

**Análisis de la calidad de energía en la energización de lámparas de descarga CFL y fluorescentes mediante evaluación de parámetros eléctricos y distorsión armónica.**

**Analysis of power quality in the energization of CFL and fluorescent discharge lamps through the evaluation of electrical parameters and harmonic distortion.**

*Rubén Darío Tirira Chulde, Manuel David Rodríguez Santillán, Alexis Geovanny Taco Cabrera, Bryan David Sarango Valladolid.*

**INNOVACIÓN Y CONVERGENCIA:  
IMPACTO MULTIDISCIPLINAR**

**Enero - Junio, Vº6 - Nº1; 2025**

- ✓ **Recibido:** 28/01/2024
- ✓ **Aceptado:** 12/02/2025
- ✓ **Publicado:** 31/01/2025

**PAÍS**

- Ecuador, Quito
- Ecuador, Quito
- Ecuador, Quito
- Ecuador, Quito

**INSTITUCIÓN**

- Instituto Superior Universitario Sucre
- Instituto Superior Universitario Sucre
- Instituto Superior Universitario Sucre.
- Instituto Superior Universitario Sucre.

**CORREO:**

- [dtirira@tecnologicosucre.edu.ec](mailto:dtirira@tecnologicosucre.edu.ec)
- [drodriguez@tecnologicosucre.edu.ec](mailto:drodriguez@tecnologicosucre.edu.ec)
- [alextcgr@gmail.com](mailto:alextcgr@gmail.com)
- [sarangodavid16@gmail.com](mailto:sarangodavid16@gmail.com)

**ORCID:**

- <https://orcid.org/0009-0007-1869-015X>
- <https://orcid.org/0000-0002-9609-3955>
- <https://orcid.org/0009-0008-9609-0798>
- <https://orcid.org/0009-0004-9532-9526>

**FORMATO DE CITA APA.**

Tirira, R. Rodriguez, M. Taco, A. Sarango, B. (2025). Análisis de la calidad de energía en la energización de lámparas de descarga CFL y fluorescentes mediante evaluación de parámetros eléctricos y distorsión armónica. Revista G-ner@ndo, Vº6 (Nº1,). 947 – 973.

**Resumen**

El presente estudio se centra en la evaluación de la calidad de la energía eléctrica en función del desempeño de las lámparas fluorescentes compactas (CFL) y las lámparas fluorescentes convencionales, investigando sus impactos en la distorsión armónica dentro de las redes eléctricas. En el estudio se emplearon dos tipos de tecnología luminosa de uso común: las lámparas CFL de 25W y las lámparas fluorescentes tradicionales de 40W. Ambas tecnologías fueron sometidas a pruebas continuas, en las cuales se monitorearon los parámetros eléctricos durante períodos prolongados, con el fin de evaluar su desempeño en términos de cumplimiento con las normativas de calidad de energía, tales como la EN 50160:2010 y la normativa ecuatoriana vigente. Los resultados mostraron que tanto las lámparas CFL como las fluorescentes tradicionales operaron dentro de los límites establecidos, sin superar los parámetros permitidos de distorsión armónica.

**Palabras clave:** Calidad de la energía, lámparas fluorescentes, CFL, distorsión armónica, armónicos, EN 50160:2010, balastos electrónicos, eficiencia energética, redes eléctricas, estabilidad de la red.

**Abstract**

The present study focuses on evaluating power quality based on the performance of compact fluorescent lamps (CFLs) and conventional fluorescent lamps, investigating their impacts on harmonic distortion within electrical networks. The study employed two commonly used lighting technologies: 25W CFLs and 40W traditional fluorescent lamps. Both technologies were subjected to continuous testing, during which electrical parameters were monitored over extended periods to assess their compliance with power quality standards, such as EN 50160:2010 and the applicable Ecuadorian regulations. The results showed that both CFLs and traditional fluorescent lamps operated within the established limits, without exceeding the permitted harmonic distortion parameters.

**Keywords:** Power quality, fluorescent lamps, CFL, harmonic distortion, harmonics, EN 50160:2010, electronic ballasts, energy efficiency, electrical grids, network stability.



## Introducción

La calidad de la energía eléctrica constituye un tema de relevancia crítica en los sistemas modernos de potencia, ya que afecta tanto la eficiencia de los equipos eléctricos como la estabilidad de las redes de distribución. En este contexto, los armónicos eléctricos, definidos como distorsiones en la forma de onda de la corriente y el voltaje, han cobrado una importancia central debido a su impacto en el rendimiento de los dispositivos y en la infraestructura eléctrica (Ghosh, 2002). Este fenómeno es particularmente relevante en los sistemas de iluminación, como las lámparas de descarga compactas de tipo CFL (Compact Fluorescent Lamp) y las lámparas fluorescentes tradicionales. En Ecuador, las lámparas CFL, también denominadas "focos ahorreadores", desempeñaron un papel clave en el cambio hacia tecnologías de iluminación más eficientes, debido a su reducido consumo energético en comparación con las lámparas incandescentes tradicionales. No obstante, el uso de balastos electrónicos y circuitos no lineales en estas tecnologías produce corrientes armónicas que afectan negativamente la calidad de la energía (Bollen, 2002).

El uso masivo de estas lámparas, impulsado por políticas de sostenibilidad y eficiencia energética, ha incrementado los armónicos en las redes eléctricas, lo que genera desafíos técnicos como mayores pérdidas en los sistemas, sobrecalentamiento de transformadores, reducción del factor de potencia y daños potenciales en equipos electrónicos (Sundaram, 2011). Asimismo, las lámparas de descarga fluorescentes, comunes en entornos comerciales e industriales, presentan características similares en la generación de armónicos debido a sus componentes electrónicos (Mohan, 2003). Es esencial evaluar su comportamiento en condiciones reales y desarrollar estrategias que mejoren su rendimiento sin afectar la calidad de la energía en la red (Saha, 2008).

El principio operativo de las lámparas fluorescentes se fundamenta en la ionización de un gas inerte combinado con una cantidad determinada de vapor de

mercurio. Cuando se aplica una corriente eléctrica, los electrones interaccionan con los átomos de mercurio, lo que origina la emisión de radiación ultravioleta. Esta radiación es absorbida por una capa de fósforo en el interior del tubo, que posteriormente emite fotones de luz visible. A diferencia de las lámparas incandescentes, en las cuales la luz se genera por el calentamiento de un filamento de tungsteno, las lámparas fluorescentes requieren sistemas electrónicos adicionales para su funcionamiento (Martínez, 2024). En el caso de las lámparas fluorescentes compactas, estos componentes están integrados en la base de la lámpara, consistiendo en un balasto electrónico que controla tanto el encendido como la estabilidad operativa del dispositivo. En contraste, las lámparas fluorescentes tradicionales pueden emplear tanto balastos electromagnéticos como electrónicos, según las especificaciones de su diseño y aplicación (Zhao, 2013).

La eficiencia energética es una de las principales ventajas de las lámparas de descarga, ya que convierten un mayor porcentaje de la energía eléctrica en luz útil, reduciendo las pérdidas térmicas en comparación con las tecnologías incandescentes (Kumar, 20016). Mientras que una bombilla incandescente típica presenta una eficiencia de aproximadamente el 10 %, desperdiando la mayor parte de la energía en forma de calor, las lámparas fluorescentes pueden alcanzar eficiencias superiores al 50 %, lo que se traduce en una reducción significativa del consumo energético. Este factor ha sido determinante en la promoción de estas tecnologías dentro de políticas públicas enfocadas en la sostenibilidad y el ahorro energético, como ha sucedido en Ecuador, donde se han impulsado iniciativas para reemplazar las bombillas incandescentes por lámparas CFL en el sector residencial. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes es la presencia de mercurio en su composición, un material altamente

tóxico que requiere un manejo adecuado durante su disposición final (Barrera, 2021). La exposición al mercurio puede tener efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente, razón por la cual diversas normativas internacionales han establecido límites estrictos sobre su contenido y disposición segura (Nabae, 2016). En la Unión Europea, por ejemplo, la Directiva 2011/65/UE (RoHS) regula el uso de sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos, incluyendo restricciones sobre la cantidad de mercurio permitido en lámparas fluorescentes. De manera similar, en Ecuador, la normativa vigente establece lineamientos para el manejo y reciclaje de estos dispositivos al final de su vida útil, aunque la implementación efectiva de estos procedimientos sigue representando un desafío en términos de infraestructura y concienciación ciudadana (Kundur, 1994).

Otro aspecto crítico en la operación de las lámparas fluorescentes es su sensibilidad a las condiciones de la red eléctrica. Variaciones en el voltaje de alimentación pueden afectar el encendido y la estabilidad del arco de descarga, generando fluctuaciones en la intensidad luminosa y reduciendo la vida útil del fósforo recubridor. Asimismo, el uso de balastos electrónicos introduce armónicos en la corriente consumida, lo que puede contribuir a la distorsión de la forma de onda de la red y afectar el desempeño de otros dispositivos conectados al mismo circuito. En Ecuador, la regulación sobre estas tecnologías de iluminación no solo se enfoca en la eficiencia energética, sino también en garantizar la seguridad eléctrica y minimizar los impactos ambientales. Se han implementado normativas que establecen requisitos mínimos de desempeño, asegurando que los productos disponibles en el mercado cumplan con estándares internacionales de calidad (Venkataramanan, 2011).

---

El presente estudio se centra en evaluar el impacto de las lámparas fluorescentes compactas y tradicionales sobre la calidad de la energía eléctrica, particularmente en relación con su susceptibilidad a variaciones en los parámetros eléctricos y su contribución a la distorsión armónica. Mediante una serie de pruebas experimentales utilizando el analizador de calidad de energía FLUKE 1775, se medirán parámetros críticos como la distorsión armónica total (THD) y la estabilidad del perfil de voltaje. Los datos obtenidos permitirán realizar un análisis comparativo entre las distintas tecnologías de iluminación y su cumplimiento con las normativas regulatorias.

Analizar la calidad de la energía eléctrica mediante la evaluación de los armónicos generados por lámparas de descarga compactas tipo CFL y lámparas fluorescentes, determinando sus características, efectos sobre los sistemas eléctricos y posibles estrategias de mitigación.

### **Métodos y materiales**

Este estudio adoptó un enfoque experimental, diseñando un módulo de pruebas capaz de operar hasta doce lámparas de manera simultánea en configuraciones serie o paralelo, según las necesidades específicas de la evaluación. El diseño del módulo siguió las disposiciones de la normativa ecuatoriana NEC en su apartado eléctrico, con conductores calibre 14 AWG para iluminación y protección termomagnética adecuada frente a sobrecargas y cortocircuitos.

Las pruebas experimentales se dividieron en dos fases principales. En la primera fase, se evaluaron lámparas de descarga compacta (CFL) con una potencia nominal de 25 W cada una. Se conectaron doce lámparas al módulo de pruebas y se mantuvieron en funcionamiento continuo durante un período de 22 horas. Durante este tiempo, se registraron parámetros eléctricos clave como la distorsión armónica total (THD), los armónicos individuales, el factor de

---

potencia, las corrientes y las tensiones. Este enfoque permitió obtener una visión integral del comportamiento armónico de las lámparas CFL bajo condiciones de operación reales y prolongadas.

En la segunda fase de las pruebas, se estudiaron lámparas fluorescentes, cada una con una potencia nominal de 40 W. En esta etapa, se conectaron siete lámparas al módulo experimental y se monitorearon durante 24 horas continuas. Al igual que en la primera fase, se registraron todos los parámetros eléctricos utilizando el FLUKE 1775, con énfasis en la identificación de armónicos específicos y la comparación de su comportamiento respecto a las lámparas CFL.

El analizador de calidad de energía FLUKE 1775, certificado bajo la normativa EN 50160:2010 operó en el modo "registrar de CP", lo que significa que se recopilaron datos en tiempo real con el propósito de monitorear y analizar la estabilidad de la red eléctrica. Este tipo de medición es crucial para determinar la compatibilidad de los dispositivos eléctricos con el suministro eléctrico disponible y para evaluar la presencia de perturbaciones en la red. El registrador de calidad de potencia fue configurado para operar en modo de almacenamiento lineal, lo que significa que los datos fueron almacenados secuencialmente sin ser sobrescritos.

La medición se realizó en una instalación monofásica con neutro (1F + N), una configuración eléctrica típica en redes de baja tensión utilizadas en aplicaciones residenciales, comerciales y algunas industriales ligeras. Este tipo de conexión permite alimentar cargas monofásicas de hasta 127V, como electrodomésticos, sistemas de iluminación y dispositivos electrónicos. La frecuencia nominal para este estudio fue de 60Hz, que corresponden a los estándares eléctricos de varios países de América, incluyendo Ecuador.

El análisis de las lámparas fluorescentes compactas (CFL) y las lámparas fluorescentes tradicionales se llevó a cabo a través de un procedimiento experimental en

---

el que se monitorearon y analizaron diferentes parámetros eléctricos durante su operación continua. Para lo cual se utilizó lámparas de descarga CFL y fluorescentes con las características expuestas en la tabla 1.

**Tabla 1.-** Características lámparas CFL y fluorescentes

| Característica                                | Lámparas                                     |  |
|---|--|--|
|   | Fluorescentes                                | Fluorescentes                                  |
|   | Compactas (CFL)                              | Tradicionales (T12)                            |
| <b>Potencia nominal (W)</b>                   | 25 W   | 40 W   |
| <b>Voltaje de operación (V)</b>               | 110 V  | 110 V  |
| <b>Flujo luminoso (lm)</b>                    | 1500 lm                                      | 2550 lm  |
| <b>Eficiencia luminosa (lm/W)</b>             | 60 lm/W                                      | 63.75 lm/W                                     |
| <b>Factor de potencia</b>                     | No especificado                              | 0.50   |
| <b>Índice de Reproducción Cromática (IRC)</b> | 80-85  | 75   |
| <b>Temperatura de color (K)</b>               | 6500 K (luz fría)                            | 6500 K (luz fría)                              |
| <b>Vida útil (horas)</b>                      | 6000 h                                       | 24000 h  |
| <b>Base de conexión</b>                       | E27 (rosca estándar)                         | G13 (conectores bipin)                         |
| <b>Tamaño</b>                                 | Compacto, similar a bombillas incandescentes | Tubo de 120 cm                                 |
| <b>Aplicaciones</b>                           | Iluminación doméstica y comercial            | Oficinas, almacenes, aplicaciones industriales |
| <b>Contenido de mercurio</b>                  | Bajo   | Moderado                                       |
| <b>Impacto en la calidad de la energía</b>    | Bajo   | Alto debido a su bajo factor de potencia       |
| <b>Normativa aplicable en Ecuador</b>         | NTE INEN 2784                                | NTE INEN 2781                                  |

Para el análisis de los dos casos a estudiar los parámetros clave como tensión, corriente y potencia fueron monitoreados en intervalos de un minuto, permitiendo un análisis detallado del consumo energético y comportamiento de las lámparas. La demanda de potencia fue registrada en intervalos de 5 minutos, revelando el impacto de eventos de encendido y apagado en la estabilidad de la red eléctrica.

La calidad de la energía fue evaluada mediante mediciones de armónicos, fluctuaciones de voltaje y la frecuencia de la señal. Los registros muestran que las lámparas CFL, como cargas no lineales, generan distorsiones armónicas significativas, con registros de armónicos hasta el orden 100, lo que impacta la distorsión armónica total (THD). Se realizó un monitoreo de frecuencia con más de 7900 mediciones a intervalos de 10 segundos para el primer caso de estudio y 8639 mediciones en el mismo intervalo de tiempo para el segundo caso, garantizando la estabilidad de la frecuencia en el sistema.

Se activaron los registros de inter armónicos, permitiendo la evaluación de armónicos de orden fraccionario, y se desactivaron los registros de supra harmónicos y fluctuaciones rápidas. Los límites de eventos establecidos detectaron caídas de tensión superiores al 90%, sobretensiones mayores al 110% y variaciones del 5%, con una histéresis de 2%, lo que asegura la precisión en la detección de anomalías. Se registraron 206 eventos para el primer caso de estudio y 195 para el segundo caso de estudio, todos relacionados con desviaciones en la forma de onda, sin detectar caídas de tensión ni aumentos de voltaje, indicando que la principal preocupación es la distorsión armónica.

Finalmente, la configuración del factor K, en modo USA, permitió el análisis de armónicos hasta el orden 40, complementado por un coeficiente de sensibilidad (q) de 1.70, lo que optimiza la evaluación de la distorsión armónica y sus efectos en el desempeño de las lámparas y la estabilidad de la red eléctrica.

---

## Análisis de Lámparas de Descarga CFL

El primer análisis se llevó a cabo con 12 lámparas fluorescentes compactas (CFL) de 25W cada una, las cuales fueron conectadas a un módulo de prueba diseñado específicamente para este estudio. Estas lámparas fueron monitoreadas durante un período de 22 horas, 0 minutos y 21 segundos, a fin de obtener una medición precisa de sus características operativas bajo condiciones estándar de red. El estudio fue programado para iniciarse el 10 de enero de 2025 a las 15:41:09 y finalizar el 11 de enero de 2025 a las 15:41:49, con un período total de medición de 24 horas ininterrumpidas. Durante el estudio, el registrador del analizador recopiló datos relevantes que se pueden observar en la Tabla 2.

**Tabla 2.- Intervalos de medición de lámparas CFL**

| <b>Tendencia de Consumo</b>  |                 |
|------------------------------|-----------------|
| <b>Configurado</b>           | 1439 intervalos |
| <b>Registrado</b>            | 1441 intervalos |
| <b>Intervalo de medición</b> | 1 minuto        |
| <b>Demandas de Potencia</b>  |                 |
| <b>Configurado</b>           | 287 intervalos  |
| <b>Registrado</b>            | 289 intervalos  |
| <b>Intervalo de medición</b> | 5 minutos       |
| <b>Calidad de Potencia</b>   |                 |
| <b>Configurado</b>           | 143 intervalos  |
| <b>Registrado</b>            | 143 intervalos  |
| <b>Intervalo de medición</b> | 10 minutos      |
| <b>Frecuencia</b>            |                 |
| <b>Registrado</b>            | 8639 intervalos |
| <b>Intervalo de medición</b> | 10 segundos     |

Con los datos obtenidos del analizador de energía se evidencia una medición precisa y optimizada de la demanda de potencia, calidad de potencia y frecuencia, adaptando los intervalos según la criticidad de cada parámetro. La demanda de potencia

se midió cada 5 minutos, con 287 intervalos configurados y 289 registrados, reflejando una mínima variación atribuible a ajustes automáticos o eventos transitorios. La calidad de potencia, con un intervalo de 10 minutos, presentó una coincidencia exacta entre los 143 intervalos configurados y registrados, asegurando estabilidad en la adquisición de datos. En cuanto a la frecuencia, se registraron 8,639 intervalos con un intervalo de 10 segundos, lo que permite evaluar con alta precisión la estabilidad del sistema eléctrico.

**Tabla 3.- Resultados obtenidos de lámparas CFL**

| Parámetro                            | Definición  | Resultados Obtenidos              | Valor Límite       | Estado |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------|--------|
| <b>Frecuencia</b>                    | Variación de la frecuencia en la red                | 59.9 Hz - 60.06 Hz                | 59.4 - 60.4 Hz     | PASS   |
| <b>Tensión de suministro</b>         | Variabilidad de la tensión medida                   | 124.21V - 128.69V                 | $\pm 10\%$ de 127V | PASS   |
| <b>Variaciones lentas de tensión</b> | Cambios graduales en la tensión                     | Dentro del rango permitido        | $\pm 10\%$ de 127V | PASS   |
| <b>Armónicos de tensión</b>          | Distorsión en la onda senoidal                      | 2.52% (h03)                       | 5% (h03)           | PASS   |
| <b>Parpadeo (Plt)</b>                | Fluctuaciones de tensión perceptibles               | 0.45                              | 1                  | PASS   |
| <b>Desequilibrio de tensión</b>      | Diferencia en las tensiones de un sistema trifásico | No medido                         | 2%                 | N/A    |
| <b>Eventos registrados</b>           | Registros de anomalías                              | 195 eventos de desviación de onda | N/A                | -      |
| <b>Transitorios</b>                  | Picos de tensión de corta duración                  | 120V                              | N/A                | -      |
| <b>Cambios rápidos de tensión</b>    | Alteraciones abruptas de la tensión                 | 0 eventos                         | N/A                | PASS   |

En base a la tabla 3 podemos analizar los diferentes parámetros medidos por el Fluke 1775, donde se muestra que la frecuencia (59.9 Hz - 60.06 Hz) y la tensión de suministro (124.21V - 128.69V) se encuentran dentro de los límites normativos, asegurando estabilidad en el suministro eléctrico. Las variaciones lentas de tensión cumplen con los márgenes establecidos de  $\pm 10\%$  respecto a 127 V, mientras que los armónicos de tensión presentan un 2.52% en el tercer armónico (h03), valor inferior al límite del 5%, lo que indica una baja distorsión en la onda senoidal.

El parpadeo de tensión (Plt) muestra un valor de 0.45, generando un valor debajo del límite de 1, lo que sugiere fluctuaciones imperceptibles. El parámetro de desequilibrio de tensión no fue medido, aunque su límite de referencia es 2%. Se registraron 206 eventos de desviación de onda y transitorios de hasta 120 V, lo que señala la presencia de perturbaciones breves en la red. No se reportaron cambios rápidos de tensión, lo que sugiere una estabilidad del voltaje sin alteraciones abruptas.

**Tabla 4.- Resultados de armónicos de las lámparas fluorescentes**

|    | Límite | Valor de 95% |         |          | Valor máximo       |      |            |
|----|--------|--------------|---------|----------|--------------------|------|------------|
|    |        | Resultado    | Valor   | % dentro | Valor              | Hora | del límite |
|    | PASS   | 2,76%        | 100,00% | 2,92%    | 10/1/2025 18:50:00 |      |            |
| HD | %      |              |         |          |                    |      |            |
|    | PASS   | 0,02%        | 100,00% | 0,03%    | 10/1/2025 17:50:00 |      |            |
| 02 | %      |              |         |          |                    |      |            |
|    | PASS   | 2,31%        | 100,00% | 2,52%    | 10/1/2025 18:50:00 |      |            |
| 03 | %      |              |         |          |                    |      |            |

|     |      |      |       |         |       |                    |
|-----|------|------|-------|---------|-------|--------------------|
| h04 | 1%   | PASS | 0,03% | 100,00% | 0,04% | 10/1/2025 17:50:00 |
| h05 | 6%   | PASS | 0,97% | 100,00% | 1,24% | 10/1/2025 16:20:00 |
| h06 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,04% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h07 | 5%   | PASS | 0,79% | 100,00% | 0,88% | 10/1/2025 16:20:00 |
| h08 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,04% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h09 | 1,5% | PASS | 0,50% | 100,00% | 0,55% | 10/1/2025 22:20:00 |
| h10 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,03% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h11 | 3,5% | PASS | 0,63% | 100,00% | 0,65% | 10/1/2025 16:30:00 |
| h12 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h13 | 3%   | PASS | 0,36% | 100,00% | 0,37% | 10/1/2025 22:40:00 |
| h14 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h15 | 0,5% | PASS | 0,28% | 100,00% | 0,36% | 10/1/2025 19:00:00 |
| h16 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h17 | 2%   | PASS | 0,29% | 100,00% | 0,33% | 10/1/2025 20:20:00 |
| h18 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h19 | 1,5% | PASS | 0,20% | 100,00% | 0,23% | 10/1/2025 16:40:00 |
| h20 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h21 | 0,5% | PASS | 0,14% | 100,00% | 0,18% | 10/1/2025 16:00:00 |
| h22 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h23 | 1,5% | PASS | 0,08% | 100,00% | 0,10% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h24 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,01% | 10/1/2025 21:10:00 |
| h25 | 1,5% | PASS | 0,20% | 100,00% | 0,24% | 10/1/2025 16:00:00 |

El análisis de la distorsión armónica generada por las lámparas CFL que se detalla en la tabla 4, muestra que el armónico h03 (tercer armónico) es un componente relevante. Se registró un valor de 95% de 2.31% y un valor máximo de 2.52%, ambos dentro del límite del 5%. Este comportamiento se debe a los balastos electrónicos de las lámparas fluorescentes, los cuales,

aunque generen menos armónicos que los de las CFL, siguen contribuyendo a la generación de armónicos impares, lo que resalta su relevancia en el análisis de la distorsión armónica. En cuanto al armónico h05 (quinto armónico), con un límite establecido del 5%, se observó un valor de 95% de 0.97% y un valor máximo de 1.24%.

En cuanto a los armónicos de órdenes más bajos, como el h02, h04 y h06, los valores registrados fueron significativamente bajos. Por ejemplo, el h02 tuvo un valor de 95% de solo 0.02%, con un valor máximo de 0.03%, estando muy por debajo del límite permitido del 2%. Esto demuestra que las lámparas CFL generan una baja distorsión armónica, lo que minimiza su impacto sobre la calidad de la energía, especialmente en lo que respecta a los armónicos de orden inferior.

### *Análisis de Lámparas de Descarga Fluorescentes*

El segundo análisis se centró en 7 lámparas de descarga fluorescentes de 40W cada una, que fueron también conectadas al mismo módulo de prueba utilizado para las CFL. En este caso, las lámparas fueron programadas para ser monitoreadas durante 24 horas continuas, para analizar su comportamiento a largo plazo bajo condiciones normales de operación. Las lámparas fluorescentes T12 utilizadas son ampliamente reconocidas por su eficiencia en aplicaciones comerciales e industriales. Estas lámparas operan a un voltaje de 110V, lo cual es común en sistemas de distribución eléctrica de baja tensión. A diferencia de las CFL, las lámparas fluorescentes T12 tienen una potencia de 40W, lo que les permite generar un mayor flujo luminoso de hasta 2550 lúmenes, proporcionando así una mayor intensidad luminosa en comparación con las CFL.

El estudio fue programado para iniciarse el 16 de enero de 2025 a las 21:36:52 y finalizar el 17 de enero de 2025 a las 21:36:52, con un período total de medición de 24

horas. Sin embargo, el análisis real terminó antes de lo previsto, exactamente a las 19:37:13 del 17 de enero de 2025, lo que redujo la duración efectiva a 22 horas y 0 minutos. Durante el estudio, el registrador recopiló datos relevantes que se pueden observar en la tabla 5.

**Tabla 5.- Intervalos de medición de lámparas fluorescentes**

| <b>Tendencia de Consumo</b> |           |                 |
|-----------------------------|-----------|-----------------|
| <b>Configurado</b>          |           | 1439 intervalos |
| <b>Registrado</b>           |           | 1322 intervalos |
| <b>Intervalo</b>            | <b>de</b> | 1 minuto        |
| <b>medición</b>             |           |                 |
| <b>Demanda de Potencia</b>  |           |                 |
| <b>Configurado</b>          |           | 287 intervalos  |
| <b>Registrado</b>           |           | 265 intervalos  |
| <b>Intervalo</b>            | <b>de</b> | 5 minutos       |
| <b>medición</b>             |           |                 |
| <b>Calidad de Potencia</b>  |           |                 |
| <b>Configurado</b>          |           | 143 intervalos  |
| <b>Registrado</b>           |           | 131 intervalos  |
| <b>Intervalo</b>            | <b>de</b> | 10 minutos      |
| <b>medición</b>             |           |                 |
| <b>Frecuencia</b>           |           |                 |
| <b>Registrado</b>           |           | 7921 intervalos |
| <b>Intervalo</b>            | <b>de</b> | 10 segundos     |
| <b>medición</b>             |           |                 |

El análisis de los datos obtenidos con el Fluke 1775 evidencia una alta tasa de adquisición con leves discrepancias entre los intervalos configurados y registrados, lo

que sugiere posibles pérdidas menores de datos. La tendencia de consumo presenta una cobertura del 91.9 %, con mediciones cada minuto, permitiendo un monitoreo detallado. La demanda de potencia, medida cada cinco minutos, muestra un 7.7 % de registros omitidos, lo que podría influir en la evaluación de picos de carga. En cuanto a la calidad de potencia, la diferencia del 8.39 % entre intervalos configurados y registrados puede deberse a perturbaciones o restricciones del muestreo, afectando el análisis de armónicos y estabilidad del sistema. Por último, la frecuencia, con 7,921 registros cada 10 segundos, proporciona una visión detallada de la estabilidad de la red. Aunque el desempeño del dispositivo es sólido, se recomienda analizar las omisiones de datos para mejorar la precisión en parámetros críticos.

**Tabla 6.- Resultados obtenidos de lámparas fluorescentes**

| Parámetro                            | Definición  | Resultados Obtenidos       | Valor Límite       | Estado |
|--------------------------------------|---|----------------------------|--------------------|--------|
| <b>Frecuencia</b>                    | Variación de la frecuencia en la red                | 59.9 Hz - 60.1 Hz          | 59.4 - 60.4 Hz     | PASS   |
| <b>Tensión de suministro</b>         | Variabilidad de la tensión medida                   | 123.34V - 128.39V          | $\pm 10\%$ de 127V | PASS   |
| <b>Variaciones lentas de tensión</b> | Cambios graduales en la tensión                     | Dentro del rango permitido | $\pm 10\%$ de 127V | PASS   |
| <b>Armónicos de tensión</b>          | Distorsión en la onda senoidal                      | 2.86% (h03)                | 5% (h03)           | PASS   |
| <b>Parpadeo (PIt)</b>                | Fluctuaciones de tensión perceptibles               | 0.52                       | 1                  | PASS   |
| <b>Desequilibrio de tensión</b>      | Diferencia en las tensiones de un sistema trifásico | No medido                  | 2%                 | N/A    |

|                                   |                                     |                                   |     |      |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----|------|
| <b>Eventos registrados</b>        | Registros de anomalías              | 206 eventos de desviación de onda | N/A | -    |
| <b>Transitorios</b>               | Picos de tensión de corta duración  | 120V                              | N/A | -    |
| <b>Cambios rápidos de tensión</b> | Alteraciones abruptas de la tensión | 0 eventos                         | N/A | PASS |

La tabla 6 detalla el estudio de calidad de energía realizado sobre lámparas de descarga fluorescentes evaluando diferentes parámetros de calidad eléctrica según la norma **EN 50160:2010**. Donde se analizaron factores como la frecuencia, variaciones de tensión, armónicos de tensión, parpadeo, desequilibrio de tensión, transitorios y eventos registrados.

La evaluación de la frecuencia evidenció que esta se mantuvo dentro de los límites normativos, con valores que oscilaron entre 59.93 Hz y 60.1 Hz, lo que demuestra una estabilidad adecuada en la red de suministro. En cuanto a la tensión de suministro, la variabilidad máxima registrada fue de 128.39V, con un mínimo de 123.34V, valores que se encuentran dentro del margen permitido por la normativa. Asimismo, las variaciones lentas de tensión se mantuvieron en un rango aceptable, sin afectar el desempeño de los equipos conectados.

El análisis de los armónicos de tensión mostró que el tercer armónico alcanzó un máximo de 2.86%, dentro del límite del 5% establecido en la norma, lo que indica una distorsión armónica mínima en la red. Respecto al parpadeo, el índice Plt obtuvo un valor de 0.52, muy por debajo del límite de 1, lo que sugiere que las fluctuaciones de tensión no generan efectos perceptibles en la iluminación.

No se registraron datos relacionados con el desequilibrio de tensión, lo que impide su evaluación en este estudio. En lo que respecta a los eventos registrados, se identificaron 206 eventos de desviación de onda, lo que sugiere fluctuaciones menores en la calidad de la energía. Estos eventos pueden estar asociados a variaciones normales en la operación de la red eléctrica. En cuanto a los transitorios, se detectaron picos de hasta 120V, lo que indica la presencia de

perturbaciones breves en la red eléctrica. Estas perturbaciones pueden originarse por la conmutación de cargas inductivas o variaciones en el suministro. Finalmente, no se identificaron cambios rápidos de tensión durante el período de medición, lo que refleja una estabilidad considerable en la red de suministro.

El estudio realizado con el analizador Fluke 1775 demuestra que las lámparas fluorescentes evaluadas cumplen con los requisitos establecidos por la norma EN 50160:2010. Los principales hallazgos indican que la tensión de suministro se mantuvo dentro de los valores permitidos, sin presentar desviaciones significativas. Los armónicos de tensión se encuentran dentro de los límites recomendados, lo que sugiere que estas lámparas no generan una distorsión significativa en la red eléctrica. No se detectaron problemas de parpadeo que pudieran afectar la percepción visual de la iluminación. Se registraron transitorios de hasta 120V, lo que sugiere la presencia de perturbaciones momentáneas en la red. En general, la estabilidad de la red fue adecuada, con un bajo nivel de eventos y cambios rápidos de tensión.

**Tabla 7.- Resultados de armónicos de las lámparas fluorescentes**

|     | Valor de 95% |           |       | Valor máximo        |       |                    |
|-----|--------------|-----------|-------|---------------------|-------|--------------------|
|     | Límite       | Resultado | Valor | % dentro del límite | Valor | Hora               |
| THD | 8%           | PASS      | 3,15% | 100,00%             | 3,29% | 17/1/2025 11:40:00 |
| h02 | 2%           | PASS      | 0,02% | 100,00%             | 0,03% | 17/1/2025 15:10:00 |
| h03 | 5%           | PASS      | 2,66% | 100,00%             | 2,86% | 17/1/2025 11:50:00 |
| h04 | 1%           | PASS      | 0,04% | 100,00%             | 0,05% | 17/1/2025 1:30:00  |
| h05 | 6%           | PASS      | 1,43% | 100,00%             | 1,50% | 17/1/2025 11:10:00 |
| h06 | 0,5%         | PASS      | 0,02% | 100,00%             | 0,02% | 17/1/2025 15:00:00 |
| h07 | 5%           | PASS      | 0,56% | 100,00%             | 0,59% | 17/1/2025 9:10:00  |

|     |      |      |       |         |       |                    |
|-----|------|------|-------|---------|-------|--------------------|
| h08 | 0,5% | PASS | 0,02% | 100,00% | 0,02% | 17/1/2025 15:00:00 |
| h09 | 1,5% | PASS | 0,51% | 100,00% | 0,58% | 16/1/2025 22:20:00 |
| h10 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 17/1/2025 15:00:00 |
| h11 | 3,5% | PASS | 0,60% | 100,00% | 0,66% | 17/1/2025 17:00:00 |
| h12 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,02% | 17/1/2025 15:00:00 |
| h13 | 3%   | PASS | 0,27% | 100,00% | 0,34% | 17/1/2025 6:30:00  |
| h14 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,01% | 17/1/2025 15:00:00 |
| h15 | 0,5% | PASS | 0,25% | 100,00% | 0,28% | 17/1/2025 19:00:00 |
| h16 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,01% | 17/1/2025 15:00:00 |
| h17 | 2%   | PASS | 0,25% | 100,00% | 0,31% | 16/1/2025 21:50:00 |
| h18 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,01% | 17/1/2025 16:10:00 |
| h19 | 1,5% | PASS | 0,18% | 100,00% | 0,19% | 17/1/2025 14:00:00 |
| h20 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,01% | 17/1/2025 16:10:00 |
| h21 | 0,5% | PASS | 0,12% | 100,00% | 0,14% | 17/1/2025 16:00:00 |
| h22 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,01% | 17/1/2025 15:40:00 |
| h23 | 1,5% | PASS | 0,13% | 100,00% | 0,14% | 17/1/2025 11:00:00 |
| h24 | 0,5% | PASS | 0,01% | 100,00% | 0,01% | 17/1/2025 15:40:00 |
| h25 | 1,5% | PASS | 0,22% | 100,00% | 0,24% | 17/1/2025 14:20:00 |

El análisis de armónicos en las lámparas de descarga fluorescentes revela información significativa sobre su impacto en la calidad de la energía eléctrica. El armónico h03 (tercer armónico) tiene un límite de 5% y presenta un valor de 95% de 2.66%, alcanzando un máximo de 2.86%. Aunque se encuentra dentro de los límites aceptables, se considera un componente importante debido a su alta magnitud relativa. Este comportamiento es atribuible a los balastos electrónicos de las lámparas, los cuales generan armónicos impares por su diseño interno y el proceso de conversión de corriente alterna a continua.

En cuanto al armónico h05 (quinto armónico), con un límite de 6%, se registraron valores de 95% de 1.43% y un valor máximo de 1.50%, indicando una contribución moderada al total de distorsión armónica. Al igual que el h03, el h05 es un armónico impar, y su presencia se debe a los circuitos rectificadores y filtros de los balastos electrónicos, que favorecen la generación de armónicos impares al interactuar con la red eléctrica.

Por último, los armónicos de orden más bajo, como el h02, h04 y h06, presentaron valores significativamente inferiores a sus límites establecidos. El h02, con un límite del 2%, tuvo un valor de 95% de solo 0.02%, y un valor máximo de 0.03%, lo que indica que estos armónicos tienen un impacto mínimo sobre la calidad de la señal eléctrica. Su contribución es tan baja que no representa un riesgo para la red ni afecta de manera significativa el desempeño de los dispositivos conectados.

### Análisis de Resultados

El analizador de calidad de energía Fluke 1775 permite medir y registrar una variedad de parámetros eléctricos fundamentales para evaluar el comportamiento de una instalación. En las tablas 4 y 7, se muestran mediciones relacionadas con la distorsión armónica total (THD) y otros armónicos individuales, organizadas en dos secciones principales: valores de 95% y valores máximos. La correcta interpretación de estos datos es crucial para garantizar que el sistema eléctrico opere dentro de los límites aceptables y evitar problemas asociados a una mala calidad de energía. El valor de 95% hace referencia al percentil 95 de la distribución de las mediciones, lo que significa que durante el 95% del tiempo analizado, el parámetro evaluado estuvo por debajo o igual a dicho valor. Este enfoque es útil porque permite excluir picos o eventos transitorios que podrían distorsionar la percepción del comportamiento habitual del sistema. Por ejemplo, en la medición de la THD de las lámparas CFL, se observa que su valor de 95% es 2,76%, lo que indica que en el 95% del tiempo registrado, la distorsión armónica total no superó ese valor, permaneciendo dentro de los límites aceptables.

Por otro lado, el valor máximo representa el punto más alto alcanzado por cada parámetro durante el periodo de medición. A diferencia del valor de 95%, que describe el comportamiento general del sistema, este valor señala los momentos críticos en los que una variable alcanzó su mayor magnitud. En el caso de las CFL el valor de THD, se observa que su valor máximo fue 2,92%, registrado el 10 de enero de 2025 a las 18:50. Este dato es relevante porque permite identificar los instantes en los que se presentan posibles anomalías o eventos transitorios que podrían afectar la estabilidad del sistema.

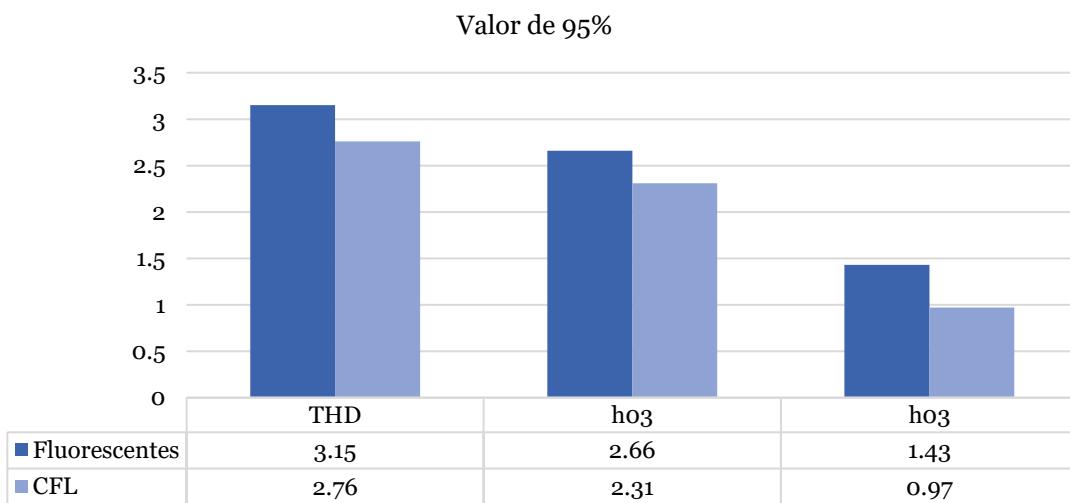
El resultado de cada medición se muestra en la columna de "Resultado", donde la indicación "PASS" confirma que el valor registrado se encuentra dentro de los límites preestablecidos. Además, el porcentaje dentro del límite en todas las mediciones es **100,00%**, lo que indica que en ningún momento se superaron los valores máximos permitidos. Este análisis es crucial para la validación de la calidad de energía en una instalación eléctrica, ya que garantiza que todos los parámetros monitoreados cumplen con los estándares establecidos.

En términos generales, los datos obtenidos durante las pruebas de las lámparas CFL y fluorescentes tradicionales muestran un cumplimiento satisfactorio con los límites establecidos en la normativa de calidad de la energía eléctrica, tanto en la normativa internacional EN 50160:2010 como en los estándares vigentes en Ecuador. Los resultados obtenidos en todas las mediciones indicaron un desempeño dentro de los márgenes permitidos, tal como lo refleja la constante aparición del resultado "PASS" en todos los parámetros analizados. La total conformidad con los valores establecidos es evidente, dado que el 100% de las mediciones se mantuvieron dentro de los rangos aceptables. Esto confirma que el sistema de pruebas y las lámparas evaluadas operaron sin generar irregularidades que pudieran afectar la calidad de la energía eléctrica durante los períodos de observación.

El análisis más profundo de los resultados muestra que tanto el valor de 95% como el valor máximo para cada parámetro se mantuvieron considerablemente por debajo de los límites

establecidos, lo que subraya una operación eléctrica estable y controlada. Estos resultados son de especial relevancia, ya que demuestran que las lámparas probadas, aunque generen ciertos armónicos, no superaron los umbrales de distorsión armónica y otros parámetros críticos que podrían comprometer la eficiencia y seguridad de la red eléctrica.

**Figura 1.- Comparación de los valores de 95% obtenidos entre lámparas CFL y fluorescentes**

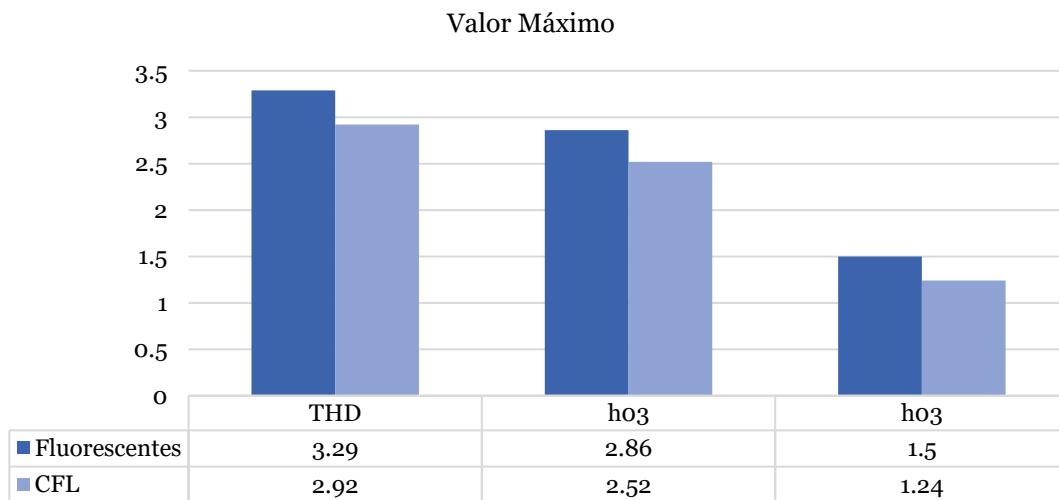


En la Figura 1 se presenta la comparación de los datos obtenidos correspondientes al valor del percentil 95% en las pruebas realizadas con lámparas CFL y fluorescentes. Si bien las lámparas fluorescentes registran un valor máximo del 3.15%, este se mantiene dentro de los límites establecidos por la normativa. Por su parte, las lámparas CFL presentan un valor máximo ligeramente inferior, de 2.76%. En cuanto a los valores mínimos, se observa la misma tendencia, donde el componente armónico  $h03$  es mayor en las lámparas fluorescentes de descarga.

En la Figura 2 se presenta la comparación de los valores máximos de los armónicos obtenidos en el estudio de lámparas CFL y fluorescentes. Al igual que en el caso anterior, se observa una ligera diferencia en los resultados entre estos dos tipos de lámparas de descarga, siendo más pronunciada en las lámparas fluorescentes. Esta variación podría atribuirse a su

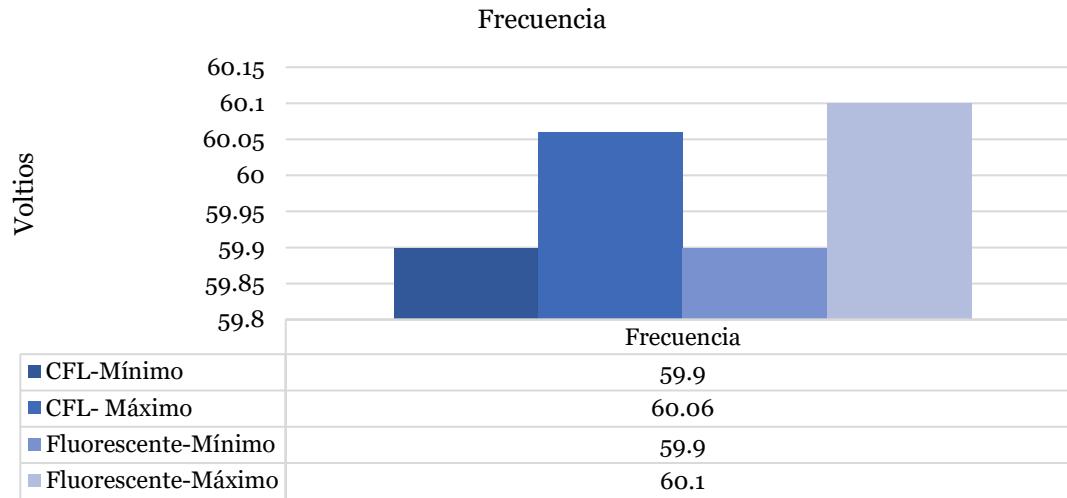
diseño constructivo y a la diferencia de potencia. No obstante, en ambos casos, los valores permanecen por debajo del límite del 5 % establecido por la normativa.

**Figura 2.- Comparación de los valores máximos obtenidos entre lámparas CFL y fluorescentes**



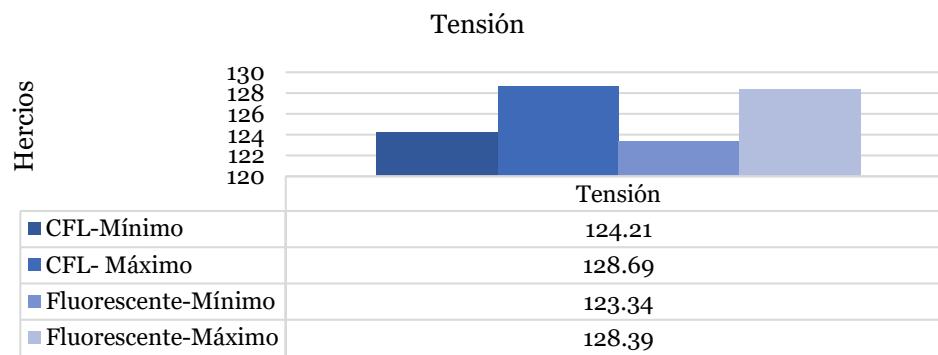
La figura 3 ilustra la comparación de los valores mínimos y máximos de frecuencia obtenidos en estudios de calidad de la energía para lámparas CFL y fluorescentes. Se evidencia que ambas tecnologías registran un valor mínimo idéntico de 59.9 Hz, lo que sugiere una similitud en la estabilidad de su operación en condiciones de baja frecuencia. No obstante, en términos de valores máximos, las lámparas CFL alcanzan un umbral de 60.06 Hz, mientras que las fluorescentes presentan un valor ligeramente superior de 60.1 Hz. Esta variabilidad, aunque marginal, indica que las lámparas fluorescentes experimentan una mayor dispersión en la frecuencia, lo que podría estar relacionado con las características del balasto y su respuesta ante fluctuaciones en el suministro eléctrico. A pesar de estas mínimas diferencias, ambas tecnologías mantienen sus variaciones dentro de los márgenes aceptables de calidad de la energía, garantizando que su operación no comprometa la estabilidad del sistema eléctrico.

**Figura 3.- Comparación de los valores mínimos y máximos de frecuencia**



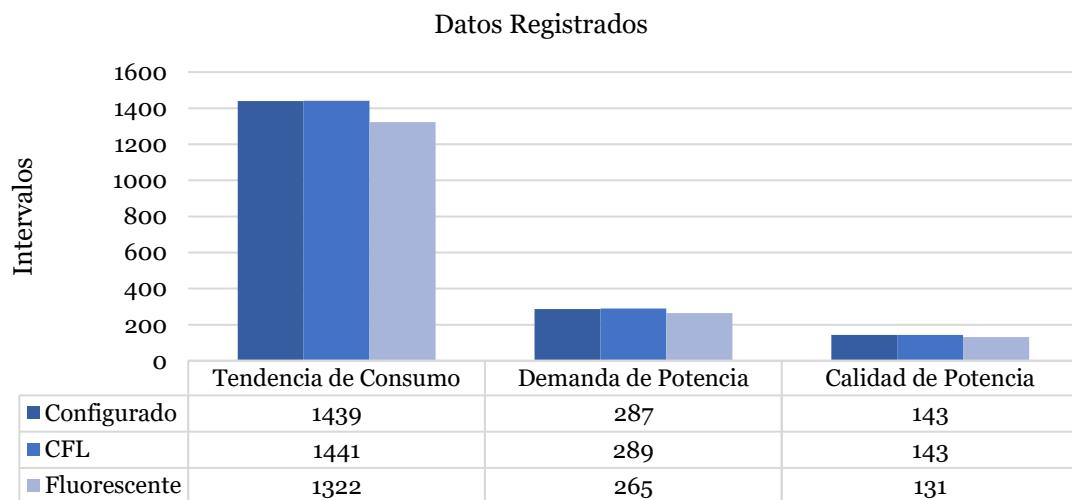
La figura 4 presenta la comparación de tensiones mínimas y máximas entre lámparas CFL (124,21 V - 128,69 V) y fluorescentes (123,34 V - 128,39 V) donde revela que ambas tecnologías operan dentro de rangos de tensión similares, indicando una estabilidad comparable en la calidad de energía. Sin embargo, las CFL suelen ser más eficientes energéticamente y consumen menos potencia, lo que podría influir en su preferencia para aplicaciones que prioricen la sostenibilidad y el ahorro energético.

**Figura 4.- Comparación de los valores mínimos y máximos de tensión**



En la Figura 5 se presenta una comparación entre los estudios realizados, basada en los datos configurados para ambos casos de estudio y los valores registrados. Aunque en ambos casos se configuraron los mismos parámetros, los datos registrados difieren debido a que, aunque el tiempo de análisis se programó en 24 horas para ambos, en el segundo caso solo se pudieron analizar 22 horas. El análisis de los datos obtenidos con el analizador de energía Fluke 1775 revela diferencias entre los datos obtenidos de las lámparas CFL y las fluorescentes. Sin embargo, se puede observar que los datos registrados están muy cerca de los datos que fueron configurados para los análisis.

**Figura 5.- Comparación de los datos configurados y registrados**



## Conclusiones

Se concluye que las lámparas CFL y fluorescentes tradicionales cumplen plenamente con las normativas de calidad de la energía, tanto la EN 50160:2010 como la normativa ecuatoriana. Los resultados obtenidos durante las pruebas indican que el 100% de los parámetros analizados se mantuvieron dentro de los límites establecidos, lo que asegura una operación estable y conforme durante los períodos de evaluación.

Se concluye también que, aunque ambas tecnologías generan armónicos, los niveles registrados de distorsión armónica fueron considerablemente inferiores a los límites permitidos, especialmente el h03, que resultó ser el armónico más relevante. Las lámparas CFL presentaron una mayor contribución de armónicos impares debido a los balastos electrónicos, pero en todo momento se mantuvieron dentro de los márgenes establecidos, lo que confirma que no afectan significativamente la calidad de la energía.

Se concluye que las lámparas fluorescentes tradicionales demostraron una menor generación de armónicos en comparación con las CFL. Esto se debe a la eficiencia de sus balastos electrónicos, los cuales contribuyen a una distorsión armónica menor en la red eléctrica, ambas tecnologías, en términos de eficiencia energética y desempeño en la red eléctrica, demuestran un funcionamiento óptimo, con una vida útil prolongada y sin generar distorsiones que afecten otros dispositivos conectados al sistema.

### **Recomendaciones**

En futuros estudios, sería pertinente evaluar el impacto de otros tipos de lámparas de bajo consumo y tecnologías emergentes, como las LED y las OLED, para comparar su comportamiento en términos de calidad de la energía y generación de armónicos en redes eléctricas. La inclusión de nuevas tecnologías permitirá obtener un panorama más amplio sobre las tendencias actuales en eficiencia energética y calidad de la energía. Sería útil investigar las interacciones entre las lámparas y otros dispositivos electrónicos conectados a la misma red, para evaluar cómo la distorsión armónica afecta el rendimiento de equipos sensibles como computadoras, electrodomésticos, y sistemas de comunicación.

### Bibliografía bibliográfica

- Ghosh, A., & Ledwich, G. (2002). *Power quality enhancement using custom power devices*. Springer.
- Bollen, M. H. J., & Gu, I. Y. H. (2011). *Signal processing of power quality disturbances*. IEEE Power Engineering Society. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2106160>
- Sundaram, S. (2011). *Power quality problems and mitigation techniques*. Springer.
- Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power electronics: Converters, applications, and design*. Wiley.
- Saha, S., & Rahman, M. (2008). *Power quality improvement using active power filters*. *Energy Procedia*, 1(1), 1232-1239. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.175>
- Tirira, R. D., Martínez, M. X., Matute, H. M., Moreno, É. L., & Domínguez, J. D. (2024). Introducción técnica a la clasificación y aspectos fundamentales de los motores eléctricos. *Revista Científica Multidisciplinaria G-Nerando*, 5(2), 1763–. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i2.334>
- Zhao, Q., & Chen, Y. (2013). *A new method for harmonics elimination in power quality*. *Energy Reports*, 1(1), 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2015.01.035>
- Kumar, A., & Bansal, R. C. (2016). *Power quality management: Harmonics and its control techniques*. *Energy Systems*, 7(1), 93-108. <https://doi.org/10.1007/s12667-014-0105-9>
- Hingorani, N. G., & Gyugyi, L. (2000). *Understanding FACTS: Concepts and technology of flexible AC transmission systems*. Wiley-IEEE Press.
- Tirira, R. D., & Barrera, C. A. (2022). Estabilidad de voltaje de largo plazo en sistemas eléctricos de potencia usando modelos de carga. *Iteckne*, 19(1), 15-25. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2545>
- IEEE Power & Energy Society. (2011). *IEEE recommended practice for power quality monitoring*. IEEE Std 1159-2011.
- Kundur, P. (1994). *Power system stability and control*. McGraw-Hill.

- Nabae, A., Takahashi, I., & Akagi, H. (1976). *A new neutral-point-clamped PWM inverter*. IEEE Transactions on Industry Applications, 17(5), 518-523.
- Rashid, M. H. (2014). *Power electronics handbook*. Elsevier.
- Sauer, P. W., & Pai, M. A. (1998). *Power system dynamics and stability: With synchrophasor measurement and power system toolbox*. Prentice Hall.
- Timbus, A. V., Teodorescu, R., Liserre, M., & Blaabjerg, F. (2008). *Evaluation of current controllers for distributed power generation systems*. IEEE Transactions on Power Electronics, 23(3), 1499-1508.
- Venkataramanan, G., & Suresh, S. (2011). *Power quality in power systems and electrical machines*. Elsevier.
- Wang, L., & Xu, L. (2011). *Power quality in power systems and electrical machines*. Elsevier.