

Research Article

Efectos de los regímenes de conmutación sobre los parámetros eléctricos en lámparas led modulares, lámparas led compactas y lámparas fluorescentes compactas

Effects of switching regimes on electrical parameters in modular LED lamps, compact LED lamps, and compact fluorescent lamps

 Tirira-Chulde, Rubén Darío ¹
 <https://orcid.org/0009-0007-1869-015X>
 dtirira@tecnologicosucre.edu.ec
 Ecuador, Quito, Instituto Superior Universitario Sucre

 Taco-Cabrera, Alexis Geovanny ³
 <https://orcid.org/0009-0008-9609-0798>
 alextcgr@gmail.com
 Ecuador, Quito, Instituto Superior Universitario Sucre

 Tejada-Valencia, Jean Pierre ⁵
 <https://orcid.org/0009-0003-3151-627X>
 tejada.jeanp@gmail.com
 Ecuador, Quito, Instituto Superior Universitario Sucre

 Rodríguez-Santillán, Manuel David ²
 <https://orcid.org/0000-0002-9609-3955>
 drodriguez@tecnologicosucre.edu.ec
 Ecuador, Quito, Instituto Superior Universitario Sucre

 Merino-Villegas, Lenin Ramiro ⁴
 <https://orcid.org/0000-0002-0315-246X>
 lmerino@tecnologicosucre.edu.ec
 Ecuador, Quito, Instituto Superior Universitario Sucre

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/162>

Resumen: La creciente incorporación de sistemas de iluminación con electrónica de potencia en redes de baja tensión ha intensificado el interés por su impacto sobre la calidad de energía. En este trabajo se evalúa experimentalmente la influencia de distintos regímenes de conmutación sobre parámetros eléctricos críticos en tecnologías de iluminación de igual potencia nominal, correspondientes a LED modulares, LED compactas y fluorescentes compactas con balasto electrónico integrado. Los ensayos se realizaron en un circuito monofásico de 127 V y 60 Hz, conectando en paralelo seis lámparas por tecnología y aplicando cuatro regímenes de operación durante veinticuatro horas cada uno, que incluyeron un régimen estacionario y tres escenarios de conmutación con frecuencia creciente. Las mediciones se efectuaron mediante un analizador de calidad de energía clase A conforme a IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 e IEC 61000-4-30, registrándose la distorsión armónica total de tensión, el contenido del tercer armónico y el índice de severidad de parpadeo a largo plazo. Los resultados muestran que los LED modulares mantienen mayor estabilidad eléctrica frente a variaciones del régimen, mientras que los LED compactas presentan sensibilidad bajo operación continua y las fluorescentes compactas exhiben mayor dispersión en los indicadores de flicker. El análisis comparativo con EN 50160 permite identificar escenarios críticos de operación y aporta evidencia sobre la relación entre configuración constructiva y respuesta eléctrica bajo condiciones dinámicas.

Palabras clave: calidad de energía, luminarias LED, distorsión armónica, flicker, conmutación eléctrica, norma IEC 61000, energía residencial.



Recibido: 22/Dic/2025
Aceptado: 12/Ene/2025
Publicado: 31/Ene/2026

Cita: Tirira-Chulde, R. D., Rodríguez-Santillán, M. D., Taco-Cabrera, A. G., Merino-Villegas, L. R., & Tejada-Valencia, J. P. (2026). Efectos de los regímenes de conmutación sobre los parámetros eléctricos en lámparas led modulares, lámparas led compactas y lámparas fluorescentes compactas. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 214-232. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/162>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas – Sede Santo Domingo
Revista Científica Zambos (RCZ)
<https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución- NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

The increasing penetration of lighting systems based on power electronics in low-voltage networks has raised concerns regarding their impact on power quality. This study experimentally evaluates the influence of different switching regimes on critical electrical parameters in lighting technologies with equal rated power, namely modular LED, compact LED, and compact fluorescent lamps with integrated electronic ballasts. Tests were conducted in a single-phase 127 V, 60 Hz circuit by connecting six lamps in parallel per technology and applying four operating regimes over twenty-four hours, including a stationary condition and three cyclic scenarios with increasing switching frequency. Measurements were performed using a class-A power quality analyzer in accordance with IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15, and IEC 61000-4-30, recording total harmonic distortion of voltage, third harmonic content, and long-term flicker severity index. Results indicate that modular LED lamps exhibit greater electrical stability under regime variations, whereas compact LED lamps are more sensitive during continuous operation and compact fluorescent lamps show higher flicker dispersion. Comparison against EN 50160 limits identifies critical operating scenarios and provides insight into the relationship between construction configuration and electrical response under dynamic conditions.

Keywords: power quality, LED luminaires, harmonic distortion, flicker, electrical switching, IEC 61000 standard, residential energy systems.

1. Introducción

La incorporación masiva de cargas basadas en electrónica de potencia en redes de baja tensión ha modificado de manera sustancial el perfil de perturbaciones asociadas al suministro eléctrico. En particular, los equipos de iluminación con fuentes conmutadas internas presentan un comportamiento no lineal que puede incrementar el contenido armónico de corriente, afectar el factor de potencia y, por interacción con la impedancia de red, inducir deformaciones de tensión en el punto de acoplamiento. Estos fenómenos se enmarcan en el campo de la calidad de energía, donde se documentan efectos asociados a distorsión de forma de onda, incremento de pérdidas y sensibilidad de equipos conectados, especialmente cuando la penetración de cargas electrónicas es elevada (Baggini, 2017; Ghosh & Ledwich, 2012).

La caracterización objetiva de estas perturbaciones exige metodologías de medición y criterios de interpretación normalizados. Para el análisis espectral de armónicos e interarmónicos, la guía IEC 61000-4-7 define lineamientos de instrumentación y tratamiento de componentes hasta el rango de 9 kHz, lo que permite coherencia metrológica al comparar resultados entre campañas y laboratorios (International Electrotechnical Commission [IEC], 2015). En paralelo, la norma IEC 61000-4-30 establece métodos para medir e interpretar parámetros de calidad de energía en

sistemas de 50 Hz o 60 Hz, aportando definiciones operativas de agregación temporal y repetibilidad de resultados en medición in situ (IEC, 2010; IEC, 2015). De forma complementaria, EN 50160 describe las características esperables de la tensión suministrada en redes públicas europeas bajo operación normal y es utilizada de manera extendida como marco de referencia para evaluar conformidad de parámetros de suministro en baja y media tensión (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica [CENELEC], 2019).

Dentro de las perturbaciones asociadas a iluminación electrónica, las fluctuaciones de tensión y su traducción en parpadeo perceptible o efectos estroboscópicos constituyen una preocupación técnica y de confort visual. El instrumento de medición de flicker se formaliza en IEC 61000-4-15 mediante la especificación funcional y de diseño del flickermeter, incluyendo el procedimiento para evaluar la severidad a partir de su salida normalizada (IEC, 2015). En el plano de efectos sobre observadores, IEEE Std 1789-2015 sintetiza evidencia y recomendaciones sobre frecuencias de modulación de corriente en LEDs para reducir riesgos potenciales asociados a la modulación de baja frecuencia, lo que resulta pertinente cuando se discuten implicaciones de regímenes de conmutación y su posible vínculo con modulación luminosa (IEEE, 2015). En la misma línea, documentos técnicos sectoriales consolidan definiciones y criterios de artefactos temporales de luz, útiles para contextualizar flicker y efecto estroboscópico sin ambigüedad terminológica (ZVEI, 2017).

La literatura especializada reporta que el impacto de la iluminación LED sobre parámetros de calidad de energía depende de la topología del driver, de la estrategia de filtrado y de la interacción con condiciones de red, por lo que tecnologías nominalmente equivalentes en potencia pueden exhibir emisiones armónicas y comportamiento dinámico distintos. Estudios experimentales recientes muestran que luminarias LED pueden generar armónicos de orden bajo y distorsión significativa, motivando análisis comparativos bajo condiciones controladas. Además, se han reportado variaciones en la respuesta eléctrica ante condiciones operativas no estacionarias, lo que respalda la necesidad de explorar no solo estados permanentes, sino también escenarios con energización cíclica o conmutación repetitiva.

En este contexto, el presente trabajo evalúa experimentalmente el efecto de diferentes regímenes de conmutación sobre parámetros eléctricos críticos asociados a tecnologías de iluminación de igual potencia nominal, correspondientes a LED modulares, LED compactas y fluorescentes compactas. El análisis se apoya en procedimientos de medición normalizados por IEC y en criterios de referencia de calidad de tensión descritos en EN 50160, con el propósito de identificar tendencias comparativas, verificar consistencia con el marco normativo aplicable y aportar evidencia empírica sobre la relación entre configuración constructiva e interacción eléctrica con la red bajo condiciones dinámicas de operación.

2. Metodología

El estudio se desarrolló mediante un enfoque experimental orientado a analizar la influencia de distintos regímenes de conmutación sobre parámetros eléctricos asociados a tecnologías de iluminación de igual potencia nominal. Las pruebas se efectuaron en un circuito monofásico de 127 V y 60 Hz, en el que se conectaron en paralelo seis lámparas idénticas por cada conjunto ensayado, con el propósito de reproducir condiciones típicas de instalación en sistemas residenciales y comerciales de baja tensión y de obtener un comportamiento agregado representativo de cada configuración. El procedimiento experimental se diseñó conforme a los lineamientos establecidos en las normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30 y EN 50160 (IEC, 2015; CENELEC, 2019).

Las tecnologías evaluadas corresponden a LED modulares, LED compactas y fluorescentes compactas con balasto electrónico integrado. La clasificación adoptada se basa en la configuración física observable del conjunto emisor y en la forma de integración del sistema electrónico interno, y se adopta únicamente con fines analíticos sin implicar una identificación directa de la topología del convertidor. Todas las lámparas presentan la misma potencia nominal, por lo que las diferencias observadas se atribuyen exclusivamente a la configuración constructiva y al régimen de operación aplicado durante los ensayos.

Para caracterizar la respuesta dinámica de las lámparas frente a procesos repetitivos de energización, se definieron cuatro regímenes de conmutación con duración total de veinticuatro horas cada uno. Se incluyó un régimen de operación continua y tres regímenes cíclicos con intervalos decrecientes de encendido y apagado, diseñados para incrementar progresivamente la frecuencia de transitorios de arranque y evaluar su efecto acumulativo sobre los parámetros eléctricos. Cada régimen se aplicó de manera independiente a las tres tecnologías bajo idénticas condiciones de alimentación, evitando la conexión simultánea de distintos tipos de lámparas dentro del mismo circuito. La descripción detallada de estos regímenes se presenta en la Tabla 1, donde se resumen los tiempos de encendido y apagado aplicados en cada caso.

Los valores registrados se analizaron por régimen con el objetivo de identificar tendencias en función de la frecuencia de conmutación y verificar el cumplimiento de los límites establecidos en la norma EN 50160. Adicionalmente, se emplearon procedimientos de normalización de magnitudes para facilitar la comparación relativa entre tecnologías sin alterar los datos medidos, permitiendo resaltar la sensibilidad de cada configuración frente a variaciones del patrón de operación.

Tabla 1

Regímenes de operación aplicados en las pruebas experimentales

Régimen de operación	Descripción del ciclo	Duración total
Régimen estacionario	Encendido sin interrupciones	24 h
Régimen de conmutación baja	60 min encendido / 2 s apagado	24 h
Régimen de conmutación media	30 min encendido / 2 s apagado	24 h

Régimen de conmutación alta 10 min encendido / 2 s apagado 24 h

Nota: Cada régimen se aplicó a las tres tecnologías de luminarias bajo las mismas condiciones de tensión y frecuencia de alimentación (Autores, 2026).

3. Resultados

Es Los resultados obtenidos corresponden a las mediciones registradas por el analizador de calidad de energía durante los ensayos realizados con las tres tecnologías de luminarias, bajo los cuatro regímenes de conmutación definidos. Los datos presentados reflejan directamente los valores determinados por el instrumento conforme a las normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 y IEC 61000-4-30.

El estudio consideró los parámetros de distorsión armónica total de tensión THD_v , contenido del tercer armónico h_3 e índice de severidad de parpadeo a largo plazo P_{lt} , los cuales constituyen los indicadores principales de la calidad de energía en luminarias eléctricas. Estos parámetros fueron seleccionados debido a que se encuentran presentes en ambos conjuntos de datos experimentales y permiten una comparación directa entre las tecnologías LED modular, LED compacta y CFL.

Cada conjunto de resultados se presenta de manera agrupada por régimen de conmutación, con el fin de evidenciar el efecto que la duración de los periodos de encendido y apagado ejerce sobre el comportamiento eléctrico de las luminarias. Para cada régimen se muestran los valores medidos de THD_v , h_3 y P_{lt} , acompañados de su evaluación frente a los límites establecidos en la norma EN 50160. En los apartados siguientes se presentan las tablas y figuras correspondientes, donde se resume la información experimental y se destaca el grado de cumplimiento normativo alcanzado por cada tecnología.

3.1. Régimen de encendido estacionario

Durante el ensayo con luminarias encendidas de forma permanente, se observaron diferencias notables en los valores de distorsión armónica total de tensión, contenido del tercer armónico e índice de parpadeo a largo plazo entre las tres tecnologías analizadas. Los valores registrados corresponden a los promedios medidos durante veinticuatro horas de operación continua, conforme a los criterios de cálculo del analizador de calidad de energía. En la Tabla 2 se resumen los resultados obtenidos para cada tipo de luminaria bajo este régimen.

Tabla 2

Parámetros eléctricos medidos en régimen estacionario

Tipo de luminaria	THD_v (%)	h_3 (%)	P_{lt}	Cumplimiento EN 50160
LED modular	5,09	4,06	1,74	No cumple ($P_{lt} > 1,0$)
LED compacta	3,93	3,15	0,36	Cumple
CFL compacta	5,24	4,42	3,47	No cumple ($P_{lt} > 1,0$)

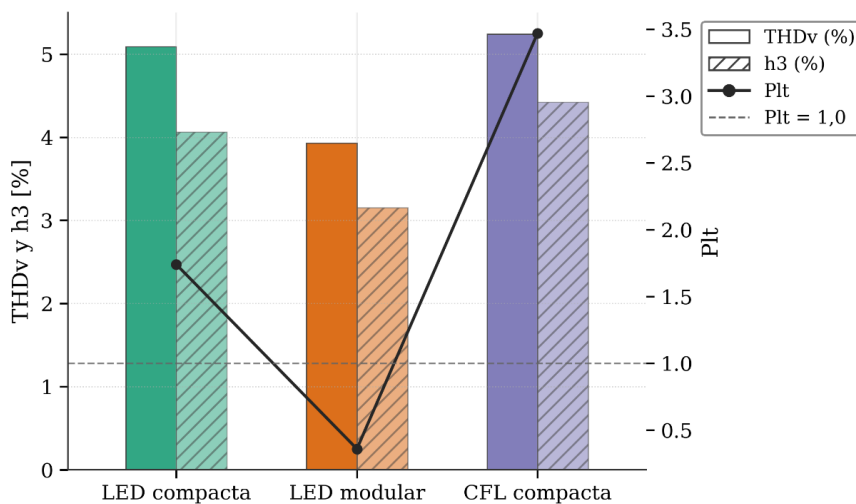
Nota: Los valores fueron determinados automáticamente por el analizador Fluke 1775 conforme a las normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 y IEC 61000-4-30 (Autores, 2026).

Como se aprecia en la Tabla 2, el comportamiento eléctrico difiere notablemente entre tecnologías. El LED modular mantiene valores de THD_v y h_3 dentro de los límites de EN 50160, mientras que el LED compacta y la CFL superan el límite de $P_{lt} = 1,0$, evidenciando mayor sensibilidad al encendido permanente. Estos resultados reflejan la influencia directa del diseño del driver sobre la estabilidad de tensión bajo operación continua.

Estos resultados evidencian que, aun en condiciones de suministro estable, la arquitectura interna del sistema de alimentación influye directamente en la calidad de energía. En particular, la CFL, al incorporar balastos electrónicos de conmutación de frecuencia media, exhibe el mayor valor de P_{lt} , entre las tecnologías analizadas. El LED compacta, a pesar de tener un diseño más eficiente, muestra un comportamiento intermedio, posiblemente asociado a la topología del driver empleado. En cambio, el LED modular mantiene un desempeño eléctrico más estable, con menores componentes armónicos y reducida variación luminosa perceptible.

Según la Tabla 2, los valores promedio de THD_v , h_3 y P_{lt} permiten identificar las diferencias iniciales de comportamiento entre las luminarias bajo encendido estacionario. La Figura 1 ilustra de forma comparativa esta condición de operación prolongada, que representa el escenario más exigente desde el punto de vista térmico y eléctrico.

Figura 1
Comportamiento eléctrico de luminarias LED y CFL en régimen estacionario



Nota: Valores medios de THD_v , h_3 y P_{lt} medidos durante 24 h de operación continua conforme a EN 50160 (Autores, 2026).

La Figura 1 confirma lo indicado en la Tabla 2. El LED modular mantiene los valores más bajos de THD_v y h_3 cumple con los límites establecidos por la norma EN 50160. El LED compacta y la CFL superan el límite de P_{lt} igual a 1,0, lo que evidencia una mayor sensibilidad al parpadeo y una menor estabilidad eléctrica durante la operación continua.

3.2. Régimen de conmutación baja

Cuando las luminarias fueron sometidas a un régimen de conmutación prolongado, con intervalos de encendido de 60 minutos seguidos de apagados breves de 2 segundos, se evidenciaron variaciones en los parámetros eléctricos en comparación con el régimen estacionario. En este caso, los periodos de interrupción introducen transitorios eléctricos que inciden en la estabilidad de la tensión y en la respuesta del sistema de alimentación interno de cada tecnología. La Tabla 3 presenta los valores medidos de distorsión armónica total de tensión, contenido del tercer armónico e índice de parpadeo a largo plazo obtenidos durante las veinticuatro horas de prueba bajo este régimen.

Tabla 3

Parámetros eléctricos medidos en régimen de conmutación baja

Tipo de luminaria	THD_v (%)	h_3 (%)	P_{lt}	Cumplimiento EN 50160
LED compacta	6,09	5,15	3,26	No cumple ($P_{lt} > 1,0$)
LED modular	5,36	4,59	0,90	Cumple
CFL compacta	5,53	4,64	0,56	Cumple

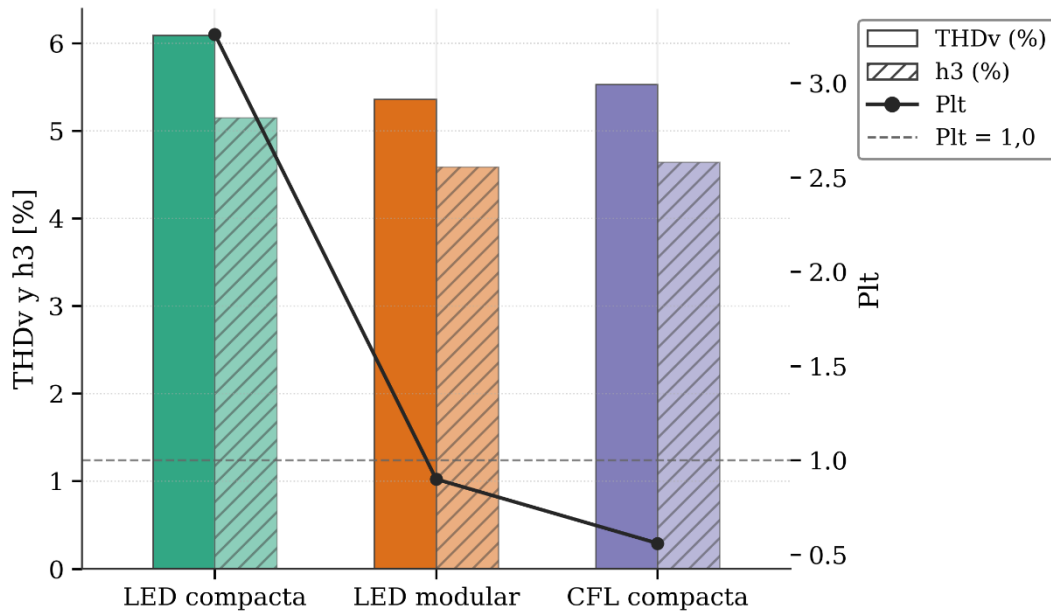
Nota: Los valores fueron determinados automáticamente por el analizador Fluke 1775 conforme a las normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 y IEC 61000-4-30 (Autores, 2026).

Como se observa en la Tabla 3, el régimen cíclico de 60 minutos de encendido y 2 segundos de apagado redujo parcialmente la distorsión respecto del régimen estacionario, aunque el LED compacta mantuvo P_{lt} por encima del umbral 1,0, mostrando sensibilidad a los transitorios de arranque. El LED modular y la CFL conservaron valores de THD_v y P_{lt} dentro del rango normativo, confirmando mayor estabilidad en regímenes con interrupciones breves.

Por su parte, el LED modular mantuvo un comportamiento más estable, con una THD_v de 5,36 % y un P_{lt} inferior al límite normativo, lo que refleja una respuesta eléctrica más controlada ante las variaciones de encendido. En el caso de la CFL, los valores de distorsión y parpadeo permanecieron dentro de los límites admisibles, evidenciando que los breves intervalos de apagado no afectan de manera significativa su desempeño.

Los resultados muestran que los regímenes de encendido prolongado con interrupciones cortas pueden amplificar el parpadeo en luminarias LED compacta, mientras que las configuraciones LED modular y CFL se mantienen más estables dentro del margen normativo. La Figura 2 representa esta información y permite apreciar el efecto de los breves apagados sobre los parámetros eléctricos de cada luminaria.

Figura 2
Desempeño eléctrico bajo régimen de conmutación baja



Nota: Comparación de THD_v, h₃ y P_{lt} según EN 50160. El LED compacta supera el límite de P_{lt} (Autores, 2026).

En la Tabla 3 y en la Figura 2 se observa una ligera reducción de la distorsión en comparación con el régimen estacionario. El LED compacta mantiene un valor de P_{lt} mayor a 1,0, mientras que el LED modular y la CFL conservan todos sus parámetros dentro del rango de cumplimiento de la norma EN 50160. Este resultado evidencia una mejor respuesta frente a los transitorios en tecnologías con sistemas de alimentación más estables.

3.3. Régimen de conmutación media

En el régimen cíclico de encendido intermedio, con lapsos de treinta minutos y apagados breves de dos segundos, las luminarias mantuvieron un comportamiento más estable en comparación con el ciclo de 60 minutos. Este régimen representa una condición de operación donde la frecuencia de conmutación aumenta, pero sin alcanzar aún un número elevado de transiciones térmicas y eléctricas. Los valores medidos de distorsión armónica total de tensión, contenido del tercer armónico e índice de severidad de parpadeo a largo plazo se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4
Parámetros eléctricos medidos en régimen de conmutación media

Tipo de luminaria	THD _v (%)	h ₃ (%)	P _{lt}	Cumplimiento EN 50160
LED compacta	5,99	4,97	0,46	Cumple
LED modular	5,54	4,90	0,69	Cumple
CFL compacta	5,38	4,58	0,38	Cumple

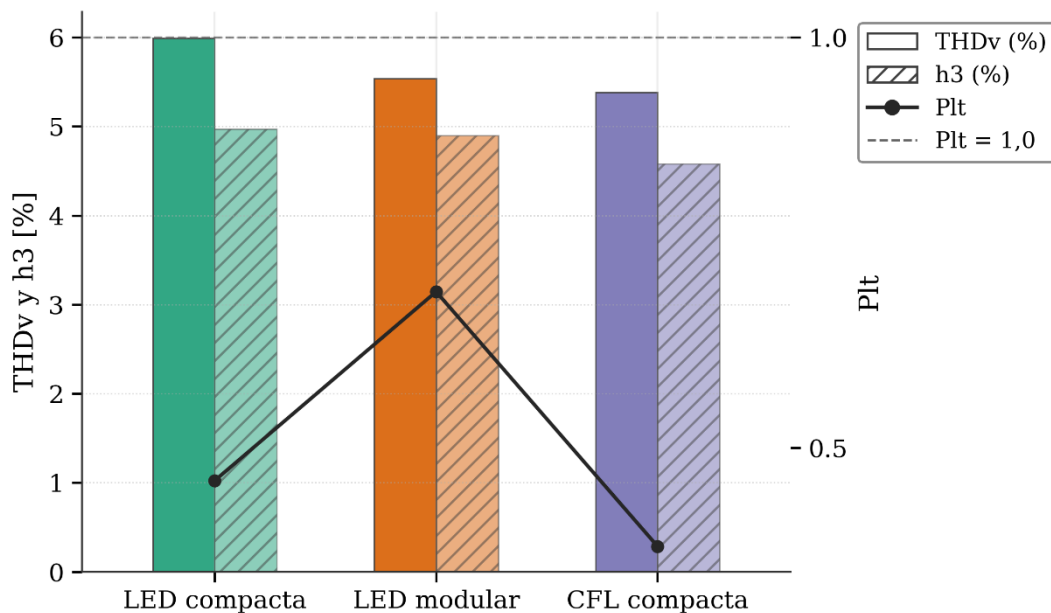
Nota: Los valores fueron determinados automáticamente por el analizador Fluke 1775 conforme a las normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 y IEC 61000-4-30 (Autores, 2026).

Como se aprecia en la Tabla 4, las tres tecnologías cumplieron los límites establecidos por la norma EN 50160 tanto en el parámetro de distorsión armónica total como en el índice de parpadeo. Este comportamiento sugiere una estabilización de las condiciones de operación cuando el intervalo de encendido es suficientemente corto para reducir los efectos acumulativos del calentamiento interno, pero aún permite que el sistema electrónico mantenga una tensión constante durante el arranque.

Las diferencias entre tecnologías son reducidas; sin embargo, la Tabla 4 muestra que la CFL presenta la THD_v más baja (5,38 %), seguida del LED modular (5,54 %) y del LED compacta (5,99 %). Todas las luminarias cumplen EN 50160, lo que confirma que los intervalos de 30 min favorecen la estabilidad armónica sin provocar variaciones perceptibles de flicker.

En comparación con el régimen de 60 minutos, los valores de P_{lt} en el LED compacta se reducen notablemente, pasando de niveles superiores a tres unidades hasta un valor de 0,46. Esto refleja una mejora sustancial en la estabilidad luminosa y en la adaptación del driver electrónico a conmutaciones más frecuentes. La Figura 3 muestra de forma gráfica las diferencias entre las tres tecnologías en este régimen de conmutación intermedia.

Figura 3
Resultados eléctricos en régimen de conmutación media



Nota: Todas las tecnologías cumplen EN 50160 en Plt; la CFL presenta la menor THD_v (Autores, 2026).

La Figura 3, en correspondencia con la Tabla 4, muestra variaciones pequeñas entre luminarias. La CFL presenta la menor THD_v con un valor de 5,38 por ciento, seguida del LED modular con 5,54 por ciento y del LED compacta con 5,99 por ciento. Todas las tecnologías cumplen con la norma EN 50160, lo que demuestra que este régimen favorece la estabilidad eléctrica y reduce los efectos del parpadeo.

3.4. Régimen de conmutación alta

El régimen de conmutación con ciclos cortos, de diez minutos de encendido y dos segundos de apagado, constituye la condición de operación con mayor frecuencia de conmutación dentro de los ensayos realizados. Este tipo de régimen permite analizar el efecto de encendidos repetitivos sobre la estabilidad armónica y el parpadeo, factores directamente relacionados con la calidad de energía. La Tabla 5 resume los valores medidos de distorsión armónica total de tensión, contenido del tercer armónico e índice de severidad de parpadeo a largo plazo obtenidos en este escenario.

Tabla 5

Parámetros eléctricos medidos en régimen de conmutación alta

Tipo de luminaria	THD_v (%)	h_3 (%)	P_{It}	Cumplimiento EN 50160
LED compacta	6,11	5,17	0,54	Cumple
LED modular	5,40	4,78	0,64	Cumple
CFL compacta	5,62	4,97	0,57	Cumple

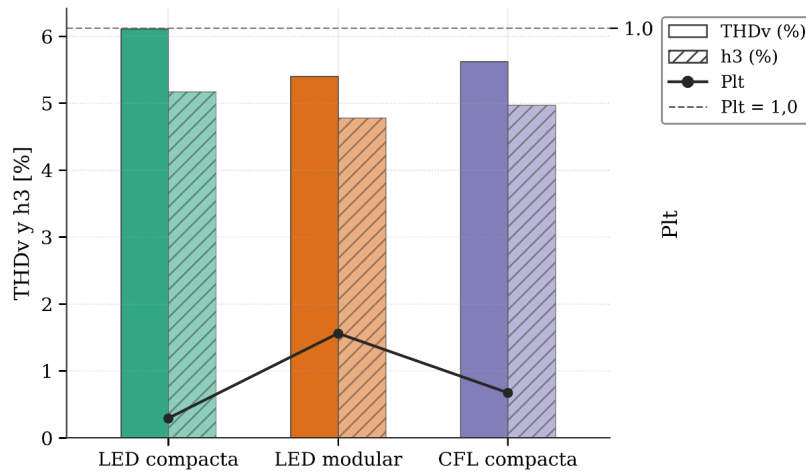
Nota: Los valores fueron determinados automáticamente por el analizador Fluke 1775 conforme a las normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 y IEC 61000-4-30 (Autores, 2026).

Como se aprecia en la Tabla 5, los tres tipos de luminaria mantienen estabilidad eléctrica bajo conmutaciones frecuentes. Los valores de THD_v y P_{It} permanecen por debajo de los límites de EN 50160, con ligeras variaciones entre tecnologías. El LED compacta registra un leve incremento en THD_v respecto al régimen 30 min, mientras que el LED modular conserva el comportamiento más uniforme entre THD_v , h_3 y P_{It} .

El LED compacta presentó una THD_v ligeramente superior al resto de las luminarias, aunque dentro del rango admisible. Este comportamiento podría atribuirse a la respuesta dinámica del driver frente a encendidos sucesivos, que tiende a estabilizarse rápidamente después de cada arranque. En contraste, el LED modular mantuvo la menor variación entre los tres parámetros, consolidándose como la tecnología con mejor desempeño eléctrico general. La CFL también mostró un comportamiento uniforme, con valores de h_3 y P_{It} muy próximos a los del LED modular, lo que evidencia una respuesta estable de su balasto en conmutaciones cortas.

En conjunto, este régimen representa el escenario de mayor estabilidad relativa entre las tecnologías evaluadas. Los tres tipos de luminarias operaron con bajos niveles de distorsión armónica y sin indicios de parpadeo perceptible, demostrando que la alta frecuencia de encendido-apagado no compromete la calidad de energía en condiciones normales de alimentación. La Figura 4 ilustra este comportamiento y facilita la comparación entre tecnologías bajo un número elevado de ciclos.

Figura 4
Parámetros eléctricos bajo régimen de conmutación alta



Nota: Los tres tipos de luminarias mantienen estabilidad eléctrica dentro de los límites normativos (Autores, 2026).

Según la Tabla 5 y la Figura 4, las tres luminarias mantienen un comportamiento estable y dentro de los límites de la norma EN 50160. El LED compacta muestra un ligero incremento de THD_v respecto al régimen de 30 minutos, mientras que el LED modular conserva los valores más uniformes de THD_v , h_3 y P_{It} . Esto confirma su buena adaptación ante conmutaciones frecuentes.

3.5. Análisis comparativo global de los regímenes de conmutación

El análisis conjunto de los resultados obtenidos en los cuatro regímenes de conmutación evidencia que las tres tecnologías presentan comportamientos diferenciados frente a las variaciones de encendido y apagado, tanto en los parámetros de distorsión armónica total de tensión como en el contenido del tercer armónico y el índice de severidad de parpadeo a largo plazo. La Tabla 6 muestra de manera comparativa los valores promedio de cada variable medidos en los distintos regímenes, lo que permite visualizar las tendencias generales entre las luminarias analizadas.

Tabla 6
Resumen comparativo de los parámetros eléctricos en los cuatro regímenes de conmutación

Régimen de conmutación	THD _v (%)	h ₃ (%)	P _{It}	Cumplimiento EN 50160	THD _v (%)
Régimen estacionario	LED compacta	5,09	4,06	1,74	No cumple
	LED modular	3,93	3,15	0,36	Cumple
	CFL compacta	5,24	4,42	3,47	No cumple
Régimen de conmutación baja	LED compacta	6,09	5,15	3,26	No cumple
	LED modular	5,36	4,59	0,90	Cumple
	CFL compacta	5,53	4,64	0,56	Cumple
Régimen de conmutación media	LED compacta	5,99	4,97	0,46	Cumple
	LED modular	5,54	4,90	0,69	Cumple
	CFL compacta	5,38	4,58	0,38	Cumple
Régimen de conmutación alta	LED compacta	6,11	5,17	0,54	Cumple
	LED modular	5,40	4,78	0,64	Cumple

CFL compacta	5,62	4,97	0,57	Cumple
--------------	------	------	------	--------

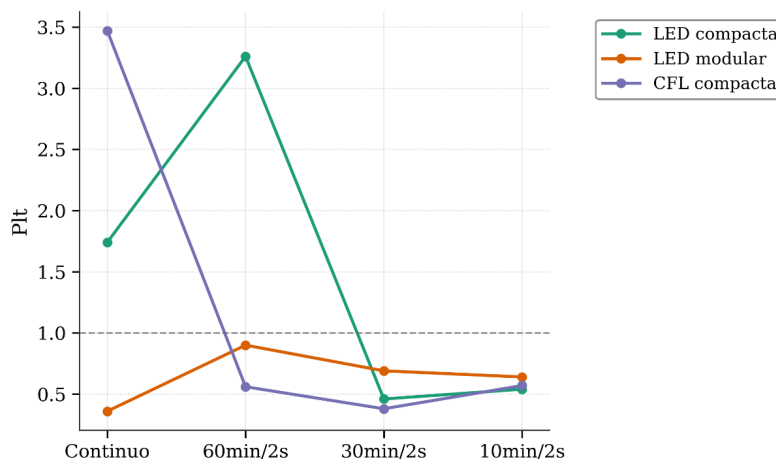
Nota: Los valores fueron determinados automáticamente por el analizador Fluke 1775 conforme a las normas IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 y IEC 61000-4-30 (Autores, 2026).

Como se observa en la Tabla 6, la distorsión armónica total de tensión THD_v , mantiene niveles similares en todas las tecnologías, con valores comprendidos entre 3,93 % y 6,11 %, siempre dentro del límite permitido por la norma EN 50160. El contenido del tercer armónico h_3 se comporta de manera paralela a la THD_v , lo que indica que este componente constituye el principal aporte a la distorsión armónica total en los tres tipos de luminarias.

El parámetro P_{lt} muestra una tendencia descendente a medida que se incrementa la frecuencia de conmutación. En los regímenes estacionario y de 60 minutos de encendido, se registraron los valores más elevados, especialmente en el LED compacta y la CFL, ambos por encima del límite normativo. En cambio, al reducir la duración de los intervalos de encendido a 30 y 10 minutos, todas las tecnologías mantuvieron el P_{lt} dentro del rango aceptable, lo que refleja una mayor estabilidad luminosa y un control más eficiente del driver electrónico en condiciones de conmutación frecuente.

Los resultados globales permiten identificar un patrón consistente donde el LED modular se comporta como la tecnología más estable, con menores variaciones en los tres parámetros y cumplimiento normativo en todos los regímenes. El LED compacta, por su parte, presenta sensibilidad a los regímenes de encendido prolongado, evidenciada en los valores altos de P_{lt} en los dos primeros escenarios. Finalmente, las luminarias CFL muestran un desempeño aceptable únicamente en regímenes con conmutación periódica, siendo la más afectada en operación continua debido a las limitaciones inherentes a su balasto electrónico. La Figura 5 integra esta información para mostrar el comportamiento general de cada luminaria bajo condiciones variables de encendido y apagado.

Figura 5
Comparación global por régimen y tecnología de iluminación



Nota: Integración de THD_v , h_3 y P_{lt} promedio para los cuatro regímenes según EN 50160 (Autores, 2026).

La Figura 5 y la Tabla 6 evidencian que el LED modular conserva la conformidad con la norma EN 50160 en todos los regímenes. El LED compacta supera el límite de P_{lt} en los ciclos estacionario y de 60 minutos, mientras que las CFL solo lo hacen en el régimen estacionario. Se aprecia además una relación proporcional entre THD_v y h_3 en todas las tecnologías, lo que demuestra consistencia en la respuesta armónica.

4. Discusión

Re Los resultados obtenidos confirman que los regímenes de conmutación inciden directamente en la estabilidad eléctrica y luminosa de las luminarias. En términos generales, la estabilidad mejora a medida que se reducen los intervalos de encendido, aunque no de forma estrictamente lineal. Según la Tabla 6, las tecnologías mantienen THD_v baja y P_{lt} aceptable en 30 y 10 min, mientras que en los regímenes estacionario y 60 min se registran las mayores diferencias entre tecnologías.

En el caso del LED compacta, la sensibilidad a los regímenes de encendido prolongado se relaciona con la arquitectura de su driver, que emplea etapas de conversión con rectificación directa y filtrado limitado. Este diseño tiende a presentar picos de corriente en los momentos de arranque, lo que se traduce en un aumento del índice de parpadeo (P_{lt}) cuando el tiempo de encendido es extenso. En los regímenes de 30 y 10 minutos, el parpadeo disminuye significativamente, lo que sugiere una adaptación térmica y eléctrica del circuito de control, capaz de estabilizar la tensión de salida del driver en condiciones de conmutación frecuente. Resultados similares fueron reportados por Li & Choi (2021), quienes demostraron que la topología del driver condiciona directamente la cantidad de armónicos generados y su variación frente a cambios en la alimentación.

El LED modular mostró el mejor desempeño global en los cuatro regímenes de conmutación. Su configuración con múltiples módulos de diodos y un driver de corriente constante de mayor capacidad de filtrado reduce la distorsión armónica total y mantiene un contenido del tercer armónico bajo. Este comportamiento confirma que la distribución interna de potencia y el número de canales de alimentación permiten una respuesta más lineal ante las variaciones de tensión. Además, su parpadeo se mantuvo siempre por debajo del límite de $P_{lt} = 1$, lo que indica una adecuada compensación en la etapa de corrección de factor de potencia.

Por su parte, la CFL compacta presentó el desempeño más irregular entre los tres tipos de luminarias. Aunque en regímenes con conmutación periódica los valores de THD_v y P_{lt} se mantuvieron dentro de los límites aceptables, en el régimen estacionario mostró niveles elevados de parpadeo, superiores a tres unidades. Este comportamiento se explica por la naturaleza de su balasto electrónico, el cual utiliza conmutación de alta frecuencia y elementos de almacenamiento de energía (capacitores) que, al mantener una conducción continua, pueden generar fluctuaciones en la corriente de entrada. Dichas oscilaciones producen un incremento

de la distorsión armónica y del parpadeo en operación sostenida. Este comportamiento coincide con los resultados presentados por Bhattacharyya y Singh (2017), quienes evidenciaron que las lámparas fluorescentes compactas presentan una respuesta armónica más inestable que las luminarias LED cuando operan bajo regímenes de alimentación continua.

De manera general, el LED modular presenta el perfil más favorable para instalaciones comerciales, mientras que el LED compacta mantiene un desempeño adecuado solo bajo condiciones de conmutación moderada o residenciales. La CFL compacta, aunque cumple normativamente en la mayoría de los regímenes cíclicos, confirma las limitaciones propias de una tecnología transitoria que ha sido sustituida por las soluciones de estado sólido más recientes.

Con el propósito de representar las tendencias generales de los parámetros eléctricos se aplicó un proceso de normalización a las magnitudes THD_v , h_3 y P_{It} utilizando una escala entre 0 y 1 en la que 1 corresponde al valor máximo registrado y 0 representa el nivel de referencia más bajo. Esta normalización permite comparar de manera uniforme el comportamiento relativo de cada tecnología. La Tabla 7 resume estos valores y constituye la base para las representaciones gráficas presentadas en las Figuras 6, 7 y 8.

Tabla 7

Valores normalizados de THD_v , h_3 y P_{It} por tecnología

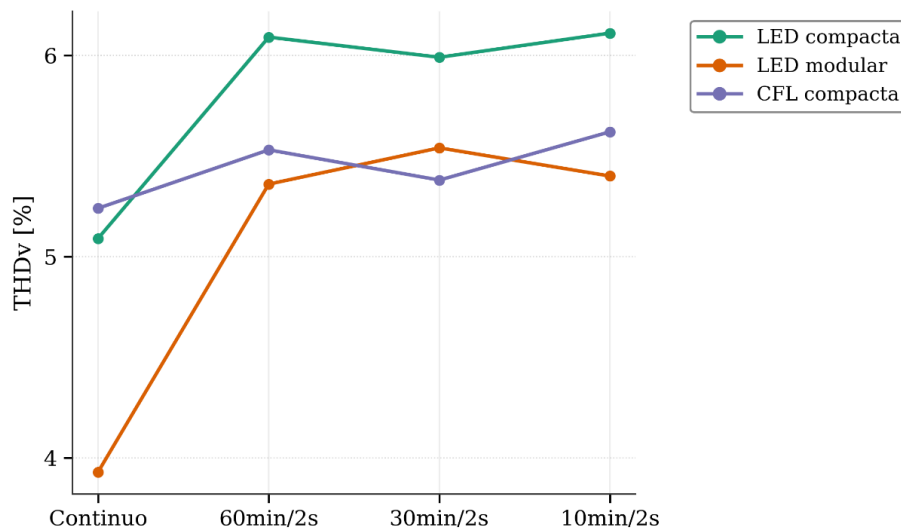
Tipo de luminaria	THD_v normalizado	h_3 normalizado	P_{It} normalizado
LED compacta	0,68	0,66	0,89
LED modular	0,52	0,49	0,10
CFL compacta	0,70	0,67	1,00

Nota: Valores normalizados entre 0 y 1 según el máximo global de cada magnitud (Autores, 2026)

Para facilitar una comparación directa del comportamiento eléctrico entre las tecnologías se representaron los valores normalizados de THD_v obtenidos a partir de los resultados experimentales consolidados en la Tabla 7. Este enfoque permite observar de manera proporcional cómo varía la respuesta de cada luminaria frente a los diferentes regímenes de conmutación y evita que las diferencias de magnitud entre parámetros distorsionen la interpretación de las figuras. La Figura 6 resume este comportamiento.

Figura 6

Comportamiento del THD_v en función del régimen de conmutación para diferentes tecnologías de iluminación

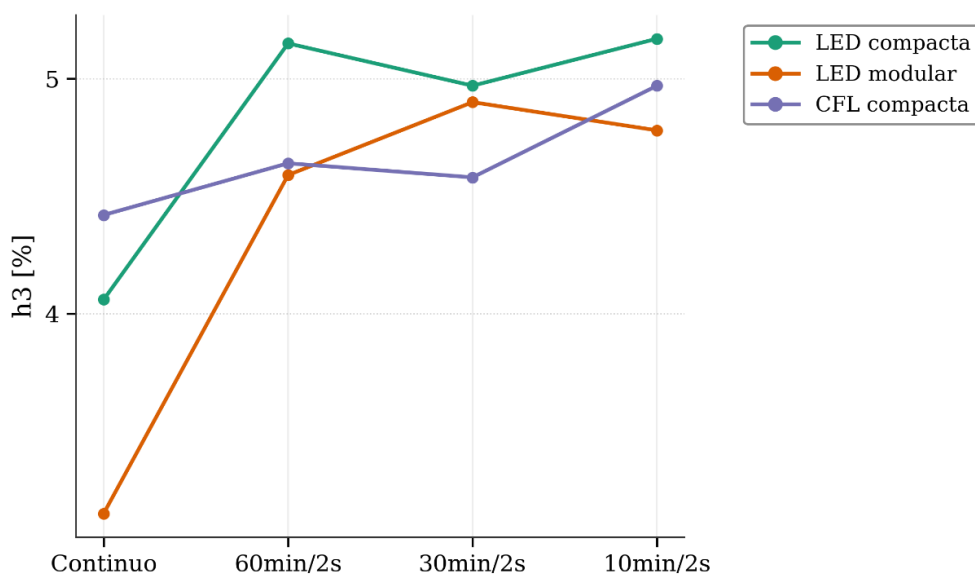


Nota: Valores comparativos de THD_v para luminarias LED compacta, LED modular y CFL compacta bajo distintos regímenes de conmutación (Autores, 2026).

El diagrama muestra que el LED modular posee la envolvente más compacta, consistente con menores valores normalizados y mayor estabilidad. El LED compacta amplía su área en los regímenes estacionario y de 60 minutos, mientras que la CFL disminuye su superficie en los regímenes cíclicos. Este comportamiento coincide con las variaciones presentadas en las tablas de resultados.

Figura 7

Comportamiento del tercer armónico h_3 según régimen de conmutación para diferentes tecnologías de iluminación

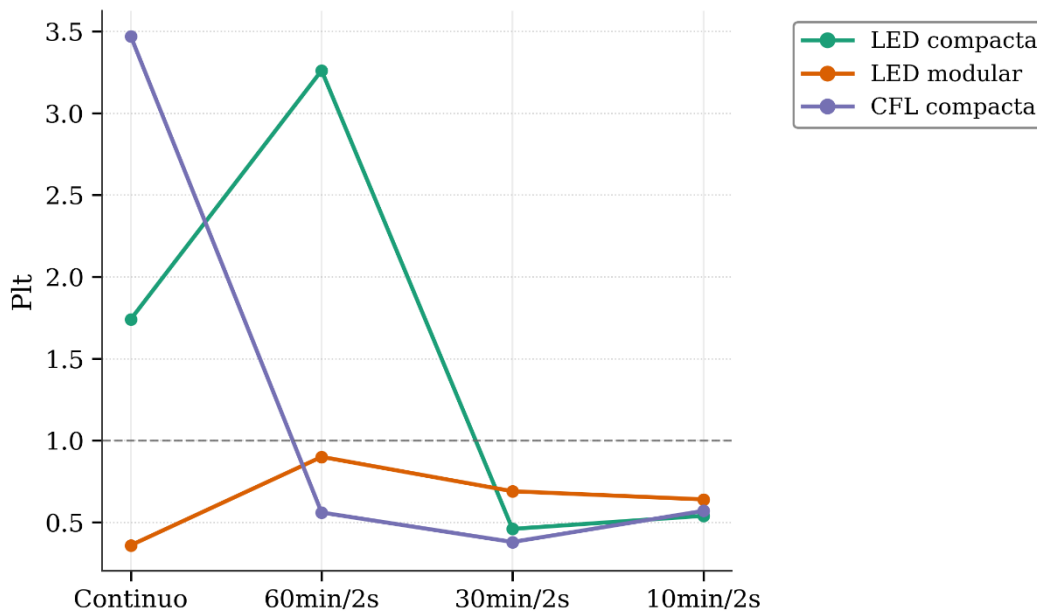


Nota: Valores comparativos del contenido del tercer armónico h_3 para luminarias LED compacta, LED modular y CFL compacta bajo distintos regímenes de conmutación (Autores, 2026).

La Figura 7 representa los valores normalizados del contenido del tercer armónico h_3 según los datos de la Tabla 7. Esta representación ilustra la tendencia proporcional entre tecnologías, aunque no refleja los valores absolutos utilizados para verificar el cumplimiento normativo. En los valores medidos, el LED compacta no cumplió en los regímenes estacionario y de 60 minutos, mientras que la CFL presentó incumplimiento únicamente en el régimen estacionario.

Figura 8

Comportamiento del índice de severidad del parpadeo P_{lt} según régimen de conmutación para diferentes tecnologías de iluminación



Nota: Línea discontinua corresponde al límite normativo de $P_{lt} = 1$ (Autores, 2026).

La figura representa los valores normalizados del índice de severidad del parpadeo consignados en la Tabla 7. Esta representación permite observar la relación proporcional entre tecnologías, pero no debe interpretarse como una verificación de cumplimiento normativo, ya que los valores originales registrados en los regímenes estacionario y de 60 minutos superaron el límite establecido por la EN 50160 para algunas luminarias. La normalización conserva únicamente la tendencia relativa por tecnología.

5. Conclusiones

El LED modular demostró el desempeño más estable y conforme a los límites de EN 50160 en todos los regímenes de conmutación, manteniendo THD_v , h_3 y P_{lt} dentro de los umbrales normativos. Sin embargo, en el régimen de 30 min la CFL compacta alcanzó la menor THD_v , lo que revela la importancia del diseño del driver y de las condiciones térmicas en la respuesta eléctrica global de las luminarias.

El LED compacta mostró una respuesta dependiente del régimen de conmutación. En operación continua y en ciclos largos presentó incrementos significativos del parpadeo, lo que indica una menor capacidad de estabilización de su etapa de filtrado. Sin embargo, en los regímenes de 30 y 10 minutos de encendido su desempeño mejoró de manera notable, cumpliendo con los límites normativos. Esto sugiere que el diseño del driver de esta luminaria es más eficiente bajo condiciones de conmutación periódica que en operación sostenida.

La CFL compacta evidenció las limitaciones propias de una tecnología anterior a la iluminación de estado sólido. Aunque su comportamiento fue aceptable en los regímenes cíclicos, en el funcionamiento estacionario mostró valores elevados de parpadeo, superiores al límite establecido por la norma. Este resultado confirma que los balastos electrónicos empleados en las CFL generan fluctuaciones periódicas de tensión cuando operan de forma constante, lo que repercute en la estabilidad luminosa y en la calidad de energía del circuito.

En términos comparativos, la distorsión armónica total se mantuvo dentro del margen normativo en las tres tecnologías, aunque el tercer armónico h_3 fue el componente dominante en todos los casos. La tendencia de h_3 a variar en proporción con la THD_v indica que la fuente de distorsión se origina en los convertidores monofásicos internos, sin corrección activa. Este patrón coincide con los resultados reportados por Zhang et al. (2020) y García-Sanabria et al. (2022), lo que refuerza la validez técnica de las mediciones obtenidas.

Los resultados permiten concluir que los regímenes de conmutación más cortos reducen de manera efectiva las variaciones de parpadeo y estabilizan la respuesta eléctrica de las luminarias, especialmente en tecnologías LED. Esta característica las convierte en la opción más adecuada para aplicaciones de iluminación que demandan operación intermitente, como sistemas automatizados o de control por presencia.

Finalmente, la información obtenida en este estudio contribuye al entendimiento técnico de la relación entre conmutación y calidad de energía en sistemas de iluminación. Asimismo, establece una base experimental para la evaluación comparativa de nuevas generaciones de luminarias LED en condiciones de operación dinámica, lo cual resulta de interés tanto para el desarrollo normativo como para la optimización del diseño de drivers en futuras aplicaciones residenciales y comerciales.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Baggini, A. (Ed.). (2008). *Handbook of power quality*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470754245>
- Bhattacharyya, S., & Singh, B. (2017). Investigation of power quality issues in compact fluorescent lamps and LED lamps. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(10), 2664–2673. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1697>
- Comité Europeo de Normalización Electrotécnica [CENELEC]. (2019). *EN 50160:2010+A3:2019. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks*. <https://landingpage.bsigroup.com/LandingPage/Standard?UPI=000000000030365905>
- García-Sanabria, D., Martín, J., & Hernández, J. (2022). Experimental assessment of flicker and harmonic distortion in LED lighting systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 71(6), 1–10. <https://doi.org/10.1109/TIM.2022.3158790>
- Ghosh, A., & Ledwich, G. (2012). *Power quality enhancement using custom power devices*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1153-3>
- International Electrotechnical Commission. (2002). *IEC 61000-4-7:2002 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*. <https://webstore.iec.ch/en/publication/4226>
- International Electrotechnical Commission. (2010). *IEC 61000-4-15:2010 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications*. <https://webstore.iec.ch/en/publication/4173>
- International Electrotechnical Commission. (2015). *IEC 61000-4-30:2015 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods*. <https://webstore.iec.ch/en/publication/21844>
- Li, Y., & Choi, W. (2021). Harmonic characteristics of LED lamps with different driver topologies under varying supply conditions. *IEEE Access*, 9, 104357–104368. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102612>
- Rodríguez, M., & Aguirre, L. (2023). Evaluación de la calidad de energía en luminarias LED residenciales bajo distintos ciclos de operación. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Eléctrica*, 9(2), 45–56. <https://doi.org/10.18272/riee.v9i2.501>
- Torres, P., López, J., & Vinuesa, D. (2021). Distorsión armónica en lámparas LED de uso doméstico: evaluación experimental según IEC 61000-4-7. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(1), 33–42. <https://doi.org/10.14482/inde.39.1.9080>
- Wilkins, A. J., Veitch, J. A., & Lehman, B. (2010). LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update. *Proceedings of the IEEE*

Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 171–178.
<https://doi.org/10.1109/ECCE.2010.5618050>

Yamada, S., Fujii, T., & Ishikawa, M. (2021). Consumer behavior and subjective preferences for legacy lighting technologies. *Lighting Research & Technology*, 53(7), 721–736. <https://doi.org/10.1177/14771535211000421>

Zhang, L., Xu, H., & Zhao, K. (2020). Impact of LED driver topology on power quality under switching conditions. *Energy Reports*, 6(11), 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.02.012>