



Doi: <https://doi.org/10.70577/ASCE/1073.1088/2025>

Recibido: 2025-05-27

Aceptado: 2025-06-27

Publicado: 2025-07-28

Análisis de Armónicos en Redes de Baja Tensión por Luminarias No Lineales

Harmonic Analysis in Low Voltage Networks by Non-Linear Luminaires

Autor:

Gabriel Pesantez

gabriel.pesantez@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4037-3859>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

Riobamba-Ecuador

Cómo citar

Pesantez, G. (2025). Análisis de Armónicos en Redes de Baja Tensión por Luminarias No Lineales. *ASCE*, 4(3), 1073–1088.



Resumen

Este documento aborda el impacto de los armónicos generados por luminarias en las redes de Distribución de bajo voltaje, en este contexto las empresas de distribución eléctrica son responsables del suministro de energía a consumidores residenciales, comerciales y pequeñas industrias, incluyendo los sistemas de alumbrado público. Aunque estas luminarias presentan una baja demanda individual, su alto número y el uso de tecnologías no lineales como LED, sodio o halogenuros metálicos generan distorsiones armónicas en la red, afectando la calidad del suministro eléctrico. Este estudio se enfoca en analizar los armónicos generados por luminarias no lineales y su impacto en redes reales de baja tensión. Inicialmente, se caracterizaron experimentalmente luminarias tipo sodio y LED de 150W utilizando un analizador de calidad de energía en entornos controlados, midiendo parámetros como la distorsión armónica total (THD) de voltaje y corriente, así como armónicos individuales, conforme a las normas IEEE 519 e IEEE 1159. Posteriormente, se modeló una red real de baja tensión mediante un sistema georreferenciado, incorporando los armónicos obtenidos y considerando la demanda diversificada de usuarios. Los resultados muestran que, aunque los armónicos generados por las luminarias son significativos, especialmente los de orden 3 y 5, su impacto en el sistema es atenuado por la presencia de cargas lineales de mayor magnitud. Sin embargo, la creciente penetración de luminarias no lineales podría comprometer la calidad del servicio si no se gestionan adecuadamente.

Palabras clave: Armónicos; Luminarias; Calidad de Energía



Abstract

This document addresses the impact of harmonics generated by lighting fixtures on low-voltage distribution networks. In this context, electrical distribution companies are responsible for supplying energy to residential, commercial, and small industrial consumers, including public lighting systems. Although these fixtures have low individual demand, their high number and the use of non-linear technologies such as LED, sodium, or metal halide lamps generate harmonic distortions in the network, affecting the quality of the electrical supply. This study focuses on analyzing the harmonics generated by non-linear lighting fixtures and their impact on real low-voltage networks. Initially, 150W sodium and LED luminaires were experimentally characterized using a power quality analyzer in controlled environments, measuring parameters such as total harmonic distortion (THD) of voltage and current, as well as individual harmonics, in accordance with IEEE 519 and IEEE 1159 standards. Subsequently, a real low-voltage network was modeled using a georeferenced system, incorporating the obtained harmonics and considering the diversified demand of users. The results show that, although the harmonics generated by the luminaires are significant, especially those of order 3 and 5, their impact on the system is mitigated by the presence of larger linear loads. However, the increasing penetration of non-linear luminaires could compromise service quality if not managed properly.

Keywords: Harmonics; Luminaires; Power Quality

Introducción

En Ecuador las empresas eléctricas de distribución son responsables de suministrar energía eléctrica dentro de su área de concesión a usuarios residenciales, comerciales e industriales. La red de distribución se clasifica en dos niveles de tensión: media tensión (MT) y baja tensión (BT). La media tensión abarca niveles de 6.3 kV, 13.2 kV, 13.8 kV, 22 kV y 22.8 kV, mientras que la baja tensión comprende niveles típicos de 220/127 V y 240/120 V.

Dentro de los sistemas de baja tensión se incluye el alumbrado público, que, aunque presenta cargas de baja potencia individual, se caracteriza por un alto número de luminarias. En el país, este sistema emplea tecnologías como sodio, LED, halogenuro metálico y, en menor medida, vapor de mercurio. Estas tecnologías, especialmente las de tipo no lineal, generan armónicos que pueden afectar negativamente la calidad del suministro eléctrico. Por ello, el presente estudio se enfoca en el análisis del impacto de los armónicos producidos por estas luminarias en la red de distribución (Putz et al., 2019).

De acuerdo con Salam, Uddin y Bin Moinuddin (2019) impacto de las cargas no lineales en la red eléctrica puede ocasionar serios problemas de calidad de energía. Las luminarias utilizadas en alumbrado público son cargas no lineales, por lo cual generan armónicos que pueden provocar distorsiones en la tensión o en la corriente del sistema. Por ello, es fundamental cumplir con los estándares regulatorios de calidad de energía, sobre todo se debe considerar los factores relacionados con la Distorsión armónica total (THD) ya sea de corriente o voltaje.

De manera similar se considera que luminarias fluorescentes compactas (CFL) y los diodos emisores de luz (LED) inyectan armónicos en las redes de distribución, lo que altera los niveles de calidad de energía. La alta penetración de estas tecnologías de iluminación modifica las características eléctricas de los alimentadores radiales, afectando el desempeño general del sistema. Se incluye una caracterización eléctrica de las lámparas y simulaciones computacionales que evalúan el impacto armónico en la calidad del suministro eléctrico (Blanco Castañeda & Parra, 2011).

El problema de cargas no lineales no es exclusivo de las luminarias, de acuerdo con Salam, Uddin y Hannan (2017) los modelos de carga basados en plantillas permite adaptar dinámicamente diferentes cargas no lineales, facilitando el análisis teórico de los parámetros de calidad de energía. Se destaca la importancia de realizar verificaciones experimentales para asegurar la precisión y reducir los errores en los cálculos de potencia bajo diversas combinaciones de carga.

En este contexto este documento analiza el comportamiento de luminarias típicas y su impacto en el impacto en la calidad de energía del sistema de Distribución (Ruuth et al., 2019).

El principal aporte de este documento radica en el análisis del comportamiento de la red de BV ante la incorporación de luminarias en un caso real del sistema de distribución. No obstante, dicho análisis se ve limitado por la falta de información confiable sobre la carga eléctrica conectada.

Material y Métodos

Para el desarrollo de este estudio, se realiza inicialmente un análisis experimental de luminarias en un entorno controlado, con el objetivo de caracterizar su comportamiento e identificar la cantidad de armónicos que introducen en la red. Para esto se emplea un analizador de calidad de energía, el cual se aplica por separado a los dos tipos de luminarias. La obtención de datos se realiza conforme a las normativas IEEE 519 e IEEE 1159 (Energy, 2014).

Una vez determinados los armónicos generados por cada tipo de luminaria, se procede a la simulación del sistema eléctrico, incorporando los armónicos correspondientes. El análisis se enfoca en un sistema monofásico de baja tensión (BV). Para este propósito, se considera que la luminaria presenta una vida útil de acuerdo a lo detallados en la Tabla 1.

Tabla 1
Datos típicos de luminarias

Tipo de luminaria	Vida Útil (horas)
Incandescente	1000
Fluorescente	8000 - 10000
Vapor de mercurio	25000
Vapor de mercurio con halogenuros/haluros metálicos	10000
Vapor de sodio de alta presión	25000
Vapor de sodio de baja presión	25000
Inducción magnética	60000 - 100000
LED	50000

Fuente: BRUSIL GUAMÁN, (2020)

Caracterización de Armónicos en las Luminarias

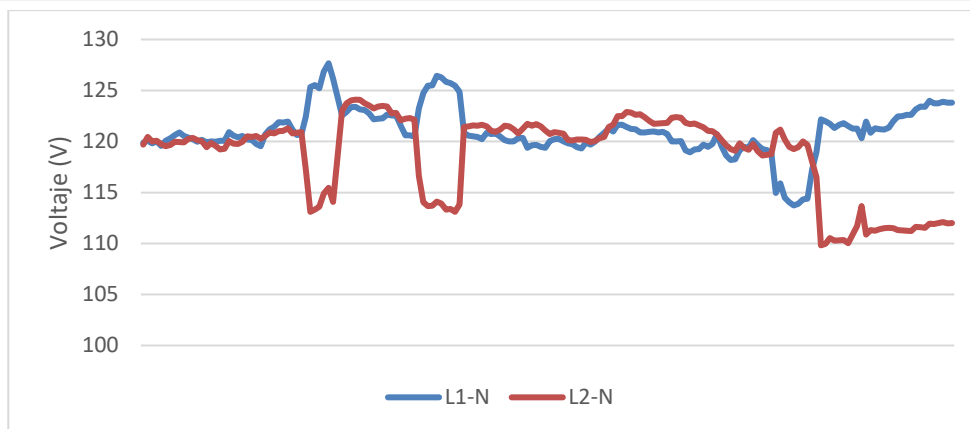
Para caracterizar los armónicos generados por las luminarias, se realizaron dos mediciones (por cada tipo de luminaria) en horarios distintos con el fin de minimizar posibles errores provocados por fenómenos eléctricos en la red de BV. Para ello, las luminarias fueron conectadas a fuentes independientes y se analizaron desde el momento del encendido hasta el apagado, considerando específicamente el comportamiento durante estos procesos, ya que difiere del funcionamiento estable.

En cada medición se aplicaron criterios establecidos por la norma IEEE 519 y la IEEE 1159 para la adquisición de datos, se registraron diversos parámetros, dando especial atención a la distorsión armónica total (THD) tanto de voltaje como de corriente, así como a los armónicos individuales presentes en las fases y en el neutro del sistema. Una vez obtenidos los datos, se realizó un análisis detallado, descartando eventos extremos o inconsistencias atribuibles a interferencias de cargas externas. Estos resultados sirven como insumo para modelar el comportamiento armónico de las luminarias con lo cual es posible validar las simulaciones posteriores que consideren la penetración de cargas no lineales.

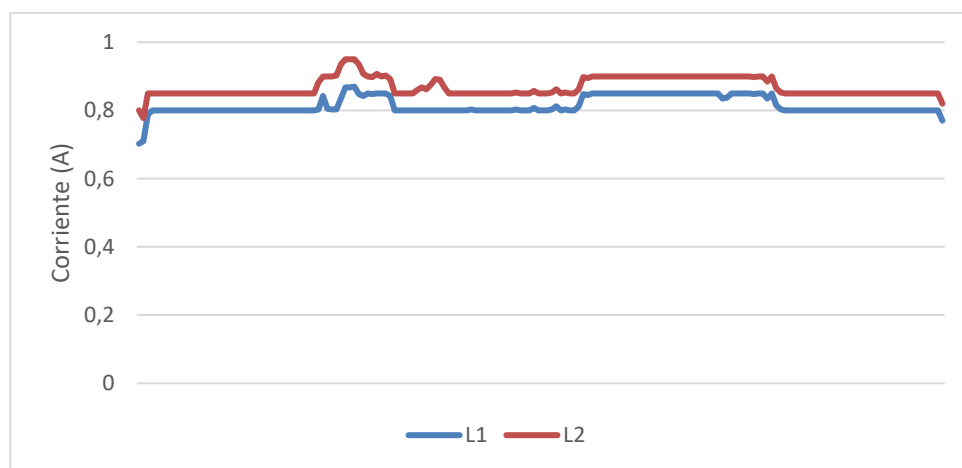
Para ello se inicia considerando una luminaria de Sodio con una potencia de 150W, la cual presenta el comportamiento mostrado en la Figura 1, en donde es posible observar que el voltaje del sistema cambia en algunos puntos, pero en su mayoría permanece constante, por otro lado, la corriente cambia en cuestión de mA, con lo cual el consumo de potencia permanece constante.

Figura 1

Comportamiento de una luminaria de sodio a) voltaje, b) corriente



a)



b)

Fuente: Autores

Para el caso del análisis armónico, en la Tabla 2 se muestra el comportamiento detallado de cada uno. Se destaca particularmente la magnitud de los armónicos de corriente, siendo el tercero y el quinto los más relevantes.

Tabla 2

Armónicos generados por la luminaria

ORDEN ARMÓNICO	VOLTAJE (%)		CORRIENTE (%)	
	L1-N	L2-N	L1	L2
0	0,12	0,17	0,01	0,05
1	100,00	100,00	100,00	100,00
2	0,08	0,06	2,94	1,35
3	3,46	3,62	21,64	21,62
4	0,07	0,07	1,37	0,99
5	1,48	1,79	13,33	13,41
6	0,03	0,04	0,70	0,60
7	0,32	0,29	5,80	5,75
8	0,02	0,06	0,46	0,41
9	0,89	0,94	17,46	17,03
10	0,04	0,05	0,36	0,36

Fuente: Autores

De manera similar, la luminaria tipo LED de 150W fue analizada bajo los mismos criterios de medición y evaluación establecidos previamente. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 3 y la Figura 2. Se observa que los armónicos de corriente más significativos corresponden al tercer y quinto orden.

Tabla 3

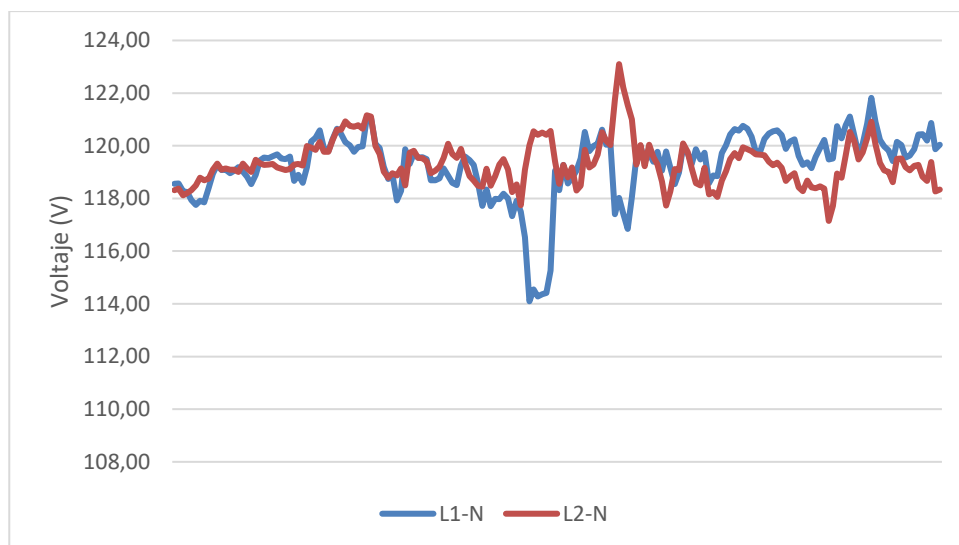
Armónicos generados por la luminaria

ORDEN ARMÓNICO	VOLTAJE (%)		CORRIENTE (%)	
	L1-N	L2-N	L1	L2
0	0,10	0,13	0,00	0,00
1	100,00	100,00	100,00	100,00
2	0,06	0,06	3,14	2,28
3	2,22	2,27	4,25	4,60
4	0,03	0,03	1,64	0,78
5	2,18	2,13	5,90	6,06
6	0,03	0,03	0,81	0,49
7	0,32	0,25	3,19	3,23
8	0,02	0,02	0,44	0,37
9	0,55	0,61	2,90	3,10
10	0,01	0,01	0,29	0,29

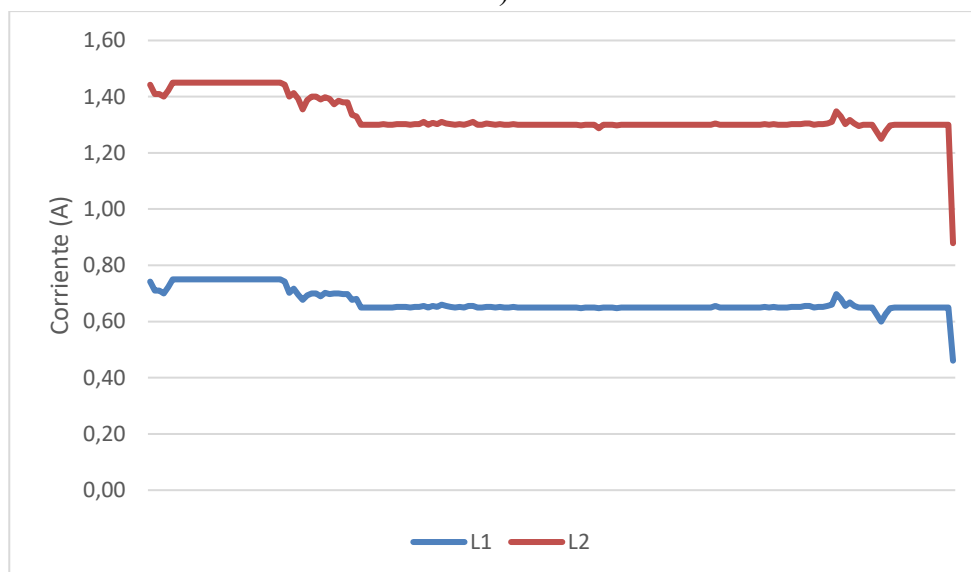
Fuente: Autores

Figura 2

Comportamiento de una luminaria LED a) voltaje, b) corriente



a)



b)

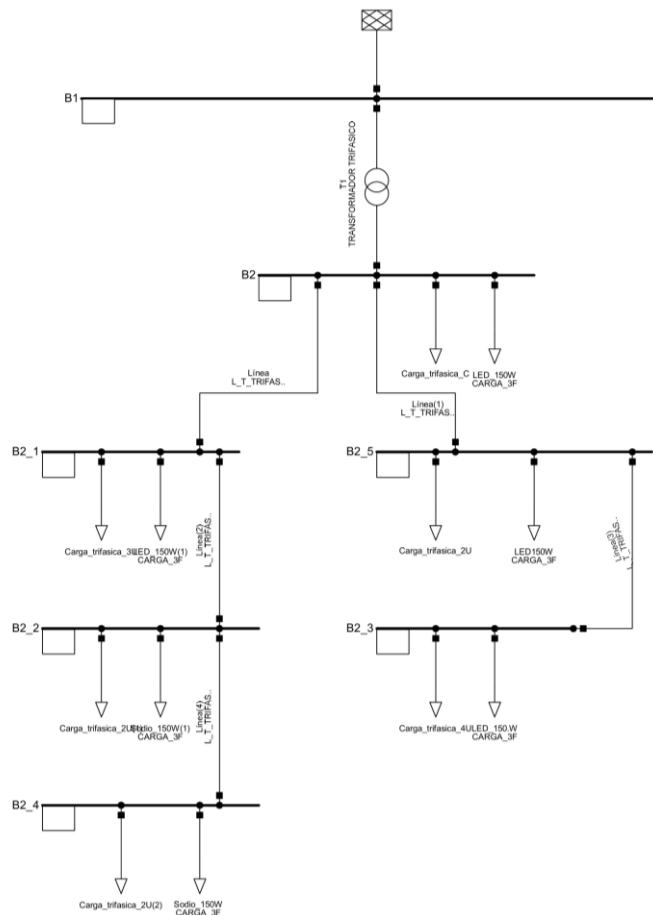
Fuente: Autores

Modelo de la Red de BV

Una vez obtenidos los armónicos de las luminarias analizadas, se procede a incorporar esta información en el análisis de una red de distribución de baja tensión (BV). Para ello, se utiliza un sistema georreferenciado que proporciona datos precisos sobre la ubicación de los usuarios y la topología del sistema eléctrico.

Se asume que cada usuario posee una Demanda Máxima Diversificada (DMD) de 1.6 kW. Además, se aplican los factores de coincidencia definidos por la Empresa Eléctrica Quito, lo que permite ajustar adecuadamente las cargas en el sistema. Con esta información, se modela la red completa, la estructura y distribución se presentan en la Figura 3.

Figura 3
Diagrama de la Red de Distribución



Fuente: Naranjo, Osorio (2023)

Por otro lado, en la Tabla 4 se detalla las cargas en cada una de las barras, así como el valor de la potencia de cada luminaria, se debe destacar que para simplificar el sistema se consideraron los usuarios y las luminarias como un solo elemento en la simulación.

Tabla 4
Armónicos generados por la luminaria

Carga (usuarios)	Demanda (kW)	Barra	Luminaria (kW)
Carga trifásica	3.135	B2	0
Carga trifásica	3.135	B2_5	0
Carga trifásica	3.135	B2_2	0
Carga trifásica	4.124	B2_4	0
Carga trifásica	4.823	B2_1	0
Carga trifásica	3.135	B2_3	0
Luminaria LED	0	B2	0.150
Luminaria LED	0	B2_5	0.150
Luminaria LED	0	B2_3	0.450
Luminaria LED	0	B2	0.450
Luminaria Sodio	0	B2_1	0.450
Luminaria Sodio	0	B2_4	0.150
Luminaria Sodio	0	B2_2	0.150

Fuente: Autores

Resultados

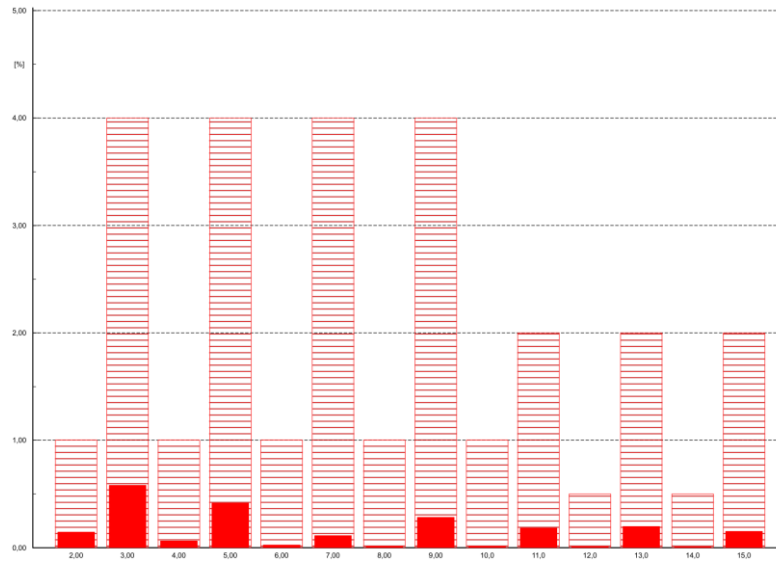
Armónicos

El análisis realizado sobre las luminarias evidenció la generación de armónicos significativos, especialmente en la componente de corriente, destacándose los armónicos de tercer y quinto orden como los más relevantes. Las mediciones, efectuadas en condiciones controladas, mostraron que las luminarias de sodio alcanzaron una distorsión armónica total (THD) de corriente superior al 20 %, mientras que las luminarias LED presentaron valores entre 5 % y 7 %. Estos resultados indican que la tecnología LED tiene un impacto considerablemente menor sobre la calidad de energía en comparación con las luminarias de sodio.

Posteriormente, se procedió a modelar el sistema de distribución y se realizaron simulaciones utilizando la herramienta de Flujo Armónico del software especializado. Los resultados confirman que las luminarias inyectan armónicos a la red, siendo este efecto más evidente en las componentes de corriente. Sin embargo, dado que en el modelo predominan las cargas lineales (usuarios) respecto a las cargas no lineales (luminarias), el impacto global de los armónicos sobre la red es poco significativo. Esta situación se ilustra en la Figura 4, donde la línea entrecortada representa los límites máximos permitidos de armónicos según la normativa, y la línea continua refleja los niveles de armónicos obtenidos en el caso de estudio. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la proporción entre cargas lineales y no lineales al evaluar la calidad de energía en redes de baja tensión.

Figura 4

Armónicos en la barra de BV.





Discusión

La presente investigación proporciona un análisis técnico detallado sobre el impacto de las luminarias no lineales en la calidad de energía de redes de baja tensión (BT), enfocándose en tecnologías comúnmente utilizadas en el alumbrado público como las lámparas de sodio y LED. A partir de mediciones experimentales y simulaciones en un entorno georreferenciado real, se identificaron niveles de distorsión armónica.

Uno de los principales hallazgos es que los armónicos de corriente de tercer y quinto orden son predominantes en ambas tecnologías, siendo más altos en las luminarias de sodio. Este comportamiento confirma que las cargas no lineales afectan la forma de onda del sistema, pudiendo provocar problemas como sobrecalentamientos en transformadores, disparos intempestivos de protecciones, resonancias o fallas en equipos sensibles.

En la simulación del sistema, se comprobó que la distorsión armónica general se mantiene dentro de los límites aceptables debido a la mayor participación de cargas lineales (usuarios), que atenúan el efecto de las luminarias. Sin embargo, en escenarios con mayor penetración de luminarias no lineales, la situación podría agravarse, por lo que es crucial realizar estudios de planeamiento y regulación.

La utilización de herramientas como DigSILENT PowerFactory y analizadores de calidad de energía, conforme a normas IEEE 519 e IEEE 1159, permitió validar los resultados obtenidos. Este estudio destaca la necesidad de incorporar criterios de calidad de energía en el diseño e implementación del alumbrado público.



Conclusiones

Dado que únicamente el 9 % de la demanda total del sistema corresponde a cargas no lineales (luminarias), el impacto global de los armónicos sobre la red de baja tensión es limitado. Sin embargo, en escenarios de mayor penetración de este tipo de cargas, el efecto acumulativo podría comprometer la calidad de energía.

El uso de luminarias LED disminuye el consumo de energía eléctrica en sistemas de alumbrado público, por lo que es preferible no solo por su eficiencia energética y mayor vida útil, sino también por su menor impacto negativo sobre la calidad de energía, lo que contribuye a una operación más estable y confiable de la red de baja tensión.

Las luminarias de sodio presentan un mayor impacto armónico, con niveles de distorsión armónica total (THD) superiores al 20 %, en comparación con las luminarias LED, que mostraron valores de THD entre el 5 % y 7 %, lo que evidencia una ventaja técnica de las LED en términos de calidad de energía.

Referencias bibliográficas

- Blanco Castañeda, A. M., & Parra, E. E. (2011). The effects on radial distribution networks caused by replacing incandescent lamps with compact fluorescent lamps and LEDs. *Ingeniería e Investigación*, 31(2SUP), 97-101. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v31n2SUP.25219>
- Energy, I. P. and. (2014). IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. En *IEEE Std. 519-2014* (Vol. 2014).
- MAYTÉ CAROLINA BRUSIL GUAMÁN. (2020). *ANÁLISIS DE PERTURBACIONES ARMÓNICAS PRODUCIDAS POR LUMINARIAS DE TECNOLOGÍA LED EN UNA RED DE ALUMBRADO PÚBLICO*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20820>
- Naranjo, J., & Osorio, J. (2023). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD ELÉCTRICA DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO. *Repositorio Uta*, 195. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Putz, Ł., Bednarek, K., & Nawrowski, R. (2019). Disturbances Generated by Lighting Systems with LED Lamps and the Reduction in Their Impacts. *Applied Sciences*, 9(22), 4894. <https://doi.org/10.3390/app9224894>
- Ruuth, K., Hilden, A., Rekola, J., Pakonen, P., & Verho, P. (2019). *THE IMPACT OF LED LIGHTING SYSTEMS TO THE POWER QUALITY AND RECOMMENDATIONS FOR INSTALLATION METHODS TO ACHIEVE THE EXPECTED ENERGY EFFICIENCY*.
- Salam, S. M., Uddin, M. I., & Bin Moinuddin, M. R. (2019). Impact Analysis of Large Number of Non-Linear Lighting Loads on Power Quality in Distribution Network. *2019 4th International Conference on Electrical Information and Communication Technology, EICT 2019, December*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/EICT48899.2019.9068811>
- Salam, S. M., Uddin, M. J., & Hannan, S. (2017). A new approach to develop a template based load model that can dynamically adopt different types of non-linear loads. *2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 708-712. <https://doi.org/10.1109/ECACE.2017.7912996>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.