la encargada, de emitir regulaciones de calidad de energía para el sector eléctrico (ARCONEL, 2011). Este mismo organismo ha señalado la existencia de aspectos que deben considerar cuando se trata de calidad:

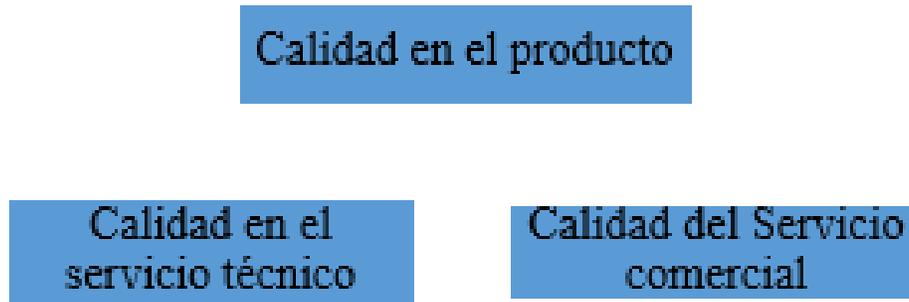


Ilustración 1. Aspectos de calidad según ARCONEL.

Al referirse en la calidad en el producto, se relaciona directamente con el establecimiento de los parámetros a controlar siendo el distribuidor el único encargado de realizar las mediciones, levantamiento de datos, procesamiento de datos y la evaluación de requerimientos suscitados en consumidores. Algunas de las normativas inherentes a esta regulación se presentan en la siguiente imagen:

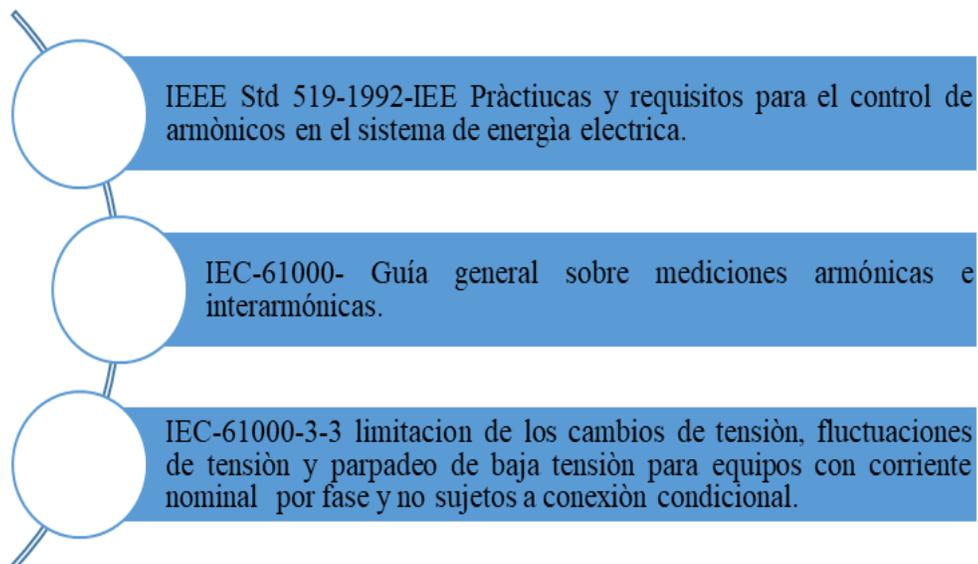


Ilustración 2. Normativas en el Ecuador.

En esta misma línea, hacer aproximación a la definición de distorsión armónica, concebida como una “malformación” de la corriente eléctrica que llega a los hogares y empresas. Esta “malformación” está originada por los equipos electrónicos que consumen energía eléctrica de una forma “no lineal”, es

decir, de una forma no continua en el tiempo. Esta forma de consumir electricidad, provoca que la forma de onda senoidal de la corriente eléctrica se distorsione. Esta distorsión se puede descomponer en diferentes componentes, conocidas como armónicos. La mayor o menor presencia de armónicos se mide con una magnitud conocida como Tasa de Distorsión Armónica (THD) (Canabal, 2013).

La distorsión de tensión se define en la norma IEEE-519 como responsabilidad del distribuidor, lo mismo la norma de calidad de SIGET atribuye este problema a la empresa distribuidora la cual en media y baja tensión no debe superar más del 5% del periodo de medición (Ventura, E. & López, J, 2019).

Una clasificación general de las armónicas atendiendo al tipo de carga no lineal y los dispositivos utilizados es: electrónica de potencia, dispositivos ferromagnéticos y dispositivos de arco. Las armónicas también se pueden clasificar en internas y externas a la red eléctrica (Velazquez, 1994). En forma general y atendiendo a esta clasificación se tiene fuentes armónicas internas según (Quispe, 2018):

- Deformación o rizo en la forma de onda de voltaje de las máquinas eléctricas debido a pulsaciones y oscilaciones de flujo magnético originado por el movimiento de los polos frente a los dientes de la armadura.
- Variación de la reluctancia del entrehierro debido a la inclinación de los polos del motor síncrono, lo que origina variaciones en el flujo magnético que afecta la forma de onda y se traduce en generación de armónicas.
- Distorsión del flujo magnético de motores síncronos debido a efectos de carga. Los cambios grandes de carga provocan cambios súbitos de la velocidad sin cambio en el flujo magnético, lo cual causa una distorsión de la señal.

Es importante considerar que relacionado con la calidad de la energía, los equipos eléctricos residenciales generan cargas no lineales que originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de distribución eléctrica, afectando los índices de calidad del suministro; es decir, específicamente hablando, la distorsión armónica es un tipo de perturbación que está presente permanentemente en las formas de onda de tensión y corriente, en los sistemas de distribución debido a la presencia de cargas no lineales. Las corrientes armónicas no solo producen disturbios en cargas sensibles, sino que también causan muchos efectos no deseables en los sistemas de eléctrico.

Estas corrientes no lineales (llamadas así por presentar deformaciones y/o discontinuidades) pueden ser representadas, a través de las series de Fourier, por infinitas componentes sinusoidales de diferentes frecuencias múltiplos de la fundamental, denominadas armónicas.

De estas componentes armónicas generadas, solamente aquellas que tienen la misma frecuencia respecto de la tensión que las crea aportarán a la potencia media del sistema. Por tanto, todas aquellas que no son de la misma frecuencia producen algún grado de pérdida o interferencia (Ruiz, 2018).

Una alta distorsión de corriente provoca calentamiento excesivo en conductores y transformadores, así como interferencia en equipo de comunicación mientras que la distorsión del voltaje provoca una operación incorrecta de equipos sensibles (computadoras, micro controladores) (Holguin & Gomez, 2010).

Tabla 1. Efectos que producen los Armónicos.

Componente/elemento	Problema	Efecto
Conductor	Aumento de la corriente. Aumento de la resistencia. Aumento de pérdidas térmicas (efecto Joule)	Calentamiento de cables. Disparo de protecciones
Conductor de neutro	Circulación de armónicos múltiplos de 3. Retorno por el conductor de neutro	Sobreintensidad de la corriente circulando por el neutro. Calentamiento en el neutro. Degradación prematura del conductor de neutro. Tensión neutro-tierra. Disparo de protecciones
Condensadores	Resonancia paralela con el sistema. Amplificación de los armónicos.	Calentamiento. Envejecimiento prematuro de condensadores. Destrucción de condensadores
Transformadores	Circulación de corrientes armónicas por los devanados.	Pérdidas de aislamiento térmico por calentamiento. Pérdidas en el cobre y en el hierro (Histéresis y Foucault).
Motores	Circulación de corrientes armónicas por los devanados	Sobrecalentamiento de los devanados. Disminución del rendimiento. Vibraciones en el eje, desgaste mecánico en rodamientos y excentricidad.
Grupo electrógeno	Sistema blando, con mayor impedancia que la red	Tensión distorsionada. Dificultad de sincronización automática y posterior conmutación.
Equipos de medida y control	Medidas no válidas. Errores en procesos de control.	Error en equipos que toman como referencia el paso por cero de la onda. Saturación de transformadores de medida y/o protección. Valores de magnitudes incorrectas.

Fuente: (Serra, 2009).

Los efectos técnicos es decir son todos aquellos que comportan una pérdida de rendimiento de las instalaciones:

- Pérdidas de capacidad en líneas de distribución de energía.
- Sobrecarga de transformadores.
- Sobrecarga de conductores.
- Caídas de tensión.
- Descalificación de los transformadores.
- Pérdidas por efecto Joule en líneas y Máquinas.
- Pérdidas magnéticas en Máquinas eléctricas

Con el objetivo de minimizar los armónicos, se hace necesario realizar lo siguiente, según (Olsen, 2015) los transformadores delta-estrella las corrientes armónicas “triples” se suman en el neutro del secundario. En el primario, las corrientes armónicas “triples” de las cargas desbalanceadas salen por los conductores y los de las cargas balanceadas quedan atrapados en el devanado de la delta. Aunque esto podría utilizarse para eliminar las armónicas de “triples” balanceadas, solo es válido en determinadas aplicaciones por los problemas que genera la recirculación de dichas corrientes en la delta.

Ahora bien, el bloqueo del tercer armónico (H3) y de los armónicos de secuencia cero (H9, H15, H21, etcétera). En este tipo de arreglo se incorpora un transformador configurado en estrella-delta. Su lado primario (de la fuente) está configurado en estrella y el secundario (de la carga) en delta. Los armónicos de secuencia cero que provienen de la fuente se descargan hacia el neutro o bien recirculan por el bobinado del secundario en delta (Rembold, Leo, Nègre, & Hubbard, 2015).

Otras de las alternativas son las instalaciones de transformadores de aislamiento, encargado de la protección contra disturbios eléctricos generales y reducción del nivel de distorsión armónica (THD). Son dispositivos de protección eléctrica general que evitan la transferencia de disturbios entre dos secciones de una red eléctrica. Normalmente son transformadores con relación 1:1 entre sus devanados primario y secundario; esto quiere decir que ambos bobinados tienen la misma cantidad de espiras (o vueltas de alambre conductor).

Una tercera alternativa es la utilización de transformadores zig-zag + filtros de rechazo de H5 y H7. Aplicación: protección de equipos UPS que alimentan computadoras. Los transformadores tipo zig-zag tienen una arquitectura en el lado secundario parecida a una estrella, pero con la peculiaridad de contener seis bobinados idénticos en lugar de los tres usuales. Representan una muy buena medida de protección para la cancelación de armónicos de secuencia cero (H3, H9, H15, H21, etc).

Por último, se emplea el doble variador de frecuencia con un transformador delta-delta y un transformador delta-estrella. bloqueo del quinto (H5) y séptimo (H7) armónicos en variadores de velocidad, variadores de frecuencia y drivers de frecuencia variable.

El objetivo de este artículo de revisión fue describir los aportes de los documentos analizados en relación a la Eficiencia energética en el sistema de distribución (bajo voltaje) por medio de la reducción de armónicos en el sector de Nuevo Tarqui en la ciudad de Manta.

Metodología

Tipo de estudio

El presente trabajo es de carácter cualitativo de carácter documental, siendo el propósito del mismo es realizar una revisión bibliográfica para analizar la eficiencia energética en el sistema de distribución (bajo voltaje) por medio de la reducción de armónicos en el sector de Nuevo Tarque en la ciudad de Manta.

Segùn (Baena, 2017, pág. 65), la investigación documental es una técnica que consiste en la selección y compilación de información a través de la lectura y crítica de documentos y materiales bibliográficos, bibliotecas, bibliotecas de periódicos, centros de documentación e información. En esta investigación se analizaron una serie de documentos en torno a la temática mencionada, con apoyo de la herramienta Google Académico y otros materiales bibliográficos complementarios.

Técnica de análisis

El estudio fue realizado mediante la técnica de análisis documental de fuentes bibliográficas con énfasis en el análisis de contenido y análisis crítico, lo que permitió la generación de la investigación. En función de esta búsqueda se expone los hallazgos sobre la Eficiencia energética en el sistema de distribución (bajo voltaje) por medio de la reducción de armónicos en el sector de Nuevo Tarqui en la ciudad de Manta.

Para alcanzar el objetivo de estudio, la investigación documental se ha realizado utilizando las palabras clave: “armónicos”, “bajo voltaje”, “eficiencia energética” mediante la búsqueda a través de Google Académico y de otras fuentes complementarias como, artículos de investigación científica, trabajos de

grados, tesis de doctorado, libros que abordan la temática. Cada documento debió cumplir los siguientes criterios para ser seleccionado:

Criterios para la selección de documentos:

1. Búsqueda de documentos con las palabras claves mencionadas.
2. Seleccionar los artículos, informes de conferencia, libros inherentes a la temática.
3. Identificar la publicación de los últimos 5 años.
4. Asegurar la fiabilidad y la veracidad seleccionando el perfil de las publicaciones realizadas (autor, tipo de estudio, responsable de la edición: editorial, universidad o revista, país, idioma, etc.).

Fases del estudio

El trabajo realiza, en primer lugar, mediante la búsqueda en la literatura especializada de fuentes primarias y secundarias que abordan. En segundo lugar, se realizó el análisis de la información encontrada y se establecieron relaciones cercanas con las diferentes visiones de los autores consultados sobre las concepciones y categorías inherente a la Eficiencia energética en el sistema de distribución (bajo voltaje) por medio de la reducción de armónicos en el sector de Nuevo Tarqui en la ciudad de Manta.

En tercer lugar, se realizó el análisis de contenido de la información abordada por los diversos autores. Para (Arbeláez & Onrubia, 2014, pág. 19), el objeto del análisis de contenido cualitativo es “verificar la presencia de temas, palabras o de conceptos en un contenido y su sentido dentro de un texto en un contexto”. En cuarto lugar, se exponen los resultados más significativos obtenidos de la información recopilada y analizada. Para ello, se realizó una matriz comparativa en base a la revisión bibliográfica acerca del tema en estudio. En total fueron 4 documentos, los cuales se presentan en la tabla 1. En quinto lugar, el trabajo finaliza con la discusión de los resultados y la presentación de las principales conclusiones del mismo.

Análisis y Discusión de los Resultados

Tabla 1. Matriz comparativa en base a Dimensionamiento de cobertura energética con energía solar fotovoltaica en empresa “Prefabricados de hormigón en la ciudad de Portoviejo.

Autor/año	Título	Tipo de documento	Resultados/Conclusiones
(Ruiz, 2018)	Armónicas en sistemas eléctricos de baja tensión: Causas, efectos y soluciones	Libro	Se pueden definir como problemas de calidad de servicio cualquier disturbio en las formas de onda de las señales involucradas en el sistema, ya sea tensión, corriente o frecuencia. Se considera un sistema eléctrico con calidad cuando este sistema presenta formas de onda puramente sinusoidales. Cualquier desvío en esta característica puede ser considerado como un problema de calidad.
(López & Ventural, 2019)	Estudio del desbalance de tensiones y sus Efectos en la calidad del producto técnico Para sistemas de distribución a nivel Industrial	Tesis de grado	Debemos asegurar que la señal eléctrica entregada cumpla con las condiciones establecidas en documentos y normas establecidos en cada país. La calidad del producto engloba índices que nos permiten evaluar la calidad del producto que se brinda para poder entender estos fenómenos electromagnéticos, tal como lo son los armónicos
(Arroyo, Rodríguez, Martínez, & G., 2017)	Impacto de la introducción de cocinas de Inducción en la calidad de la electricidad En los hogares de Ecuador	Artículo científico	Este estudio resulta la importancia en Ecuador, donde se está desarrollando el “Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción (PEC)”. En el PEC se contempla la introducción de dos a tres millones de cocinas de inducción, cuya fuente energética está basada en electricidad, que suplirán a las cocinas basadas en gas licuado del petróleo. Se ha realizado un análisis de los armónicos de tensión y corriente en cuatro modelos de cocinas de inducción que actualmente ya se comercializan en Ecuador dentro del PEC. Con los resultados obtenidos se ha observado que las cocinas no producen un incremento considerable en los valores de distorsión armónica en el sector residencial. Adicionalmente, se estima que no habrá repercusión en el THD de las redes de distribución. Sin embargo, sí incrementará el THD de corriente cuando se preparen los alimentos para el desayuno, almuerzo y cena. Este crecimiento será del 170%, pero no sobrepasa los límites de las normativas.
(Quispe, 2018)	“Análisis de la calidad de energía eléctrica en Sistemas de distribución de baja tensión - Salida I S.E. Bellavista”	Tesis	Se explica que las cargas no lineales están asociadas al deterioro de los transformadores de distribución, basándonos en la recopilación de estudios previos en cuanto a las cargas no lineales, efectos de los armónicos y el principio de transformación, posibilitando entender así por qué esta asociación causa un efecto contra productivo en los transformadores de distribución, dilucidando así una de las incógnitas en el campo técnico del cual es el incremento alarmante en averías de los transformadores de distribución, gran inconveniente que representa grandes pérdidas a las empresas encargadas del suministro eléctrico.

Discusión

Uno de los aspectos importantes en la actualidad se refiere a la calidad de la energía que es ofrecida bien sea a las empresas, como a los sectores residenciales. En tal sentido se ha encontrado que los armónicos de tensión y corriente, particularmente los de bajo voltaje son asociados por (Ruiz, 2018) con los problemas de calidad energética como consecuencia del disturbio en las formas de onda de las señales involucradas en el sistema, ya sea tensión, corriente o frecuencia. Esta misma consideración es señalada por (López & Ventura, 2019) engloba índices que permitan evaluar la calidad del producto que se brinda para poder entender estos fenómenos electromagnéticos, tal como lo son los armónicos. Estos autores coinciden en que, para asegurar la eficiencia energética, el abordaje de este fenómeno es clave.

En Ecuador, se ha presentado un incremento en el uso de cocina eléctricas, por lo que en un estudio realizado por (Arroyo, Rodríguez, Martínez, & G., 2017) se ha encontrado que se ha observado que las cocinas no producen un incremento considerable en los valores de distorsión armónica en el sector residencial en este país. Sin embargo, sí incrementará el THD de corriente cuando se preparen los alimentos para el desayuno, almuerzo y cena.

(Quispe, 2018) ha encontrado que las cargas no lineales se asocian claramente con el deterioro de los transformadores de distribución, pero también tienen efectos en la aparición de efectos de los armónicos y el principio de transformación, posibilitando entender así porqué esta asociación causa un efecto contra productivo en los transformadores de distribución, estos aspectos tienen incidencia en el incremento alarmante en averías de los transformadores de distribución, sobre todo en zonas residenciales como es el caso de la que se estudia.

Conclusiones

La revisión bibliográfica favorece la obtención de información sobre la calidad de la red eléctrica, como consecuencia de la inclusión fuentes de perturbación de los sistemas eléctricos, aspecto que es regulado por la normativa emitida por el ARCONEL, el cual estipula los niveles de calidad de suministro de energía eléctrica en la etapa de distribución y los métodos a ser aplicados para su evaluación. En cuanto a los límites de distorsión armónica, la regulación manifiesta que los mismos serán expresados en porcentaje según la relación existente entre la tensión del punto de medición y la tensión nominal del sistema.

La eficiencia energética debe ser garantizada en consideración a los reales problemas causados por el consumo cada vez mayor de energía eléctrica, el estado inadecuado de los segmentos que conforman la red eléctrica y el impacto ambiental negativo de las tradicionales fuentes de generación de electricidad.

Las cargas no lineales que originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectan los índices de calidad del suministro de energía. Esta distorsión puede causar efectos indeseables en otros equipos ubicados en la misma vivienda, como en los dispositivos de protección, bancos de condensadores, motores, computadoras, etc., además de los problemas de calentamiento que originan en las líneas y transformadores de distribución.

Bibliografía

- Abello, E., & Bernal, W. (2017). Prototipo para la orientación automática de paneles solares. *Publicaciones e Investigación*, 103 - 111.
- Arbeláez, M., & Onrubia, J. (2014). Análisis bibliométrico y de contenido. Dos metodologías complementarias para el análisis de la Revista Colombiana Educación y Cultura. *Revista de Investigaciones UCM*. Vol.14. Núm. 23, 14-31.
- ARCONEL . (2011). *Plan Maestro de Electrificación. Ecuador 2012-2021*. .

- Arévalo, P., Cano, A., & F., J. (s.f.). Comparative study of two new energy control systems based on PEMFC for a hybrid tramway in Ecuador. 2020;45:25357–77. *Int J Hydrogen Energy* . Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.212>.
- Arévalo, W. (2021). *OPTIMIZACIÓN EN DIMENSIONAMIENTO Y CONTROL ENERGÉTICO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR*. universidad de Jaén.
- Arroyo, S., Rodríguez, D., Martínez, J., & G., G. (2017). Impacto de la introducción de cocinas de inducción en la calidad de la electricidad en los hogares de Ecuador . *ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre,*
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación. Serie integral por competencias*. México, D.F.: Grupo editorial Patria.
- Bryon. (2021). “*Estudio y evaluación de modelos de micro red eléctrica inteligente y su gestión energética en la parroquia rural Tabiázo del cantón Esmeraldas*”. Ecuador : Universidad Técnica de Manabí .
- Canabal, E. (2013). . *Los armónicos: causas, consecuencias y soluciones. Optimización Costes Energía*.
- Cano, A., Arévalo, P., & Jurado, F. (2020). *Energy analysis and techno-economic assessment of a hybrid PV/HKT/BAT system using biomass gasifier: Cuenca-Ecuador case study*. *Energy* 2020;202:117727. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117727>
- Chiluiza, S. (2018). *Análisis energético de paneles solares híbridos otovoltaicos - térmicos en el sector hotelero en distintas zonas climáticas del Ecuador*. Escuela de Ingeniería y Arquitectura.
- Consituyente, A. (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. ECUADOR .del Amo, A. (2018). *Análisis energético de paneles solares híbridos fotovoltaicos - térmicos en el sector hotelero en distintas zonas climáticas del Ecuador*. Escuela de Ingeniería y Arquitectura.
- El Comercio. (2017). “*El Comercio Proyectos Fotovoltaicos*” [. Obtenido de http://www.elcomercio.com.ec/negocios/Ecuador-electricidad-Consejo_Nacional-Electricidad-
- Erazo, R., & Quevedo, P. (2018). ANALISIS DE CALIDAD DE ENERGIA Y REDISEÑO DEL SISTEMA ELECTRICO EN LA PLANTA INDUSTRIAL CORPORACION DE PROYECTOS MULTIPLES.
- Flores, A., Palma, G., & Moreno, R. (2016). . “A column generation approach for solving generation expansion planning problems with high renewable energy penetration,”. *Electr. Power Syst. Res*, 232–241.
- Fonsi, J. (2016). *Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes*.
- Fuentes, O., & Romero, M. (2016). *Procedimiento para el dimensionamiento de sistemas autónomos de generación de energía solar fotovoltaica*. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías.
- Gentil, A. (2020). *Dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red*. Universidad de los Andes .
- Gentil, A. (2020). *DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED*. Colombia: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.
- Gers, M. (2017). América Latina y el caribe: estado del arte de las redes eléctricas inteligentes. *ENERLAC*, 24-41.
- Gharehpetian, G., & Mousavi, S. (2017.). *Distributed Generation Systems: Design, Operation and Grid Integration*. Kidlington. *United Kingdom: Butterworth-Heinemann*.
- Hernández, J., Pinto, Á., González, J., Pérez, N., Torres, J., & Rengel, J. (2017). Nuevas Estrategias para un Plan de Uso Eficiente de la Energía Eléctrica Ciencia, Docencia y Tecnología. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, .
- Hiranzo, H. (2019). *Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de 30 kW combinado con un sistema de*. España .
- Holguin, M., & Gomez, C. (2010). “*Análisis De La Calidad De Energia Electrica En El Nuevo Campus De La Universidad Politecnica Salesiana*”. . GUAYAQUIL ECUADOR.
- International Energy Agency. (2020). *International Energy Agency. Data and statistics*.
- Kit, M., Tse, C., & Lau, W. (2012). *A study on the effects of voltage distortion on current harmonics generated by modern SMPS driven home appliances in Smart Grid network*. .
- López, J., & Ventural, V. (2019). *ESTUDIO DEL DESBALANCE DE TENSIONES Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO TÉCNICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN A NIVEL INDUSTRIAL*. ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.
- López, M. (2011). ESTUDIO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LAS "SMART GRIDS". *Departamento de Ingeniería Eléctrica*.
- Luna, E., Laguado, M., & Sepúlveda Mora, S. (2018). Controlador de carga PWM eficiente y de bajo costo para sistemas fotovoltaicos autónomos. *Respuestas,*.
- Mathews, G., & Vosloo, J. (2015). *The Benefits of Energy Efficiency Programs - Comparing Germany with South Africa*.(pp. 166-170). En: *2015 International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (icue), Cape Town, South Africa*. .

- Olsen, C. (2015). *Visualization of Energy Consumption: Motivating for a Sustainable Behaviour Through Social Media* (pp. 641-646). *International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, . Minneapolis, usa.
- Quispe, E. (2018). *ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN - SALIDA I S.E. BELLAVISTA* . FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA.
- Rembold, F., Leo, O., Nègre, T., & Hubbard, N. (2015). *The 2015-2016 El Niño Event: Expected Impact on Food Security and Main Response Scenarios in East and Southern Africa*. *Joint Research Centre, the European Commission 's*,. European Union.
- Romero, O. f. (2018). *Procedimiento para el dimensionamiento de sistemas autónomos de generación de energía solar fotovoltaica*. Colombia : Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías – Universidad Nacional Abierta y a distancia UNED .
- Rubio, A., Ordoñez, L. R., de la Cruz, E., & Peòn, R. (2018). Diseño de una micro red eléctrica inteligente con sistema fotovoltaico y celda de combustible, No. 120,. *Pistas Educativas*.
- Ruiz, D. (2018). *ARMÓNICAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN: Causas, efectos y soluciones*. Valparaiso : Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Serra, J. (2009). *Guia Técnica de Eficiencia Energética Eléctrica*. : . España: CIRCUTOR.
- Velazquez, R. (1994.). *Metodología para la predicción y solución de la distorsion armónica en las redes eléctricas de distribución*. Boletín DE, Marzo/Abril.