

Utilizando MATLAB[®] App Designer: Una Interfaz Interactiva para Analizar Luminarias de Bajo Voltaje

Utilizing MATLAB[®] App: An Interactive Interface for Analysing Low Voltage Luminaires

Leonardo Romero Huerta^a, José Daniel Tena Favela^b, Janeth Alcalá^c, Saida Miriam-Charre Ibarra^d, Jorge Gudiño Lau^e, Miguel A. Durán-Fonseca^f

Abstract:

In this study, a graphical interface is proposed to analyze the behavior of the most used lamps at low voltage, and it is developed using MATLAB[®] App Designer. The proposal of this tool is based as a didactic educational resource to study and understand concepts of power quality and the effects of connecting luminaires to the electrical grid. The results presented show the scope of the interface developed in its beta version.

Keywords:

Lighting, power quality, interface, MATLAB[®]

Resumen:

En este estudio se propone una interfaz gráfica para analizar el comportamiento de las lámparas más utilizadas en bajo voltaje y se desarrolla utilizando MATLAB[®] *App Designer*. La propuesta de esta herramienta se fundamenta como un recurso educativo didáctico para estudiar y comprender conceptos de calidad de la energía y los efectos de la conexión de luminarias a la red eléctrica. Los resultados presentados muestran el alcance de la interfaz desarrollada en su versión beta.

Palabras Clave:

Iluminación, calidad de la energía, interfaz gráfica, MATLAB[®]

Introducción

La iluminación es una de las áreas de mayor consumo energético, solamente superada por los motores, esto se debe a que tanto en los sectores: residencial, comercial e industrial, es necesaria la iluminación artificial en sus actividades cotidianas. Por lo cual es prioritario reemplazar los sistemas de iluminación por otros de mayor eficiencia, ya que es la medida de ahorro más

rentable de todas. Por lo que la evolución de la iluminación eléctrica ha seguido un curso de mejora continua desde su invención. Desde las primeras innovaciones, la industria ha enfocado sus esfuerzos en desarrollar tecnologías más eficientes y luminosas, reduciendo el consumo de potencia. Aunque la lámpara fluorescente, introducida por Nikola Tesla, representó un avance significativo en términos de eficiencia y economía, con la invención de la lámpara de diodo emisor de luz

^a Facultad de Ingeniería Electromecánica-Universidad de Colima, <https://orcid.org/0009-0001-3003-0126>, Email: lromero7@uacol.mx

^b Facultad de Ingeniería Electromecánica-Universidad de Colima, <https://orcid.org/0009-0009-7429-1975>, Email: ctena@uacol.mx

^c Autor de Correspondencia, Universidad de Colima, <https://orcid.org/0000-0002-0238-3952>, Email: janethalcala@uacol.mx

^d Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería y Electromecánica, <https://orcid.org/0000-0002-3823-5388>, Email: scharre@uacol.mx

^e Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica, <https://orcid.org/0000-0002-0585-908X>, Email: jglau@uacol.mx

^f Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería y Electromecánica, <https://orcid.org/0000-0002-0780-6192>, Email: mduran@uacol.mx

(LED) en 1989 se revolucionó aún más el sector, permitiendo el desarrollo de soluciones de iluminación a color de bajo voltaje (1).

El uso de las tecnologías como las lámparas incandescentes y halógenas se ha ido reduciendo en favor de la iluminación LED, que no sólo consume menos energía, sino que supera la eficiencia de los halógenos y la durabilidad de los incandescentes. Durante los años recientes, países como la Unión Europea, Argentina, Canadá, Australia, Rusia y Colombia han establecido políticas para prohibir o limitar la producción, importación y comercialización de lámparas incandescentes. Como ejemplo se destaca la normativa europea que obligó a eliminar las lámparas halógenas desde septiembre del 2018 y sustituirlas por iluminación LED (2).

En México se estima que más del 70% de los sistemas de alumbrado implementados por municipios con el respaldo de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), optan por esta tecnología. Adicionalmente, la rápida evolución de los LED, junto con las tecnologías de información y comunicación (TIC), ha impulsado una transformación en las infraestructuras de alumbrado público, posicionándolas como pilares fundamentales en el desarrollo de las llamadas ciudades inteligentes (3).

Sin embargo, un factor como en las tecnologías anteriores de iluminación que se debe considerar es el impacto en la calidad eléctrica en el sistema eléctrico, pues se compromete la idoneidad de la red presentando un desafío para los sistemas eléctricos modernos (4)-(5). Dentro de este contexto, surge la necesidad de una herramienta didáctica que permita, no solo comprender, sino también evaluar y analizar la calidad de energía de las lámparas LED. La herramienta que se propone en este trabajo se presenta como un instrumento adicional como apoyo para estudiar los efectos de las cargas de iluminación en la red eléctrica y su calidad.

Para abordar esta problemática, desarrollamos una interfaz interactiva en App Designer de MATLAB®, un entorno gráfico de desarrollo interactivo introducido en R2016a. Esta interfaz se apoya en un banco experimental construido específicamente para conectar hasta 22 luminarias, permitiendo diferentes arreglos en serie y paralelo. Las formas de onda se obtuvieron mediante un osciloscopio Tektronix DPO 3034, con el analizador DPO3WR, siguiendo los estándares IEC61000-3-2 Class A y MIL Standard 1399 Section 300A.

Tipos de lámparas

A continuación, se describen algunas de las principales características de las lámparas bajo estudio en este trabajo para entender su principio de operación.

Incandescentes

Las lámparas incandescentes generan la iluminación mediante el calentamiento de un filamento metálico, típicamente de tungsteno, mediante el efecto Joule hasta que este alcanza una luminosidad blanca-rojiza mediante una corriente eléctrica. Son cargas del tipo lineal pues su comportamiento se asemeja al resistivo y no generan distorsión a la red eléctrica, sin embargo, se consideran ineficientes, ya que aproximadamente el 85% de la electricidad que consumen se convierte en calor, mientras que solo el 15% restante se transforma en luz. Las lámparas incandescentes tienen una eficiencia relativamente baja. Esto se debe a que la mayoría de la energía eléctrica se convierte y disipa hacia el entorno en forma de calor, en lugar de luz visible. Su vida útil puede durar alrededor de 1,000 horas. Se encienden inmediatamente al energizarlas, sin ningún tiempo de espera o calentamiento. A pesar de sus desventajas en términos de eficiencia, las lámparas incandescentes han sido una tecnología dominante en iluminación durante más de un siglo debido a su simplicidad, calidad de luz y bajo costo inicial (6)-(7).

Fluorescentes

Las lámparas producen luz mediante una reacción química que involucra la excitación de gases contenidos en un tubo. A diferencia de las bombillas incandescentes, que generan luz mediante el calentamiento de un filamento, las lámparas fluorescentes funcionan a través del principio de la descarga eléctrica en gas. Estas lámparas necesitan de un balastro para mantener la estabilidad y regular el flujo de corriente. Desde una perspectiva técnica, adopta la forma de una resistencia inductiva, que consiste en un núcleo de hierro enrollado con alambre de cobre esmaltado al silicio o una placa de acero eléctrico (7).

Cuando se aplica una corriente eléctrica, esta provoca la emisión de radiación ultravioleta debido a la excitación del mercurio. La radiación ultravioleta, a su vez, excita el revestimiento fosforescente, produciendo luz visible. Son más eficientes que las bombillas incandescentes, ya que convierten una mayor proporción de energía eléctrica en luz visible. Por esta razón, consumen menos energía para producir la misma cantidad de luz que una incandescente. Tienen una vida útil más larga que las bombillas incandescentes. Una lámpara fluorescente típica puede durar entre 8,000-10,000 horas. Las lámparas fluorescentes están disponibles en una variedad de tonos de blanco, desde "blanco cálido" hasta "blanco frío" (7).

LED

Las lámparas LED (8) convierten electricidad en luz usando diodos emisores de luz. A diferencia de bombillas incandescentes, que calientan un filamento, o fluorescentes que usan una reacción química, las LED

producen luz al mover electrones por un semiconductor. Son más duraderas, resistentes a golpes y consumen menos energía. Tienen una vida útil extensa, durando decenas de miles de horas, mientras que incandescentes duran cerca de 1,000 horas y fluorescentes 8,000-10,000 horas. Emite menos calor y se encienden inmediatamente sin calentamiento previo.

Retos y oportunidades en iluminación

La globalización del mercado ha tenido un impacto significativo en la industria de la iluminación, específicamente, en el mercado de la iluminación, pues ha generado una diversidad de productos, con precios más competitivos. Sin embargo, también ha planteado desafíos en términos de calidad, regulación y sostenibilidad. En algunos casos, las lámparas de bajo costo pueden no cumplir con las expectativas de durabilidad, eficiencia o rendimiento y comprometer la calidad de la red eléctrica, así como su huella en el medio ambiente (10).

Actualmente en México la tecnología LED se ha convertido en el mayor referente en iluminación por su versatilidad y adaptabilidad en la mayoría de las aplicaciones. Parece que más del 70% de los sistemas instalados por municipios en proyectos municipales apoyados por Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) utilizan esta tecnología (3).

El grado en que estas lámparas afectan la calidad de la red depende de su penetración en la red y de la calidad de los componentes electrónicos dentro de las lámparas. En sistemas donde hay una alta penetración de lámparas fluorescentes o LED, es posible que sea necesario implementar soluciones de calidad de energía para mitigar los efectos de los armónicos y otras distorsiones. En nuestro país, la norma oficial mexicana NOM-028-ENER-2017, especifica los límites mínimos de eficiencia para las lámparas de uso general para iluminación residencial, comercial, de servicios, industrial y pública, así como los métodos de prueba (11).

Para evaluar la eficiencia de las lámparas incandescentes e incandescentes con halógenos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = \frac{Flujo\ luminoso}{Potencia} \quad (1)$$

La potencia (W) y el flujo luminoso (Lm) se determinan siguiendo los procedimientos de prueba establecidos en la norma NOM-J-019-ANCE-2006, correspondientes a las subsecciones 6.2.1 y 6.3.1, respectivamente, con un período de envejecimiento de 1 hora ajustado al 100% de la tensión nominal. Los autobalastos LFC deben estar en conformidad con la normativa actualizada según la NOM-

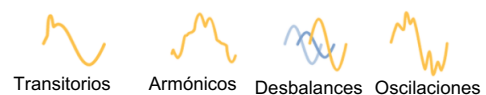
017-ENER/SCFI-20017 (11). Para calcular la eficiencia de las lámparas fluorescentes, se emplea la ecuación (1). Los valores de potencia, flujo luminoso, índice de reproducción cromática y temperatura de color se obtienen mediante métodos de prueba válidos establecidos en la norma NOMX-J-295-ANCE-1999. Por otro lado, para evaluar la eficiencia de las lámparas incandescentes y halógenas, se aplica también la ecuación (1).

Calidad de la energía

En masa, los sistemas de iluminación pueden generar distintos problemas asociados a lo que se conoce como la calidad de energía, que es básicamente una forma de medir que tanto se distorsiona la forma de onda ideal se entrega al usuario. Algunas de las distorsiones o problemas más comunes son los que se describen a continuación (12).

- *Flicker o parpadeo*: Algunos sistemas de iluminación, especialmente cuando se alimentan con voltajes no estables o cuando tienen controladores de mala calidad, pueden generar parpadeo.
- *Armónicos*: Los sistemas de iluminación, especialmente aquellos que utilizan fuentes de alimentación electrónicas, como las lámparas fluorescentes y las LED, con controladores y balastos electrónicos, pueden introducir corrientes armónicas en la red. Estas corrientes pueden causar problemas en otros dispositivos conectados a la misma red, como calentamiento en transformadores y motores o mal funcionamiento de dispositivos electrónicos y originan entre otras cosas, que las formas de onda de voltaje y corriente se distorsionen.
- *Variaciones de voltaje*: Los sistemas de iluminación de gran capacidad, al conectarse o desconectarse, pueden generar variaciones de tensión en la red, lo que puede afectar a otros dispositivos conectados.
- *Transitorios*: Las perturbaciones, como la conmutación de grandes cargas o defectos en el sistema, pueden causar sobrevoltajes transitorios.
- *Problemas de factor de potencia*: Algunos sistemas de iluminación, especialmente aquellos que utilizan balastos electrónicos, pueden tener un factor de potencia inferior al ideal. Esto puede llevar a una mayor demanda de corriente y pérdidas en el sistema eléctrico.

En la Figura 1 se muestran algunos ejemplos de estos tipos de perturbaciones y como distorsionan la forma sinusoidal de la red eléctrica.



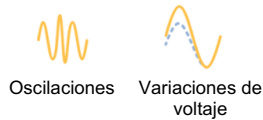


Figura 1. Perturbaciones que afectan la calidad de la red eléctrica.

Descripción del proyecto

En este estudio, proponemos una herramienta para comprender los efectos que distintos tipos de lámparas producen al conectarse a la red eléctrica. Hemos diseñado una interfaz gráfica que permite elegir entre lámparas fluorescentes, incandescentes y LED. Además, realizamos un análisis del mercado actual de lámparas. Para diferenciar entre el comportamiento de los diferentes tipos de lámparas se consideraron diferentes modelos de los disponibles en el mercado de manera aleatoria similares en rangos de potencia, pero con diferentes factores de calidad de acuerdo con el fabricante.

Se realizó una encuesta energética a usuarios residenciales para determinar el tipo de lámparas que utilizan en su hogar, el número de lámparas y si es de su interés adquirir tecnologías LED controlables con funciones de ajuste.

Como se puede apreciar en la Figura 2, del total de encuestados, la mayoría afirma tener en promedio 8 lámparas en su hogar.

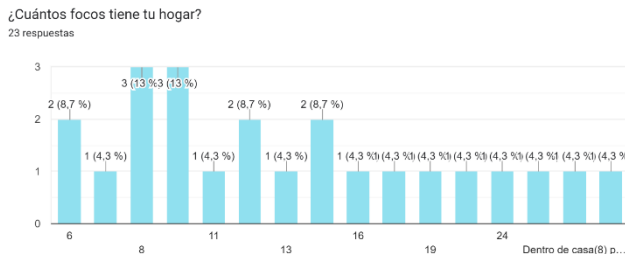


Figura 2. Cantidad de lámparas en el hogar.

El 100% de las personas seleccionó que les gustaría que la iluminación sea regulable, es decir, que la luminosidad de los focos sea regulable por el usuario. Se preguntó también la cantidad de focos ahorradores (fluorescentes) que tienen el hogar, el promedio se situó alrededor de 4. En la Figura 3 se pueden apreciar los resultados de la encuesta.

Se encuestó también acerca de la cantidad de lámparas con tecnología LED que tienen en el hogar, los resultados se sitúan en 3, como se puede observar en la Figura 4.

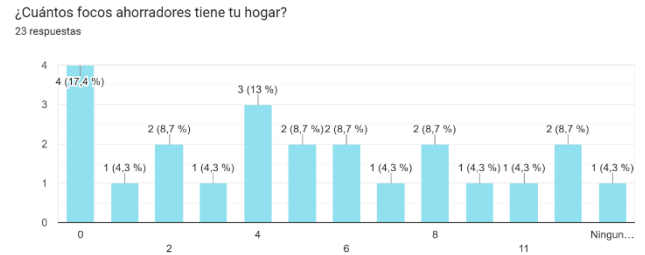


Figura 3. Cantidad de lámparas fluorescentes en el hogar.

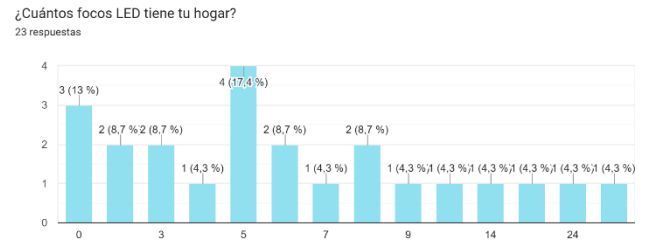


Figura 4. Cantidad de lámparas LED en el hogar.

Por último, en la Figura 5 se muestran los resultados encuestados sobre la cantidad de lámparas inteligentes, controladas que se tienen en el hogar, el promedio se situó alrededor de 2.

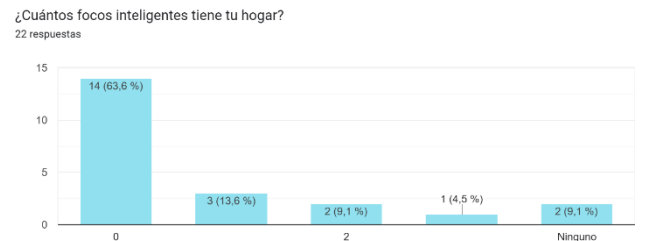


Figura 5. Cantidad de lámparas LED inteligentes en el hogar.

Desarrollo de la aplicación

Como se mencionó en la introducción, la propuesta que se aborda en este trabajo es el desarrollo de una interfaz que funcione como una alternativa didáctica y educativa para entender conceptos sobre calidad de la energía, los efectos de las lámparas que más se utilizan por un consumidor convencional en una red residencial, de bajo voltaje y evaluar parámetros de interés en términos de calidad de la energía. Para ello, se propone la interfaz, mostrada en la Figura 6. La interfaz se desarrolló en *App Designer* de MATLAB®, el cual es un entorno gráfico de desarrollo interactivo para diseñar interfaces, introducido en R2016a e incluye una versión integrada del editor MATLAB® (13).

En la parte superior izquierda se tienen tres pestañas que permiten: 1) seleccionar el tipo de lámpara o foco para el

cual se desea conocer su comportamiento, es decir. Si es incandescente, fluorescente, o LED; 2) la marca para el análisis se eligieron marcas comerciales de las disponibles en el mercado y en tiendas departamentales, accesibles al usuario promedio y 3) el modelo, que se relaciona con el rango de potencia. En la parte derecha inferior y superior se tienen dos ventanas en donde se desplegarán formas de onda experimentales en el dominio temporal obtenidas para cada una de las lámparas a valor nominal. En la parte central media se despliegan las características eléctricas de estas lámparas.

En la parte inferior se agregaron tres pestañas o botones cuya función se describe de la siguiente forma: 1) Pestaña de "Ayuda", esta pestaña nos brinda información relevante sobre el tipo de lámparas que se ha elegido. 2) Pestaña "Visualizar datos", nos permite desplegar los datos para la lámpara que sea ha seleccionado. 3) Pestaña "Analizador de armónicos", esta pestaña permite visualizar las formas de onda el espectro en frecuencia aplicando la Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*, FFT por sus siglas en inglés).

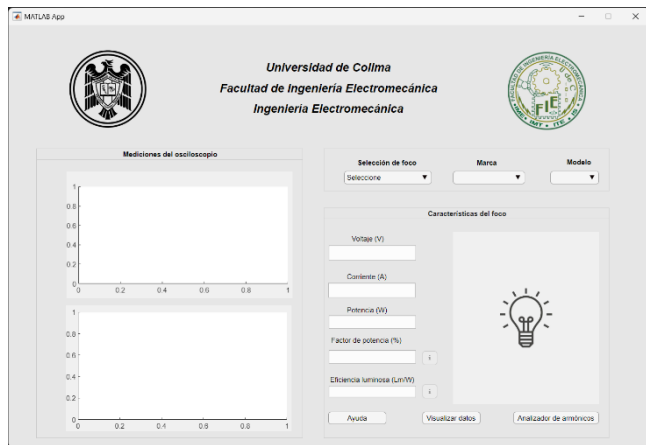


Figura 6. Interfaz gráfica propuesta para evaluación del comportamiento de lámparas.

Pruebas y resultados

A continuación, se muestran algunas figuras con la ejecución de la interfaz. La interfaz interactiva se desarrolló en App Designer de MATLAB® en la versión R2016a. Esta interfaz se apoya en un banco experimental construido específicamente que permite conectar hasta 22 luminarias, permitiendo diferentes arreglos en serie y paralelo. Las formas de onda se obtuvieron mediante un osciloscopio Tektronix DPO 3034, con el analizador DPO3WR, siguiendo los estándares IEC61000-3-2 Class A y MIL Standard 1399 Section 300A. Las pruebas se desarrollaron utilizando lámparas de distintos fabricantes. En la Figura 7 se muestran los resultados cuando se selecciona una lámpara incandescente, modelo A55 de la marca Philips® de 100 W de potencia, para una eficiencia

luminosa de 25 Lm/W, se puede observar como las formas de onda del voltaje y corriente son sinusoidales y están en fase, por el comportamiento lineal que ofrecen este tipo de opciones, no obstante, la potencia es elevada para la eficiencia luminosa.

En la Figura 8 se muestran los resultados cuando se selecciona una lámpara fluorescente, modelo 83990 de la marca OSRAM® de 13 W de potencia, para una eficiencia luminosa de 55 Lm/W, se puede observar como este tipo de lámparas distorsionan la forma de onda de corriente, es decir demandan reactivos a la red eléctrica con su operación.

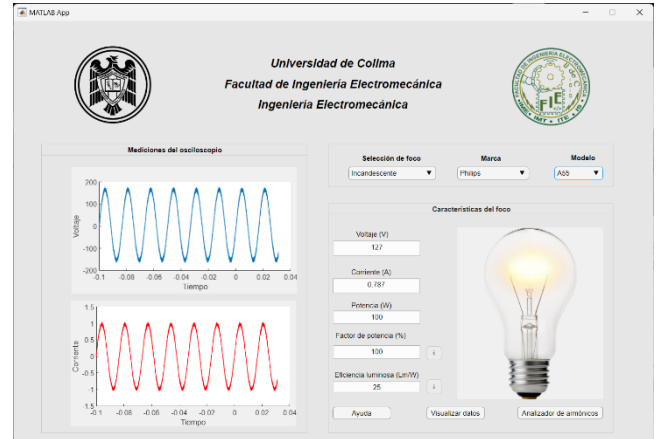


Figura 7. Comportamiento lámpara incandescente.

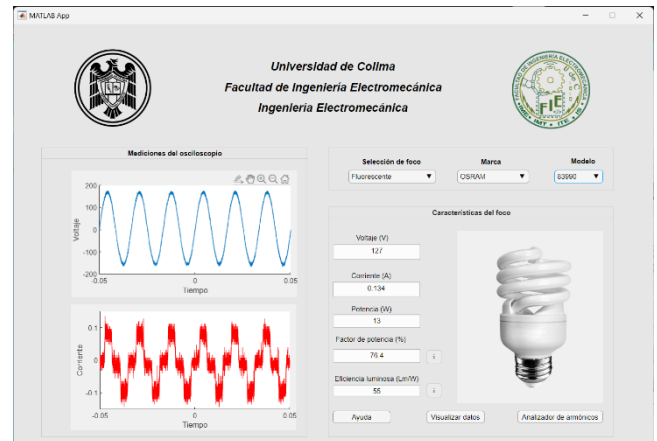


Figura 8. Comportamiento lámpara fluorescente.

En la Figura 9 se muestran los resultados cuando se selecciona una lámpara LED controlable (inteligente), modelo 806LM de la marca *Domotica Home*® de 9 W de potencia, para una eficiencia luminosa de 89.56 L m/W, se puede observar como este tipo de lámparas también distorsionan la forma de onda de corriente, el nivel de distorsión y demanda de reactivos a la red eléctrica es variante y dependiente de la gama de colores y el control del nivel de iluminación, la aplicación permite evaluar el comportamiento para diferentes funciones.

En la Figura 10 se muestra la ventana que se genera cuando se selecciona la opción Analizador de armónicos a través de la pestaña ubicada en la parte derecha inferior mostrado en la Figura 6. En esta ventana alternativa, se puede navegar y seleccionar entre diferentes opciones que permiten al usuario evaluar el comportamiento de las señales, hacer cálculos en términos de calidad de la energía, determinar parámetros y ver el comportamiento armónico.

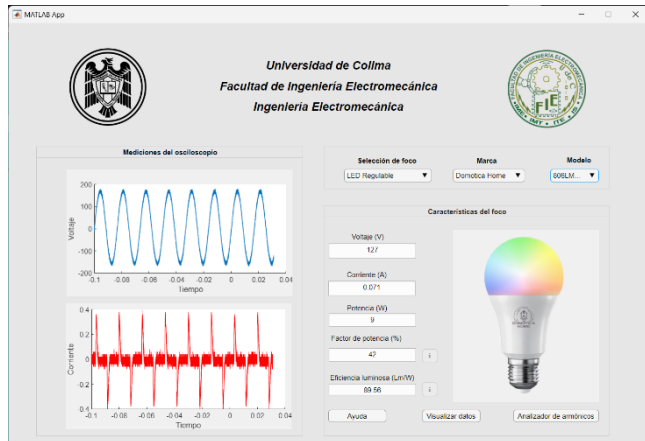


Figura 9. Comportamiento lámpara LED.

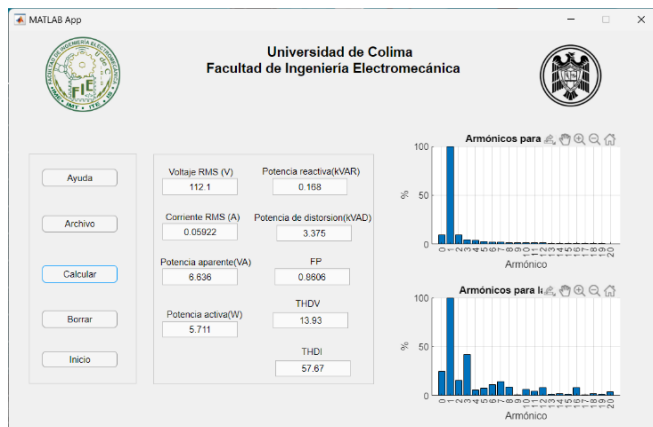


Figura 10. Analizador de armónicos

Conclusiones

En este trabajo se presentó una interfaz gráfica propuesta para evaluar y conocer el comportamiento de las lámparas que utiliza un usuario promedio. El objetivo de la interfaz es ser funcional como una herramienta de apoyo didáctica y educativa introductoria para estudiar o conocer el concepto de calidad de la energía y de los efectos que originan cargas convencionales con son las lámparas con su uso. La herramienta ofrece, además corroborar o validar términos avanzados de análisis que se estudian al evaluar la calidad de una forma de onda de voltaje o corriente y de los efectos o causas que origina a la red eléctrica. Como parte fundamental para entender la

función de la interfaz, se brindan algunos conceptos introductorios y se plantea el contexto actual de la iluminación. Los resultados aquí mostrados forman parte de un trabajo realizado por estudiantes y la interfaz se sigue complementado con funciones para el objetivo propuesto, por lo que actualmente está interfaz es la versión beta.

Referencias

Arroyo R, Jiménez RV. Tecnología Led para un programa mejorado de luz sustentable. Mundo Siglo XXI, revista del CIECAS-IPN. 2014;9(1):71–80.

Suárez J, Di Mauro G, Murcia G, Jacob S, Strack J. Lámparas LEDs: impacto en el uso eficiente de la energía. AVERMA [Internet]. 2012 [citado el 03 de octubre de 2023];16(1):49–56. Disponible en: <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/2255>.

Serrano R. Cuál es el panorama del alumbrado público en México 2020 [Internet]. Iluminet revista de iluminación. 2020 [citado el 03 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.iluminet.com/panorama-del-alumbrado-publico-en-mexico-2020/>.

Strack, J, Suárez, J, Di Mauro, G, Jacob, S Impacto de la iluminación residencial Eficiente en la Calidad de la Energía de una red de Distribución. [Internet]. Corporación Universidad de la Costa; 2014 [citado: 2023, octubre]

Suárez, J., Di Mauro, G., Murcia, G., Jacob, S., Stracks, J. Lámparas LEDs: Impacto en el uso eficiente de la energía. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2012; 16(1): p.49-56.

Sencion, Y., Ávila, F., Aguilar, K., Jimenez, E., y Acosta, A. Una revisión sobre las estrategias tecnológicas de ahorro y eficiencia energética en el sector residencial e industrial. Revista Semilla Científica. 2020; (3):p.171–184. Recuperado a partir de <https://revistas.umecit.edu.pa/index.php/sc/article/view/1088>.

Moreno, L. E., Sosa, Jorge, Gudiño J. Análisis técnico-económico de las ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes y las lámparas fluorescentes compactas. Ciencia e Ingeniería. 2016; 3(37): p. 187-193.

Jiménez, T., Segura B. Eficiencia del ahorro energético y reducción del impacto ambiental negativo de la tecnología led. Revista Ingeniería. 2015;51–8.

Barbosa Franco AF, Noguera Vega LA, Giral Ramírez WM. Análisis de distorsión armónica en iluminación LED. Vínculos. 2017;14(2):95–107. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14483/2322939x.12520>.

Rincón Triana CA, Muñoz Romero JA, Vega LA. Análisis de distorsión armónica para controladores dimerizables en luminarias LED. Visión electrónica. 2018;37–41.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Normas Oficiales Mexicanas en Eficiencia Energética en Iluminación [Internet]. gob.mx. [citado el 02 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-en-eficiencia-energetica-iluminacion>.

M.H.J. Bollen. What is power quality? Electric Power Systems Research, Volume 66, Issue 1, 2003, 66(1); p. 5-14. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(03\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(03)00067-1).

MATLAB App Designer [Internet]. Mathworks.com. [citado el 03 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>.