

Análisis del flicker y la calidad de energía en lámparas led y CFL bajo regímenes de conmutación cíclica

Experimental analysis of flicker and power quality in led and CFL lamps subjected to cyclic switching operation

Rubén Darío Tirira Chulde¹ , Ricardo Joel Pacheco Paz² , Mishell Nicole Vasco Tipán³ 

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

² Instituto Superior Tecnológico Sucre, pacheco.ricardo.joel@gmail.com, Quito - Ecuador

³ Instituto Superior Tecnológico Sucre, vasco.tipan.mishell@gmail.com, Quito - Ecuador

Autor para correspondencia: dtirira@tecnologicosucre.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio analiza experimentalmente el efecto de los ciclos de encendido y apagado sobre la calidad de energía y la severidad del flicker eléctrico en lámparas de diodos emisores de luz (LED) y lámparas fluorescentes compactas (CFL). Las mediciones se realizaron en condiciones controladas de laboratorio, con tensión nominal de 127 V y frecuencia de 60 Hz, aplicando regímenes de conmutación continua y cíclica de 10, 30 y 60 minutos de encendido, seguidos de 2 s de apagado, durante ensayos de 24 h. Se emplearon los índices normalizados de flicker a corto y largo plazo (Pst y Plt), calculados automáticamente por un analizador Fluke 1775 conforme a las normas IEC 61000-4-15 e IEC 61000-4-30. Los resultados muestran que las lámparas LED mantienen $Plt < 1$ en todos los regímenes, cumpliendo los límites de severidad establecidos por la norma, mientras que las CFL alcanzan valores de $Plt > 3$ durante la operación continua, evidenciando una mayor sensibilidad térmica y eléctrica. La correlación ΔV -Plt confirma que el flicker en las CFL depende significativamente de las variaciones de tensión, mientras que las LED presentan una respuesta lineal y estable. En conjunto, la tecnología LED demuestra una mayor inmunidad ante fluctuaciones de tensión y una operación más confiable frente a conmutaciones repetitivas. Cabe señalar que los índices Pst y Plt se derivan exclusivamente de mediciones de tensión (flicker eléctrico), sin incluir mediciones fotométricas directas del flujo luminoso.

Palabras clave: Calidad de la energía eléctrica; Luminarias LED; Lámparas fluorescentes compactas; Fluctuaciones de tensión eléctrica.

ABSTRACT

This study presents an experimental analysis of the effect of on/off switching cycles on power quality and electrical flicker severity in light-emitting diode (LED) lamps and compact fluorescent lamps (CFL). Measurements were carried out under controlled laboratory conditions, with a nominal voltage of 127 V and frequency of 60 Hz, applying continuous and cyclic operation modes with 10, 30, and 60 minutes ON followed by 2 seconds OFF during 24-hour tests. Short-term and long-term flicker indices (Pst and Plt) were automatically computed by a Fluke 1775 power-quality analyzer in accordance with IEC 61000-4-15 and IEC 61000-4-30 standards. Results show that LED lamps maintained $Plt < 1$ under all conditions, fully complying with the IEC flicker limits, whereas CFL lamps reached $Plt > 3$ under continuous operation, revealing pronounced thermal and electrical sensitivity. The ΔV -Plt correlation confirms that CFL flicker is strongly dependent on voltage variations, while LED drivers exhibit a linear and stable response. Overall, LED technology demonstrates superior immunity to voltage fluctuations and more reliable performance under repetitive switching. It should be noted that Pst and Plt values were derived solely from voltage fluctuation measurements (electrical flicker); no direct photometric assessment of luminous flux was performed.

Keywords: Electric power quality; LED luminaires; Compact fluorescent lamps; Voltage fluctuations.

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., Pacheco Paz, R. J., & Vasco Tipán, M. N. Análisis del flicker y la calidad de energía en lámparas led y CFL bajo regímenes de conmutación cíclica. *CONECTIVIDAD*, 7(2), e432. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i2.432>

1. INTRODUCCIÓN

El uso de tecnologías de iluminación energéticamente eficientes ha experimentado un crecimiento sostenido en los sectores residencial y comercial durante las últimas décadas, impulsado por políticas públicas orientadas a la reducción del consumo eléctrico y a la modernización de las redes de baja tensión. En el contexto ecuatoriano, la sustitución progresiva de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas y, posteriormente, por luminarias basadas en diodos emisores de luz, se desarrolló en el marco de programas institucionales destinados a mejorar la eficiencia energética del parque lumínico nacional y a reducir la demanda eléctrica en periodos de mayor carga, con impactos directos sobre la planificación y operación del sistema de distribución (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012; Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2017). Esta transición tecnológica se encuentra alineada con tendencias internacionales ampliamente documentadas, que identifican a la tecnología LED como una alternativa con mayor eficiencia energética, mayor vida útil y una mayor flexibilidad de integración en sistemas eléctricos modernos, particularmente en redes de baja tensión con alta penetración de cargas electrónicas (International Energy Agency, 2020; Maheswaran et al., 2012).

A pesar de las ventajas energéticas asociadas a estas tecnologías, la incorporación masiva de luminarias que integran electrónica de potencia ha introducido nuevos desafíos relacionados con el comportamiento eléctrico de las cargas y su interacción con la red de distribución de baja tensión. Tanto las lámparas LED como las CFL incorporan etapas internas de conversión y control electrónico destinadas a regular la corriente de operación, cuya dinámica puede influir en la estabilidad de la tensión de alimentación, especialmente bajo condiciones de conmutación frecuente o frente a variaciones del suministro eléctrico (International Electrotechnical Commission, 2010; Comité Europeo de Normalización Electrotécnica, 2010). En este contexto, las fluctuaciones de tensión de corta duración pueden manifestarse como flicker eléctrico, entendido como una variación periódica de la tensión que, bajo determinadas condiciones, puede dar lugar a oscilaciones luminosas perceptibles y a una degradación del confort visual en instalaciones residenciales y comerciales.

El flicker eléctrico constituye un indicador específico de la calidad del suministro, cuya evaluación

se realiza mediante los índices normalizados de corto y largo plazo, Pst y Plt, definidos en la norma IEC 61000-4-15 y medidos conforme a los requisitos de instrumentación, agregación temporal y calidad de los datos establecidos en la IEC 61000-4-30. Estos índices permiten cuantificar la severidad de las fluctuaciones de tensión a partir de modelos estandarizados de percepción humana y son utilizados de forma extendida en estudios de compatibilidad electromagnética y calidad de energía en redes de baja tensión (Delfino et al., 2019; Bisi et al., 2016). De manera complementaria, la norma EN 50160 establece características estadísticas del suministro eléctrico en redes públicas, incluyendo valores de referencia para la evaluación del flicker a largo plazo en periodos prolongados, lo que subraya la necesidad de interpretar los resultados experimentales en función del horizonte temporal de medición y del contexto de aplicación del sistema analizado.

Diversos estudios han demostrado que la severidad del flicker depende de múltiples factores, entre los que se incluyen la arquitectura del driver o balastro electrónico, la estabilidad instantánea de la tensión de alimentación y el régimen de operación de la luminaria. En este sentido, investigaciones recientes señalan que, si bien las luminarias LED modernas tienden a presentar un comportamiento más estable frente a fluctuaciones de tensión, determinadas configuraciones de control pueden amplificar el flicker bajo condiciones de conmutación repetitiva o suministro no ideal. En el caso de las lámparas fluorescentes compactas, se ha reportado una mayor sensibilidad a variaciones eléctricas, asociada a la dinámica interna de sus balastos electrónicos, lo que puede traducirse en una mayor dispersión de los índices de flicker en condiciones reales de operación (Delfino et al., 2019; Panda et al., 2022; Masnicki et al., 2024a; Masnicki et al., 2024b; Collin et al., 2019).

Desde una perspectiva aplicada, la evaluación del flicker adquiere relevancia no solo por su impacto técnico sobre la calidad de la energía eléctrica, sino también por sus implicaciones fisiológicas y de confort visual en entornos residenciales, educativos y comerciales. Niveles elevados de flicker han sido asociados con molestias perceptivas, fatiga visual disminución del rendimiento en tareas que requieren atención sostenida, tal como ha sido evidenciado mediante estudios experimentales de percepción y respuesta cortical ante estímulos luminosos modulados (Lighting Europe, 2018; Wilkins et al., 2014; Zhang & Xu, 2008).

En este contexto, el presente estudio se centra en el análisis experimental del comportamiento del flicker eléctrico en lámparas LED y CFL de gama económica, sometidas a distintos regímenes de encendido y apagado, incluyendo operación continua y ciclos de conmutación repetitiva, con el objetivo de evaluar la evolución de los índices normalizados P_{st} y P_{lt} durante ensayos controlados de 24 horas y analizar su relación con las variaciones de la tensión eficaz de alimentación, sin extrapolar los resultados a una evaluación normativa integral del suministro público (Bertoldi, 2014; Bisi et al., 2016).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

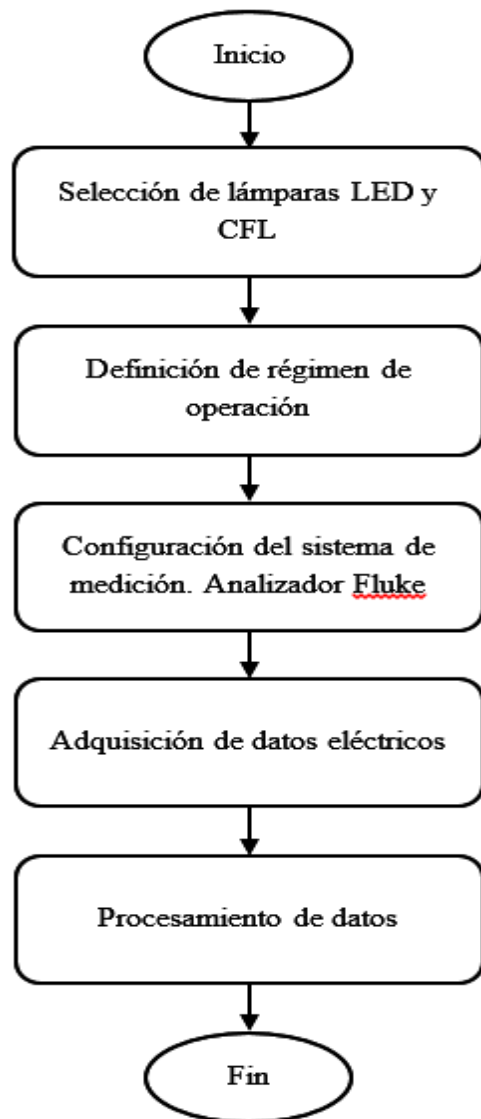
El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental y cuantitativo, orientado a la caracterización del flicker eléctrico mediante los índices normalizados de corto y largo plazo, P_{st} y P_{lt} , en lámparas LED y CFL sometidas a distintos regímenes de operación. Los ensayos se realizaron en un entorno de laboratorio con condiciones eléctricas controladas, representativas de un sistema residencial de baja tensión en Ecuador, operando a una tensión nominal de 127 V y una frecuencia de 60 Hz. Esta configuración permitió aislar perturbaciones externas y asegurar la repetibilidad de las mediciones, conforme a metodologías empleadas en evaluaciones experimentales de fluctuaciones de tensión y flicker en cargas de iluminación reportadas en la literatura especializada (Bertoldi, 2004; Bisi et al., 2016).

Con el fin de garantizar la trazabilidad del procedimiento experimental y documentar de forma estructurada la secuencia de actividades desarrolladas durante los ensayos, se definió un esquema metodológico que integra la selección de las luminarias, la definición de los regímenes de operación, la configuración del sistema de medición y el posterior procesamiento de los datos eléctricos registrados. La representación de este procedimiento se presenta en la Figura 1, la cual sintetiza las etapas principales del protocolo aplicado a las lámparas LED y CFL evaluadas en el estudio, siguiendo prácticas habituales de reporte en investigaciones experimentales de flicker y calidad de energía (Delfino et al., 2019; Bisi et al., 2016).

El procedimiento experimental ilustrado en la Figura 1 permitió estructurar de manera coherente todas las etapas del estudio, asegurando la correspondencia entre la configuración del sistema de medición, los regímenes de operación aplicados y el tratamiento posterior de la información obtenida. Este enfoque garantiza la reproducibilidad del experimento y la consistencia entre

los datos registrados y los análisis desarrollados en las secciones de resultados y discusión, en concordancia con recomendaciones metodológicas para estudios de flicker en redes de baja tensión (Delfino et al., 2019; Lazaroiu et al., 2018).

Figura 1. Esquema del procedimiento experimental aplicado a lámparas LED y CFL.



Fuente: Elaboración propia.

2.1. Instrumentación y regímenes de operación

Las mediciones eléctricas se realizaron mediante un analizador de calidad de energía Fluke 1775, configurado en modo de registro continuo para la adquisición de la tensión eficaz y el cálculo automático de los índices de flicker P_{st} y P_{lt} . El equipo opera conforme al modelo de medición del flickermeter definido en la norma IEC 61000-4-15 y cumple los requisitos de instrumentación, agregación temporal y calidad de datos establecidos en la IEC 61000-4-30 para mediciones de calidad de energía en redes de baja tensión. Durante los ensayos, los

registros se almacenaron sin aplicar filtros adicionales ni procesos de suavizado, con el fin de preservar la integridad de los datos originales y garantizar una evaluación representativa del comportamiento del flicker eléctrico bajo condiciones controladas de laboratorio, siguiendo prácticas recomendadas en estudios experimentales previos (International Electrotechnical Commission, 2010; Delfino et al., 2019; LazaroIU et al., 2018).

Con el objetivo de evaluar de manera sistemática la influencia de la conmutación repetitiva y de la operación prolongada sobre la severidad del flicker, se definieron cuatro regímenes de operación diferenciados aplicables a ambas tecnologías de iluminación. Estos regímenes fueron seleccionados para representar condiciones habituales de uso en entornos residenciales y comerciales, así como escenarios de funcionamiento continuo, permitiendo analizar comparativamente el comportamiento eléctrico de las lámparas LED y CFL bajo intervalos controlados de encendido y apagado (IEEE Standards Association, 2015). La descripción detallada de los regímenes considerados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Regímenes de operación considerados en la evaluación de flicker.

Régimen	Descripción	LED	CFL
Continuo	Operación 24 h encendido	Sí	Sí
Cíclico 60min	60 min ON / 2 s OFF	Sí	Sí
Cíclico 30min	30 min ON / 2 s OFF	Sí	Sí
Cíclico 10min	10 min ON / 2 s OFF	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Los regímenes descritos en la Tabla 1 permitieron analizar tanto el efecto de transitorios asociados al encendido periódico como la estabilidad del sistema bajo operación continua durante periodos prolongados. En particular, los ciclos de 10, 30 y 60 minutos de encendido seguidos de un apagado breve de 2s introducen perturbaciones repetitivas de tensión que pueden influir en los índices de flicker, mientras que el régimen continuo constituye una condición de referencia para evaluar el comportamiento intrínseco de cada tecnología en ausencia de conmutación. Esta estrategia experimental es coherente con enfoques utilizados en estudios de flicker en sistemas de iluminación electrónica y facilita la interpretación comparativa de los resultados obtenidos (Bisi et al., 2016; LazaroIU et al., 2018).

2.2 Procesamiento de datos

Una vez concluida la adquisición de datos eléctricos bajo cada régimen de operación, se

procedió al procesamiento y análisis de la información registrada con el fin de caracterizar la severidad del flicker y su relación con las variaciones de tensión (Maheswaran et al., 2012). Para garantizar la trazabilidad de los resultados, se trabajó exclusivamente con los valores exportados directamente desde el analizador de calidad de energía, sin aplicar transformaciones adicionales que pudieran alterar el comportamiento real del sistema bajo estudio, manteniendo las definiciones normalizadas de las magnitudes eléctricas bajo condiciones no sinusoidales y desequilibradas (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010).

El procesamiento de los datos se realizó mediante el software Energy Analyze Plus, utilizando los registros continuos de tensión eficaz obtenidos durante cada ensayo. Para cada régimen de operación se calcularon los índices de flicker de corto plazo (P_{st}) y de largo plazo (P_{lt}) conforme a las definiciones establecidas en la IEC 61000-4-15. En el análisis se consideraron tanto el percentil 95 como el valor máximo de cada índice, con el propósito de identificar condiciones críticas de operación y evaluar la estabilidad del sistema a lo largo del periodo de observación, siguiendo criterios comúnmente empleados en estudios experimentales de flicker en redes de baja tensión (Bisi et al., 2016; Lazaroiu et al., 2018).

Cada ensayo tuvo una duración total de 24 horas por tecnología y por régimen de operación, lo que permitió obtener un número suficiente de ventanas de integración para el cálculo del índice P_{lt} y analizar la evolución temporal del flicker bajo condiciones controladas. Si bien la norma EN 50160 establece criterios de evaluación del suministro eléctrico sobre periodos estadísticos prolongados, en este estudio se evitó extrapolar los resultados obtenidos a una caracterización normativa completa del sistema de distribución, limitando la interpretación a la comparación experimental entre tecnologías y regímenes de funcionamiento (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica, 2010; Bisi et al., 2016).

Adicionalmente, se evaluó la relación entre la variación de la tensión eficaz y la severidad del flicker mediante el cálculo de la diferencia máxima de tensión, ΔV , para cada régimen de operación. Este parámetro se obtuvo a partir de los valores mínimos y máximos de tensión eficaz registrados durante cada ensayo de 24 horas y se utilizó como indicador de la amplitud de las fluctuaciones de tensión presentes en el sistema. La relación entre ΔV y el índice P_{lt} se analizó de forma descriptiva con el fin de comparar la sensibilidad de las lámparas LED y CFL

ante variaciones comparables del suministro eléctrico, de acuerdo con enfoques reportados en la literatura especializada sobre flicker y calidad de energía (Delfino et al., 2019; Panda et al., 2022).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los registros obtenidos durante los ensayos permitieron caracterizar el comportamiento del flicker eléctrico en lámparas LED y CFL bajo los distintos regímenes de operación definidos en la metodología. Las series de datos adquiridas a lo largo de los ensayos de 24 horas evidencian diferencias claras entre ambas tecnologías en términos de estabilidad de la tensión eficaz y severidad de los índices P_{st} y P_{lt} , lo que refleja la influencia de la arquitectura del driver o balastro electrónico sobre la respuesta del sistema de iluminación frente a conmutaciones repetitivas y operación continua. A continuación, los resultados se presentan de forma estructurada por tipo de tecnología y régimen operativo, manteniendo correspondencia directa entre los valores reportados en tablas y su interpretación posterior.

3.1. Resultados de lámparas LED

En las lámparas LED se evaluó inicialmente el régimen de conmutación cíclica con intervalos de encendido de 10 minutos, con el fin de analizar la respuesta del sistema frente a perturbaciones periódicas frecuentes. Este régimen introduce transitorios repetitivos asociados al encendido y apagado que pueden reflejarse en variaciones de la tensión eficaz y en el incremento del índice de flicker de corto plazo. Los valores registrados de tensión eficaz mínima y máxima, así como los índices Pst correspondientes a este régimen, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tensión eficaz e índice Pst en lámparas LED bajo conmutación 10 min ON / 2 s OFF.

Medición	VRMS_min (V)	(%)	VRMS_max (V)	(%)	Flicker Pst	Frecuencia (Hz)
95 %	122,15	-3,82	126,18	-0,65	0,62	60
100 %	121,58	-4,27	126,18	-0,65	0,71	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que, bajo el régimen de conmutación de 10 minutos, las variaciones de la tensión eficaz se mantienen dentro de un margen inferior al 4 % respecto al valor nominal, mientras que los valores del índice Pst permanecen por debajo de 0,71 tanto en el percentil 95 como en el valor máximo registrado. Esta respuesta indica un comportamiento eléctrico estable de las lámparas LED frente a ciclos de encendido frecuentes, sin evidencia

de incrementos significativos en la severidad del flicker de corto plazo bajo las condiciones evaluadas.

A continuación, se analizó el comportamiento de las lámparas LED bajo un régimen de conmutación con intervalos de encendido de 30 minutos, el cual representa una condición intermedia entre conmutaciones frecuentes y periodos prolongados de operación continua. Este escenario permite evaluar si el aumento del tiempo de encendido tiene influencia sobre la estabilidad de la tensión eficaz y la severidad del flicker de corto plazo. Los valores de tensión eficaz mínima y máxima, junto con los índices P_{st} obtenidos para este régimen, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Tensión eficaz e índice P_{st} en lámparas LED bajo conmutación 30 min ON / 2 s OFF.

Medición	V_{RMS_min} (V)	(%)	V_{RMS_max} (V)	(%)	Flicker P_{st}	Frecuencia (Hz)
95 %	121,64	-4,22	125,94	-0,83	0,66	60
100 %	121,31	-4,48	125,94	-0,83	0,75	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los resultados consignados en la Tabla 3 indican que, bajo el régimen de 30 minutos de encendido, las lámparas LED mantienen variaciones de tensión eficaces comparables a las observadas en el régimen de 10 minutos, con desviaciones inferiores al 4,5 % respecto al valor nominal. Los valores del índice P_{st} permanecen por debajo de 0,75 tanto en el percentil 95 como en el valor máximo registrado, lo que evidencia un comportamiento eléctrico estable frente a ciclos de conmutación menos frecuentes y confirma la capacidad del driver electrónico para amortiguar las fluctuaciones de tensión sin generar incrementos significativos del flicker de corto plazo.

Posteriormente, se evaluó el comportamiento de las lámparas LED bajo un régimen de conmutación con intervalos de encendido de 60 minutos, el cual introduce periodos prolongados de operación continua entre eventos de apagado. Este escenario permite analizar la posible influencia de efectos térmicos acumulativos y de una mayor estabilidad temporal sobre la tensión eficaz y el índice de flicker de corto plazo. Los valores registrados de tensión eficaz mínima y máxima, junto con los índices P_{st} correspondientes a este régimen, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Tensión eficaz e índice Pst en lámparas LED bajo conmutación 60 min ON / 2 s OFF.

Medición	V _{RMS_min} (V)	(%)	V _{RMS_max} (V)	(%)	Flicker P _{st}	Frecuencia (Hz)
95 %	121,58	-4,27	125,67	-1,05	0,86	60
100 %	120,82	-4,87	125,67	-1,05	0,98	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los resultados de la Tabla 4 muestran que, bajo el régimen de conmutación de 60 minutos, las variaciones de la tensión eficaz permanecen dentro de un margen inferior al 5 % respecto al valor nominal. En este caso, el índice P_{st} presenta un incremento respecto a los regímenes de 10 y 30 minutos, alcanzando valores cercanos a 0,86 en el percentil 95 y 0,98 en el valor máximo registrado. Aunque estos valores continúan por debajo del umbral de severidad establecido por la normativa, evidencian una mayor sensibilidad del sistema ante intervalos de encendido más prolongados, sin comprometer la estabilidad global del comportamiento eléctrico de las lámparas LED.

Finalmente, se evaluó el comportamiento de las lámparas LED bajo régimen de operación continua, manteniéndolas encendidas durante un periodo ininterrumpido de 24 horas. Este escenario constituye una condición de referencia para analizar la estabilidad eléctrica del sistema en ausencia de transitorios asociados a la conmutación, permitiendo comparar los valores de tensión eficaz y del índice de flicker de corto plazo con aquellos obtenidos bajo regímenes cíclicos. Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Tensión eficaz e índice Pst en lámparas LED bajo operación continua.

Medición	V _{RMS_min} (V)	(%)	V _{RMS_max} (V)	(%)	Flicker P _{st}	Frecuencia (Hz)
95 %	121,04	-4,69	125,92	-0,85	0,34	60
100 %	120,13	-5,41	125,92	-0,85	0,40	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los valores presentados en la Tabla 5 evidencian que, bajo operación continua, las lámparas LED registran los niveles más bajos de severidad del flicker de corto plazo en comparación con los regímenes de conmutación evaluados. El índice P_{st} se mantiene por debajo de 0,40 tanto en el percentil 95 como en el valor máximo, mientras que las variaciones de la tensión eficaz permanecen dentro de márgenes inferiores al 5,5 % respecto al valor nominal. La ausencia de eventos de encendido y apagado elimina los transitorios que caracterizan a los regímenes cíclicos, contribuyendo a una mayor estabilidad del comportamiento eléctrico del sistema.

Además del análisis del flicker de corto plazo, se evaluó la severidad del flicker de largo plazo en las lámparas LED mediante el índice P_{lt} , calculado a partir de las ventanas de integración de dos horas generadas durante los ensayos de 24 horas. Este análisis permite examinar la estabilidad del sistema bajo condiciones prolongadas de funcionamiento y comparar el comportamiento global de las lámparas LED entre los distintos regímenes operativos definidos en la metodología. Los valores obtenidos para cada régimen se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Índice de flicker a largo plazo (P_{lt}) y eventos registrados en lámparas LED.

Intervalo operativo	$P_{lt95\%}$	$P_{ltm\acute{a}x}$	N.º de eventos	N.º de eventos RVC
10 min	0,58	0,61	2	0
30 min	0,63	0,67	0	0
60 min	0,78	0,82	1	0
24 h	0,33	0,36	0	0

Fuente: Cálculo de P_{lt} a partir de registros experimentales de 24 h.

Los resultados consignados en la Tabla 6 muestran que, en todos los regímenes de operación evaluados, las lámparas LED mantienen valores del índice P_{lt} inferiores a 1, tanto en el percentil 95 como en el valor máximo registrado. El régimen de operación continua presenta los valores más bajos de P_{lt} , con un máximo de 0,36, mientras que el régimen de 60 minutos de encendido registra los valores más elevados dentro de la tecnología LED, alcanzando un P_{lt} máximo de 0,82. No obstante, en ningún caso se observa una severidad del flicker de largo plazo que indique un comportamiento inestable bajo las condiciones experimentales consideradas.

3.2. Resultados de lámparas CFL

En las lámparas fluorescentes compactas se analizó inicialmente el régimen de conmutación cíclica con intervalos de encendido de 10 minutos, con el propósito de evaluar la respuesta del balastro electrónico frente a transitorios frecuentes de encendido y apagado. Este escenario permite comparar la estabilidad de la tensión eficaz y la severidad del flicker de corto plazo con los resultados obtenidos previamente para la tecnología LED bajo condiciones equivalentes. Los valores de tensión eficaz mínima y máxima, junto con los índices P_{st} registrados para este régimen, se presentan en la Tabla 7.

Los resultados de la Tabla 7 muestran que, bajo el régimen de conmutación de 10 minutos, las lámparas CFL presentan variaciones de la tensión eficaz del orden del 4 % al 5 % respecto al valor nominal, con valores del índice P_{st} que alcanzan hasta 0,64 en el valor máximo registrado.

Aunque estos valores se mantienen por debajo del umbral de severidad establecido para el flicker de corto plazo, la dispersión observada es mayor que la registrada en las lámparas LED bajo el mismo régimen, lo que evidencia una respuesta eléctrica menos estable del balastro electrónico frente a conmutaciones repetitivas.

Tabla 7. Tensión eficaz e índice P_{st} en lámparas CFL bajo conmutación 10 min ON / 2 s OFF.

Medición	V_{RMS_min} (V)	(%)	V_{RMS_max} (V)	(%)	Flicker P_{st}	Frecuencia (Hz)
95 %	122,01	-3,93	125,31	-1,33	0,55	60
100 %	120,60	-5,04	125,31	-1,33	0,64	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

A continuación, se evaluó el comportamiento de las lámparas CFL bajo un régimen de conmutación con intervalos de encendido de 30 minutos, el cual introduce periodos más prolongados de operación continua entre eventos de apagado. Este régimen permite analizar la respuesta del balastro electrónico frente a una menor frecuencia de conmutación y examinar su influencia sobre la estabilidad de la tensión eficaz y la severidad del flicker de corto plazo. Los valores registrados para este escenario se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Tensión eficaz e índice P_{st} en lámparas CFL bajo conmutación 30 min ON / 2 s OFF.

Medición	V_{RMS_min} (V)	(%)	V_{RMS_max} (V)	(%)	Flicker P_{st}	Frecuencia (Hz)
95 %	121,92	-4,00	125,31	-1,33	0,36	60
100 %	121,45	-4,37	125,31	-1,33	0,44	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los resultados consignados en la Tabla 8 indican que, bajo el régimen de 30 minutos de encendido, las lámparas CFL presentan valores del índice P_{st} inferiores a los observados en el régimen de 10 minutos, con un máximo de 0,44. Las variaciones de la tensión eficaz se mantienen dentro de márgenes similares a los registrados previamente, sin evidenciar incrementos significativos asociados al aumento del tiempo de encendido. Este comportamiento muestra que, en condiciones de conmutación menos frecuente, la severidad del flicker de corto plazo en las CFL no sigue una tendencia monotónica con el incremento del intervalo de encendido, sino que depende de la estabilidad instantánea del suministro eléctrico durante cada ciclo.

Posteriormente, se analizó el comportamiento de las lámparas CFL bajo un régimen de conmutación con intervalos de encendido de 60 minutos, el cual introduce periodos prolongados de operación continua entre eventos de apagado. Este escenario permite evaluar

la posible influencia de efectos térmicos acumulativos en el balastro electrónico y su impacto sobre la estabilidad de la tensión eficaz y la severidad del flicker de corto plazo. Los valores correspondientes a este régimen se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Tensión eficaz e índice Pst en lámparas CFL bajo conmutación 60 min ON / 2 s OFF.

Medición	V _{RMS_min} (V)	(%)	V _{RMS_max} (V)	(%)	Flicker P _{st}	Frecuencia (Hz)
95 %	122,05	-3,90	126,56	-0,35	0,54	60
100 %	121,57	-4,28	126,56	-0,35	0,62	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los resultados de la Tabla 9 muestran que, bajo el régimen de conmutación de 60 minutos, las lámparas CFL registran valores del índice P_{st} comparables a los observados en el régimen de 10 minutos, con un máximo de 0,62. Las variaciones de la tensión eficaz se mantienen dentro de márgenes inferiores al 5 %, sin evidenciar una relación directa entre el aumento del tiempo de encendido y un incremento progresivo del flicker de corto plazo. Este comportamiento confirma que, en regímenes cíclicos, la severidad del flicker en las CFL depende de la condición operativa específica más que del intervalo de encendido considerado de forma aislada.

Finalmente, se evaluó el comportamiento de las lámparas CFL bajo régimen de operación continua, manteniéndolas encendidas durante un periodo ininterrumpido de 24 horas. Este escenario permite analizar la estabilidad eléctrica del sistema en ausencia de transitorios de encendido y evaluar la severidad intrínseca del flicker de corto plazo asociada al funcionamiento prolongado del balastro electrónico. Los resultados correspondientes a este régimen se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Tensión eficaz e índice Pst en lámparas CFL bajo operación continua.

Medición	V _{RMS_min} (V)	(%)	V _{RMS_max} (V)	(%)	Flicker P _{st}	Frecuencia (Hz)
95 %	121,86	-4,04	126,22	-0,62	3,20	60
100 %	121,18	-4,59	126,22	-0,62	3,75	60

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los valores presentados en la Tabla 10 evidencian que, bajo operación continua, las lámparas CFL alcanzan los niveles más elevados de severidad del flicker de corto plazo registrados en todo el estudio. El índice P_{st} alcanza un valor máximo de 3,75, superando ampliamente los valores observados en los regímenes de conmutación cíclica. Este resultado indica una marcada inestabilidad eléctrica bajo funcionamiento prolongado, atribuible a la dinámica interna

del balastro electrónico y a su sensibilidad frente a variaciones sostenidas de la tensión de alimentación.

Además del análisis del flicker de corto plazo, se evaluó la severidad del flicker de largo plazo en las lámparas CFL mediante el índice P_{lt} , calculado a partir de las ventanas de integración generadas durante los ensayos de 24 horas. Este análisis permite examinar el comportamiento global de la tecnología CFL bajo distintos regímenes operativos y comparar la estabilidad prolongada del sistema entre operación cíclica y continua. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Índice de flicker a largo plazo (P_{lt}) en lámparas CFL bajo distintos regímenes de operación.

Intervalo operativo	Valor _{95%}	Valor _{máx}	N.º de eventos	N.º de eventos RVC
10 min	0,52	0,55	0	1
30 min	0,35	0,38	0	0
60 min	0,50	0,54	0	0
24 h	3,10	3,30	2	0

Fuente: Registros experimentales del analizador Fluke 1775.

Los resultados consignados en la Tabla 11 muestran que, en los regímenes de conmutación cíclica, las lámparas CFL mantienen valores del índice P_{lt} inferiores a 1, sin evidenciar una tendencia progresiva asociada al incremento del tiempo de encendido. En contraste, bajo operación continua, el índice P_{lt} alcanza valores elevados, con un percentil 95 de 3,10 y un valor máximo de 3,30, lo que evidencia una severidad significativa del flicker de largo plazo bajo funcionamiento prolongado. Estos resultados confirman que la condición de operación continua constituye el escenario más crítico para la tecnología CFL en términos de estabilidad eléctrica.

Con el fin de analizar la relación entre las fluctuaciones de la tensión eficaz y la severidad del flicker de largo plazo, se evaluó la diferencia máxima de tensión, ΔV , registrada durante cada ensayo y su correspondencia con los valores del índice P_{lt} obtenidos para ambos tipos de lámparas. Este análisis permite comparar la sensibilidad de las tecnologías LED y CFL frente a variaciones similares del suministro eléctrico y examinar si existe una relación directa entre la amplitud de la fluctuación de tensión y la severidad del flicker. Los valores calculados se presentan en la Tabla 12.

Los resultados de la Tabla 12 muestran que, en las lámparas LED, variaciones de la tensión

eficaz en el rango aproximado de 3 % a 4 % no se traducen en incrementos significativos del índice Plt, el cual se mantiene por debajo de 1 en todos los regímenes evaluados. En contraste, las lámparas CFL presentan una marcada sensibilidad a las fluctuaciones de tensión bajo operación continua, donde un valor de ΔV comparable se asocia con un incremento pronunciado del índice Plt. Esta diferencia evidencia la mayor capacidad de los controladores LED para desacoplar la carga luminosa de las perturbaciones del suministro eléctrico, en comparación con los balastos electrónicos de las CFL.

Tabla 12. Relación entre variación de tensión (ΔV) e índice Plt en lámparas LED y CFL.

Tipo de lámpara	Intervalo operativo	V_{RMS_min} (V)	V_{RMS_max} (V)	ΔV (V)	ΔV (%)	P_{lt}
LED	24 h	121,04	125,92	4,88	3,84	0,36
LED	60 min	121,58	125,67	4,09	3,22	0,78
LED	30 min	121,64	125,94	4,30	3,39	0,63
LED	10 min	122,15	126,18	4,03	3,17	0,58
CFL	24 h	121,86	126,22	4,36	3,43	3,310
CFL	60 min	122,05	126,56	4,51	3,55	0,56
CFL	30 min	121,92	125,31	3,39	2,67	0,38
CFL	10 min	122,01	125,31	3,30	2,60	0,57

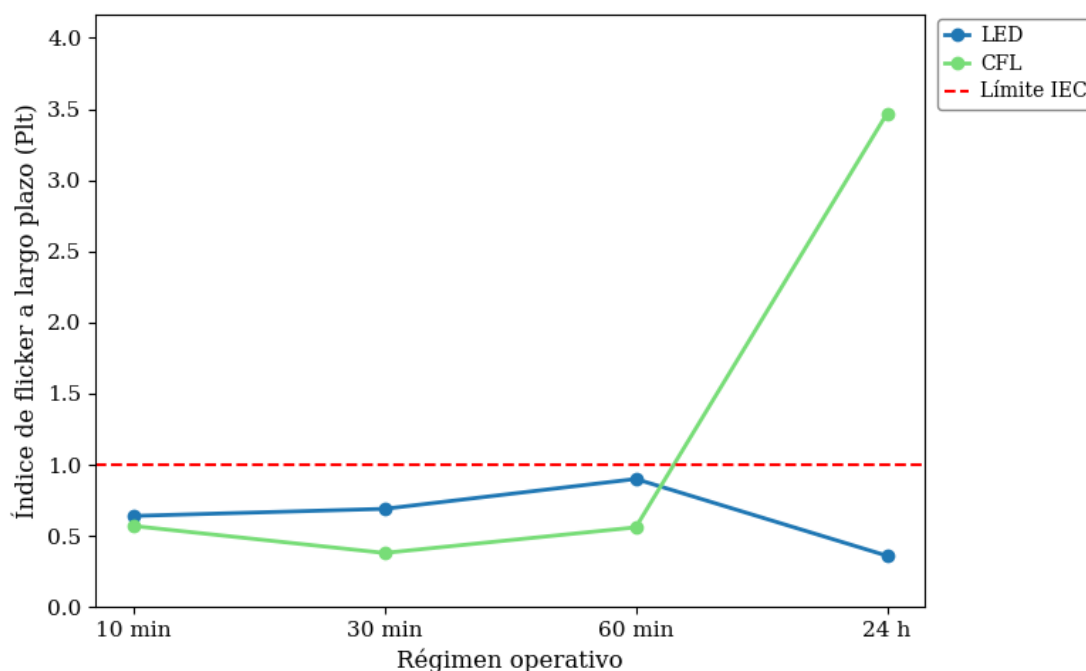
Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales.

Para visualizar de forma comparativa la severidad del flicker de largo plazo en ambas tecnologías, se representaron gráficamente los valores del índice P_{lt} obtenidos bajo los distintos regímenes operativos. La Figura 2 muestra la comparación directa de los valores de Plt para lámparas LED y CFL, permitiendo identificar diferencias en la estabilidad del comportamiento eléctrico frente a conmutación cíclica y operación continua.

La Figura 2 evidencia que las lámparas LED mantienen valores de P_{lt} bajos y relativamente constantes en todos los regímenes evaluados, mientras que las lámparas CFL presentan un incremento significativo del flicker de largo plazo bajo operación continua. Esta diferencia gráfica refuerza los resultados tabulares y confirma el comportamiento más estable de la tecnología LED frente a fluctuaciones de tensión sostenidas.

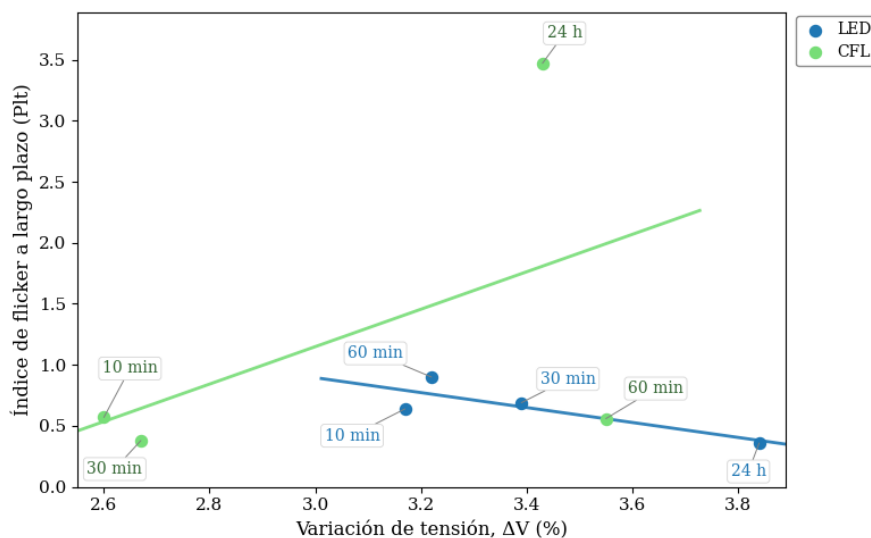
Con el objetivo de analizar la relación entre la variación de la tensión eficaz y la severidad del flicker de largo plazo, se representó gráficamente la correlación entre ΔV y el índice P_{lt} para ambas tecnologías. La Figura 3 muestra esta relación a partir de las ventanas de integración generadas durante los ensayos de 24 horas.

Figura 2. Comparación del índice de flicker a largo plazo (Plt) en lámparas LED y CFL.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos experimentales del estudio.

Figura 3. Correlación entre la variación de tensión eficaz (ΔV) y el índice Plt en lámparas LED y CFL.



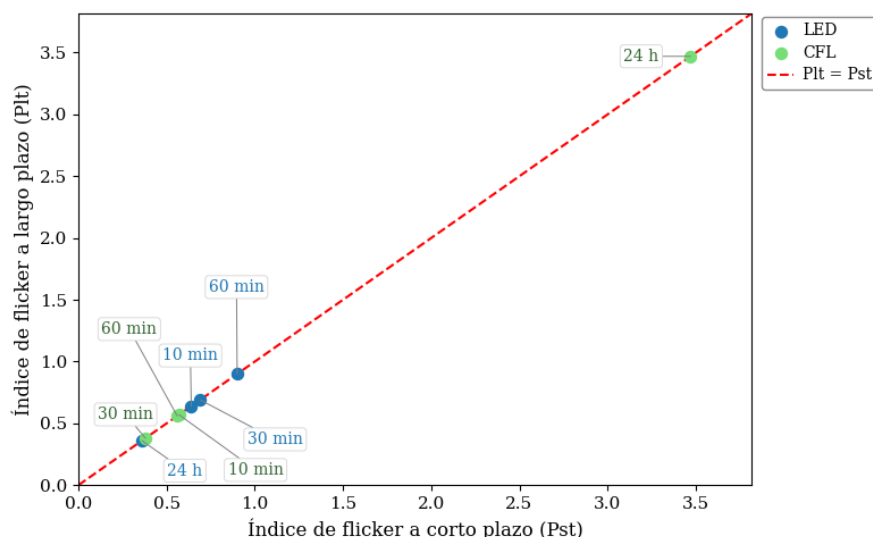
Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales.

La Figura 3 muestra que, en las lámparas LED, los cambios en ΔV no se reflejan en variaciones significativas del índice P_{lt} , lo que indica una respuesta prácticamente independiente de la amplitud de la fluctuación de tensión. En contraste, las lámparas CFL presentan una correlación positiva entre ΔV y P_{lt} , especialmente bajo operación continua, evidenciando una mayor sensibilidad del balastro electrónico ante perturbaciones del suministro.

Adicionalmente, se compararon los valores del índice de flicker de corto plazo, P_{st} , obtenidos

para lámparas LED y CFL en cada uno de los regímenes operativos evaluados. La Figura 4 presenta esta comparación, permitiendo examinar la estabilidad temporal del flicker de corto plazo en ambas tecnologías.

Figura 4. Comparación del índice de flicker de corto plazo (P_{st}) en lámparas LED y CFL.



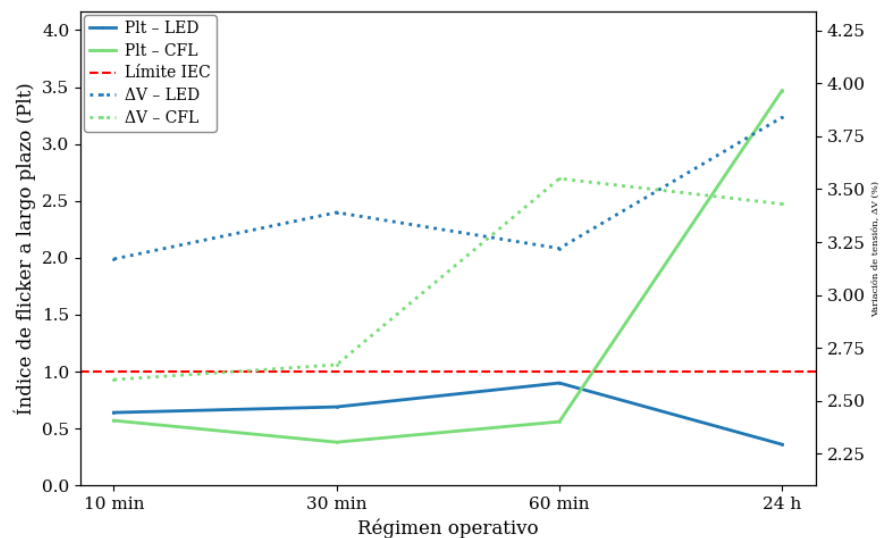
Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales.

La Figura 4 muestra que los valores de P_{st} en las lámparas LED permanecen bajos y presentan variaciones reducidas entre regímenes, mientras que en las lámparas CFL se observa una mayor dispersión, especialmente bajo operación continua. Esta diferencia indica que la severidad del flicker de corto plazo en CFL es más susceptible a las condiciones operativas y a la estabilidad instantánea del suministro.

Finalmente, se analizó la evolución temporal conjunta de la variación de la tensión eficaz y del índice de flicker de largo plazo a lo largo de los ensayos de 24 horas. La Figura 5 presenta esta evolución para ambas tecnologías, permitiendo observar el comportamiento dinámico del flicker bajo condiciones prolongadas de operación.

La Figura 5 evidencia que, aunque ambas tecnologías experimentan variaciones de tensión de magnitud comparable, la severidad del flicker permanece prácticamente constante en las lámparas LED, mientras que en las lámparas CFL aumenta de forma sostenida durante la operación continua. Este comportamiento confirma la mayor inmunidad de la tecnología LED frente a perturbaciones eléctricas prolongadas y la mayor sensibilidad de las CFL a efectos térmicos y eléctricos acumulativos.

Figura 5. Evolución conjunta de la variación de tensión (ΔV) y del índice Plt en lámparas LED y CFL durante 24 h.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales.

3.3 Discusión

Los resultados experimentales evidencian diferencias claras en el comportamiento del flicker eléctrico entre las tecnologías LED y CFL cuando se someten a regímenes de conmutación cíclica y a operación continua. De acuerdo con los valores de P_{st} y P_{lt} obtenidos y presentados en las Tabla 2 a la Tabla 12, la tecnología LED muestra un comportamiento eléctricamente estable, con índices de flicker de corto y largo plazo consistentemente bajos en todos los escenarios evaluados. Esta estabilidad se mantiene incluso bajo regímenes de conmutación prolongados y operación continua, lo que sugiere una adecuada capacidad de los controladores LED para mitigar la transferencia de fluctuaciones de tensión hacia la carga luminosa, en concordancia con lo reportado en estudios previos sobre calidad de energía en sistemas de iluminación electrónica (Delfino et al., 2019; Bisi et al., 2016).

En contraste, las lámparas CFL presentan un comportamiento más dependiente de la condición operativa. Si bien los regímenes de conmutación cíclica no generan valores de flicker que excedan los umbrales comúnmente aceptados, los resultados muestran una mayor dispersión de los índices P_{st} y una respuesta menos uniforme frente a variaciones de la tensión eficaz, como se observa en la Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y en la Figura 4. Esta variabilidad puede atribuirse a la dinámica interna del balastro electrónico, cuya respuesta ante transitorios de encendido y pequeñas fluctuaciones del suministro resulta más sensible en comparación con

los controladores utilizados en las lámparas LED, tal como se ha documentado en la literatura especializada (Masnicki et al., 2024; Panda et al., 2022).

La condición de operación continua constituye el escenario más crítico para las lámparas CFL. En este régimen, los valores elevados de P_{st} y P_{lt} reflejan una severidad significativa del flicker tanto a corto como a largo plazo, tal como se evidencia en las Tabla 10 y Tabla 11 y se visualiza de manera clara en la Figura 2. Este comportamiento puede asociarse a efectos térmicos acumulativos en los componentes del balastro electrónico y a la variación progresiva de su impedancia interna durante periodos prolongados de funcionamiento, lo que amplifica la sensibilidad del sistema ante fluctuaciones sostenidas de la tensión. Este fenómeno ha sido señalado previamente como un factor determinante en la generación de flicker en tecnologías de iluminación con electrónica de potencia menos robusta (Delfino et al., 2019).

El análisis conjunto de la variación de la tensión eficaz y del índice de flicker de largo plazo aporta información adicional sobre la respuesta diferencial de ambas tecnologías. Tal como se muestra en la Tabla 12 y en la Figura 3, las lámparas LED no presentan una correlación significativa entre ΔV y P_{lt} dentro del rango de variaciones de tensión observado, lo que indica una efectiva desacoplación entre el suministro eléctrico y la salida luminosa. Por el contrario, en las lámparas CFL se identifica una relación positiva entre ambos parámetros, especialmente bajo operación continua, lo que confirma su mayor vulnerabilidad frente a perturbaciones del suministro eléctrico.

Desde una perspectiva normativa, los resultados obtenidos para las lámparas LED se mantienen dentro de los niveles de severidad de flicker comúnmente aceptados en estudios de calidad de energía, mientras que las lámparas CFL, bajo determinadas condiciones de operación, pueden alcanzar valores que comprometen el confort visual y la estabilidad del suministro. No obstante, es importante señalar que los ensayos realizados corresponden a periodos controlados de 24 horas y no a ventanas estadísticas prolongadas como las consideradas en evaluaciones normativas integrales del suministro público, por lo que la interpretación de los resultados se limita al análisis comparativo experimental entre tecnologías y regímenes de operación.

En conjunto, la discusión de los resultados confirma que la arquitectura del controlador electrónico constituye un factor determinante en la generación y severidad del flicker eléctrico

en sistemas de iluminación. La mayor robustez observada en la tecnología LED frente a conmutaciones repetitivas y operación continua refuerza su idoneidad para aplicaciones residenciales y comerciales donde se requiere estabilidad eléctrica y confort visual, mientras que las lámparas CFL presentan mayores limitaciones bajo condiciones de funcionamiento prolongado, en concordancia con hallazgos reportados en investigaciones recientes sobre calidad de energía en redes de baja tensión.

4. CONCLUSIONES

El análisis experimental realizado permitió evidenciar que la severidad del flicker eléctrico depende de manera significativa tanto de la tecnología de iluminación empleada como del régimen de operación aplicado. Bajo las condiciones controladas de laboratorio evaluadas, las lámparas LED presentaron un comportamiento eléctrico estable en todos los escenarios analizados, manteniendo valores bajos de los índices de flicker de corto y largo plazo, incluso frente a conmutaciones repetitivas y operación continua durante 24 horas.

En los regímenes de conmutación cíclica, las lámparas LED mostraron una respuesta consistente, con variaciones moderadas de la tensión eficaz que no se tradujeron en incrementos relevantes del índice P_{st} ni en acumulación del flicker a largo plazo. La operación continua constituyó el escenario más estable para esta tecnología, al eliminar los transitorios asociados al encendido y apagado, lo que se reflejó en los valores más bajos de severidad del flicker registrados durante el estudio.

Las lámparas fluorescentes compactas exhibieron un comportamiento más dependiente de la condición operativa. Si bien los regímenes de conmutación cíclica no generaron niveles de flicker que excedieran los valores comúnmente aceptados, se observó una mayor dispersión de los índices P_{st} en comparación con las lámparas LED, lo que evidencia una menor estabilidad eléctrica del balastro electrónico frente a transitorios repetitivos y variaciones instantáneas de la tensión de alimentación.

La operación continua se identificó como el escenario más crítico para las lámparas CFL, registrándose valores elevados de los índices de flicker de corto y largo plazo. Este comportamiento sugiere la influencia de efectos térmicos y eléctricos acumulativos en el balastro electrónico, que incrementan la sensibilidad de esta tecnología frente a fluctuaciones sostenidas de la tensión

eficaz, comprometiendo el confort visual y la estabilidad del sistema de iluminación.

El análisis de la relación entre la variación de la tensión eficaz y el índice de flicker de largo plazo permitió establecer una respuesta claramente diferenciada entre ambas tecnologías. Mientras que en las lámparas LED no se observó una correlación significativa entre ΔV y P_{lt} dentro del rango de variaciones de tensión registrado, las lámparas CFL presentaron una mayor dependencia de la severidad del flicker respecto a las fluctuaciones del suministro eléctrico, especialmente bajo operación continua.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la arquitectura del controlador electrónico desempeña un papel determinante en la generación y mitigación del flicker eléctrico. Desde una perspectiva de calidad de energía, la tecnología LED demuestra una mayor robustez y estabilidad frente a regímenes de conmutación y funcionamiento prolongado, mientras que las lámparas CFL presentan limitaciones bajo determinadas condiciones operativas. Estos hallazgos aportan evidencia experimental relevante para la selección de tecnologías de iluminación en aplicaciones residenciales y comerciales, dentro del alcance definido por los ensayos realizados y sin extrapolar los resultados a una evaluación normativa integral del suministro público.

Contribución de los Autores (CRediT): RDTC: Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Administración del proyecto. RJPP: Investigación, Análisis formal, Visualización. MNVT: Investigación, Análisis formal, 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

- Bertoldi, P. (2004). European code of conduct to improve energy efficiency of power supply: The first policy action around the worldwide addressing external power supplies. En *Proceedings of the Nineteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2014)* (pp. 329–331). IEEE. <https://doi.org/10.1109/APEC.2004.1295830>
- Bisi, D., Meneghesso, G., Rossetto, I., Ruzzarin, M., Meneghini, M., & Zanoni, E. (2016). Reliability of power devices: Bias-induced threshold voltage instability and dielectric breakdown in GaN MIS-HEMTs. En *Proceedings of the 2016 IEEE International Integrated Reliability Workshop (IIRW)* (pp. 35–40). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IIRW.2016.7904896>

- Collin, A. J., Djokic, S. Z., Drapela, J., Langella, R., & Testa, A. (2019). Light flicker and power factor labels for comparing LED lamp performance. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(6), 7062–7070. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2919643>
- Comité Europeo de Normalización Electrotécnica. (2010). *EN 50160: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems*. CENELEC.
- Delfino, A. S., Brandão, R. P., Bumpus, T. S., Fortes, M. Z., Henriques, H. O., & Ferreira, V. H. (2019). Evaluation of the impact of LED and compact fluorescent lamps on the PLC transmission with X-10 technology. En *Proceedings of the 2019 IEEE Milan PowerTech*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/PTC.2019.8810525>
- IEEE Standards Association. (2015). *IEEE Std 1789-2015: IEEE recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7118618>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2010). *IEEE Std 1459-2010: Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2010.5439063>
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (2017). *Informe técnico de eficiencia energética en luminarias LED y CFL en el Ecuador*. INER. <https://www.iner.gob.ec>
- International Energy Agency. (2020). *Energy efficiency 2020*. IEA. <https://www.iea.org>
- International Electrotechnical Commission. (2010). *IEC 61000-4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter: Functional and design specifications*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2015). *IEC 61000-4-30: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2019). *IEC 61000-4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation*. IEC.
- Lazaroiu, G. C., Golovanov, N., Elefterescu, L., Roscia, M., & Zaninelli, D. (2018). Assessment of flicker perturbations in power systems with multiple disturbing consumers. En

- Proceedings of the 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2018.8378847>
- LightingEurope. (2018). *Light emitting diode lighting flicker, its impact on health and the need to minimise it*. LightingEurope Association. <https://www.lightingeurope.org>
- Maheswaran, D., Rangaraj, V., Jembu Kailas, K. K., & Adithya Kumar, W. (2012). Energy efficiency in electrical systems. En *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/PEDES.2012.6484460>
- Masnicky, R., Mindykowski, J., Palczynska, B., & Werner, D. (2024a). Modern light sources on the ship. En *Proceedings of the 2024 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea: Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/MetroSea62823.2024.10765716>
- Masnicky, R., Mindykowski, J., Palczynska, B., & Werner, D. (2024b). Research on the flicker effect in modern light sources powered by an electrical network. *Energies*, 17(20), 5080. <https://doi.org/10.3390/en17205080>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2012). *Programa de sustitución de luminarias ineficientes: Cambia tu foco*. MEER. <https://www.recursosyenergia.gob.ec>
- Panda, G., Dash, P. K., Pradhan, A. K., & Meher, S. K. (2022). Data compression of power quality events using the slantlet transform. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 17(2), 662–667. <https://doi.org/10.1109/61.997957>
- Wilkins, A. J., & Lehman, B. (2014). Designing to mitigate effects of flicker in LED lighting: Reducing risks to health and safety. *IEEE Power Electronics Magazine*, 1(3), 18–26. <https://doi.org/10.1109/MPEL.2014.2330442>
- Zhang, R., & Xu, J. F. (2008). The application of wavelet in the short-term flicker severity calculation. En *Proceedings of the 2008 International Symposium on Information Science and Engineering*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISISE.2008.289>