

Evaluación de la calidad de energía en luminarias led de tipo A y F bajo distintos regímenes de operación conforme a normas IEC 61000-4 y 50160

Evaluation of power quality in type A and type F led luminaires under different operating regimes in compliance with IEC 61000-4 and EN 50160 Standards

Rubén Darío Tirira Chulde¹ , Alexis Alexander Maila Maila² , Washington Elian Guayta Vargas³ 

¹ Instituto Superior Tecnológico Sucre, dtirira@tecnologicosucre.edu.ec, Quito - Ecuador

² Instituto Superior Tecnológico Sucre, a.alexis.maila.m@gmail.com, Quito - Ecuador

³ Instituto Superior Tecnológico Sucre, g.vargas.w.elian@gmail.com, Quito - Ecuador

Autor para correspondencia: dtirira@tecnologicosucre.edu.ec

RESUMEN

Se evaluó la calidad de la energía eléctrica en dos luminarias residenciales tipo LED, designadas LED A y LED F, mediante un analizador de clase A conforme a IEC 61000-4-30, durante cuatro regímenes de operación continua y cíclica de 24 h. Se cuantificaron el contenido total de armónicos de tensión (THDV), la tercera componente armónica ($h3_V$) y el flicker de largo plazo (Plt), de acuerdo con IEC 61000-4-7 y IEC 61000-4-15. Los valores de THDV oscilaron entre 4 % y 6,1 %, dentro de los márgenes típicos para redes de baja tensión. Sin embargo, el indicador Plt superó el límite de 1,0 en las luminarias LED A bajo operación continua (Plt = 1,74) y en el régimen 1 h ON / 2 s OFF (Plt = 3,26), evidenciando una mayor susceptibilidad al parpadeo y posibles efectos visuales molestos. En contraste, LED F mantuvo Plt < 1 en todos los regímenes, demostrando un mejor desempeño frente a las fluctuaciones de tensión. Los hallazgos sugieren diferencias en la topología del driver y resaltan la importancia de considerar la calidad de tensión en luminarias LED de uso doméstico.

Palabras clave: Calidad de energía; Distorsión armónica; Flicker; IEC 61000; EN 50160.

ABSTRACT

The power quality performance of two residential LED luminaires, denoted LED A and LED F, was assessed using a Class-A power quality analyzer compliant with IEC 61000-4-30 over four continuous and cyclic 24-h operating regimes. The total harmonic distortion of voltage (THDV), third-order harmonic ($h3_V$), and long-term flicker (Plt) were quantified according to IEC 61000-4-7 and IEC 61000-4-15. THDV values ranged from 4 % to 6.1 %, within the typical limits for low-voltage networks. Nevertheless, LED A exceeded the Plt = 1.0 threshold under continuous operation (Plt = 1.74) and the 1 h ON / 2 s OFF regime (Plt = 3.26), indicating higher flicker susceptibility and potential visual discomfort. Conversely, LED F maintained Plt < 1 across all operating modes, showing superior performance against voltage fluctuations. The results highlight differences in driver topology and emphasize the need to evaluate voltage power-quality behavior in LED lighting for residential environments.

Keywords: Power quality; Harmonic distortion; Flicker; IEC 61000; EN 50160.

Derechos de Autor

Los originales publicados en las ediciones electrónicas bajo derechos de primera publicación de la revista son del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-4.0 Internacional](#).



Citar como:

Tirira Chulde, R. D., Guayta Vargas, W. E., & Maila Maila, A. A. Evaluación de la calidad de energía en luminarias led de tipo A y F bajo distintos regímenes de operación conforme a normas IEC 61000-4 y 50160. *CONECTIVIDAD*, 7(2), 129–145. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i2.427>

1. INTRODUCCIÓN

La adopción global de luminarias basadas en diodos emisores de luz (LED) ha transformado el comportamiento eléctrico de los sistemas de alumbrado en redes de baja tensión. Si bien la sustitución de lámparas incandescentes y fluorescentes ha reducido el consumo energético y prolongado la vida útil de los equipos, los convertidores electrónicos incorporados en los drivers LED introducen fenómenos no lineales que afectan directamente la calidad de la energía, incluyendo distorsión armónica, fluctuaciones de tensión y flicker. Estos efectos se intensifican cuando múltiples luminarias interactúan con la impedancia de la red, especialmente en entornos residenciales y comerciales (Drapela et al., 2018; Lu & Jiang, 2024; Bollen & Alves de Oliveira, 2023; Ionescu et al., 2017; Fioravanti et al., 2024; Kim et al., 2008). Investigaciones recientes confirman que la arquitectura del driver y su capacidad de regulación influyen decisivamente en la severidad de estos fenómenos, lo que resalta la necesidad de caracterizar el desempeño eléctrico de las luminarias LED bajo diferentes condiciones operativas (Bansal & Roos, 2019). Los efectos derivados de los convertidores electrónicos de las luminarias LED se manifiestan principalmente como distorsión armónica, fluctuaciones rápidas de tensión y parpadeo luminoso, fenómenos que pueden comprometer la estabilidad del suministro y la operación de equipos sensibles conectados a la misma red. La norma EN 50160:2010+A3:2019 establece los límites admisibles para la distorsión armónica total de tensión ($THD_v \leq 8\%$), el flicker de larga duración ($Plt \leq 1,0$) y las variaciones rápidas de tensión ($RVC \leq 3\%$), parámetros que deben cumplirse en al menos el 95 % del periodo de evaluación (CENELEC, 2019). Estas restricciones se complementan con los métodos de medición definidos en las normas IEC 61000-4-7, para el análisis de armónicos, e IEC 61000-4-15, para la estimación del flicker, que constituyen el marco internacional para evaluar la compatibilidad electromagnética de luminarias LED. Investigaciones recientes destacan que la conformidad con estos límites depende tanto de la estabilidad de la red como del diseño electrónico del driver, especialmente en dispositivos sin corrección activa del factor de potencia (PFC) (Bhattacharya et al., 2007; Wibowo et al., 2021). El comportamiento eléctrico de las luminarias LED está fuertemente condicionado por la topología del driver, el estado térmico de los componentes y el régimen de conmutación aplicado durante la operación. Estos factores influyen directamente en la forma de onda de corriente de

entrada y, en consecuencia, en los niveles de distorsión armónica y flicker observados en el punto de conexión (Schubert & Kim, 2005; Barros & Diego, 2016). Estudios recientes confirman que los drivers sin corrección activa del factor de potencia (PFC) presentan mayores contenidos armónicos y una respuesta más sensible frente a variaciones rápidas de tensión, especialmente bajo ciclos frecuentes de encendido y apagado (Chen et al., 2013; Narendran & Gu, 2005; Heffernan et al., 2007). La acumulación de estos efectos puede comprometer la compatibilidad electromagnética del circuito cuando múltiples luminarias operan simultáneamente. En este contexto, el objetivo de la presente investigación es evaluar el comportamiento de la calidad de energía asociada al funcionamiento de dos luminarias LED de uso residencial, identificadas como LED A y LED F, sometidas a regímenes de operación continua y cíclica, con el fin de caracterizar su impacto sobre la estabilidad del suministro eléctrico (Oliveira et al., 2021).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio experimental se realizó en un entorno controlado empleando dos modelos comerciales de luminarias LED de uso residencial, identificadas como LED A y LED F. Las especificaciones nominales indicadas por el fabricante para ambas luminarias se presentan en la Tabla 1. Para cada luminaria se aplicaron cuatro regímenes de operación: funcionamiento continuo durante 24 h, encendido durante 1 h seguido de 2 s de apagado, encendido durante 30 min seguido de 2 s de apagado y encendido durante 10 min seguido de 2 s de apagado. Estos regímenes permiten evaluar la estabilidad térmica del driver y la variación de los indicadores de calidad de energía bajo condiciones prolongadas y cíclicas de funcionamiento. Todas las mediciones se realizaron en un laboratorio climatizado ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), utilizando un analizador de calidad de energía de clase A (Fluke 1775) conforme a los métodos de medición establecidos en las normas IEC 61000-4-7 para armónicos e IEC 61000-4-15 para flicker, lo que garantiza la trazabilidad y validez de los datos registrados (Abdulmajeed & Kiss, 2023).

Los ensayos experimentales se estructuraron en dos fases sucesivas. En la primera, las luminarias operaron de manera continua durante 24 horas con el propósito de establecer una línea base de comportamiento eléctrico bajo condiciones estables. En la segunda fase, se aplicaron tres regímenes cíclicos de conmutación ON/OFF, diseñados para evaluar la respuesta dinámica de los drivers LED frente a variaciones frecuentes de carga. Las condiciones específicas de cada

régimen se presentan en la Tabla 2 y constituyen los cuatro escenarios analizados posteriormente en los gráficos comparativos multipanel de resultados.

Tabla 1. Características técnicas de las luminarias utilizadas en el ensayo.

Parámetro	LED A - Toledo HW, 80W	LED F - Lighting Facts, 80W
Potencia nominal	80 W	80 W
Flujo luminoso	6400 lm	8000 lm
Eficacia luminosa	80 lm/W	> 90 lm/W
Temperatura de color	6500 K (luz día)	6000 K (luz fría)
Factor de potencia	0,9	-
Tensión de operación	100–240 V, 50/60 Hz	120 V nominal
Corriente de entrada	0,67 A @ 120 V	-
Ciclos de encendido/apagado	15 000	-
Montaje	E27	E26/E27 estándar

Fuente: Elaboración propia con base en las condiciones experimentales del Laboratorio de Máquinas Eléctricas del ISU Sucre.

Tabla 2. Condiciones de trabajo establecidas para el ensayo de luminarias LED.

Condición	Descripción
Ubicación	Laboratorio de Máquinas Eléctricas
Topología de alimentación	Red monofásica 127 V – 60 Hz
Número de luminarias	6 unidades conectadas en paralelo
Potencia nominal por lámpara	80 W
Separación física	12 cm entre luminarias en el módulo de prueba
Condiciones ambientales	No controladas
Instrumentación principal	Analizador de calidad de energía Fluke 1775
Longitud de intervalo de tendencia	5 min
Fase 1 – Operación continua	24 horas de encendido permanente
Fase2–Ciclos de conmutación ON/OFF	1 h ON / 2 s OFF (24 h) 30 min ON / 2 s OFF (24 h) 10 min ON / 2 s OFF (24 h)

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones operativas establecidas para cada uno de los cuatro regímenes analizados se sintetizan en la Tabla 2. Estos parámetros incluyen la topología de alimentación, el número de luminarias ensayadas, los intervalos de conmutación ON/OFF y los criterios de medición empleados. La estandarización de estas condiciones garantiza la comparabilidad de los resultados entre los diferentes escenarios experimentales y permite interpretar de manera consistente el efecto de los regímenes de operación sobre los niveles de distorsión armónica y flicker.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de resultados se realizó mediante un registro continuo de tensión, frecuencia, distorsión armónica y flicker utilizando un analizador de calidad de energía de clase A (Fluke 1775),

conforme a los criterios de exactitud establecidos en la norma IEC 61000-4-30. La evaluación se desarrolló considerando el percentil 95 %, métrica ampliamente utilizada para caracterizar el comportamiento sostenido de parámetros de calidad de energía y reducir la influencia de fluctuaciones puntuales en la señal (Amano, 2015). Adicionalmente, se emplearon los valores máximos registrados como referencia para identificar eventos eléctricos relevantes durante cada régimen de operación. Este enfoque permite analizar simultáneamente la estabilidad del suministro y la respuesta de las luminarias frente a los distintos ciclos de conmutación aplicados. Para la detección de eventos eléctricos se configuraron umbrales automáticos conforme a los criterios definidos en la norma IEC 61000-4-30, considerando caídas de tensión inferiores al 90 % del valor nominal, aumentos superiores al 110 %, interrupciones por debajo del 5 % y variaciones rápidas de tensión (RVC). Asimismo, se registraron desviaciones de forma de onda y transitorios que excedieran los 120 V. Los parámetros iniciales aplicados de manera uniforme en todos los regímenes de operación se resumen en la Tabla 3, lo que garantiza consistencia en la adquisición y el análisis comparativo de los datos.

Tabla 3. Parámetros iniciales LED A vs LED F.

Parámetros	LED A	LED F
Tipo de estudio	Estudio de energía	Estudio de energía
Modo de medición	Registrador CP	Registrador CP
Topología	1F + N	1F + N
Tensión nominal (V)	127	127
Frecuencia nominal (Hz)	60	60
Registro de tendencia	5 min.	5 min
Tipo de buffer	Lineal, sin sobrescribir	Lineal, sin sobrescribir
Duración real	1d 0h 0m 0s	1d 0h 0m 0s
Límite de caída (%)	90	90
Límite de aumento (%)	110	110
Límite RVC (%)	5	5
Transitorios (V)	120	120

Fuente: Elaboración propia con base en la configuración del analizador Fluke 1775.

3.1. Caso 1: Operación continua 24 h – Comparación LED A vs LED F

Los resultados obtenidos durante la operación continua de 24 horas se resumen en la Tabla 4, donde se comparan los valores representativos de distorsión armónica total de tensión (THD_{V95}), tercer armónico ($h_{3_{V95}}$), flicker de larga duración (Plt) y variaciones rápidas de tensión (RVC) registrados para ambos modelos. Este escenario constituye la línea base del estudio, ya que permite evaluar el comportamiento de las luminarias bajo condiciones estables y sin transitorios

de conmutación, lo que facilita identificar diferencias atribuibles al diseño electrónico de cada driver.

Tabla 4. Indicadores clave de calidad de energía caso 1.

Parámetros	LED A	LED F
THD _{v95} (%)	5,09	3,93
THD _{vmax} (%)	5,15	4,14
h _{3_v95} (%)	4,06	3,15
h _{3_vmax} (%)	4,15	3,19
PLt (valor)	1,74	0,36
PLt dentro del límite (%)	90,91	100,00
V _{max95} (V)	126,80	125,92
V _{min95} (V)	122,88	121,04

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros obtenidos con el analizador de calidad de energía Fluke 1775.

En la operación continua de 24 horas, la luminaria LED A presentó niveles superiores de distorsión armónica total y flicker en comparación con la LED F, lo que evidencia diferencias inherentes al diseño del driver. Aunque se registró una caída de tensión aislada, las variaciones de red se mantuvieron dentro de los márgenes normativos, por lo que no explican las discrepancias observadas entre los modelos. Este escenario estable sirve como referencia base para los regímenes cíclicos posteriores, lo que confirma que el comportamiento eléctrico depende principalmente de la electrónica interna del driver (Bollen & Alves de Oliveira, 2023).

3.2. Caso 2: Encendido 1 h – LED A vs LED F

Los resultados correspondientes al régimen de operación de 1 h de encendido seguida de 2 s de apagado se presentan en la Tabla 5, donde se comparan los valores del percentil 95 % de distorsión armónica total (THD_{v95}), tercer armónico (h_{3_v95}), flicker de larga duración (Plt) y variaciones rápidas de tensión (RVC) registrados para ambos modelos. Este escenario permite evaluar la respuesta eléctrica de las luminarias bajo un régimen prolongado de conmutación cíclica, en el cual el driver experimenta transiciones térmicas y dinámicas más pronunciadas que en la operación continua, proporcionando información clave para caracterizar la estabilidad de cada diseño electrónico.

En este régimen cíclico, la luminaria LED A mostró nuevamente valores más elevados de distorsión armónica total y flicker en comparación con la LED F, lo que indica una mayor sensibilidad del driver frente a los cambios térmicos y de carga inducidos por el ciclo de encendido y apagado. Las variaciones de tensión registradas se mantuvieron dentro de los

límites establecidos por la EN 50160, por lo que no se observaron eventos de red que expliquen las diferencias de comportamiento entre ambas luminarias. Este resultado refuerza que las diferencias están asociadas principalmente al diseño interno del driver (Fioravanti et al., 2024) y su capacidad para gestionar condiciones de conmutación prolongada.

Tabla 5. Indicadores clave de calidad de energía caso 2.

Indicador	LED A	LED F
THD _{v95} (%)	6,09	5,36
THD _{vmax} (%)	6,14	5,60
h _{3_v95} (%)	5,15	4,59
h _{3_vmax} (%)	5,17	4,99
PLt (valor)	3,26	0,90
PLt dentro del límite (%)	90,91	100,00
V _{max_95} (V)	126,37	125,67
V _{min_95} (V)	121,37	121,58

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros obtenidos con el analizador de calidad de energía Fluke 1775.

3.3. Caso 3: Encendido 30min - LED A vs LED F

Los resultados correspondientes al régimen de 30 minutos de encendido seguidos de 2 segundos de apagado se presentan en la Tabla 6, donde se resumen los valores del percentil 95 % de distorsión armónica total de tensión (THD_{v95}), tercer armónico (h_{3_v95}), flicker de larga duración (PLt) y variaciones rápidas de tensión (RVC) para ambos modelos de luminarias. Este escenario introduce un régimen más agresivo de conmutación respecto al Caso 2, permitiendo evaluar la capacidad de los drivers para gestionar ciclos térmicos más frecuentes y fluctuaciones dinámicas asociadas a transiciones repetidas entre estados de conducción y reposo.

En este régimen de conmutación intermedia, la luminaria LED A presentó nuevamente niveles superiores de distorsión armónica y flicker respecto a la luminaria LED F, evidenciando una mayor susceptibilidad del driver ante variaciones rápidas de carga. A pesar de que se registraron ligeras fluctuaciones de tensión durante el ciclo, estas permanecieron dentro de los límites establecidos por la EN 50160, por lo que no influyeron significativamente en el comportamiento observado. Los resultados del Caso 3 consolidan la tendencia identificada en los escenarios anteriores y resaltan que las diferencias responden principalmente a las características internas de sus drivers (Heffernan et al., 2007).

Tabla 6. Indicadores clave de calidad de energía caso 3.

Indicador	LED A	LED F
THD _{v 95} (%)	5,99	5,54
THD _{v max} (%)	6,30	5,63
h _{3 v 95} (%)	4,97	4,90
h _{3 v max} (%)	5,26	4,99
PLt (valor)	0,46	0,69
PLt dentro del límite (%)	100,00	100,00
V _{max 95} (V)	126,11	125,94
V _{min 95} (V)	121,20	121,64

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros obtenidos con el analizador de calidad de energía Fluke 1775.

3.4. Caso 4: Encendido 10min - LED A vs LED F

Los resultados obtenidos en el régimen de 10 minutos de encendido seguidos de 2 segundos de apagado se presentan en la Tabla 7, donde se muestran los valores del percentil 95 % de distorsión armónica total (THD_{v95}), tercer armónico (h_{3_v95}), flicker de larga duración (PLt) y variaciones rápidas de tensión (RVC) para ambas luminarias. Este escenario corresponde al régimen de conmutación más exigente del estudio, caracterizado por transiciones continuas que ponen a prueba la estabilidad térmica y dinámica de los drivers LED.

Tabla 7. Indicadores clave de calidad de energía caso 4.

Indicador	LED A	LED F
THD _{v95} (%)	6,11	5,40
THD _{vmax} (%)	6,39	5,62
h _{3 v95} (%)	5,17	4,78
h _{3 vmax} (%)	5,43	4,96
PLt (valor)	0,54	0,64
PLt dentro del límite (%)	100,00	100,00
V _{max 95} (V)	126,30	126,18
V _{min 95} (V)	120,20	122,15

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros obtenidos con el analizador de calidad de energía Fluke 1775.

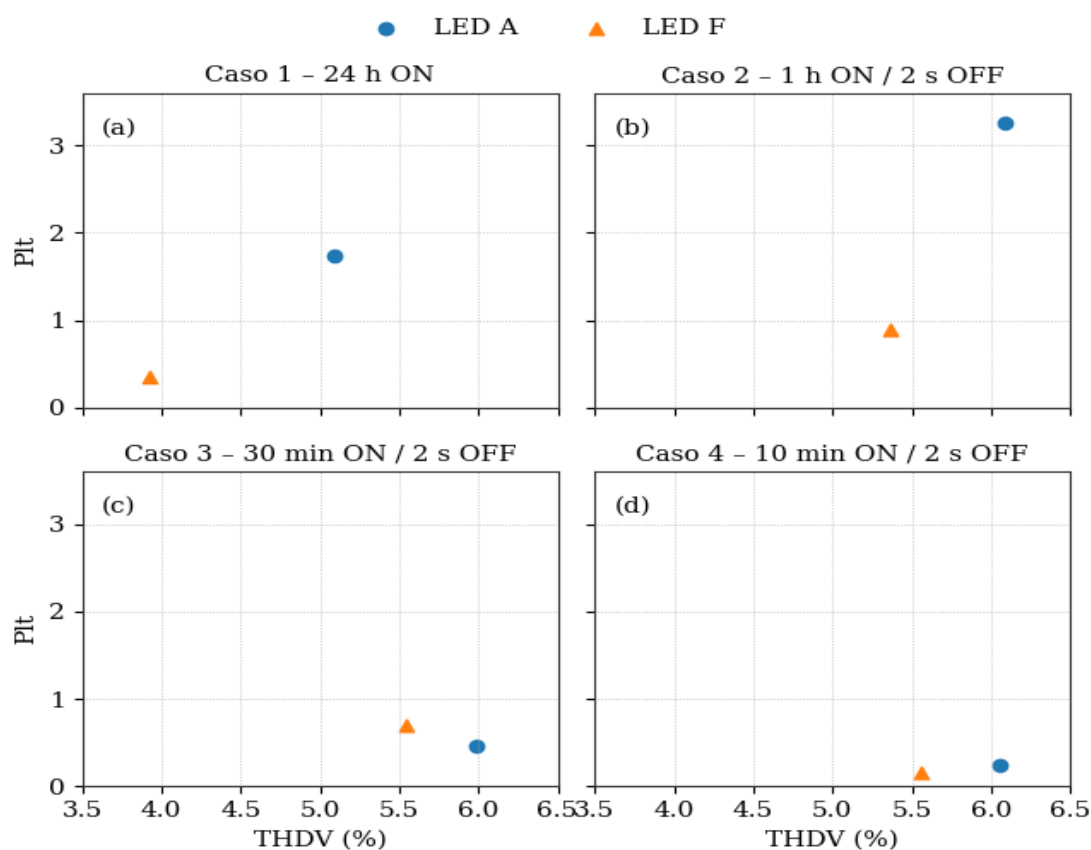
En este régimen de conmutación frecuente, la luminaria LED A nuevamente presentó valores superiores de distorsión armónica total y flicker respecto a la luminaria LED F, confirmando la mayor sensibilidad de su driver ante variaciones rápidas de carga. Las fluctuaciones de tensión permanecieron dentro de los límites establecidos por la EN 50160, por lo que no se identificaron eventos de red que expliquen las discrepancias observadas entre los modelos. Los resultados de este caso reafirman la tendencia registrada en los escenarios anteriores y permiten concluir que las diferencias derivan principalmente de las características internas de los drivers (Abdulmajeed Salbi & Kiss, 2023).

3.5. Comparación integrada entre regímenes de operación

A continuación, se presentan las figuras comparativas multipanel que integran los resultados obtenidos en los cuatro regímenes de operación, permitiendo visualizar de manera conjunta la relación entre distorsión armónica, flicker y variaciones de tensión para ambas luminarias.

La Figura 1 presenta de manera integrada la relación entre la distorsión armónica total de tensión y el índice de flicker de larga duración para los cuatro regímenes de operación evaluados. Esta representación multipanel permite observar, en un formato unificado, las variaciones simultáneas de THD_V y Plt entre ambos modelos de luminarias, facilitando la identificación de tendencias globales y diferencias asociadas al comportamiento de sus drivers.

Figura 1. Relación entre THD_V y Plt para los cuatro regímenes de operación.

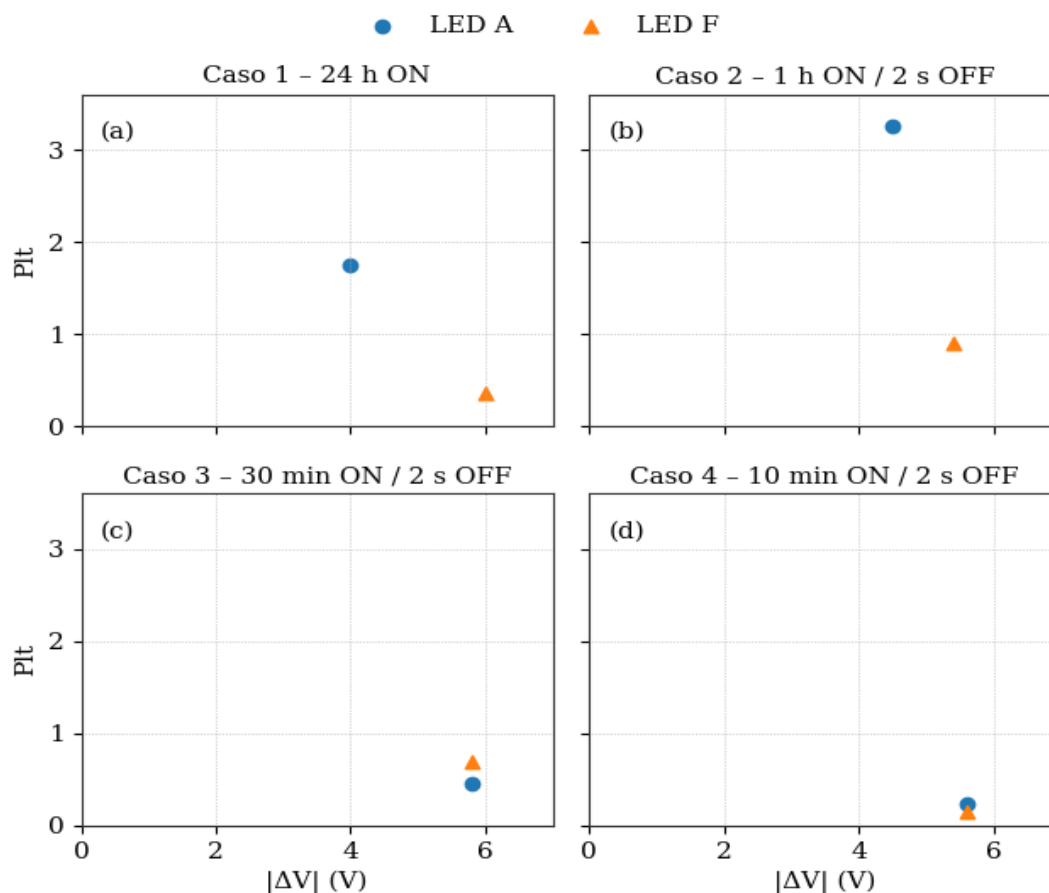


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las mediciones.

La Figura 1 permite observar de manera conjunta la relación entre la distorsión armónica total y el flicker de largo plazo en los cuatro regímenes de operación evaluados. En todos los casos, la luminaria LED A presenta valores simultáneamente superiores de THD_V y Plt , lo que evidencia una mayor sensibilidad del driver frente a los ciclos de conmutación y a las variaciones dinámicas de carga. La luminaria LED F, en contraste, mantiene niveles de flicker más bajos

aun cuando la distorsión armónica se incrementa, lo que sugiere una electrónica de control más robusta y menos susceptible a las fluctuaciones internas del sistema. La tendencia conjunta confirma la relación entre la distorsión armónica y el flicker, tal como se ha documentado en estudios recientes (Kukacka & Li, 2020). La Figura 2 presenta la relación entre las variaciones de tensión y el índice de flicker de larga duración para los cuatro regímenes de operación evaluados. Esta representación conjunta permite comparar la sensibilidad de cada luminaria frente a desviaciones típicas de la red y visualizar cómo los cambios en $|\Delta V|$ influyen en el comportamiento del flicker según el diseño electrónico del driver.

Figura 2. Relación entre $|\Delta V|$ y Plt para los cuatro regímenes de operación.



Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas.

La Figura 2 muestra que, ante variaciones de tensión dentro de los márgenes típicos de operación, ambos modelos mantienen valores de flicker dentro del límite normativo. No obstante, la luminaria LED F exhibe una menor sensibilidad a los cambios en $|\Delta V|$, mientras que la LED A presenta variaciones más pronunciadas en determinados regímenes. Esta diferencia refuerza que el flicker observado se asocia al diseño del driver y no a variaciones de la tensión (Oliveira

Pinto, 2020).

3.6. Discusión

La Tabla 8 resume de manera comparativa los valores representativos de los indicadores de calidad de energía obtenidos para los cuatro regímenes de operación evaluados. Esta síntesis permite identificar tendencias globales en la respuesta de cada luminaria y facilita el análisis conjunto de la influencia de los ciclos de conmutación sobre la distorsión armónica y el flicker.

Tabla 8. Resumen comparativo de indicadores clave de calidad de energía.

Indicador	24 h ON	1 h ON / 2 s OFF	30 min ON / 2 s OFF	10 min ON / 2 s OFF
THD _{v95}	LED A (5,09 %)	LED A (6,09 %)	LED A (5,99 %)	LED A (6,11 %)
h _{3_v95}	LED A (4,06 %)	LED A (5,15 %)	LED A (4,97 %)	LED A (5,17 %)
Plt	LED A (1,74)	LED A (3,26)	LED F (0,69)	LED F (0,64)
Eventos totales (A vs F)	1 vs 0	3 vs 1	194 vs 160	419 vs 282
Cumplimiento Plt (EN 50160)	LED A: No / LED F: Sí	LED A: No / LED F: Sí	Ambos: Sí	Ambos: Sí

Fuente: Elaboración a partir de los datos obtenidos en los cuatro regímenes de operación.

El análisis comparativo muestra que la luminaria LED A presenta, en todos los regímenes evaluados, valores superiores de distorsión armónica total y de tercer armónico respecto a la luminaria LED F, mientras que esta última mantiene un comportamiento más estable en la mayoría de indicadores. Estas tendencias reflejan la influencia del diseño del driver en la respuesta frente a los distintos ciclos de conmutación (Kumar & Kumar, 2020). Para complementar esta síntesis global, la Tabla 9 presenta los valores consolidados de cumplimiento normativo y desempeño relativo de ambos modelos, permitiendo una interpretación final de los resultados antes de la discusión técnica.

La Tabla 9 presenta el resumen consolidado de cumplimiento normativo para ambos modelos de luminarias en los cuatro regímenes de operación evaluados. En esta síntesis se integran los valores de distorsión armónica total, tercer armónico y flicker en relación con los límites establecidos en la EN 50160, lo que permite identificar de manera directa el grado de conformidad de cada equipo y su comportamiento relativo frente a las exigencias de calidad de energía. Esta información complementa el análisis comparativo de la Tabla 8 y proporciona una base final para la interpretación global de los resultados antes de la discusión técnica.

Los resultados consolidados de la Tabla 9 muestran que ambos modelos cumplen con los límites establecidos por la EN 50160 en la mayoría de regímenes evaluados; no obstante, la

luminaria LED A presenta valores más próximos a los límites normativos, especialmente en lo relacionado con el flicker y la distorsión armónica total (Zhang et al., 2023). En contraste, la LED F mantiene márgenes de cumplimiento más amplios, lo que refleja una mayor estabilidad eléctrica y menor sensibilidad a las variaciones asociadas a los ciclos de conmutación. Este contraste final sintetiza las diferencias de desempeño observadas y constituye la base para la interpretación técnica desarrollada en la discusión.

Tabla 9. Cumplimiento de la norma EN 50160 en flicker de largo plazo por régimen de operación.

Régimen de operación	LED A – Cumplimiento Plt	LED F – Cumplimiento Plt
24 h ON	No cumple (Plt = 1,74)	Cumple (Plt = 0,36)
1 h ON / 2 s OFF	No cumple (Plt = 3,26)	Cumple (Plt = 0,90)
30 min ON / 2 s OFF	Cumple (Plt = 0,46)	Cumple (Plt = 0,69)
10 min ON / 2 s OFF	Cumple (Plt = 0,54)	Cumple (Plt = 0,64)

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en los cuatro regímenes de operación permiten identificar patrones consistentes en el comportamiento eléctrico de las luminarias evaluadas. La comparación sintetizada en la Tabla 8 muestra que la luminaria LED A presenta niveles superiores de distorsión armónica total y de tercer armónico en todos los escenarios, mientras que la LED F mantiene valores más moderados y con menor variabilidad. Estas diferencias permanecen incluso en condiciones donde no se registran eventos significativos de tensión, lo que confirma que el comportamiento observado depende fundamentalmente del diseño interno del driver y no de fluctuaciones de la red de suministro (Bhattacharya et al., 2007).

Un hallazgo relevante del estudio es la relación positiva entre la distorsión armónica total y el índice de flicker, particularmente evidente en los regímenes de conmutación prolongada. La LED A, que presenta los valores más elevados de THD_v y h_3 , exhibe también los niveles más altos de Plt, aun cuando las variaciones de tensión permanecen dentro de los márgenes establecidos por la EN 50160. Este comportamiento concuerda con investigaciones recientes que señalan que los controladores LED basados en rectificación directa y filtrado pasivo tienden a ser más sensibles a variaciones dinámicas de carga y a generar mayores fluctuaciones luminosas (Bollen & Alves de Oliveira, 2023; Ionescu et al., 2017).

En contraste, la luminaria LED F muestra un desempeño más estable en términos de compatibilidad electromagnética, lo que sugiere la presencia de un diseño de driver con mayor capacidad de compensación frente a transitorios de corriente, posiblemente mediante la inclusión

de un circuito de corrección activa del factor de potencia (PFC) u otro mecanismo electrónico orientado a estabilizar la forma de onda. Este tipo de topologías ha demostrado reducir significativamente la generación de armónicos y la susceptibilidad al flicker en luminarias de uso residencial e industrial (Bhattacharya et al., 2007), lo cual es consistente con los resultados observados en este estudio.

Por su parte, la Tabla 9 evidencia que, aunque ambos modelos cumplen con los límites normativos en la mayoría de regímenes evaluados, la luminaria LED A opera con márgenes de seguridad más estrechos, especialmente en el flicker y la distorsión armónica total. La LED F, en cambio, mantiene distancias mayores respecto a los umbrales permitidos, reflejando una mayor robustez y estabilidad operacional. Esta diferencia es particularmente relevante para instalaciones donde múltiples luminarias operan simultáneamente, dado que la acumulación de fuentes con bajo desempeño armónico puede afectar de manera significativa la calidad de energía de un circuito completo (Kobav & Colarič, 2018).

En conjunto, los resultados confirman que el desempeño eléctrico de las luminarias LED depende en gran medida de la topología del driver y su capacidad para gestionar los transitorios asociados a los ciclos de conmutación. La correlación observada entre la distorsión armónica y el flicker constituye un aporte relevante para el análisis de compatibilidad electromagnética en sistemas residenciales y comerciales, y subraya la necesidad de considerar tanto las características ópticas como las eléctricas en la selección de luminarias para aplicaciones de uso continuo o cíclico.

3.7. Limitaciones del estudio

Las mediciones realizadas se desarrollaron dentro de ventanas temporales inferiores a las recomendadas por la EN 50160, que establece un período de observación de al menos siete días para la evaluación completa de la calidad de energía. Aunque los resultados obtenidos permiten identificar tendencias claras en la respuesta de las luminarias frente a cada régimen de operación, la extensión temporal limitada constituye una restricción metodológica que debe considerarse en futuras investigaciones. Asimismo, el estudio se centró únicamente en indicadores asociados a la tensión, por lo que no se evaluaron las corrientes armónicas ni el factor de potencia, parámetros necesarios para completar la caracterización del impacto de

las luminarias LED sobre la red eléctrica. Finalmente, el análisis se realizó sobre dos modelos específicos, lo que limita la generalización de los resultados a otras topologías de drivers o configuraciones comerciales.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que el comportamiento eléctrico de las luminarias evaluadas está determinado principalmente por la topología de sus drivers y su capacidad para gestionar las variaciones dinámicas asociadas a los diferentes regímenes de operación. La luminaria LED A presentó niveles consistentemente superiores de distorsión armónica total y, en varios casos, de flicker, lo que evidencia una menor robustez en el manejo de los transitorios internos. En contraste, la luminaria LED F mantuvo un desempeño más estable en todos los regímenes evaluados, lo cual sugiere la presencia de un sistema de compensación electrónica más eficiente.

La tendencia observada confirma que existe una relación directa entre el incremento de la distorsión armónica y la severidad del flicker, independientemente de la estabilidad de la red eléctrica. Esta correlación constituye un hallazgo relevante para la evaluación de compatibilidad electromagnética en luminarias LED, ya que resalta la importancia de considerar no solo los parámetros ópticos, sino también las características eléctricas del driver.

Finalmente, se recomienda que investigaciones futuras incluyan la medición de corrientes armónicas (THD_i), el análisis del factor de potencia y la evaluación detallada de los mecanismos internos de compensación presentes en los drivers. Estos aspectos permitirán obtener una caracterización más completa del impacto de las luminarias LED sobre la red y contribuirán al diseño de soluciones más robustas para aplicaciones residenciales y comerciales.

Contribución de los Autores (CRedit): RDTCH: Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Redacción-revisión y edición. WEGV: Investigación, Análisis formal, Visualización, Redacción-borrador original. AAMMA: Análisis formal, Investigación, Visualización, Redacción - borrador original.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en esta publicación.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial: Los autores declaran que utilizaron herramientas de inteligencia artificial (IA) en mejora de la de revisión gramatical, ortográfica y verificación de formato. La herramienta utilizada para este fin fue: CHATGPT.

REFERENCIAS

Abdulmajeed Salbi, H. A., & Kiss, P. (2023). Power quality investigation of residential

- low-wattage LED lamps. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Future Energy Technologies (INFOTEH)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH57020.2023.10094066>
- Amano, H. (2015). Current and future of solid state lighting. In *Proceedings of the 2015 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)*. IEEE. https://doi.org/10.1364/CLEO_AT.2015.JTu3A.2
- Bansal, R., & Roos, F. (2019). Reactive power and harmonic compensation: A case study for the coal-mining industry. *Journal of Energy in Southern Africa*, 30(1), 34–48. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2019/v30i1a2473>
- Barros, J., & Diego, R. I. (2016). A review of measurement and analysis of electric power quality on shipboard power system networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 665–672. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.043>
- Bhattacharya, A., Lehman, B., Shteynberg, A., & Rodriguez, H. (2007). A probabilistic approach of designing driving circuits for strings of high-brightness light emitting diodes. In *Proceedings of the 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/PESC.2007.4342204>
- Bollen, M., & Alves de Oliveira, R. (2023). Power quality. In *Wiley encyclopedia of electrical and electronics engineering*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/047134608X.W8445>
- CENELEC. (2019). *EN 50160:2010+A3:2019 – Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems*. European Committee for Electrotechnical Standardization.
- Chen, W., Zhu, X., Wang, G., & Wang, G. (2013). A new double frequency dimmer for lighting device. In *Proceedings of the 2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2013.6647324>
- Drapela, J., Langella, R., Testa, A., & Grappè, J. E. (2018). A real life light flicker case-study with LED lamps. In *Proceedings of the 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2018.8378906>
- Fioravanti, A., Prudenzi, A., Fiorucci, E., Silvestri, A., & Mari, S. (2024). The effect of short duration voltage sags on LED lamps. In *Proceedings of the 2024 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/SPEEDAM61530.2024.10609106>

Fluke Corporation. (s. f.). *1773/1775/1777 three-phase power quality analyzers – User manual* [PDF]. <https://www.fluke.com>

Heffernan, W. J. B., Frater, L. P., & Watson, N. R. (2007). LED replacement for fluorescent tube lighting. In *Proceedings of the 2007 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AUPEC.2007.4548064>

International Electrotechnical Commission. (2002/2008). *IEC 61000-4-7:2002+A1:2008 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2010). *IEC 61000-4-15:2010 – Flickermeter – Functional and design specifications*. IEC.

Ionescu, C., Dima, M., & Bonfert, D. (2017). Flicker distortion power factor analysis in lighting LEDs. In *Proceedings of the 2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIITME.2017.8259908>

Kim, T., Rylander, M., Powers, E. J., Grady, W. M., & Arapostathis, A. (2008). LED lamp flicker caused by interharmonics. In *Proceedings of the 2008 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IMTC.2008.4547361>

Kobav, M. B., & Colarič, M. (2018). Flicker experimental set up and visual perception of flicker. In *Proceedings of the 2018 Seventh Balkan Conference on Lighting (BalkanLight)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/BalkanLight.2018.8546993>

Kukacka, L., & Drapela, J. (2020). A preliminary study on modeling of voltage induced flicker sensitivity of fluorescent and LED lamps with closed-loop control. In *Proceedings of the 2020 19th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHQP46026.2020.9177905>

Kumar, K. J., & Kumar, R. S. (2020). Voltage flicker from warm and cool white LED bulbs. In *Proceedings of the 2020 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISGT-Europe47291.2020.9248850>

Lu, J., & Jiang, G. (2024). Harmonic characteristics analysis and power quality requirements of

- light-emitting diode lamps used in nuclear power plant lighting system. *Journal of Physics: Conference Series*, 2855, 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2855/1/012010>
- Narendran, N., & Gu, Y. (2005). Life of LED-based white light sources. *Journal of Display Technology*, 1(1), 167–171. <https://doi.org/10.1109/JDT.2005.852510>
- Oliveira, C. F., Barros, L. A. M., Afonso, J. L., Pinto, J. G., Exposto, B., & Monteiro, V. (2021). Experimental validation of a current-source converter with reduced dc-link operating as shunt active power filter. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 21(34), e5. <https://doi.org/10.4108/eai.14-1-2021.168135>
- Oliveira Pinto, J. G. (Ed.). (2020). *Power electronics and power quality*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03928-359-0>
- Schubert, E. F., & Kim, J. K. (2005). Solid-State Light Sources Getting Smart. *Science*, 308(5726), 1274–1278. <https://doi.org/10.1126/science.1108712>
- Wibowo, R., Suryadi, & Priambodo, P. S. (2021). Harmonic testing analysis of light emitting diode (LED) lamps based SNI IEC 61000-3-2 standard. *Journal of Physics: Conference Series*, 1803, 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1803/1/012023>
- Zhang, R., Guo, Z., Chen, Y., Ruan, Y., Zhu, L., & Chen, G. (2023). A deep learning-aided remote spectrally tunable LED light source integrated system. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72, Article 7008109. <https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3328694>