

Análisis experimental de la calidad de energía en lámparas led y cfl bajo regímenes de encendido y apagado cíclico

Experimental Analysis of Power Quality in LED and CFL Lamps Under Cyclic Switching Regimes

Rubén Darío Tirira Chulde, Zandro Jheron Villalva Tamayo

¹ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador. Email: dtirira@tecnologicosucre.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador. Email: villalva.zandro@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.61236/ciya.v10i1.1228>

Recibido: 12 de octubre de 2025 • Revisión aceptada: 27 de noviembre de 2025.

Resumen

El estudio evaluó experimentalmente la influencia de distintos regímenes de encendido y apagado sobre la calidad de la energía en lámparas LED y CFL mediante un enfoque cuantitativo en un circuito monofásico de 127 V y 60 Hz. Se instalaron seis lámparas de 80 W por tecnología conectadas en paralelo y se realizaron mediciones con un analizador de calidad de energía Fluke 1775 de clase A conforme a las especificaciones de medición establecidas por la IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-7 e IEC 61000-4-15. Los parámetros analizados fueron la distorsión armónica total de tensión, el armónico de tercer orden, el flicker de largo plazo y el número de eventos transitorios. Se aplicaron cuatro regímenes operativos que incluyeron un ensayo continuo de veinticuatro horas y tres ciclos de encendido de 60, 30 y 10 min con intervalos de apagado de 2 s. Los resultados mostraron que la distorsión armónica y la cantidad de eventos aumentan con la frecuencia de conmutación, siendo más pronunciados en las lámparas LED. En operación continua las lámparas CFL presentaron el valor más alto de flicker, mientras que las LED evidenciaron mayor impacto en condiciones de encendido repetitivo. Estos hallazgos permiten caracterizar el comportamiento eléctrico de ambas tecnologías en escenarios con diferentes patrones de conmutación.

Palabras Clave: Calidad de la energía eléctrica; Iluminación; Eficiencia energética; Armónicos; Corriente alterna; Equipos eléctricos; Perturbaciones eléctricas.

Abstract

This study experimentally evaluated the influence of different ON and OFF operating regimes on the power quality of LED and CFL lamps using a quantitative approach in a single phase 127 V, 60 Hz circuit. Six 80 W lamps per technology were connected in parallel and measurements were performed using a Class A Fluke 1775 power quality analyzer operating in compliance with IEC 61000 4 30, IEC 61000 4 7 and IEC 61000 4 15 measurement specifications. The parameters analyzed included voltage total harmonic distortion, third order harmonic content, long term flicker and the number of transient events. Four operating regimes were applied comprising a continuous twenty four hour test and three cyclic ON periods of 60, 30 and 10 min with 2 s OFF intervals. Results indicated that both harmonic distortion and event count increased as switching frequency rose, with LED lamps exhibiting the most pronounced variation. Under continuous operation CFL lamps presented the highest flicker level while LED lamps produced a greater impact under repetitive switching. These findings characterize the electrical behavior of both technologies in scenarios with varying switching patterns.

Key words: Electric power quality; Lighting; Energy efficiency; Harmonics; Alternating current; Electrical equipment; Electrical disturbances.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de la energía eléctrica constituye un aspecto esencial para el funcionamiento eficiente y seguro de los sistemas eléctricos, dado que irregularidades en la alimentación pueden provocar fallos operativos, sobrecalentamientos y reducción de la vida útil de los equipos [1], [2]. La sustitución progresiva de tecnologías de iluminación tradicionales por lámparas fluorescentes compactas y luminarias basadas en diodos emisores de luz ha representado un avance en términos de eficiencia energética; no obstante, estas tecnologías integran balastos electrónicos y convertidores que modifican la forma de onda de corriente, generando armónicos, fluctuaciones de tensión y fenómenos de parpadeo luminoso [3], [5]. Tales perturbaciones pueden afectar la estabilidad del suministro y alterar el desempeño de redes residenciales y comerciales.

Estudios recientes reportan que la operación de cargas no lineales produce distorsiones armónicas y variaciones de tensión que dependen del diseño electrónico de cada lámpara y del régimen de funcionamiento aplicado [6], [7]. Las lámparas fluorescentes compactas suelen presentar una respuesta transitoria marcada durante el arranque, mientras que las lámparas LED tienden a generar variaciones bruscas de corriente en los instantes de conmutación debido a la recarga de los elementos electrónicos internos [7], [8]. Cuando estos

fenómenos se presentan de manera repetitiva pueden aumentar la distorsión armónica total, el contenido de armónicos impares y la probabilidad de eventos transitorios, afectando la estabilidad eléctrica.

Con el propósito de analizar estos efectos, el presente estudio evalúa el comportamiento de lámparas LED y CFL sometidas a diferentes regímenes de encendido y apagado mediante mediciones realizadas con un analizador de calidad de energía de clase A conforme a los procedimientos establecidos en la IEC 61000 4 30, la IEC 61000 4 7 y la IEC 61000 4 15 [3], [4], [5]. Se aplicaron ensayos en régimen continuo y tres ciclos cíclicos con duraciones distintas, que permitieron identificar la influencia de la frecuencia de conmutación sobre parámetros como la distorsión armónica total, el contenido del tercer armónico, el índice de flicker de largo plazo y la cantidad de eventos registrados. Los resultados permiten establecer criterios para la selección y uso adecuado de tecnologías de iluminación en instalaciones residenciales y comerciales con patrones de conmutación variables.

El objetivo de este estudio es analizar experimentalmente el efecto de distintos regímenes de encendido y apagado sobre la calidad de la energía en lámparas LED y CFL mediante la evaluación comparativa de la distorsión armónica total, el contenido del tercer armónico, el flicker de largo

plazo y la cantidad de eventos registrados, utilizando un Analizador de Calidad de Energía Fluke 1775 y siguiendo los lineamientos de medición establecidos por las normas IEC 61000 4 30, IEC 61000 4 7 e IEC 61000 4 15.

2. METODOLOGÍA

2.1. Configuración experimental

El estudio se desarrolló mediante un enfoque experimental orientado a evaluar parámetros de calidad de energía en lámparas LED y CFL bajo diferentes regímenes de funcionamiento. Los ensayos se realizaron en un entorno de laboratorio alimentado en monofásico a 127 V y 60 Hz, asegurando estabilidad durante todo el proceso. Para cada tecnología se construyó un módulo de prueba compuesto por seis lámparas de 80 W conectadas en paralelo con el fin de obtener un comportamiento promedio representativo y reducir la variabilidad individual entre dispositivos del mismo tipo.

2.2. Instrumentación y parámetros medidos

Las mediciones se realizaron utilizando un analizador de calidad de energía Fluke 1775 clase A en concordancia con las especificaciones establecidas en las normas IEC 61000 4 30, IEC 61000 4 7 e IEC 61000 4 15 [3]–[5]. El instrumento registró la distorsión armónica total de tensión, el contenido del tercer armónico, el índice de flicker de largo plazo y los eventos asociados tales como caídas de tensión, transitorios y cambios rápidos de

tensión. Los datos obtenidos fueron procesados en el software Energy Analyze, permitiendo consolidar los valores promedios y máximos utilizados en el análisis posterior.

2.3. Regímenes de operación

Se evaluaron cuatro regímenes de funcionamiento con una duración de veinticuatro horas cada uno. El primero correspondió a un régimen continuo sin interrupciones. Los tres restantes consistieron en ciclos de 60 min, 30 min y 10 min de encendido, acompañados por intervalos de apagado de 2 s entre cada repetición. La temporización de los ciclos se gestionó mediante un sistema automatizado y se verificó mediante los registros del analizador para asegurar el cumplimiento exacto de los intervalos programados.

Tabla 1. Parámetros de los regímenes de encendido y apagado empleados en los ensayos

Régimen	Tiempo de encendido (min)	Tiempo de apagado (s)	Duración total (h)	Descripción
Continuo	1440	0	24	Operación ininterrumpida durante 24 h
Cíclico 1	60	2	24	60 min ON – 2 s OFF, repetido

Régimen	Tiempo de encendido (min)	Tiempo de apagado (s)	Duración total (h)	Descripción
Cíclico 2	30	2	24	30 min ON – 2 s OFF, repetido
Cíclico 3	10	2	24	10 min ON – 2 s OFF, repetido

2.4. Procesamiento de datos

Una vez finalizado cada ensayo, los registros fueron exportados al software Energy Analyze para consolidar las series temporales, obtener valores promedio y máximos y estructurar los conjuntos de datos utilizados para las tablas y figuras presentadas en la sección de análisis de resultados. La organización de los valores siguió los procedimientos definidos por las normas IEC 61000 4 30 y IEC 61000 4 7, garantizando trazabilidad y consistencia en el análisis comparativo entre tecnologías y ciclos.

2.5. Criterios de interpretación

El parámetro de flicker corresponde al cálculo interno del analizador conforme a la metodología establecida en la IEC 61000 4 15. La distorsión armónica total se denota como THDv y el contenido del tercer armónico como tercer armónico. Los eventos registrados se identificaron según los umbrales automáticos establecidos por el Fluke 1775, alineados con los criterios definidos en

la IEC 61000 4 30. La interpretación de cada valor se realizó considerando los límites establecidos por las normas internacionales aplicables a redes de baja tensión.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se presentan en función de los distintos regímenes de operación aplicados a cada tecnología, con el propósito de analizar el comportamiento de los indicadores de calidad de energía: distorsión armónica total de tensión THDv, componente armónico de tercer orden h_3 , índice de flicker de largo plazo Plt y número de eventos registrados. Los valores reportados corresponden a los promedios medidos durante las 24 horas de ensayo para cada tipo de lámpara.

3.1. Ensayo en encendido continuo

Durante el régimen continuo de veinticuatro horas, ambas tecnologías operaron sin interrupciones, lo que permitió caracterizar su comportamiento en condiciones de funcionamiento estable. En este escenario los eventos asociados a procesos de conmutación son mínimos y predominan los efectos derivados de la electrónica interna de las lámparas en régimen permanente. En la Tabla 2 se sintetizan los resultados obtenidos en el régimen continuo.

Tabla 2. Comparación de parámetros eléctricos entre lámparas CFL y LED bajo régimen continuo de 24 horas

Aspecto	Lámpara CFL	Lámpara LED
Frecuencia nominal [Hz]	60	60
Tensión nominal [V]	127	127
Eventos totales registrados	92	78
Caídas de tensión	1	1
Transitorios	0	0
Cambios rápidos de tensión	0	0
THDv [%]	5,24	5,09
3.er armónico (h_3) [%]	4,42	4,06
Flicker (Plt)	3,47	1,74
% Dentro del límite (Plt) [%]	90,91	90,91

La Tabla 2 muestra que los valores de THDv se mantienen por debajo del límite del ocho por ciento establecido por la EN 50160 [9], con ligeras diferencias entre CFL y LED. El componente h_3 también presenta valores similares en ambas

tecnologías. En cambio, el flicker de largo plazo es considerablemente mayor en las CFL, alcanzando Plt igual a 3,47, mientras que en las LED se obtiene Plt igual a 1,74. Este resultado indica que, bajo operación continua, el parpadeo perceptible es más severo en las lámparas fluorescentes compactas, lo que se asocia al comportamiento térmico sostenido de sus balastos electrónicos.

3.2. Ciclo de 60 min encendido y 2 s apagado

En el régimen cíclico de sesenta minutos encendido y dos segundos apagados se introduce una conmutación moderada, lo que permite evaluar la respuesta de cada tecnología ante interrupciones periódicas de mayor duración. En este caso se espera un aumento en el número de eventos asociados al proceso de reencendido, así como variaciones en los niveles de distorsión armónica y flicker.

Tabla 3. Comparación de parámetros eléctricos entre lámparas CFL y LED bajo ciclo de 60 min encendido y 2 s apagado (datos medidos durante el ciclo de 60 min encendido y 2 s apagado en un periodo de 24 horas para cada tecnología.)

Aspecto	Lámpara CFL	Lámpara LED
Frecuencia nominal [Hz]	60	60
Tensión nominal [V]	127	127

Aspecto	Lámpara CFL	Lámpara LED
Eventos totales registrados	133	179
Caídas de tensión	0	2
Transitorios	11	9
Cambios rápidos de tensión	0	0
THDv [%]	5,53	6,09
3.er armónico (h_3) [%]	4,64	5,15
Flicker (Plt)	3,56	3,26
% Dentro del límite (Plt) [%]	100	90,91

Al comparar la Tabla 3 con la Tabla 2 se observa un incremento en la cantidad de eventos para ambas tecnologías, más pronunciado en las LED, que alcanzan 179 eventos frente a 133 en las CFL. La distorsión armónica total de tensión aumenta en las dos tecnologías, aunque los valores de las LED son superiores a los de las CFL. El componente h_3 sigue la misma tendencia. En cuanto al flicker, las CFL se mantienen dentro del límite normativo con Plt igual a 0,56, mientras que las LED registran Plt igual a 3,26, superando el valor de referencia definido por la IEC 61000 4 15 [5]. Este comportamiento evidencia que la tecnología LED es más sensible a ciclos prolongados de encendido y apagado.

3.3. Ciclo de 30 min encendido y 2 s apagado

Al reducir el tiempo de encendido a treinta minutos, la frecuencia de conmutación aumenta y los periodos de funcionamiento estable son más cortos. Esto permite analizar si el incremento en el número de conmutaciones modifica de manera significativa los parámetros de calidad de energía en comparación con el ciclo de sesenta minutos.

Tabla 4. Comparación de parámetros eléctricos entre lámparas CFL y LED bajo ciclo de 30 min encendido y 2 s apagado (resultados del ciclo de 30 min encendido y 2 s apagado en 24 horas de prueba.)

Aspecto	Lámpara CFL	Lámpara LED
Frecuencia nominal [Hz]	60	60
Tensión nominal [V]	127	127
Eventos totales registrados	160	194
Caídas de tensión	0	0
Transitorios	13	25
Cambios rápidos de tensión	0	0
THDv [%]	5,38	5,99

Aspecto	Lámpara CFL	Lámpara LED
3.er armónico (h_3) [%]	4,58	4,97
Flicker (Plt)	0,38	0,46
% Dentro del límite (Plt) [%]	100	100

La Tabla 4 evidencia que el número de eventos continúa creciendo con la reducción del tiempo de encendido, especialmente en las LED, que alcanzan 194 eventos. Sin embargo, el flicker disminuye en ambas tecnologías y se mantiene dentro de los límites aceptables, con valores de Plt inferiores a 0,5. Los valores de THDv permanecen por debajo del ocho por ciento en ambos casos, aunque las LED mantienen niveles de distorsión armónica ligeramente superiores a los de las CFL. Esto sugiere que la reducción del tiempo de encendido atenúa el efecto de parpadeo, pero no elimina la naturaleza más no lineal de las LED.

3.4. Ciclo de 10 min encendido y 2 s apagado

El ciclo de diez minutos encendido y dos segundos apagados representa el régimen de conmutación más exigente del estudio. En este contexto se evalúa el efecto de una frecuencia de encendido elevada sobre la estabilidad de la tensión y la forma de onda, así como sobre la generación de eventos y transitorios.

Tabla 5. Comparación de parámetros eléctricos entre lámparas CFL y LED bajo ciclo de 10 min encendido y 2 s apagado (datos registrados durante el ciclo de 10 min encendido y 2 s apagado en un periodo de 24 horas para cada tecnología.)

Aspecto	Lámpara CFL	Lámpara LED
Frecuencia nominal [Hz]	60	60
Tensión nominal [V]	127	127
Eventos totales registrados	278	419
Caídas de tensión	0	1
Transitorios	39	54
Cambios rápidos de tensión	1	1
THDv [%]	5,62	6,11
3.er armónico (h_3) [%]	4,97	5,17
Flicker (Plt)	0,57	0,54

% Dentro del límite (Plt) [%]	100	100
-------------------------------	-----	-----

En la Tabla 5 se observa el mayor número de eventos de toda la campaña de ensayos, con 419 eventos en las LED y 278 en las CFL. Los valores de THDv alcanzan sus máximos en este ciclo, con 6,11 por ciento para las LED y 5,62 por ciento para las CFL, aunque todavía dentro del límite de la EN 50160 [9]. El componente h3 también presenta sus valores más elevados, especialmente en las LED. El flicker se mantiene por debajo del límite en ambas tecnologías, lo que indica que, a pesar de la alta frecuencia de conmutación, la percepción de parpadeo sigue siendo aceptable, aunque a costa de un incremento en la cantidad de eventos y en la distorsión armónica.

3.5. Resumen general de parámetros en regímenes cíclicos

Con el propósito de sintetizar el comportamiento de las lámparas CFL y LED en los distintos regímenes cíclicos se elaboró un resumen comparativo que integra los valores de frecuencia, tensión, eventos, THDv, tercer armónico, flicker y porcentaje dentro del límite de flicker para cada combinación de ciclo y tecnología.

Tabla 6. Resumen general de parámetros eléctricos para lámparas CFL y LED en regímenes cíclicos (datos comparativos de las lámparas CFL y LED en los diferentes ciclos de encendido.)

Parámetro	CFL 60min on/off	CFL 30min on/off	CFL 10min on/off	LED 60min on/off	LED 30min on/off	LED 10min on/off
Frecuencia nominal [Hz]	60	20	60	60	60	60
Tensión nominal [V]	127	127	127	127	127	127
Eventos totales registrados	133	160	278	179	194	419
Caídas de tensión	0	0	0	2	0	1
Transitorios	11	13	39	9	25	54
Cambios rápidos de tensión	0	0	1	0	0	1
Valor de THDv [%]	5,53	5,38	5,62	6,09	5,99	6,11
Valor del 3.er armónico (h ₃) [%]	4,64	4,58	4,97	5,15	4,97	5,17
Valor del flicker (Plt)	0,56	0,38	0,57	3,26	0,46	0,54

% dentro del límite (Plt) [%]	100	100	100	100	100	100
-------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

La Tabla 6 permite apreciar que el número de eventos aumenta de manera casi proporcional a la frecuencia de conmutación, especialmente en las lámparas LED. La distorsión armónica total y el tercer armónico también muestran valores sistemáticamente superiores en las LED respecto de las CFL para todos los ciclos, mientras que el flicker solo presenta valores críticos en el ciclo de sesenta minutos de las LED y en el régimen continuo de las CFL.

3.6. Análisis gráfico de THDv, h3, transitorios y eventos

Con el objetivo de representar visualmente las tendencias identificadas en las tablas anteriores se elaboraron figuras que ilustran la variación de la distorsión armónica total, el componente h3, el número de transitorios y los eventos totales en función del tipo de lámpara y del régimen de operación.

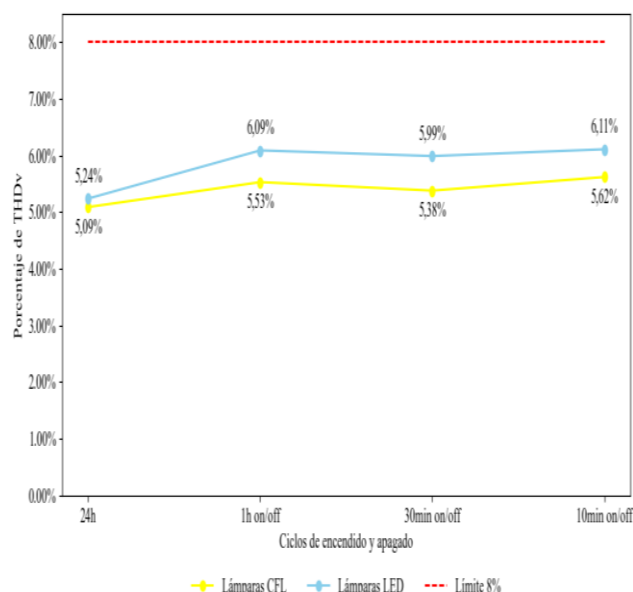


Figura 1. Variación de la distorsión armónica total de tensión THDv según el ciclo y tipo de lámpara.

La Figura 1 muestra que todos los valores de THDv se mantienen por debajo del ocho por ciento en los diferentes regímenes. Sin embargo, se observa una tendencia creciente en las lámparas LED conforme se reduce el tiempo de encendido, mientras que en las CFL las variaciones son más moderadas. Este comportamiento confirma que las LED presentan una sensibilidad mayor a la conmutación frecuente en términos de distorsión armónica.

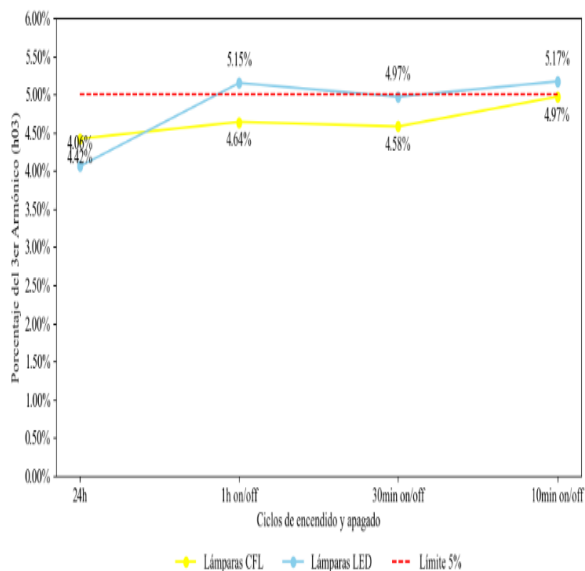


Figura 2. Comparación del componente armónico de tercer orden h3 según el ciclo y tipo de lámpara.

En la Figura 2 se aprecia que el componente h3 es sistemáticamente más elevado en las LED y supera el cinco por ciento en los ciclos de sesenta y diez minutos. Las CFL, en cambio, permanecen por debajo de ese umbral en todos los regímenes. Esta diferencia sugiere que los convertidores internos de las LED inducen un comportamiento más no lineal y una mayor inyección de armónicos homopolares en redes de baja tensión [1], [11].

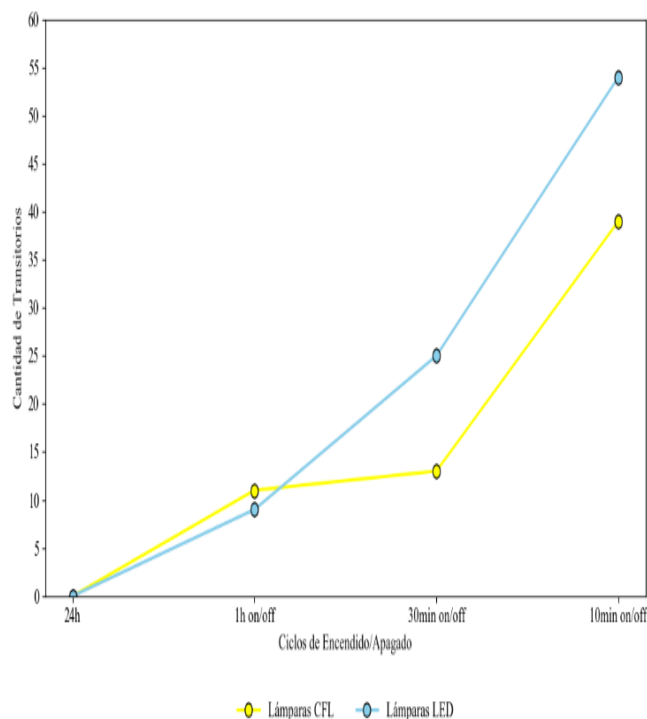


Figura 3. Variación del número de transitorios según el ciclo y tipo de lámpara.

La Figura 3 evidencia que la cantidad de transitorios de tensión aumenta con la frecuencia de conmutación, siendo más pronunciada en las lámparas LED. En los ciclos de treinta y diez minutos el número de transitorios en las LED se incrementa de forma significativa, mientras que en las CFL el crecimiento es más gradual. Este efecto se asocia a la energización repetitiva de los condensadores de entrada y a las corrientes de irrupción instantáneas generadas por los puentes rectificadores en las LED [14].

Tabla 7. Comparación de la cantidad de eventos registrados por ciclo y tipo de lámpara

Tipo de lámpara	Número de eventos totales registrados
LED 24 horas en encendido continuo	78
LED 60 minutos on/off	179
LED 30 minutos on/off	194
LED 10 minutos on/off	419
CFL 24 horas en encendido continuo	92
CFL 60 minutos on/off	133
CFL 30 minutos on/off	160
CFL 10 minutos on/off	278

Fuente. Elaboración propia a partir de datos registrados para lámparas CFL y LED en cada ciclo de encendido.

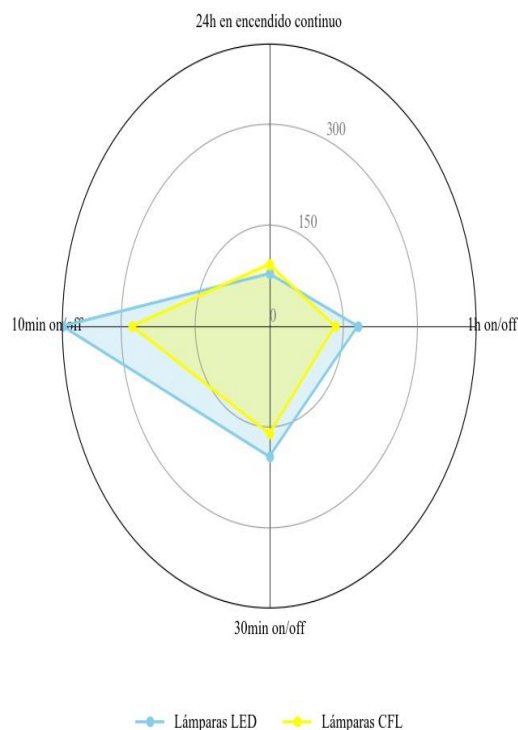


Figura 4. Comparación de la cantidad de eventos registrados por ciclo y tipo de lámpara.

La Tabla 7 y la Figura 4 complementan el análisis anterior al mostrar de manera integrada la evolución de los eventos totales. En el régimen continuo las CFL presentan un número de eventos ligeramente superior al de las LED, pero en los regímenes cíclicos la situación se invierte y las LED superan consistentemente a las CFL en todos los casos. El ciclo de diez minutos encendido y dos segundos apagados presenta la mayor cantidad de eventos para ambas tecnologías, con una diferencia considerable a favor de las LED, que alcanzan 419 eventos. Esta tendencia confirma que las lámparas LED generan un impacto acumulativo más severo sobre la estabilidad del sistema eléctrico cuando operan con conmutaciones frecuentes.

3.7. Discusión integrada de los resultados

Los resultados permiten identificar un comportamiento claramente diferenciado entre las tecnologías LED y CFL frente a variaciones en la frecuencia de conmutación. El incremento en la distorsión armónica, en el tercer armónico y en el número de eventos registrados se correlaciona de manera directa con la reducción del tiempo de encendido, lo que se evidencia en las Tablas 3 a 6 y en las Figuras 1 a 4. Estos hallazgos coinciden con lo reportado en estudios donde se analiza la influencia de las cargas electrónicas no lineales sobre la calidad de la energía en redes de baja tensión [6], [7], [15], [16].

En el caso de la distorsión armónica total de tensión, los valores se mantienen dentro del límite normativo, pero las lámparas LED presentan incrementos sistemáticos a medida que aumenta la frecuencia de conmutación, alcanzando el máximo en el ciclo de diez minutos encendido y dos segundos apagados. Este comportamiento se asocia a la interacción entre los condensadores de entrada y los puentes rectificadores de las etapas de conversión AC DC, que al energizarse de manera repetitiva generan picos de corriente con alto contenido armónico [1], [11]. Las CFL, al incorporar balastos con componentes de carácter inductivo, muestran una respuesta más estable ante

los regímenes cíclicos y menor variación relativa de THDv.

El armónico de tercer orden h_3 , de carácter homopolar, se presenta con valores más elevados en las lámparas LED, superando el cinco por ciento en los ciclos de sesenta y diez minutos, mientras que en las CFL se mantiene por debajo de ese valor. Este fenómeno es especialmente relevante en instalaciones monofásicas múltiples, donde la acumulación de armónicos homopolares en el conductor neutro puede provocar sobrecalentamientos y pérdidas adicionales, tal como advierten las recomendaciones de IEEE Std 519 [11].

En cuanto al flicker de largo plazo, las lámparas LED exhiben valores críticos en el ciclo de sesenta minutos encendido y dos segundos apagados, mientras que las CFL presentan su valor más alto en el régimen continuo. Esta diferencia sugiere que las CFL son más susceptibles a efectos térmicos prolongados, mientras que las LED responden de manera más crítica a ciclos extensos de conmutación. En el resto de los ciclos cíclicos ambos tipos de lámparas se mantienen dentro del límite de Plt igual a uno establecido por la IEC 61000 4 15 [5].

El análisis de los transitorios de tensión y de los eventos totales indica que las lámparas LED son más propensas a generar perturbaciones momentáneas en cada ciclo de encendido. La

energización repetitiva de sus condensadores de entrada produce corrientes de irrupción que se traducen en picos de tensión y en un incremento notable de los eventos detectados por el analizador, especialmente en el ciclo de diez minutos. Este comportamiento coincide con lo señalado en investigaciones sobre la interacción de cargas electrónicas con redes de distribución de baja potencia [14], [15].

En conjunto, los resultados demuestran que, si bien las lámparas LED ofrecen ventajas en términos de eficiencia energética y vida útil, su electrónica interna impacta de manera más intensa sobre la calidad de la energía en condiciones de conmutación repetitiva. Las CFL, por su parte, presentan menor distorsión armónica y mejor estabilidad eléctrica en los regímenes cíclicos, aunque con un flicker más elevado en operación continua. Estas características deben considerarse en el diseño e implementación de sistemas de iluminación residenciales y comerciales con altos niveles de automatización o conmutación frecuente, donde puede ser necesario complementar el uso de lámparas LED con filtros armónicos o estrategias de mitigación adecuadas.

4. CONCLUSIONES

- El estudio permitió establecer la influencia directa que ejerce la frecuencia de conmutación sobre la calidad de la energía en lámparas LED y CFL. A medida que disminuyó el tiempo de encendido aumentaron la distorsión armónica total, el componente h_3 , los transitorios y el número total de eventos registrados, especialmente en las lámparas LED. Estos resultados evidencian que la electrónica interna de las LED presenta una mayor susceptibilidad frente a ciclos frecuentes de encendido y apagado.
- Los valores de THDv obtenidos se mantuvieron por debajo del límite del ocho por ciento establecido en la EN 50160; sin embargo, las LED mostraron un incremento sistemático en este parámetro en los regímenes cíclicos, alcanzando su máximo en el ciclo de diez minutos encendido y dos segundos apagados. El tercer armónico también presentó valores más altos en las LED, superando el cinco por ciento en varios de los ciclos evaluados, lo cual resalta el carácter no lineal más marcado de sus convertidores AC DC.
- En cuanto al flicker, las CFL presentaron el valor más elevado durante la operación continua, mientras que las LED alcanzaron valores críticos en el ciclo de sesenta

minutos, lo que refleja diferencias en la respuesta térmica y electrónica de cada tecnología. En el resto de los regímenes, ambos tipos de lámparas se mantuvieron dentro del límite establecido por la IEC 61000 4 15

- De manera general, las lámparas LED presentan ventajas en eficiencia energética y duración, pero sus características electrónicas las hacen más sensibles a los regímenes de conmutación repetitiva desde el punto de vista de calidad de energía. Las CFL, aunque menos eficientes, mantienen una respuesta más estable en ciclos intermitentes. La selección de la tecnología de iluminación debe considerar el patrón de uso y la frecuencia de conmutación para evitar impactos negativos sobre la red eléctrica y garantizar un funcionamiento adecuado del sistema.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Arrillaga and N. R. Watson, *Power System Harmonics*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2003.

[2] F. J. Vaca Dávalos, “Minimización del THD en redes de distribución eléctrica mediante implementación de control en espacio vectorial en inversores de potencia,” B.S. thesis, Universidad

Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2021. Available: <https://dspace.ups.edu.ec>

[3] International Electrotechnical Commission, *IEC 61000-4-30 Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and Measurement Techniques – Power Quality Measurement Methods*, 3rd ed., Geneva, Switzerland, 2015.

[4] International Electrotechnical Commission, *IEC 61000-4-7 Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-7: General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation*, Geneva, Switzerland, 2015.

[5] International Electrotechnical Commission, *IEC 61000-4-15 Electromagnetic Compatibility (EMC) – Flickermeter – Functional and Design Specifications*, Geneva, Switzerland, 2015.

[6] A. F. Barbosa Franco, L. A. Noguera Vega, and W. M. Giral Ramírez, “Análisis de distorsión armónica en iluminación LED,” *Rev. Vínculos*, vol. 14, no. 2, pp. 95–107, 2017. doi: 10.14483/2322939X.12520.

[7] C. A. Achilie Lastre and C. N. Molina Avilés, “Análisis de calidad de la energía orientada a distorsiones armónicas en el bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana,” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2024. Available: <https://dspace.ups.edu.ec>

- [8] C. X. González Bone and F. B. Ambuludi Veloz, “Estudio del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A., planta Guayaquil, para proponer soluciones de mejora de la calidad de energía,” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2024. Available: <https://dspace.ups.edu.ec>.
- [9] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), *EN 50160 Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems*, Brussels, Belgium, 2010.
- [10] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Std 519-2014 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, New York, NY, USA, 2014.
- [11] Philips Lighting Solutions, *Manual de Diseño y Aplicación de Sistemas de Iluminación LED para Entornos Comerciales*. Eindhoven, Netherlands: Signify R&D, 2018. Available: <https://www.assets.signify.com>.
- [12] D. R. Pozo Lauzán, A. J. Pozo Alonso, A. Vega Trujillo, and G. M. Ledón, “Epilepsia fotosensible,” *Rev. Cubana Pediatr.*, vol. 83, no. 3, pp. 308–315, 2011. Available: <http://scielo.sld.cu>.
- [13] C. M. Yáñez, *Sistema de Gestión de Calidad en Base a la Normativa ISO 9001*. Quito, Ecuador: Editorial Internacional Eventos, 2008.
- [14] J. D. Cova Walter, “Eficiencia energética: Iluminación e impacto ambiental,” in *Eficiencia Energética en América Latina*, M. Allende, S. Puliafito, and E. Panigatti, Eds. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2015, pp. 330–336.
- [15] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and M. P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, 5th ed. México D.F., México: McGraw-Hill Interamericana, 2010.
- [16] International Electrotechnical Commission, *IEC 60050-131 International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 131: Circuit Theory*, Geneva, Switzerland, 2003.