

Análisis comparativo de parámetros eléctricos críticos en luminarias led tipo maíz, Led Bulbo de alta potencia y CFL en espiral

Comparative analysis of critical electrical parameters in corn-type LED luminaires, high-power LED bulbs, and spiral CFLs

Análise comparativa de parâmetros elétricos críticos em luminárias LED tipo milho, lâmpadas LED de alta potência e lâmpadas fluorescentes compactas (CFL) em espiral

Tirira Chulde, Rubén Darío
Instituto Superior Universitario Sucre
dtirira@tecnologicosucre.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-1869-015X>



Arias Castellano, Cristian Fernando
Instituto Superior Universitario Sucre
carias@tecnologicosucre.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-0064-6466>



Taco Cabrera, Alexis Geovanny
Instituto Superior Universitario Sucre
alextegr@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-9609-0798>



Alpala Muquincho, Jeremy Reinaldo,
Instituto Superior Universitario Sucre
alpalamuquincho.jeremy@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-1703-0748>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/n2/1215>

Como citar:

Tirira Chulde, R. D., Arias Castellano, C. F., Taco Cabrera, A. G., & Alpala Muquincho, J. R. (2025). Análisis comparativo de parámetros eléctricos críticos en luminarias led tipo maíz, Led Bulbo de alta potencia y CFL en espiral. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(2), 540–557.

Recibido: 25/11/2025

Aceptado: 16/12/2025

Publicado: 31/12/2025

Resumen

El estudio presenta un análisis comparativo del comportamiento eléctrico de luminarias LED tipo maíz, LED bulbo de alta potencia y CFL en espiral bajo dos regímenes de operación: continuo durante veinticuatro horas y cíclico con sesenta minutos encendido y dos segundos apagado. Las mediciones se realizaron empleando un analizador de calidad de energía clase A con el fin de evaluar parámetros críticos como la distorsión armónica total (THD_{V95}), el tercer armónico (h_{395}) y el flicker de largo plazo (Plt). Los resultados muestran diferencias significativas entre tecnologías y regímenes, evidenciando que la luminaria LED tipo maíz presenta la mayor sensibilidad ante conmutaciones repetitivas, mientras que el LED bulbo de alta potencia mantiene un comportamiento más estable en todos los parámetros evaluados. La CFL en espiral manifiesta su mayor inestabilidad en operación continua y una mejor respuesta bajo el régimen cíclico, lo que refleja la dependencia de su balasto electrónico respecto al patrón de energización. La comparación multivariante confirma la existencia de firmas eléctricas diferenciadas que deben considerarse en aplicaciones donde predominen fluctuaciones de tensión o ciclos de encendido frecuentes, destacando la importancia de caracterizar las luminarias bajo condiciones reales de operación.

Palabras clave: iluminación eléctrica, compatibilidad electromagnética, calidad de la energía, armónicos eléctricos, flicker luminoso, lámparas led, lámparas fluorescentes compactas, electrónica de potencia.

Abstract

This study presents a comparative assessment of the electrical performance of high-power LED corn lamps, LED bulb-type lamps, and compact fluorescent lamps (CFL) under two operational regimes: continuous twenty-four-hour operation and a cyclic mode consisting of sixty minutes on and two seconds off. Measurements were obtained using a Class A power quality analyzer to characterize critical parameters including the total harmonic distortion (THD_{V95}), the third harmonic component (h_{395}), and the long-term flicker index (Plt). The results reveal markedly different responses among the technologies evaluated. The LED corn lamp exhibits the highest sensitivity to repetitive switching, with significant increases in harmonic distortion and flicker. The high-power LED bulb maintains the most stable behavior across both regimes, while the CFL demonstrates its greatest instability during continuous operation and improved performance under cyclic energization. A multivariate comparison confirms distinct electrical signatures associated with each lighting technology, emphasizing the relevance of evaluating luminaires under realistic operational conditions where voltage fluctuations or recurrent switching may occur.

Keywords: electric lighting, electromagnetic compatibility, power quality, electrical harmonics, luminous flicker, led lamps, compact fluorescent lamps, power electronics.

Resumo

Este estudo apresenta uma avaliação comparativa do desempenho elétrico de lâmpadas LED de alta potência, lâmpadas LED tipo bulbo e lâmpadas fluorescentes compactas (CFL) sob dois regimes operacionais: operação contínua de vinte e quatro horas e um modo cíclico que consiste em sessenta minutos ligado e dois segundos desligado. As medições foram obtidas utilizando um analisador de qualidade de energia Classe A para caracterizar parâmetros críticos, incluindo a distorção harmônica total (THD_{V95}), o terceiro componente harmônico (h_{395}) e o índice de cintilação de longo prazo (Plt). Os resultados revelam respostas marcadamente diferentes entre as tecnologias avaliadas. A lâmpada LED tipo milho exibe a maior sensibilidade à comutação repetitiva, com aumentos significativos na distorção

harmónica e na oscilação. A lâmpada LED de alta potência mantém o comportamento mais estável em ambos os regimes, enquanto a CFL demonstra sua maior instabilidade durante a operação contínua e melhor desempenho sob energização cíclica. Uma comparação multivariada confirma assinaturas elétricas distintas associadas a cada tecnologia de iluminação, enfatizando a relevância de avaliar luminárias em condições operacionais realistas, onde podem ocorrer flutuações de tensão ou comutação recorrente.

Palavras-chave: iluminação elétrica, compatibilidade eletromagnética, qualidade da energia, harmônicos elétricos, cintilação luminosa, lâmpadas led, lâmpadas fluorescentes compactas, eletrônica de potência.

Introducción

El comportamiento eléctrico de las luminarias electrónicas constituye un elemento determinante para la estabilidad operativa de los sistemas residenciales de baja tensión. La sustitución progresiva de lámparas incandescentes por tecnologías basadas en electrónica de potencia ha modificado la interacción entre la carga y la red, impulsando la adopción de luminarias LED y reduciendo el uso de lámparas fluorescentes compactas. Aunque las CFL han sido desplazadas por obsolescencia técnica y comercial, su inclusión en análisis comparativos mantiene relevancia académica debido a la configuración de su balasto electrónico y al valor que ofrecen como referencia para contrastar el desempeño de tecnologías más recientes (INER, 2017; CENACE, 2023).

Las luminarias LED integran etapas de conversión que regulan la corriente de operación y que, debido a su naturaleza no lineal, introducen distorsiones de forma de onda y fluctuaciones de tensión. Estos efectos se cuantifican mediante parámetros normalizados de calidad de la energía establecidos en la IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 e IEC 61000-4-30. La literatura reciente señala que el desempeño eléctrico de estas luminarias depende de la topología del driver y de la capacidad de sus convertidores para mantener estabilidad ante variaciones del suministro, mientras que las CFL, por la dinámica de sus balastos electrónicos, también generan modificaciones relevantes en la forma de onda que justifican su análisis comparativo.

La comparación entre tecnologías resulta esencial para evaluar la estabilidad eléctrica de luminarias utilizadas en sistemas residenciales, particularmente cuando se emplean configuraciones en paralelo que permiten caracterizar el efecto agregado de múltiples unidades idénticas bajo una misma fuente monofásica. La literatura técnica señala que los ciclos de encendido y apagado pueden alterar los parámetros de calidad de la energía de manera diferente según la arquitectura interna del driver y la capacidad de respuesta ante variaciones de tensión (Aman et al., 2013; Panda et al., 2023; Xu y Tan, 2021). En este contexto, el análisis comparativo de valores como el THDv, la tercera componente armónica y el flicker de largo plazo permite valorar la compatibilidad electromagnética de tecnologías contemporáneas y de referencia.

El presente estudio desarrolla una evaluación comparada basada en tres campañas experimentales independientes. En cada una se analizaron seis luminarias idénticas de la misma tecnología y potencia nominal de ochenta vatios, conectadas en paralelo bajo una misma alimentación monofásica. Se realizó una campaña con luminarias LED tipo maíz, otra con luminarias LED bulbo de alta potencia y una tercera con lámparas fluorescentes compactas en espiral. En las tres campañas se aplicaron dos regímenes de operación controlados, uno continuo de veinticuatro horas y otro correspondiente a un ciclo único de sesenta minutos de encendido seguido de dos segundos de apagado. Esta estructura permitió comparar tecnologías bajo condiciones reproducibles sin mezclar cargas de distinto tipo en un mismo circuito.

Las mediciones se efectuaron mediante un analizador de calidad de energía de clase A configurado conforme a los procedimientos de la IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-7 e IEC 61000-4-15. Este enfoque asegura una caracterización precisa y comparable de los parámetros eléctricos críticos y proporciona evidencia experimental aplicable a la selección técnica de luminarias electrónicas. La interpretación se fundamenta exclusivamente en los datos registrados, sin extender el análisis a variables no medidas durante el experimento

Metodología

Diseño experimental

El estudio se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo orientado a comparar el comportamiento eléctrico de tres tecnologías de iluminación utilizadas en entornos residenciales. Para evitar interferencias entre tecnologías y garantizar comparabilidad, el análisis se estructuró en tres campañas experimentales independientes. En cada campaña se utilizaron seis luminarias idénticas con una potencia nominal de ochenta vatios, conectadas en paralelo dentro de un mismo módulo de alimentación monofásico.

La primera campaña se realizó con seis luminarias LED tipo maíz, la segunda con seis luminarias LED bulbo de alta potencia y la tercera con seis lámparas fluorescentes compactas en espiral. Esta estructura permitió estudiar el comportamiento agregado de múltiples unidades iguales, condición relevante en sistemas residenciales donde las luminarias suelen instalarse en grupos. La inclusión de la CFL respondió a la necesidad de contar con una referencia fluorescente ampliamente descrita como carga no lineal en literatura técnica (Aman et al., 2013; Hernández y Sánchez, 2023).

En las tres campañas se evaluaron parámetros eléctricos críticos estandarizados internacionalmente, como la distorsión armónica total, el contenido armónico de tercer orden y el índice de flicker de largo plazo, los cuales son fundamentales para el análisis de compatibilidad electromagnética según lo definido en IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30 y EN 50160.

Condiciones de operación y régimen de conmutación

Todas las campañas se realizaron bajo dos regímenes operativos aplicados de manera uniforme a cada conjunto de seis luminarias, primero bajo un régimen continuo de veinticuatro horas, utilizado para evaluar la estabilidad de los parámetros eléctricos en operación sostenida y posteriormente en un ciclo único de sesenta minutos encendido seguido de dos segundos

apagado, empleado para inducir transitorios de reinicio en los convertidores electrónicos internos. En el caso del régimen de conmutación ha sido ampliamente utilizado en estudios sobre luminarias LED y CFL sometidas a patrones de conmutación periódica (Panda et al., 2023; Xu y Tan, 2021).

Cada conjunto de seis luminarias fue alimentado mediante la misma fuente monofásica de ciento veintisiete voltios y sesenta hercios. La ejecución independiente de los ensayos para cada tecnología permitió evitar interacciones eléctricas entre luminarias de diferente tipo y mantener una comparación estrictamente controlada.

Instrumentación y criterios de medición

Las mediciones se realizaron con un analizador de calidad de energía de clase A configurado según las normas IEC aplicables. El equipo registró de manera continua tensión eficaz, distorsión armónica total, tercera componente armónica y flicker de largo plazo. La instrumentación garantizó la captura completa de los valores requeridos para la evaluación normativa, siguiendo recomendaciones técnicas presentes en literatura y documentos de fabricantes especializados (Bhattacharya et al., 2019; Chen et al., 2020).

Los datos se recopilaban en intervalos definidos por el instrumento, sin aplicar filtros adicionales ni efectuar ajustes posteriores. Este procedimiento aseguró la trazabilidad completa de las mediciones y la integridad de los valores analizados, en concordancia con criterios utilizados en investigaciones comparativas previas (Aman et al., 2013; Liu et al., 2016).

Parámetros observados

El análisis se centró en tres parámetros eléctricos que caracterizan la interacción entre luminarias electrónicas y la red. El primero corresponde a la distorsión armónica total, indicador fundamental para evaluar la calidad de la forma de onda en cargas no lineales (Bansal, 2006). El segundo es la componente armónica de tercer orden, asociada a etapas de rectificación típicas de dispositivos electrónicos. El tercero es el índice de flicker de largo

plazo, sensible a fluctuaciones de tensión y relevante para valorar la estabilidad perceptual y eléctrica de sistemas de iluminación (Lighting Europe, 2018; IEC, 2010).

El estudio no incluyó mediciones térmicas, lumínicas o ambientales. La metodología se limitó a los parámetros eléctricos registrados por el analizador, coherente con los objetivos del experimento y las capacidades del equipo.

Resumen de las condiciones de medición

La Tabla 1 presenta las condiciones operativas y de medición aplicadas de forma uniforme en las tres campañas experimentales. La tabla sintetiza los elementos metodológicos esenciales para la interpretación de los resultados.

Tabla 1

Condiciones operativas y de medición empleadas en el estudio

Categoría	Especificación
Tecnologías evaluadas	LED tipo maíz, LED bulbo de alta potencia, CFL en espiral
Potencia nominal por unidad	80 W
Configuración eléctrica	Seis luminarias conectadas en paralelo
Fuente de alimentación	127 V monofásico, 60 Hz
Régimen continuo	24 h encendido
Régimen cíclico	60 min encendido y 2 s apagado
Instrumentación	Analizador de calidad de energía clase A
Normas aplicadas	IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30, EN 50160
Variables registradas	THDv, armónico h3, flicker Plt

Nota: Los parámetros consignados fueron establecidos de forma uniforme para todas las luminarias (Autores, 2025).

El conjunto de condiciones expuestas establece un marco de referencia homogéneo para la comparación de los resultados. Las luminarias de cada tecnología fueron evaluadas bajo configuraciones idénticas, garantizando que las diferencias observadas correspondan exclusivamente a las características eléctricas propias de cada tipo de luminaria.

Resultados

Los resultados se presentan de manera secuencial con el fin de caracterizar el comportamiento eléctrico de cada tecnología en las dos condiciones evaluadas. La evidencia proviene exclusivamente de los registros experimentales recopilados en las campañas previas

y reorganizados para permitir una comparación directa entre luminarias LED tipo maíz (LMZ), LED bulbo de alta potencia (LBP) y CFL en espiral (CFLE).

Parámetros armónicos en operación continua

Los indicadores armónicos permiten caracterizar la interacción entre la luminaria y la red en estado estacionario. En la Tabla 2 se comparan los valores THDv e h3 obtenidos durante las veinticuatro horas de operación continua para las tres tecnologías evaluadas.

Tabla 2

Distorsión armónica total y tercer armónico en operación continua

Tecnología	THD _{v95} (%)	h ₃₉₅ (%)
LMZ	5,09	4,06
LBP	3,93	3,15
CFL-E	4,00–4,37	3,15–4,59

Nota: Datos obtenidos de las campañas de operación continua registradas mediante el analizador (Autores, 2025).

La luminaria LMZ presenta el nivel más alto de distorsión, lo que coincide con su arquitectura de conversión más exigente y con lo reportado para luminarias de alta potencia sin corrección activa (Chen et al., 2020). LBP exhibe los valores más bajos, indicando mayor estabilidad armónica. CFL-E se ubica en una zona intermedia, lo que refuerza su rol como carga no lineal comparable a tecnologías LED básicas (Aman et al., 2013). La diferencia entre LMZ y LBP demuestra la influencia directa de la electrónica interna sobre la deformación de la onda en régimen estable.

Índice de flicker en operación continua

El flicker es un indicador sensible a fluctuaciones de tensión y constituye uno de los parámetros más relevantes para evaluar la estabilidad perceptual de luminarias con electrónica interna (Lighting Europe, 2018). En la Tabla 3 se presentan los valores Plt en régimen continuo.

Tabla 3

Flicker de largo plazo (Plt) en operación continua

Tecnología	Plt
LMZ	1,74
LBP	0,36
CFL-E	3,47

Nota: Valores derivados de las ventanas Plt registradas durante veinticuatro horas de operación continua (Autores, 2025).

Los valores muestran un contraste marcado entre tecnologías. CFL-E supera ampliamente el límite normativo $Plt \leq 1$ establecido en IEC 61000-4-15, mientras que LMZ también lo excede aunque en menor magnitud. LBP mantiene un comportamiento estable en toda la campaña. La elevada respuesta de CFL-E evidencia la sensibilidad de los balastos electrónicos compactos en estado térmico permanente, lo que coincide con investigaciones previas que documentan inestabilidad en CFL en condiciones de operación sostenida (Aman et al., 2013).

Parámetros eléctricos en régimen cíclico (60 min ON / 2 s OFF)

Los ciclos de encendido y apagado generan reinicios periódicos en los convertidores electrónicos, condicionando la magnitud de armónicos y el flicker (Xu y Tan, 2021; Panda et al., 2023). En la Tabla 4 se presentan los valores comparativos para THDv, h3 y Plt bajo este régimen.

Tabla 4
THDv, h3 y Plt en el ciclo de 60 min ON y 2 s OFF

Tecnología	THDv ₉₅ (%)	h3 ₉₅ (%)	Plt
LMZ	6,09	5,15	3,26
LBP	5,36	4,59	0,90
CFL-E	3,90–4,28	3,35–4,99	0,56

Nota: Valores derivados del régimen cíclico aplicado de forma independiente para cada conjunto de seis luminarias (Autores, 2025).

El ciclo induce un incremento evidente en los parámetros armónicos de LMZ y LBP. LMZ alcanza el nivel más alto de distorsión y flicker, comportamiento típico de drivers con filtrado limitado. LBP mantiene THDv y h3 controlados y un Plt bajo, lo que sugiere una respuesta más estable ante reinicios periódicos. CFL-E muestra un perfil más moderado que en el régimen continuo, lo que confirma que su balasto electrónico responde mejor ante ciclos que ante operación sostenida, patrón documentado previamente en investigaciones sobre luminarias fluorescentes compactas (Masnicki et al., 2024).

Comparación integral del desempeño eléctrico

Con el fin de integrar los resultados se presenta la Tabla 5, la cual sintetiza el comportamiento dominante de cada tecnología en función del régimen operativo y de los indicadores evaluados.

Tabla 5

Resumen comparativo del desempeño eléctrico global

Tecnología	Comportamiento dominante	Régimen crítico	Indicador crítico
LMZ	Elevada distorsión y flicker	Ciclo 60 min ON	Plt = 3,26
LBP	Mayor estabilidad en ambos regímenes	Ninguno	Plt \leq 0,90
CFL-E	Inestabilidad en continuo	Continuo	Plt = 3,47

Nota: Síntesis derivada de los valores presentados en las Tablas 2, 3 y 4 (Autores, 2025).

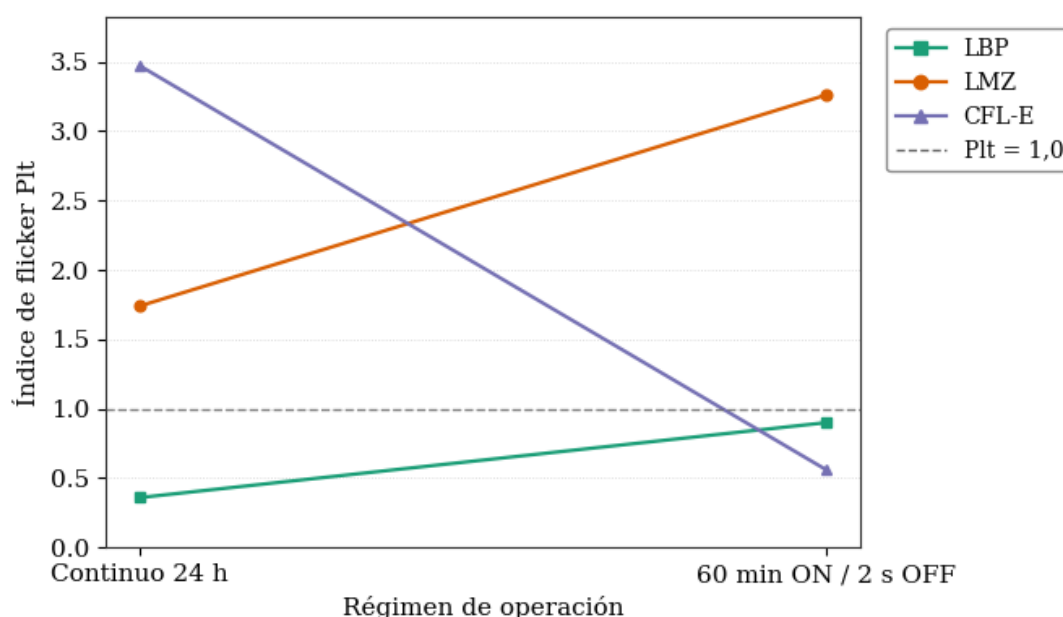
LMZ presenta los valores más elevados en distorsión armónica y flicker cuando se somete a conmutación periódica. LBP mantiene el comportamiento más estable entre tecnologías, reflejando una arquitectura interna más robusta desde el punto de vista electromagnético. CFL-E experimenta su mayor inestabilidad bajo operación continua, confirmando la susceptibilidad térmico-eléctrica asociada al balasto compacto descrita por Aman et al. (2013). Esta comparación evidencia diferencias claras en el desempeño eléctrico según la tecnología y el régimen operativo.

Figuras científicas propuestas para el artículo

En la Figura 1 se presentan los valores del índice Plt obtenidos en los dos regímenes evaluados, con el fin de comparar la sensibilidad de cada tecnología frente a fluctuaciones de tensión bajo operación continua y bajo el ciclo de sesenta minutos encendido y dos segundos apagado. Este análisis complementa los resultados numéricos expuestos en las Tablas 3 y 4 y permite observar la variación relativa del flicker sin repetir la información previamente tabulada.

Figura 1

Comparación del índice Plt para las luminarias LBP, LMZ y CFL-E en régimen continuo y en el ciclo de 60 min ON y 2 s OFF



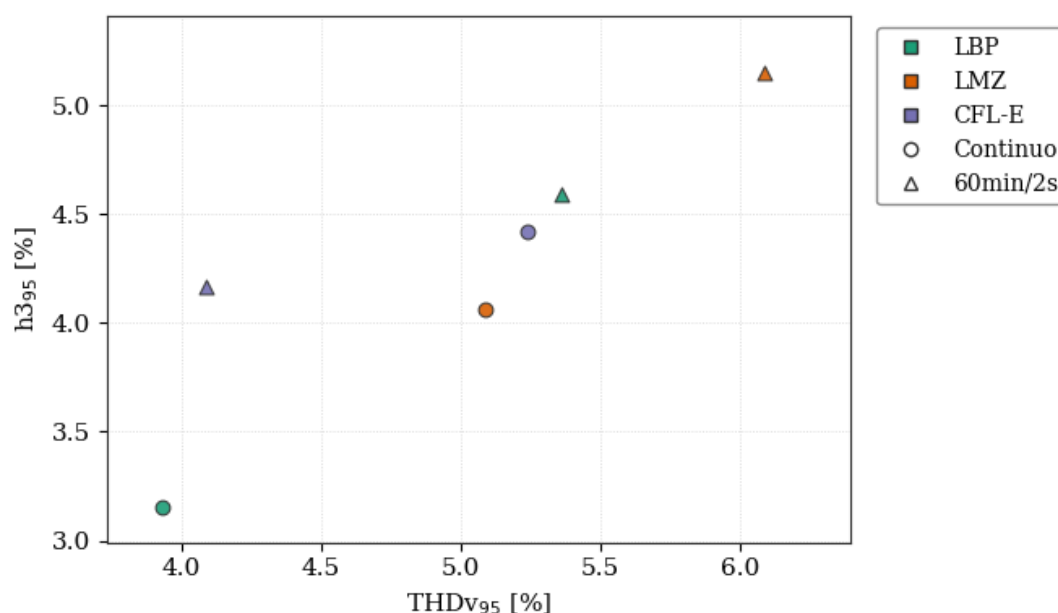
Nota: Datos de Plt obtenidos a partir de las campañas de operación continua y cíclica para cada tecnología (Autoress, 2025).

La Figura 1 muestra que LMZ y CFL-E experimentan incrementos considerables del Plt cuando se modifica el régimen de operación, mientras que LBP mantiene los valores más estables. Esta diferencia visual permite identificar la relación entre la electrónica interna de cada luminaria y su capacidad para atenuar fluctuaciones de tensión durante reinicios periódicos, resultado congruente con lo descrito en las Tablas 3 y 4.

En la Figura 2 se representa la relación directa entre los valores THD_{v95} y h_{395} para las tres tecnologías, utilizando puntos independientes para cada régimen evaluado. Este gráfico permite visualizar la coherencia entre la distorsión total y el predominio del tercer armónico sin duplicar la información presentada en la Tabla 2 ni en la Tabla 4.

Figura 2

Relación entre THD_{V95} y $h3_{95}$ en régimen continuo y en el ciclo de 60 min ON y 2 s OFF



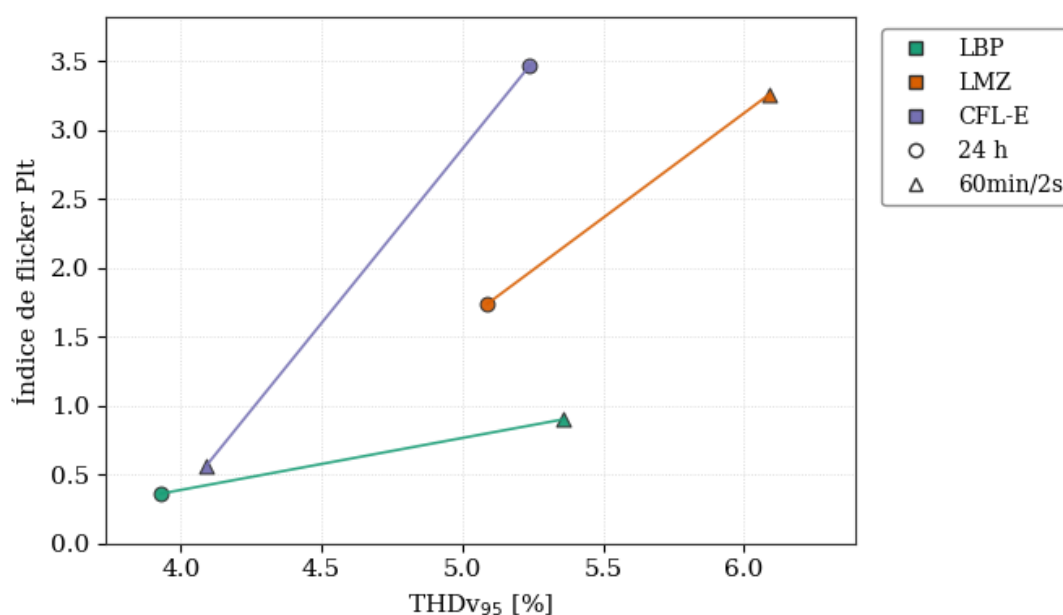
Nota: Datos obtenidos de las mediciones independientes realizadas para ambas condiciones de operación en las tres tecnologías evaluadas (Autores, 2025).

La figura evidencia que LMZ concentra los valores más altos tanto en THD_{V95} como en $h3_{95}$, mientras que LBP se mantiene en la zona de menor distorsión, con una separación clara entre regímenes. La distribución de CFL-E confirma su comportamiento intermedio, mostrando variaciones moderadas entre la operación continua y el ciclo cíclico. Esta representación facilita distinguir el aporte de $h3$ dentro del incremento global de distorsión.

En la Figura 3 se analiza la relación entre la distorsión armónica y el flicker, integrando para cada tecnología los valores THD_{V95} y Plt en ambos regímenes. Esta representación se construye a partir de los datos de las Tablas 2, 3 y 4 y permite identificar visualmente la sensibilidad del flicker frente al aumento de la distorsión sin repetir información numérica.

Figura 3

Relación entre THD_{v95} y el índice Plt en régimen continuo y en el ciclo de 60 min ON y 2 s OFF



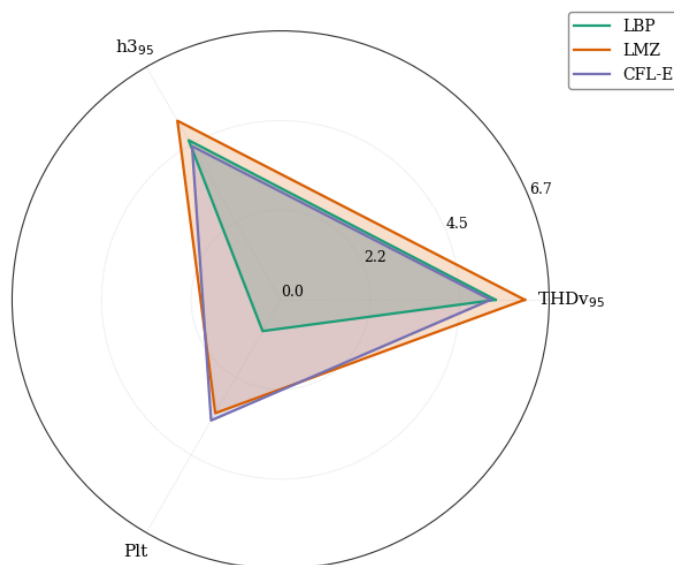
Nota: Los puntos representan los valores THD_{v95} y Plt obtenidos para ambas condiciones de operación en las tres tecnologías evaluadas (Autores, 2025).

La figura 3 muestra que LMZ presenta la mayor variación del Plt conforme aumenta el THD_{v95} , mientras que LBP conserva una relación más estable, lo que evidencia una menor dependencia de los cambios armónicos. CFL-E exhibe una reducción marcada del Plt en el régimen cíclico respecto al continuo, diferencia que resalta la respuesta dinámica particular de esta tecnología.

En la Figura 4 se presenta una comparación multivariante que integra simultáneamente THD_{v95} , h_{395} y Plt para cada tecnología en su régimen más crítico. Este enfoque permite visualizar la firma eléctrica de las luminarias sin reiterar los valores ya expuestos en las Tablas 2, 3 y 4, y facilita la identificación de patrones diferenciales de acuerdo con la arquitectura interna de cada tipo de lámpara.

Figura 4

Comparación multivariante de THD_{v95} , $h3_{95}$ y Plt en el régimen crítico de cada tecnología



Nota: Los valores representan los parámetros dominantes registrados para cada tecnología en el régimen donde su impacto eléctrico resulta más severo (Autores, 2025).

La representación multivariante permite observar que LMZ concentra los valores más elevados en los tres parámetros cuando opera en el régimen cíclico, mientras que LBP mantiene un perfil más compacto y estable. CFL-E presenta su mayor dispersión en el régimen continuo debido al incremento del Plt . La figura proporciona una visión consolidada del desempeño eléctrico global sin duplicar los análisis previos.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten establecer diferencias claras entre las tres tecnologías evaluadas, tanto en condiciones de operación continua como bajo el ciclo de sesenta minutos encendido y dos segundos apagado. Los valores presentados en las Tablas 2, 3 y 4, junto con las representaciones gráficas de las Figuras 1 a 4, evidencian que la interacción de cada luminaria con la red depende de la arquitectura de su electrónica interna y de su respuesta frente a variaciones repetitivas de tensión.

En primer lugar, las luminarias LED tipo maíz registran incrementos significativos en la distorsión armónica y en el índice de flicker cuando se someten al régimen cíclico. Como muestran la Figura 1 y la Figura 3, este comportamiento es característico de luminarias con drivers de conversión directa y filtrado limitado, donde los reinicios periódicos amplifican la corriente de irrupción y aumentan la sensibilidad a fluctuaciones de tensión, patrón documentado en investigaciones especializadas.

En contraste, la luminaria LED bulbo de alta potencia (LBP) mantiene un comportamiento más estable en ambos regímenes. Los valores de THD_{v95} , h_{395} y Plt se mantienen dentro de márgenes moderados, y su variación relativa entre regímenes es menor a la observada en las otras tecnologías. Este desempeño más consistente, visible en todas las figuras, sugiere que LBP incorpora un sistema de regulación interna menos susceptible a interrupciones breves, lo cual es coherente con resultados documentados para luminarias con convertidores más robustos y mayor capacidad de compensación dinámica (Zubieta, 2018).

Por su parte, la CFL-E presenta un comportamiento dual según el régimen operativo. En operación continua, tal como se observa en la Tabla 3 y en la Figura 1, el índice Plt alcanza valores superiores a los límites establecidos en IEC 61000-4-15, evidenciando una marcada inestabilidad del balasto electrónico en estado sostenido. No obstante, en el régimen cíclico sus valores disminuyen y se mantienen por debajo de los registrados por LMZ, lo que indica una mejor respuesta ante secuencias periódicas de encendido y apagado. Este comportamiento es congruente con investigaciones previas en las que se ha reportado que, en CFL, los ciclos de energización pueden reducir temporalmente la acumulación térmica y estabilizar la impedancia interna del balasto (Masnicki et al., 2024).

La comparación multivariante presentada en la Figura 4 sintetiza estas tendencias, mostrando tres firmas eléctricas claramente diferenciadas. LMZ se posiciona como la tecnología más sensible frente a la conmutación periódica, LBP como la más estable en todos

los parámetros y CFL-E como la más vulnerable en operación continua. Estos resultados confirman que la respuesta eléctrica de una luminaria no depende únicamente de su tecnología nominal, sino de la interacción entre su electrónica interna, el régimen de operación y la dinámica de la red, aspecto que también ha sido destacado en estudios previos sobre compatibilidad electromagnética en sistemas residenciales (Aman et al., 2013; Lighting Europe, 2018).

En conjunto, los resultados experimentales y las tendencias observadas en las figuras permiten concluir que las tecnologías analizadas presentan comportamientos eléctricos diferenciados que deben ser considerados en aplicaciones reales donde existan fluctuaciones de tensión o ciclos de conmutación recurrentes. Estas diferencias no solo afectan la estabilidad operativa de la red, sino también la percepción luminosa asociada al flicker, lo que refuerza la importancia de realizar evaluaciones comparativas basadas en mediciones normativas y no únicamente en especificaciones nominales del fabricante.

Conclusión

Los resultados obtenidos permiten establecer diferencias claras en el comportamiento eléctrico de las luminarias analizadas, tanto en operación continua como bajo el ciclo de sesenta minutos encendido y dos segundos apagado. Las variaciones observadas en los parámetros THD_{v95}, h₃₉₅ y Plt confirman que cada tecnología presenta una respuesta particular frente a fluctuaciones de tensión y a secuencias periódicas de reinicio.

La luminaria LED tipo maíz mostró la mayor sensibilidad ante el régimen cíclico, evidenciada por incrementos significativos en la distorsión armónica y en el flicker. Esta respuesta refleja la influencia directa de la arquitectura de su electrónica interna y su limitada capacidad para compensar perturbaciones breves. En contraste, la luminaria LED bulbo de alta potencia mantuvo valores moderados y estables en todos los parámetros evaluados, lo que

indica una mayor robustez frente a variaciones operativas y una respuesta más consistente en ambos regímenes.

Por su parte, la luminaria fluorescente compacta evidenció su mayor inestabilidad durante la operación continua, donde el índice Plt superó los valores recomendados por la normativa. Sin embargo, su comportamiento mejoró bajo el régimen cíclico, lo que muestra que la dinámica de su balasto electrónico presenta un desempeño dependiente del patrón de energización.

La comparación multivariante confirmó la existencia de firmas eléctricas diferenciadas para cada tecnología, las cuales deben ser consideradas en aplicaciones donde se presenten perturbaciones frecuentes o fluctuaciones de tensión. Estos hallazgos subrayan la importancia de realizar evaluaciones experimentales basadas en mediciones normativas y resaltan que la selección de luminarias para entornos residenciales o de uso continuo debe considerar no solo su potencia nominal o eficiencia lumínica, sino también su estabilidad eléctrica bajo distintos regímenes de operación.

Referencias bibliográficas

- Akagi, H., Watanabe, E. H., & Aredes, M. (2017). *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning* (2nd ed.). Wiley-IEEE Press. <https://doi.org/10.1002/9781119307200>
- Aman, M. M., Jasmon, G. B., & Bakar, A. H. A. (2013). Analysis of harmonic distortion from household appliances. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 913–924. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.06.012>
- Bansal, R. C. (2006). *Electrical Power Systems: Theory and Practice*. CRC Press.
- Barros, J., & Diego, R. I. (2006). Effects of power system harmonics on the operation of electronic ballast compact fluorescent lamps. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(1), 420–426. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.852381>
- Bhattacharya, A., Singh, A. K., & Song, Y. (2019). LED driver performance under voltage fluctuations. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(5), 4912–4920. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2919896>
- CENACE. (2023). *Informe anual de calidad de energía del Sistema Nacional Interconectado*. Operador Nacional de Electricidad del Ecuador.

- Chen, Y., Li, X., & Wang, S. (2020). Harmonic behavior of LED lamps under different operational conditions. *Energy and Buildings*, 215, 109894. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109894>
- EN 50160. (2010). *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks*. European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC).
- Hernández, P., & Sánchez, L. (2023). Caracterización eléctrica de balastos electrónicos en lámparas fluorescentes compactas. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Eléctrica*, 19(2), 45–56.
- IEC. (2010). *IEC 61000-4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Flickermeter – Functional and design specifications*. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2010). *IEC 61000-4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods*. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2010). *IEC 61000-4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements*. International Electrotechnical Commission.
- INER. (2017). *Evaluación de tecnologías de iluminación en el sector residencial ecuatoriano*. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- Lighting Europe. (2018). *Flicker and Stroboscopic Effects: Basic Terms and Definitions*. Lighting Europe Technical Report.
- Liu, H., Agamy, M., & Schoenwald, D. (2016). Power quality impact of LED lighting systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(3), 1236–1243. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2477835>
- Masnicki, R., Kowalski, T., & Zieliński, J. (2024). Dynamic behavior of compact fluorescent lamp ballasts under cyclic energization. *Energy Reports*, 10, 650–662. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.100>
- Panda, S., Sarkar, P., & Ray, B. (2023). Analysis of voltage fluctuations and flicker in LED systems under periodic switching. *Electric Power Systems Research*, 215, 108977. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108977>
- Xu, W., & Tan, G. (2021). Flicker sensitivity of lighting systems under dynamic voltage variation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36(2), 1290–1298. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3000521>
- Zubieta, L. (2018). Characterization of LED drivers under repetitive energization. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(6), 6005–6014. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2850016>