



## Desarrollo de aplicaciones en el software Scilab para el análisis de armónicos en sistemas industriales

### *Development of applications in Scilab software for the analysis of harmonics in industrial systems*

Maykop Pérez Martínez<sup>1,\*</sup>, Josnier Ramos Guardarrama<sup>1</sup>, Raimundo Carlos Silvério Freire<sup>2</sup>, Daniel Barrios Gonzales<sup>3</sup>


<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Cuba.

<sup>2</sup>Universidad Federal de Campina Grande, Brasil.

<sup>3</sup>Universidad de Zaragoza. Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón. España.

\*Autor de correspondencia: [maykop@electronica.cujae.edu.cu](mailto:maykop@electronica.cujae.edu.cu)

Recibido: 4 de noviembre del 2021 Aprobado: 23 de febrero del 2022

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional 

#### RESUMEN/ABSTRACT

El presente trabajo tiene como objetivo proponer el diseño de aplicaciones, mediante una interfaz gráfica, basada en el software libre Scilab, que permiten el análisis de los armónicos en los sistemas eléctricos industriales. Para comprobar su utilidad se toma como caso de estudio el sistema industrial de Sonangol – Namibe. Los resultados son el desarrollo de cinco aplicaciones, que permiten, a partir de la mejora del factor de potencia, diseñar tres propuestas de filtros pasivos, para su posterior análisis en el sistema industrial. Se propone poder analizar el efecto que tienen las cargas no lineales conectadas a la red y su mitigación, evitando con esto problemas de sobretensiones y sobrecorrientes, que afecten, por ejemplo, el aislamiento sólido de los cables y las bobinas de las máquinas eléctricas, por lo que se considera de gran utilidad práctica para los ingenieros de las industrias. Este tipo de software es generalmente de licencia privada, con un alto costo de adquisición, por lo que sus semejantes, en licencia libre, permiten un mayor alcance entre los estudiantes y especialistas a fines.

**Palabras clave:** armónicos, filtros pasivos, carga no lineal, Scilab, sistemas industriales, estudio de caso.

*The objective of this work is to propose the design of applications, through a graphical interface, based on the free software Scilab, which allow the analysis of harmonics in industrial electrical systems. To verify its usefulness, the industrial system of Sonangol - Namibe is taken as a case study. The results are the development of five applications, which allow, from the improvement of the power factor, to design three proposals for passive filters, for their subsequent analysis in the industrial system. It is proposed to be able to analyze the effect of non-linear loads connected to the network and their mitigation, thus avoiding problems of overvoltage's and overcurrent's, which affect, for example, the solid insulation of cables and coils of electrical machines, for what is considered of great practical use for industrial engineers. This type of software is generally licensed privately, with a high acquisition cost, so that its peers, in free license, allows a greater reach among students and specialists for purposes.*

**Key words:** harmonics, passive filters, nonlinear load, Scilab, industrial systems, case study.

#### INTRODUCCIÓN

La aparición de la electrónica revolucionó los conceptos relacionados con la electricidad, ya que los equipos de medición electrónicos comenzaron a reducir los errores asociados con ellos a una fracción mínima en comparación con los equipos electromecánicos. Las microcomputadoras comenzaron a tener un procesamiento más rápido, se crearon nuevas interfaces, se popularizó el concepto de comunicación a distancia, y la electrónica permitió reducir sustancialmente el volumen físico de los dispositivos eléctricos, además de aumentar su eficiencia.

Cómo citar este artículo:

Maykop Pérez Martínez, *et al.* Desarrollo de aplicaciones en el software Scilab para el análisis de armónicos en sistemas industriales. 2022, vol. 43, n. 1, enero/abril. ISSN:1815-5901.

Sitio de la revista: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

Sin embargo, el desarrollo de estos equipos con tecnologías extremadamente económicas trajo problemas al sistema eléctrico, ya que se basan en elementos no lineales en su construcción. Las cargas no lineales contaminan con corrientes distorsionadas a la fuente a la que están conectadas y, una vez conectadas a la red, pueden cambiar la forma de onda de tensión en el punto de acoplamiento común donde se conectan varias cargas de diferentes consumidores.

Tales corrientes o tensiones no deseadas reciben el nombre de señales armónicas, las cuales se unen a la forma de onda de tensión y corriente ocasionando en esta una distorsión, debido en mayor parte, como ya se mencionó, al uso de equipos que basan su funcionamiento en dispositivos electrónicos que realizan conmutaciones a alta frecuencia en su condición nominal de funcionamiento. El uso creciente de equipos basados en electrónica de potencia despierta la importancia de la relación entre esta área de la ingeniería eléctrica y la calidad de la energía eléctrica. A pesar de proporcionar un control eficiente del flujo de energía, estas cargas producen tensiones y/o corrientes armónicas que conducen a un aumento de las perturbaciones causadas por la distorsión armónica en los sistemas eléctricos, lo que resulta en una peor calidad de la energía eléctrica[1-2].

En ese sentido,[3-6], refieren, que cuando existen en una red eléctrica fuentes emisoras de corrientes armónicas, provocan efectos nocivos en los sistemas eléctricos que dependen de la intensidad relativa de las fuentes emisoras y se resumen en, problemas de funcionamiento en dispositivos electrónicos de regulación, tanto de potencia como de control, mal funcionamiento en dispositivos electrónicos de protección y medición, interferencias en sistemas de comunicación y telemando, sobrecalentamiento de los equipos eléctricos (motores, transformadores, generadores, etc.) y en los conductores eléctricos con la disminución consecuente de la vida útil de los mismos e incremento considerable de pérdidas de energía, fallo de los condensadores de potencia y efectos de resonancia que amplifican los problemas mencionados anteriormente y pueden provocar accidentes eléctricos, fallas destructivas de equipos de potencia o mal funcionamiento y el efecto sobre el factor de potencia es el de disminuirlo ya que aumenta la potencia aparente total generada, producto del aumento del valor RMS de la corriente o la tensión.

Para analizar como afirma [7], los efectos provocados por los armónicos, se utilizan índices que cuantifican el nivel de contaminación armónica de las ondas. Para el análisis, los índices se comparan con los límites de valores dados por las normas o con los valores de soporte de los dispositivos.

La IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) y CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) han establecido normas que limitan las perturbaciones de baja frecuencia en redes industriales y domésticas.

El objetivo principal de las normas es proporcionar una guía común para que todas las partes involucradas trabajen juntas a fin de garantizar la compatibilidad entre los aparatos de uso final y los sistemas de distribución de electricidad. De acuerdo con [8-9], los principales estándares que rigen los límites de armónicos son:

- IEEE 519-1992,
- IEC 61000:
  - IEC 61000-2-2,
  - IEC 61000-3-2,
  - IEC 61000-3-4,
  - IEC 61000-3-6,
- NRS 048-2
- EN50160.

En resumen, las normas abordan los requisitos de calidad de suministro para los proveedores, por lo que definen los niveles de tensiones característicos específicos que deben entregar los distribuidores de energía eléctrica y los métodos para evaluar el cumplimiento del suministro.

Los límites de tensión y/o corriente de armónico se determinan, de manera general, como un porcentaje de la tensión o la corriente de la componente fundamental. Se aplican a sistemas alimentados con baja o media tensión, es decir para tensiones de hasta 35 kV. La distorsión armónica total de que incluye todos los armónicos hasta 40, no debe superar el 8%.

Por todo lo anteriormente planteado, es necesario medir el contenido de armónicos del sistema industrial para determinar una forma de mitigar los problemas de distorsión armónica.

En correspondencia [5; 10; 11], plantean que existen varias técnicas para la corrección de la distorsión armónica en las redes eléctricas, unas son para bloquear el paso de los armónicos que fluyen hacia los equipos sensibles como son los equipos electrónicos, los cuales quedan protegidos de la influencia de los mismos, aunque estas corrientes armónicas sigan circulando por el resto de la red.

Otra medida son los dispositivos que tienden a absorber la corriente armónica, los cuales se confinan para circular por zonas limitadas de la red, preferentemente circunscritas a los focos emisores de las mismas. Y la otra forma es vivir con el problema, pero protegido esto se hace cuando se toman medidas de sobredimensionamiento, recurriendo incluso hasta diseños especiales, cuando se tienen sometidos equipos y conductores al flujo de corrientes armónicas, se pretenden minimizar sus efectos nocivos provocados por su distorsión armónica. En general las técnicas que se emplean hacen la función de un filtro.

Los filtros se instalan en el sistema para absorber o bloquear los armónicos de corriente o tensión, proporcionando una ruta de baja o alta impedancia para estos armónicos. Con esto se logra el objetivo principal, que es reducir la amplitud de una o más frecuencias de corrientes y/o tensiones armónicas. Además, los filtros de armónicos también pueden compensar la energía reactiva del sistema con la consecuente mejora del factor de potencia del sistema. En otras palabras, los bancos de condensadores normalmente utilizados para la corrección del factor de potencia se utilizan en la constitución de los filtros, minimizando las inversiones necesarias.

En ese sentido se plantea por [4], que los filtros deben ser ubicados lo más cerca posible del punto donde se generan los armónicos. Dentro de las aplicaciones más frecuentes de los filtros armónicos son para instalaciones de potencias medias y altas, en donde incluye variadores de velocidad, hornos de inducción y rectificadores, además de sistemas donde requieran corregir el factor de potencia.

Por otro lado, de acuerdo con [12], actualmente existen comercialmente muchos paquetes computacionales que pueden calcular armónicos en cualquier sistema eléctrico de potencia. En la información de ayuda de cada *software* se pueden encontrar especificaciones sobre el método de cálculo y sobre cómo son modelados los diversos componentes de la red.

Además de un *software* comercial, es posible programar un método de cálculo de armónicos específicamente para un sistema eléctrico industrial, sea en el dominio de la frecuencia o el tiempo en programas de código abierto como Scilab.

En ese sentido autores como [13 - 17], plantean la necesidad e importancia de utilizar softwares libres donde se puedan realizar trabajos prácticos que enriquezcan y mejoren la enseñanza de la ingeniería eléctrica y por ende el trabajo de los ingenieros en las industrias.

El software libre es aquel que respeta la libertad de los usuarios y de la comunidad, presentado cuatro libertades esenciales:

- Libertad para ejecutar el programa en cualquier sitio, con cualquier propósito y para siempre.
- Libertad para estudiarlo y adaptarlo a las necesidades. Esto exige el acceso al código fuente.
- Libertad de redistribución.
- Libertad para mejorar el programa para publicar las mejoras, desde luego que se necesita conocer el código fuente. [17], Scilab es un software libre matemático con muchas prestaciones, entre ellas; tener un lenguaje de programación de alto nivel, muy útil en la matemática ingenieril y disponible para Linux, Mac y Windows. Se le considera un clon de Matlab con funciones similares. También, Scilab es catalogado como un lenguaje de programación con objetos dinámicos. Scilab, incluye cientos de funciones especializadas para computación numérica, organizadas en librerías llamadas “*toolboxes*” que cubren muchas áreas como simulación, sistemas y control, optimización y procesamiento de señales.

En base a lo anteriormente planteado el objetivo general de este trabajo es diseñar aplicaciones con interfaz gráfica a partir de las prestaciones que brinda el software Scilab, para el empleo del análisis de los armónicos en los sistemas industriales. Como caso de estudio en este trabajo, se analizan los armónicos generados por un gran consumidor industrial expuesto por [18], el cual permitió validar y desarrollar las herramientas propuestas mediante la metodología propuesta, que consistió de manera general en el diseño de tres propuestas de filtros pasivos a partir del análisis de la mejora del factor de potencia.

El texto fue organizado con el fin de presentar inicialmente de manera general la situación actual del tema abordado, con el fin de exponer la necesidad del desarrollo de herramientas computacionales mediante la utilización de *softwares* libres, insertando al lector en el contexto actual, en lo que se refiere al conocimiento paulatino de las perturbaciones armónicas en los sistemas eléctricos industriales, llevándolo al punto de análisis de armónicos de un sistema eléctrico industrial usando simulación por computadora, con el fin de su implementación práctica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder desarrollar el objetivo de la presente investigación, fue necesario la constatación de los estudios teóricos existentes y la búsqueda de los conocimientos científicos acumulados en torno al análisis de los modelos de los diferentes elementos que conforman al sistema eléctrico, para lo que se consultaron, un total de 25 referencias bibliográficas, además de catálogos y normas técnicas, lo que permitió junto al estudio de caso presentado por [18], desarrollar las aplicaciones aquí propuestas mediante la metodología presentada en la figura 1.

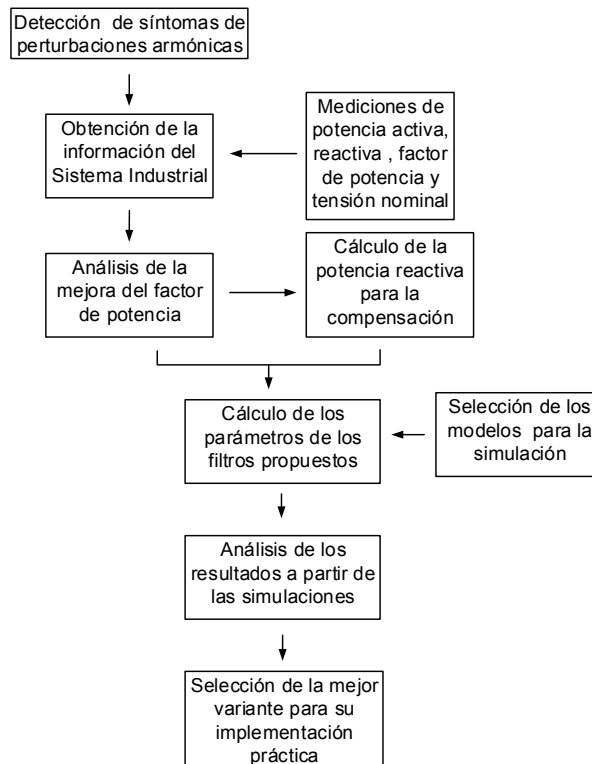


Fig. 1. Procedimiento seguido para la elaboración de las aplicaciones en el software libre Scilab.

## DISCUSIÓN Y RESULTADOS

### Modelos de los elementos del sistema eléctrico para simulación de armónicos

De acuerdo con [19-20], los elementos del sistema eléctrico para la simulación de armónicos deben ser adecuados para representar las características y respuestas que cada uno de estos tiene ante la circulación de corrientes armónicas por la red.

En ese sentido y de acuerdo con los estudios realizados por [21-23], se tomó para la simulación de las cargas no lineales del sistema industrial una fuente de tensión constante para cada frecuencia armónica, como se muestra en la figura 2.

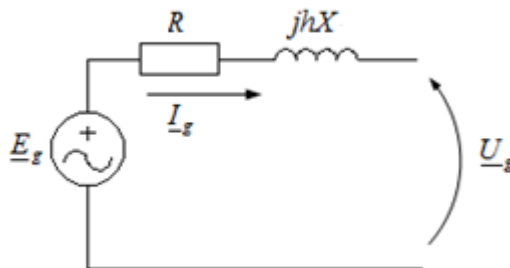


Fig. 2. Modelo del sistema industrial para la elaboración de las aplicaciones en el software libre Scilab.

Con el objetivo de analizar cuanto afectan los armónicos generados por el sistema industrial al sistema eléctrico de potencia se tomó a la salida del sistema industrial una carga igual a 10 veces la carga para la componente fundamental del sistema industrial, obtenida a partir de las mediciones de potencia activa y reactiva, donde la resistencia representa la parte activa y la inductancia la reactiva, los parámetros se calculan de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2).

$$R = \frac{U^2}{P} \quad (1)$$

$$X = \frac{U^2}{Q} \quad (2)$$

Para el diseño de los filtros pasivos propuestos se consultaron autores como [21; 24; 25], los cuales plantean que los filtros se diseñan de acuerdo al tipo de distorsión armónica, ya sea para suprimir los armónicos que genera alguna carga no lineal para que la distorsión no llegue a la fuente, o para suprimir la distorsión armónica que se encuentran ya en la tensión de la fuente para que no afecte a las cargas que se necesitan conectar en la red eléctrica.

### Presentación del diseño de las aplicaciones desarrolladas

A partir del análisis anterior se desarrollaron cinco aplicaciones, como ya se mencionó en el software libre Scilab, las cuales tienen como objetivo facilitar una herramienta de trabajo, desde la simulación, para los ingenieros de las industrias que les permita realizar el análisis del diseño de los filtros para la supresión de armónicos a partir de la propuesta de la mejora del factor de potencia y de esta forma obtener la mejor variante para su implementación práctica.

En la figura 3 se muestra la interfaz gráfica de la aplicación que, a partir de los valores de potencia activa, factor de potencia, factor de potencia deseado y tensión nominal del sistema industrial, se realice una propuesta de mejora del factor de potencia mostrando la potencia reactiva que tendrá el sistema después de la compensación y la potencia reactiva del banco de condensadores necesaria a instalar para lograr el factor de potencia deseado.

También se brinda el cálculo de la capacitancia que tendrá los condensadores a instalar, y a partir de esta le permite al ingeniero diseñar un filtro pasivo (serie, paralelo, pasa altos) en función de este valor y el orden del armónico que se desea eliminar.

The interface is titled "Cálculo de la mejora del factor de potencia y propuesta de parámetros de filtro". It is divided into several sections:

- Datos del Sistema Industrial antes de la mejora:** Includes input fields for "Potencia Activa [kW]", "Factor de potencia actual", "Factor de potencia deseado", "Tensión del sistema industrial [V]", and "Frecuencia del sistema industrial".
- Resultados de la mejora del factor de potencia:** Includes output fields for "Potencia reactiva antes de la compensación [kvar]", "Potencia reactiva después de la compensación [kvar]", "Potencia reactiva del banco de condensadores [kvar]", and "Capacitancia en [F]".
- Datos para propuesta de filtro:** Includes input fields for "Orden del armónico a eliminar", "Factor de calidad", and checkboxes for "Filtro serie", "Filtro paralelo", and "Filtro pasa altos".
- Resultados de la propuesta de filtro:** Includes output fields for "Inductancia [H]" and "Resistencia [ $\Omega$ ]".

Fig. 3. Interfaz gráfica de la aplicación para la mejora del factor de potencia y el diseño de filtros pasivos.

Posteriormente después de obtenido los parámetros del diseño del filtro seleccionado se desarrollaron tres aplicaciones, una para cada filtro, que brindan a través de la simulación el comportamiento de la característica de impedancia de los filtros en función de la frecuencia, verificándose cuál sería la frecuencia de resonancia de la propuesta y si está cumple con la frecuencia del armónico que se desea eliminar, en las figuras 4, 5 y 6, se muestran la interfaz gráfica para el filtro pasivo serie, paralelo y pasa altos respectivamente.

The interface is titled "Característica de frecuencia del Filtro Serie". It features:

- Parámetros de entrada:** Input fields for "Inductancia (H)" and "Capacitancia (F)".
- Circuit Diagram:** A schematic of a series LC filter with an inductor  $L$  and a capacitor  $C$  connected in series.
- Característica de frecuencia:** A button to view the frequency response.

Fig.4. Interfaz gráfica de la aplicación del diseño del filtro serie.

The interface is titled "Característica de frecuencia del filtro pasivo paralelo sintonizado". It features:

- Parámetros de entrada:** Input fields for "Inductancia (H)", "Capacitancia (F)", and "Factor de Calidad".
- Circuit Diagram:** A schematic of a parallel RLC filter with a resistor  $R$ , a capacitor  $C$ , and an inductor  $L$  connected in parallel.
- Características de Frecuencia:** A button to view the frequency response.

Fig.5. Interfaz gráfica de la aplicación del diseño del filtro paralelo.

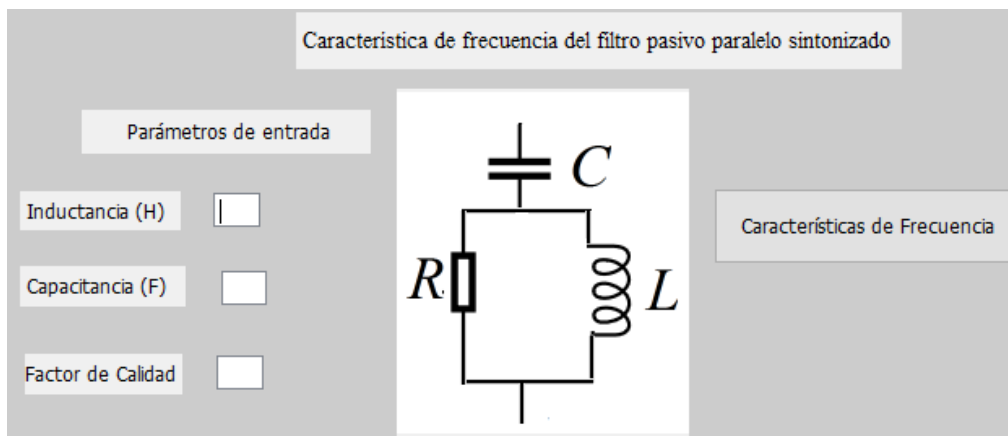


Fig. 6. Interfaz gráfica de la aplicación del diseño del filtro sintonizado pasa altos.

En la figura 7, se muestra la interfaz gráfica de la aplicación que brinda la posibilidad de analizar el efecto que tienen los armónicos producidos en un sistema eléctricos industrial que presenta un gran número de cargas no lineales sobre el sistema eléctrico y como estos pueden ser eliminados a partir de la utilización de filtros.

A partir de los resultados anteriores sesimula el filtro instalado en el sistema eléctrico industrial, facilitando las curvas de tensión y corriente, la distorsión armónica total de corriente y tensión y el factor de potencia mejorado todos estos resultados antes y después de instalado el filtro. Facilitando al ingeniero realizar un análisis desde la simulación de las ventajas proporcionadas con la instalación del filtro seleccionado antes de su implementación práctica.

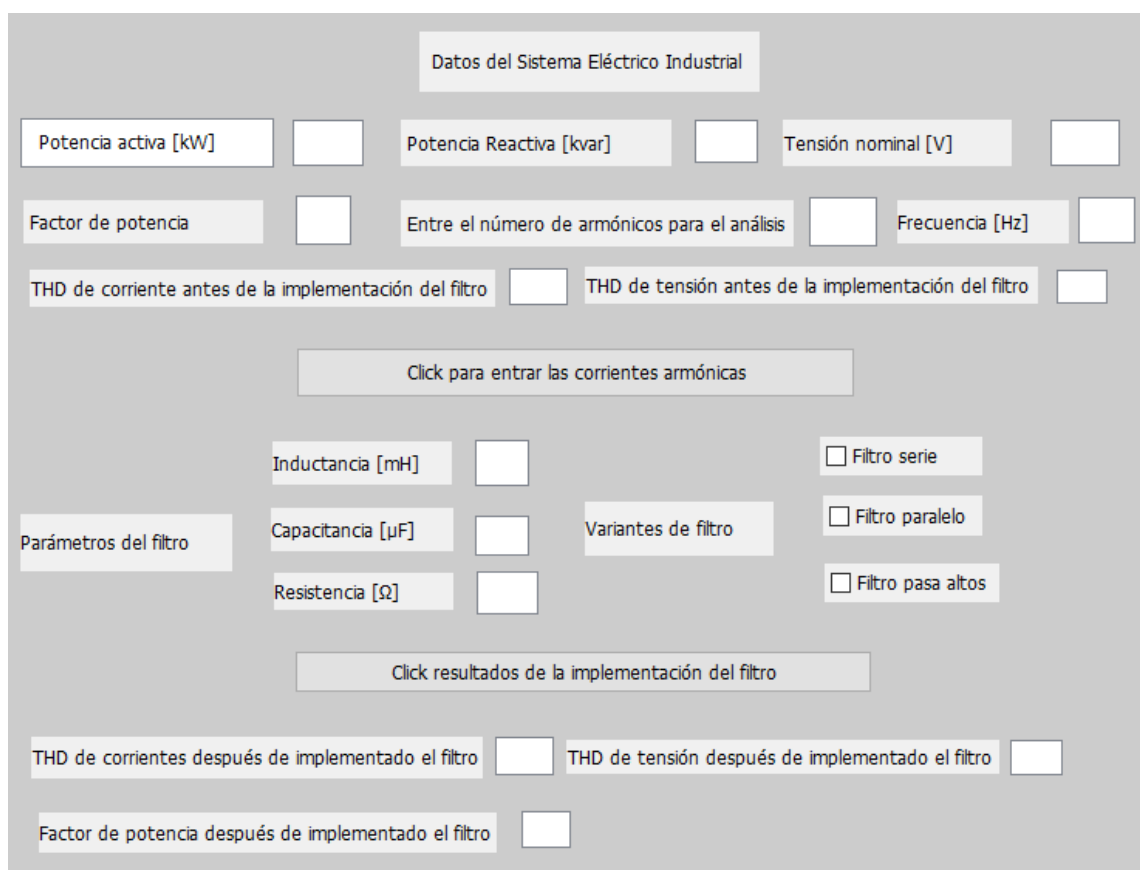


Fig. 7. Interfaz gráfica de la aplicación análisis de armónicos en sistemas eléctricos industriales.

### Análisis de los resultados

Con el objetivo de comprobar la utilidad de las herramientas, se aplicarán al sistema industrial estudiado por [18]. De acuerdo con los autores, las principales cargas encontradas en la instalación son: lámparas fluorescentes, lámparas de vapor de mercurio, lámparas de vapor de sodio, carga motora, compuesta por motores asincrónicos en su mayoría, y equipamiento de oficina principalmente computadoras. Se obtuvo la siguiente información:

- Factor de potencia (fp): 0,85
- Potencia activa total (kW): 243 kW
- Corriente total: 490 A

- Tensión nominal: 220 V
- Frecuencia nominal: 50 Hz

Se plantea además que se generan armónicos de corriente de orden 3<sup>er</sup>, 5<sup>to</sup>, 7<sup>mo</sup> y 9<sup>no</sup>, siendo la característica de la corriente en el punto de entrada de la subestación:

$$i(t) = 490 \cos(314t + 31,5^\circ) + 123 \cos(3 \cdot 314t + 145^\circ) + 87,6 \cos(5 \cdot 314t - 114,6^\circ) + 64 \cos(7 \cdot 314t + 1,75^\circ) + 53 \cos(9 \cdot 314t + 115,4^\circ) \text{ A}$$

### Análisis de la mejora del factor de potencia y diseño de los filtros

Para realizar este análisis se supondrá que el factor de potencia deseado será de 0,96, un factor de calidad de 50 y como se plantea por [18], se eliminará el armónico de orden 3, se analizarán tres variantes de diseño de filtros. En la figura 8, se muestran los resultados, a modo de ejemplo de la variante 1, de la interfaz gráfica de la herramienta, los resultados generales de la compensación, como se pueden observar son:

- Potencia reactiva antes de la compensación: 150,6 kvar
- Potencia reactiva después de la compensación: 70,9 kvar
- Potencia reactiva del banco de condensadores: 79,7 kvar
- Capacitancia: 5240  $\mu\text{F}$

En la tabla 1, se muestra el resultado del diseño de los parámetros de los filtros para las tres variantes implementadas.

Fig. 8. Resultados de la herramienta para la mejora del factor de potencia y el diseño de los parámetros del filtro paralelo.

Tabla 1. Diseño de los parámetros de los filtros implementados		
	Inductancia	Resistencia
<b>Variante 1: filtro paralelo</b>	0,214 mH	1,34 mΩ
<b>Variante 2: filtro serie</b>	0,214 mH	-
<b>Variante 3: filtro pasa altos</b>	0,214 mH	1,34 mΩ

De los resultados de la tabla 1, se deben aclarar que los valores obtenidos para el caso de la inductancia y la capacitancia están acorde a la bibliografía consultada, en el caso de la resistencia, muchos estudios plantean que es directamente proporcional al costo del filtro, es decir, a la calidad de los materiales constructivo del filtro, expresado de otra manera depende de la calidad de los elementos almacenadores de energía, no obstante se recomienda que para la implementación práctica del filtro, el valor de la resistencia sea diez veces más chiquita que la resistencia obtenida para el modelo del sistema eléctrico industrial, en este caso particular 20 mΩ.

Se recomienda una vez seleccionada la resistencia, a partir de este criterio para su implementación práctica, simularla en las herramientas propuesta para obtener el comportamiento real del filtro en el sistema eléctrico industrial. En el ejemplo desarrollado se dejará la resistencia obtenida en la simulación con lo cual se considera no se pierde generalidad, pues el objetivo es comprobar la funcionalidad de las herramientas para los análisis propuestos.

A modo de ejemplo se muestra la característica de frecuencia de la variante 2, en la figura 9, con el objetivo de comprobar la frecuencia de resonancia del filtro serie para el armónico seleccionado para su mitigación. En la cual el punto de concavidad coincidirá con la frecuencia de resonancia del filtro, 942 rad/s para este caso.

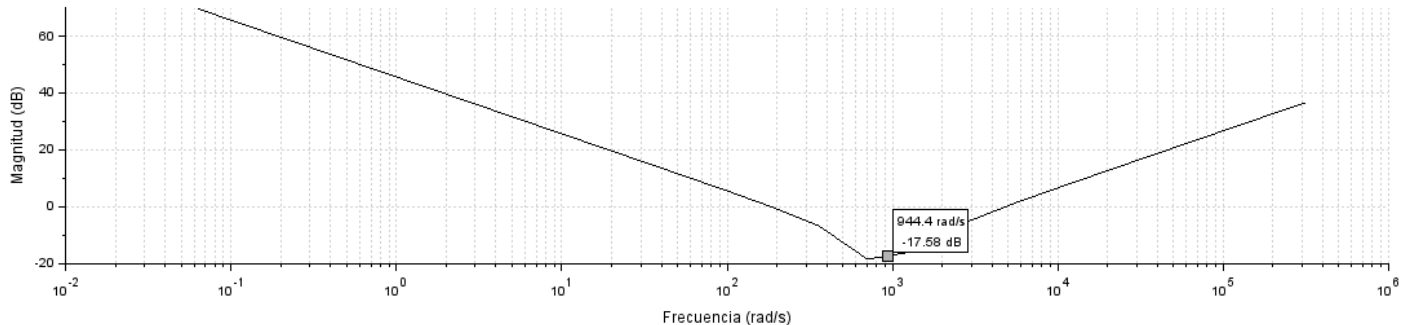


Fig. 9. Comprobación de la frecuencia de resonancia del filtro serie tomado como ejemplo.

### Análisis de los armónicos del sistema industrial con los filtros implementados

Después de mejorado el factor de potencia y diseñadas las variantes de los filtros implementados en las herramientas del sistema eléctrico industrial tomado como ejemplo, se pasará a analizar el efecto de estos en el sistema industrial a partir de las mediciones de las corrientes armónicas, en la figura 10 a), se muestra la interfaz gráfica con la entrada de los datos para la selección del filtro pasa altos que será tomado como ejemplo para el análisis, se debe aclarar que para la entrada de las mediciones se abrirá una ventana en la cual el usuario entrará los datos de forma matricial como se indica en la figura 10 b).

La interfaz gráfica está organizada en secciones:

- Datos del Sistema Eléctrico Industrial:** Campos de entrada para Potencia activa [kW] (243), Potencia Reactiva [kvar] (150), Tensión nominal [V] (220), Factor de potencia (0.85), Entre el número de armónicos para el análisis (5) y Frecuencia [Hz] (50).
- THD de corriente antes de la implementación del filtro (35) y THD de tensión antes de la implementación del filtro (117).
- Botón: Click para entrar las corrientes armónicas.
- Parámetros del filtro:** Inductancia [mH] (0.214), Capacitancia [ $\mu$ F] (5240), Resistencia [ $\Omega$ ] (.00134).
- Variantes de filtro:** Opciones de selección:  Filtro serie,  Filtro paralelo,  Filtro pasa altos.
- Botón: Click resultados de la implementación del filtro.
- THD de corrientes después de implementado el filtro (4) y THD de tensión después de implementado el filtro (16).
- Factor de potencia después de implementado el filtro (0.918).

Fig. 10. a) Interfaz gráfica de la herramienta para el análisis y filtrado de armónicos en el sistema industrial.



	Columna 1	Columna 2	Columna 3
Corriente 1	490	31.5	1
Corriente 2	123	145	3
Corriente 3	87.6	-114.6	5
Corriente 4	64	1.75	7
Corriente 5	53	115.4	9

Fig. 10. b) Entrada de las mediciones de las corrientes armónicas.

De la figura 10 a), se puede observar que la distorsión armónica total de corriente antes de la implementación del filtro era de 35%, después de implementado el filtro disminuyó a 4%; de igual manera ocurre con la distorsión armónica de tensión antes de la implementación del filtro era de 117%, una vez implementado el filtro disminuye al 16%.

También puede observarse que el factor de potencia real mejorado después de implementado el filtro es de 0,92 aproximadamente. En correspondencia con los resultados anteriores en la figura 11, se muestra la salida de las curvas de tensión y corriente antes y después de implementado el filtro pasa altos, observándose como para un ciclo de simulación las curvas después de implementado el filtro se asemejan a una senoide pura el cual es el resultado esperado.

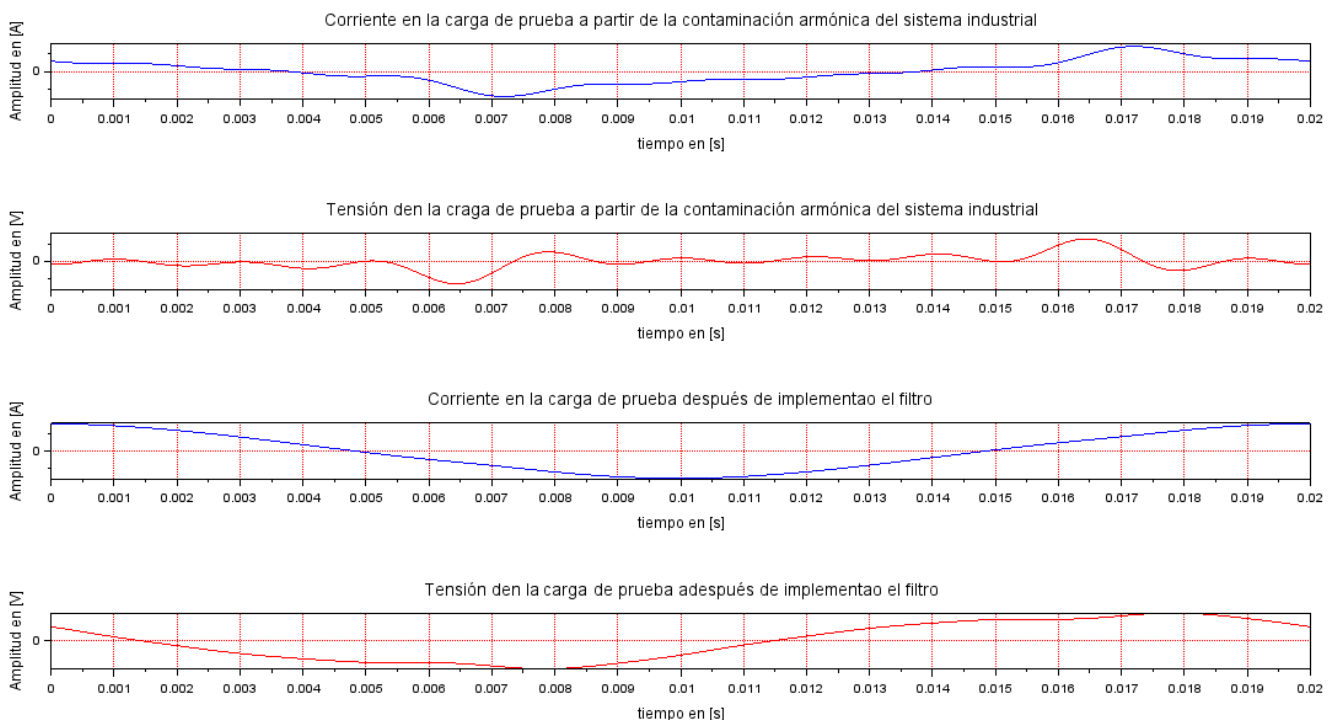


Fig. 11. Curvas de tensión y corriente a la salida del sistema industrial antes y después de la implementación del filtro pasa altos.

## CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se pudo comprobar que las herramientas desarrolladas en su primera versión, presentan una gran utilidad práctica para los ingenieros de las industrias y estudiantes, pues no solo ayudan al análisis de la mejora del factor de potencia, sino también al diseño de los parámetros de tres variantes de filtros, para su posterior análisis en el sistema industrial. Además, le brinda la posibilidad de realizar estudios referentes a qué armónico eliminar a partir de los resultados, que se deseen obtener, referentes a cuál es el armónico que más afecta la instalación, lo que se considera de gran utilidad práctica. Se permite el acceso a estas herramientas de forma gratuita, para apoyar a un mayor alcance, de aquellos que no pueden costear herramientas semejantes.

## REFERENCIAS

- [1] L. Astudillo Mora, A. Vásquez Vega y J. Rojas Serrano, ``Implementación de un filtro pasivo para compensación armónica y corrección del factor de potencia``. Revista Científica, vol. 20, n. 1, 3-11, ISSN: 1665-0654,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/614/61447568001/61447568001.pdf> . [Último acceso: 2022].
- [2] M. Pérez Martínez, J. Ramos Guardarrama, Y. Rodríguez Domínguez, M. Canasí Piñeiro, E. Díaz Alfonso y D. García del Sol, ``Estudio por medio de Scilab de los armónicos en los Sistemas Eléctricos de Potencia aplicado a un caso de estudio``. Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, ISBN: 978-959-216-605-9, 2021. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/355089435\\_Estudio\\_por\\_medio\\_de\\_Scilab\\_de\\_los\\_armonicos\\_en\\_los\\_Sistemas\\_Electricos\\_de\\_Potencia\\_aplicado\\_a\\_un\\_caso\\_de\\_estudio](https://www.researchgate.net/publication/355089435_Estudio_por_medio_de_Scilab_de_los_armonicos_en_los_Sistemas_Electricos_de_Potencia_aplicado_a_un_caso_de_estudio) . [Último acceso: 2022].
- [3] J. Rodríguez Bravo, ``Identificación de patrones de comportamiento de armónicos en circuitos de distribución``. Trabajo de diploma, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba,» 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/7995> . [Último acceso: 2021].
- [4] D. O. Fabian Malvaceda y R. C. Palián Flores, ``Estudio de los Armónicos y sus efectos en los Transformadores de Potencia, Trabajo de Investigación, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Perú,`` 2019. [En línea]. Available: [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2316/Denys%20Fabian\\_Raul%20Palian\\_Trabajo%20de%20Investigacion\\_Bachiller\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2316/Denys%20Fabian_Raul%20Palian_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y) . [Último acceso: 2021].
- [5] M. S. Esparza González, J. A. Mata Guerrero y L. A. Castañeda Ramos, ``Las cargas no Lineales, su Repercusión en las Instalaciones Eléctricas y sus soluciones``. Conciencia Tecnológica, No. 32, ISSN: 1405-5597,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403211> . [Último acceso: 2021].
- [6] J. Cruz Bacardi, A. Escalante Oliva y M. Pérez Martínez, ``El diseño del suministro eléctrico, un estudio de caso``, Revista pedagogía profesional, Vol. 19, No. 1, ISSN 1684-5765, 2021. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/349604311\\_El\\_diseño\\_del\\_suministro\\_eléctrico\\_un\\_estudio\\_de\\_caso](https://www.researchgate.net/publication/349604311_El_diseño_del_suministro_eléctrico_un_estudio_de_caso) . [Último acceso: 2022].
- [7] H. R. Estigarribia B., ``Armónicos en líneas de baja tensión, Monografía,`` 2009. [En línea]. Available: <https://1library.co/document/ydmoenjy-i-armonicos-en-lineas-de-baja-tension-hector-r-estigarribia-b.html> . [Último acceso: 2021].
- [8] J. Clavijo Cabello, «Nuevos estándares de calidad de producto eléctrico en la distribución y la nueva forma de moritorealos. División Ingeniería de Electricidad, Chile,» 2017. [En línea]. Available: [https://www.cigre.cl/wp-content/uploads/2017/07/JULIO\\_CLAVIJO.pdf](https://www.cigre.cl/wp-content/uploads/2017/07/JULIO_CLAVIJO.pdf) . [Último acceso: 2021].
- [9] Elspec, «Conociendo la Norma IEC 61000,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.elspec-ltd.com/conociendo-la-norma-iec-61000-4-30-clase-a/?lang=es> . [Último acceso: 2021].
- [10] J. M. Gers, «Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos. Investigación aplicada e innovación. Vol 2, No. 1, ISSN:1996-7551,» 2008. [En línea]. Available: [https://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistaIi/Ii\\_3/3.pdf](https://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistaIi/Ii_3/3.pdf) . [Último acceso: 2021].
- [11] P. Montero Robina y F. Gordillo Álvarez, «Detección y supresión de armónicos de bajo orden en la corriente eléctrica. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla, XL Jornadas de Automática. ISBN: 978-84-9749-716-9,» 2019. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/2183/23790> . [Último acceso: 2021].
- [12] C. A. Barrera Singaña y A. D. Valenzuela Santillán, «Métodos de simulación de armónicos en sistemas eléctricos de potencia. Revista ITECKNE - Universidad Santo Tomás, Seccional de Bucaramanga, Colombia, Vol. 17 No. 2, ISSN: 2339-3483,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v17n2/1692-1798-itec-17-02-73.pdf> . [Último acceso: 2021].
- [13] M. Pérez Martínez, Y. Rodríguez Domínguez y J. Ramos Guardarrama, «Simulación con Matlab. ISBN: 978-959-261-346-1,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/331438458\\_Simulacion\\_con\\_matlab](https://www.researchgate.net/publication/331438458_Simulacion_con_matlab) . [Último acceso: 2021].
- [14] Z. S. López Collazo y M. Pérez Martínez, «Empleo del simulador Edison como herramienta didáctica para el aprendizaje de los circuitos eléctricos. Tecnología educativa, Vol. 5, No.1, ISSN: 2519-9436,» 2020. [En línea]. Available: <https://tecedu.uho.edu.cu/index.php/tecedu/article/view/205/147> . [Último acceso: 2021].
- [15] M. Pérez Martínez, J. Santos Baranda, A. Santos Fuentes y Z. S. López Collazo, «III Congreso Virtual Argentino e Iberoamericano de Tecnología y Educación. Potencialidades de la app EveryCircuit en las asignaturas de circuitos eléctrico,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Maykop-Perez-Martinez/publication/353273445\\_III\\_Congreso\\_Virtual\\_Argentino\\_e\\_Iberoamericano\\_de\\_Tecnologia\\_y\\_Educacion\\_Potencialidades\\_de\\_la\\_app\\_EveryCircuit\\_en\\_las\\_asignaturas\\_de\\_circuitos\\_eléctrico/links/60f079bcfb568a7098b1de09/III-Congreso-Virtual-Argentino-e-Iberoamericano-de-Tecnologia-y-Educacion-Potencialidades-de-la-app-EveryCircuit-en-las-asignaturas-de-circuitos-eléctrico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maykop-Perez-Martinez/publication/353273445_III_Congreso_Virtual_Argentino_e_Iberoamericano_de_Tecnologia_y_Educacion_Potencialidades_de_la_app_EveryCircuit_en_las_asignaturas_de_circuitos_eléctrico/links/60f079bcfb568a7098b1de09/III-Congreso-Virtual-Argentino-e-Iberoamericano-de-Tecnologia-y-Educacion-Potencialidades-de-la-app-EveryCircuit-en-las-asignaturas-de-circuitos-eléctrico.pdf) . [Último acceso: 2021].
- [16] M. Pérez Martínez, Z. S. López Collazo, J. Santos Baranda y A. Santos Fuentes, «Potencialidades de la app EveryCircuit en las prácticas de laboratorio de Circuitos Eléctricos en la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Tecnológica de La Habana, Modelling in Science Education and Learning, Vol. 14 No.2, ISSN: 1988-3145,» 2021. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.4995/msel.2021.15005> . [Último acceso: 2021].

- [17] M. Pérez Martínez, Z. S. López Collazo y J. Ramos Guardarama, «Potencialidades del software Scilab en el proceso de enseñanza - aprendizaje de la signatura de circuitos eléctricos. Tecnología educativa, Vol. 6 , No. 1, ISSN: 2519-9436,» 2021. [En línea]. Available: <https://tecedu.uho.edu.cu/index.php/tecedu/article/view/259/201> . [Último acceso: 2021].
- [18] M. Pérez Martínez y I. Teixeira Lemba, «Proposta de estudo das harmónicas no Sistema Industrial Sonangol – Namibe a partir de seu levantamento elétrico. Revista de Ingeniería Energética, Vol 39, No. 2. ISSN 1815-5901,» 2018. [En línea]. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v39n2/rie09218.pdf> . [Último acceso: 2021].
- [19] M. Simonazzi, A. Campanini, L. Sandrolini y C. Rossi, «Design Procedure Based on Maximum Efficiency for Wireless Power Transfer Battery Chargers with Lightweight Vehicle Assembly. Revista Energies, Vol.15, No.70, ISSN: 1996-1073,» 2022. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.3390/> . [Último acceso: 2022].
- [20] M. Mora Barajas y P. Bañuelos Sánchez, «Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos. Revista Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. 11. No. 2. ISSN1405-7743,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v11n2/v11n2a6.pdf> . [Último acceso: 2022].
- [21] A. Alzate Gómez, D. Murillo Yarce y R. L. Silva Cárdenas, «Prototipo para la compensación de armónicos en sistemas trifásicos. Revista Tecnura, Vol. 20, No.50, ISSN: 2248-7638,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi8rv\\_Jh\\_PIAhWVRDABHVZ1BSsQFnoECAUQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.redalyc.org%2Fpdf%2F2570%2F257049511008.pdf&usg=AOvVaw3vkDyxbAgmfCv1Qiae6qzB](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi8rv_Jh_PIAhWVRDABHVZ1BSsQFnoECAUQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.redalyc.org%2Fpdf%2F2570%2F257049511008.pdf&usg=AOvVaw3vkDyxbAgmfCv1Qiae6qzB) . [Último acceso: 2022].
- [22] L. J. Marrero Rodríguez, «Caracterización de la calidad de la energía en circuitos eléctricos de distribución. Revista de Ingeniería Energética. Vol. 38, No. 3, ISSN 1815-5901,» 2017. [En línea]. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v38n3/rie02317.pdf> . [Último acceso: 2022].
- [23] J. M. Llanos Ávila, «Análisis de la respuesta de los sistemas lineales mediante diversas técnicas, incluyendo el análisis de Fourier para un filtro pasabajas de primer orden. Revista Educación en Ingeniería. Vol. 6, No. 32, ISSN 1900-8260,» 2021. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8111606> . [Último acceso: 2022].
- [24] J. D. Mora Sánchez y Y. J. Cevallos Chavez, «Estudio y análisis de calidad de la energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora 1de holcim Ecuador planta Guayaquil. Trabajo de diploma. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador,» 2014. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6848/1/UPS-GT000654.pdf> . [Último acceso: 2021].
- [25] P. F. Aguirre Topa, «Mitigación de la distorsión armónica de un SEP mediante filtros pasivos sintonizados modelado en Matlab. Trabajo de diploma. Universidad Politécnica Salesiana,» 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12905> . [Último acceso: 2021].

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Maykop Pérez Martínez:** <https://orcid.org/0000-0003-3073-1675>

Recolección de datos. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Josnier Ramos Guardarrama:** <https://orcid.org/0000-0002-8796-8481>

Recolección de datos. Diseño de la investigación. Análisis de los resultados

**Raimundo Carlos Silvério Freire:** <https://orcid.org/0000-0002-5395-7143>

Recolección de datos. Diseño de la investigación. Análisis de los resultados

**Daniel Barrios Gonzales:** <https://orcid.org/0000-0003-1466-5719>

Recolección de datos. Diseño de la investigación. Análisis de los resultados