

Comparación de Cargas Eléctricas Habituales en Viviendas Respecto a la Distorsión Armónica.

Comparison of Typical Electrical Loads in Houses with Respect to Harmonic Distortion.

Presentación: 02/10/2023

Javier O. Vitti

Facultad Regional Reconquista - Universidad Tecnológica Nacional - Argentina
javier.vitti@gmail.com

Resumen

En la actualidad, es cada vez más frecuente encontrar en las viviendas dispositivos electrónicos y/o que incorporen electrónica. Esto podría implicar una mayor presencia de cargas no lineales que inyecten corrientes armónicas y que, entre otros problemas, terminen repercutiendo en la calidad de la energía y en la eficiencia energética. En este trabajo se analizó y comparó el comportamiento de diversas cargas eléctricas residenciales habituales en situaciones de uso cotidiano. Se realizaron mediciones de espectro armónico utilizando un analizador de redes trifásico Power Quality Analyser MI 2192 considerando las normativas de la IEC 61000-3-2 y de la IEEE 519-2014. Los resultados muestran que existen diferencias significativas entre las cargas medidas: aires acondicionados y heladeras (incluyendo aquellas con tecnología Inverter), computadoras de escritorio (conectada mediante estabilizador de tensión o de forma directa a la red eléctrica), una notebook (empleada bajo distintas formas de carga de batería) y reguladores de velocidad de ventiladores de techo (incluyendo electrónicos).

Palabras clave: Distorsión Armónica, Cargas No Lineales, Viviendas.

Abstract

Nowadays, electronic devices and/or devices incorporating electronics are becoming more and more common in houses. This could imply an increased presence of non-linear loads that inject harmonic currents and, among other problems, end up having an impact on power quality and energy efficiency. In this work, the behaviour of various common residential electrical loads in everyday situations was analysed and compared. Harmonic spectrum measurements were performed using a three-phase Power Quality Analyser MI 2192 considering IEC 61000-3-2 and IEEE 519-2014 standards. The results show that there are significant differences between the measured loads: air conditioners and refrigerators (including those with inverter technology), desktop computers (directly connected or via a voltage stabilizer), a notebook (used under different forms of battery charging) and ceiling fan speed controllers (including electronic).

Keywords: Harmonic Distortion, Non-linear Loads, Houses.

Introducción

En la actualidad, existe un notable aumento en la cantidad de aparatos electrónicos conectados a la red eléctrica en viviendas residenciales, como televisores, sistemas de audio y computadoras, siendo característico que estos exhiban un comportamiento no lineal. Además, cada vez es más común y necesario que electrodomésticos, como aires acondicionados, heladeras y lavarropas

integren sistemas electrónicos de operación y control, lo que repercute en un comportamiento no lineal. En este trabajo se denominará carga a los aparatos eléctricos y electrónicos que se han medido.

Las cargas no lineales generan corrientes armónicas que, bajo ciertas condiciones, pueden distorsionar la forma de onda, la amplitud y/o la simetría del voltaje, lo que empeora la calidad de la energía eléctrica a nivel domiciliario. Este fenómeno da lugar a diversos problemas: sobrecalentamiento en conductores, el disparo intempestivo de protecciones y el empeoramiento del factor de potencia, con la consecuente disminución de eficiencia energética (Esparza et al., 2006; Mora Barajas and Bañuelos Sánchez, 2010; Ruggero Ríos B, S. Q., 2014).

Una revisión bibliográfica da cuenta de numerosos estudios en el comportamiento de cargas (Deschères, L., 2021; Franco et al., 2017; Vincitorio et al., 2012), por lo que el objetivo del presente trabajo es analizar y comparar el comportamiento de diversas cargas comúnmente encontradas en viviendas residenciales, las cuales difieren en sus principios de funcionamiento, uso o conexión. El estudio se enfoca en identificar el comportamiento eléctrico de la carga y evidenciar si existe una diferencia significativa entre cargas de la misma naturaleza. De esta manera, se pretende ofrecer una visión de las condiciones presentes asociadas al contenido armónico de cargas presentes habitualmente en entornos urbanos.

Metodología

Para efectuar las mediciones del espectro armónico, si bien se consideraron las pautas establecidas en la norma IEC 61000-3-2, Anexo C, se priorizó el funcionamiento habitual del equipo en la vivienda para considerar situaciones de uso cotidianas. Los tiempos de medición se determinaron siguiendo la norma IEEE 519-2014, que especifica que los valores armónicos a corto tiempo deben evaluarse en un intervalo de 10 minutos, calculándose a partir de una agregación de 200 valores armónicos de muy cortos tiempos consecutivos. Estos últimos, se miden en un intervalo de 3 segundos, de acuerdo a una agregación de 15 ventanas consecutivas, cada una de 10 ciclos para sistemas de potencia de 50 Hz. En resumen, para cada carga medida se cuenta con un total de 600 valores registrados en un intervalo de 10 minutos.

El instrumento de medición empleado es un analizador de redes trifásico Power Quality Analyser MI 2192 que para computar los armónicos en las señales muestreadas utiliza un conversor A/D y cuenta con un intervalo de registro de hasta 160 ms (8 ciclos a 50 Hz). Para realizar mediciones monofásicas, se optó por configurarlo de la siguiente manera: se conecta únicamente un transformador de corriente (TI) al conductor vivo, mientras que la referencia de tensión se establece entre la fase viva y el neutro. Las terminales restantes de tensión del instrumento se conectan al conductor neutro para evitar corrientes parasitas y/o ruido. Las mediciones a partir de esta configuración fueron previamente contrastadas con mediciones realizadas con una pinza amperométrica Fluke Power Quality Clamp Meter 345.

La comunicación entre el analizador y el ordenador es por medio de un puerto serie RS-232 con adaptador USB 2.0 y a través del software propio del instrumento, PowerLink, el cual se ejecutó en una máquina virtual (VirtualBox) debido a que su compatibilidad está limitada a equipos con sistema operativo Windows 7 32bits. Finalmente, para procesar los datos se utilizó el programa Excel de la suite ofimática Office 365.

Resultados y discusión

Para la selección de las cargas se procuró elegir aquellas que, a pesar de pertenecer al mismo tipo de dispositivo, exhibieran diferencias significativas en cuanto a su tecnología, conexión o uso. Esto con el objetivo de analizar la diferencia en su comportamiento eléctrico en situaciones realistas de uso. De esta manera, se realizaron mediciones de distorsión armónica en cargas residenciales y se compararon los datos obtenidos con los límites especificados en la IEC 61000-3-2. Los resultados muestran que la mayoría de las cargas evaluadas cumplen con los criterios de distorsión armónica establecidos, sin embargo, como se verá más adelante, al comparar las cargas entre sí, se revela una notable diferencia en los niveles de distorsión armónica. En la Tabla 1, se visualizan los tipos de cargas medidas, sus características comerciales y eléctricas más relevantes, así como los resultados de la evaluación conforme a la IEC 61000-3-2.

Carga medida	Característica distintiva	Marca	Modelo	Otras características	Condición de medición	Evaluación según IEC 61000-3-2
Aire acondicionado	Tecnología Inverter	Tadiran	TADI35TC/I-O	3500 frigorías	Funcionando a 24° con ventilador medio en modo frío.	NO CUMPLE
	Split de pared	Surrey	553TGH1217	3500 frigorías		CUMPLE
	Ventana	PHILCO	PHW2515FX	2500 frigorías		CUMPLE
Computadora de escritorio	Conectada mediante estabilizador de tensión	TRV	Micromack Concept	I7 4790 - 8GB RAM Sin GPU dedicada	Simulando uso habitual.	NO CUMPLE
	Conectada directamente a la red eléctrica	-	-	Ryzen 5 3600 - 16GB RAM RTX 1660 Super		CUMPLE
Heladera	Tecnología Inverter	Samsung	RT32K5070WW	-	Funcionando en condiciones habituales.	CUMPLE
		Samsung	RT38FEAKDSL	-		CUMPLE
	Tecnología convencional	Whirlpool	WRM54AB	-		CUMPLE
	Electrolux	DF3000P	-	CUMPLE		
Notebook	Formas de uso	Dell	Inspiron 5577	Cargador de 130W original	Funcionando bajo tres condiciones diferentes de carga con respecto a la batería.	NO CUMPLE
Regulador de velocidad	Electrónico	Taad	Cod. S54XX	-	Funcionando en tiempos iguales a mínima, media y máxima potencia.	CUMPLE
		Génerica	-	-		CUMPLE
	Autotransformador	Electromecánica Llanos	-	5 velocidades		CUMPLE
		ABON - GARDEN	-	5 velocidades		CUMPLE

Tabla 1. Cargas medidas y sus características.

Aires acondicionados

Para la medición sobre aires acondicionados se consideraron tres equipos que difieren en su condición de instalación y/o funcionamiento. De esta manera, en la Figura 1, se visualiza el espectro armónico de las mediciones efectuadas sobre los aires acondicionados seleccionados:

1. Aire acondicionado tipo ventana con tecnología convencional (en verde).
2. Aire acondicionado tipo Split de pared con tecnología convencional (en rojo).
3. Aire acondicionado tipo Split de pared con tecnología Inverter (en azul).

En los electrodomésticos que emplean la más moderna tecnología Inverter (capaz de regular la velocidad del motor y, por tanto, ser más eficiente), la velocidad varía en función del objetivo fijado de temperatura y/u otro parámetro.

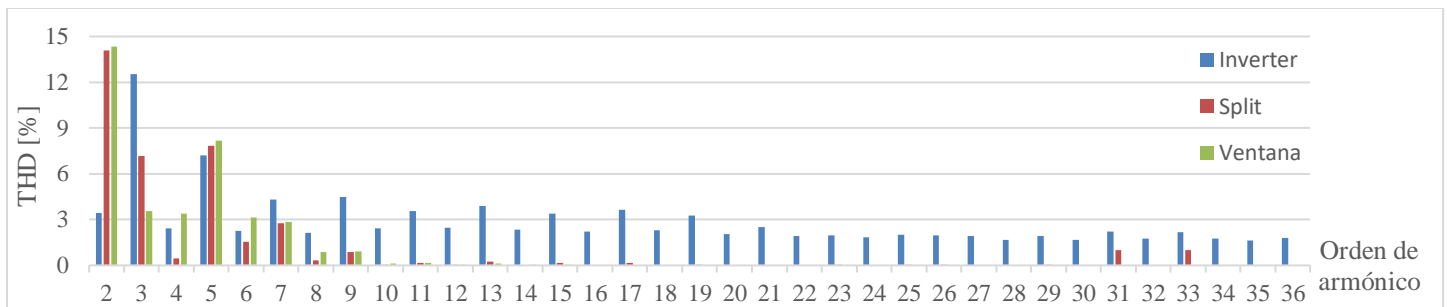


Figura 1. Comparación de los espectros armónicos registrados en aires acondicionados.

En la Figura 1 se visualiza que el contenido de armónicos es similar en los equipos que comparten la misma tecnología de funcionamiento, siendo el armónico más importante el de orden 2. En tanto, el equipo de tecnología Inverter presenta una mayor distorsión armónica excepto por los armónicos de orden 2, 4, 5 y 6. Sin embargo, esta diferencia no se plasma en la medición del THD (Distorsión Armónica Total, por sus siglas en inglés) en corriente, ya que alcanza un valor del 16,70% en el aire acondicionado con tecnología tipo Inverter, en contraste con el 16,57% (tipo Split) y 16,33% (tipo ventana) en los aires acondicionados que emplean tecnología convencional. En este caso, la tecnología Inverter solo varía el porcentaje del orden de los armónicos inyectados, pero no así el THD.

Computadora de escritorio

Es común encontrar en viviendas el empleo de estabilizadores de tensión, principalmente para proteger cargas caracterizadas por ser electrónicamente sensibles. En la Figura 2, se observa el espectro armónico de las mediciones efectuadas sobre dos

computadoras de escritorio. En una de las mediciones, las cargas están conectadas a través de un estabilizador de tensión (en rojo), mientras que, en la otra, se conectan directamente a la red eléctrica (en azul).

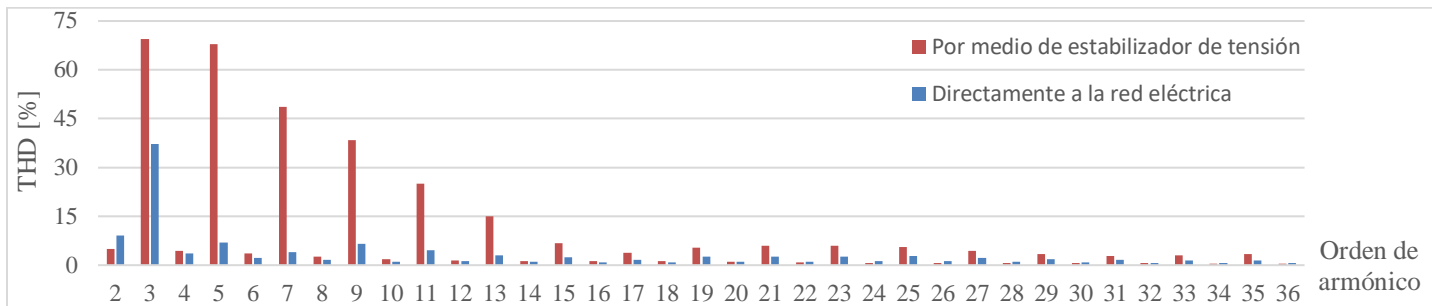


Figura 2. Comparación de los espectros armónicos registrados en computadoras de escritorio.

Se observa que el contenido de armónicos es notoriamente mayor en aquella conectada por medio de un estabilizador de tensión. El THD en corriente medido también refleja esta diferencia, alcanzando un valor del 116,80% cuando las cargas están conectadas a través del estabilizador (cargas protegidas), en contraste con el 37,45% cuando se conectan directamente a la red eléctrica (sin protección).

Heladeras

En el caso de las heladeras (Figura 3), se realizaron cuatro mediciones: dos equipos de tecnología convencional (en rojo) y dos con tecnología Inverter (en azul), luego se efectuó una ponderación de ambos espectros de acuerdo a la potencia aparente de las cargas. La Figura 3, muestra el espectro armónico obtenido en cada caso, luego de la ponderación.

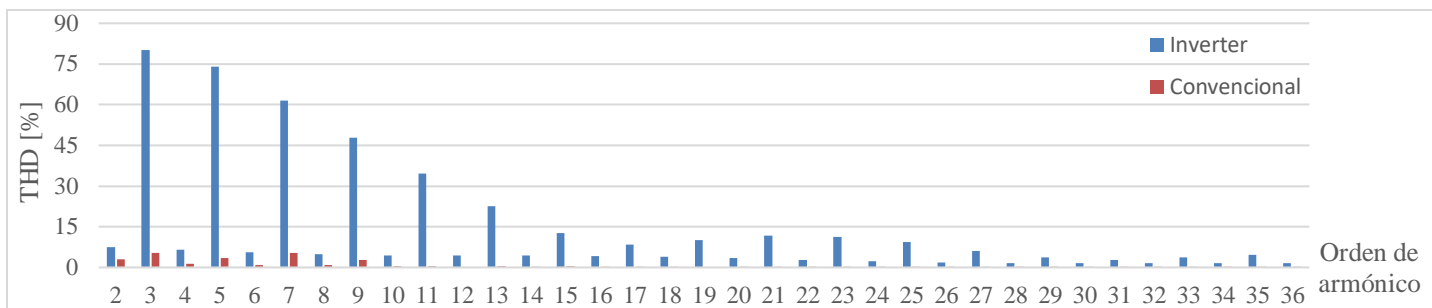


Figura 3. Comparación de los espectros armónicos registrados en heladeras.

Se observa cómo claramente el contenido de armónicos ponderado en las heladeras de tecnología Inverter es superior en todo el espectro. Además, se ha destacar que, en las heladeras de tecnología convencional, solo llega a ser apreciable (superior al 1%) el armónico de orden 9. El THD en corriente, también fue ponderado y refleja esta diferencia, alcanzando un valor del 141,86% en las heladeras con tecnología tipo Inverter, en contraste con el 9,31% en las convencionales. En este caso, la tecnología Inverter contribuye notablemente más a la contaminación armónica de la red eléctrica.

Notebook

Para la medición sobre una notebook (resultados reflejados en la Figura 4), la misma fue empleada en las tres diferentes situaciones posibles de uso cotidiano, esto es:

1. Sin emplearla, pero cargando la batería (en azul).
2. Empleándola y cargando la batería (en rojo).
3. Empleándola con carga completa de batería (en verde).

En la Figura 4, se observa el espectro armónico de las tres situaciones previamente detalladas.

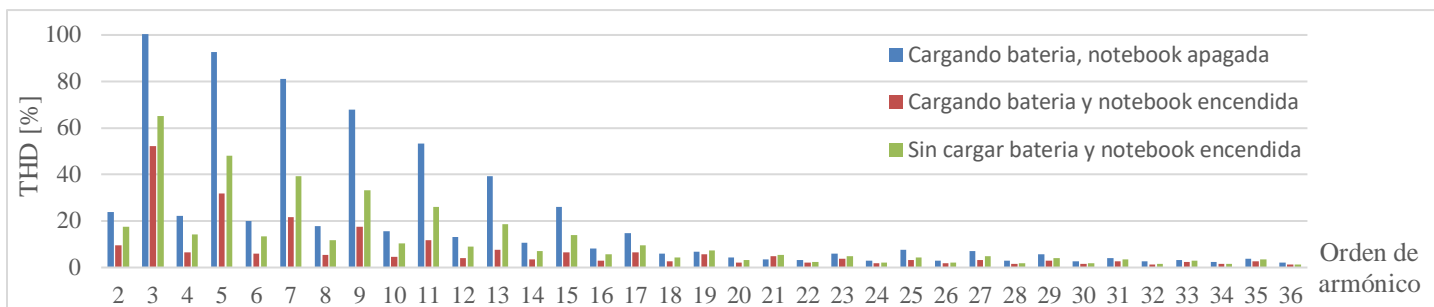


Figura 4. Comparación de los espectros armónicos registrados en una notebook.

La primera situación de uso es en la que se registra notoriamente el mayor contenido de armónicos de cualquier orden (exceptuando los de orden 19 y 21). En contraposición, el emplear el equipo y cargar la batería presenta la menor distorsión, por lo tanto, esta sería la manera más eficiente considerando el contenido de armónicos inyectados. El THD en corriente muestra también estas diferencias, alcanzando un valor del 185,27% en la primera situación, 50,01% en la segunda y un 84,60% en la tercera.

Reguladores de velocidad

En este caso, al realizarse cuatro mediciones sobre reguladores de velocidad de ventiladores de techo (Figura 5), dos cuyo principal componente es un autotransformador (en rojo) y los restantes dos más modernos que emplean electrónica (en azul). Se efectuó una ponderación de ambos espectros de acuerdo a la potencia aparente de las cargas. En la Figura 5, se visualiza el espectro armónico ponderado de los reguladores de velocidad empleados en ventiladores de techo.

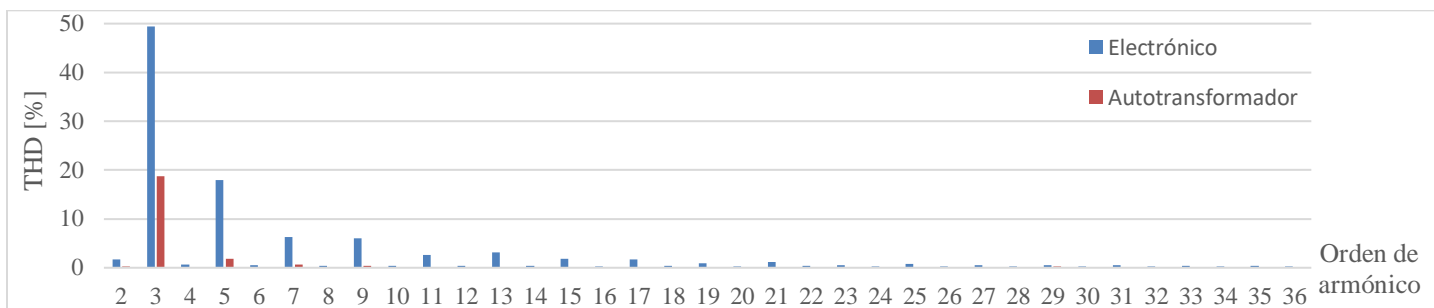


Figura 5. Comparación de los espectros armónicos registrados en reguladores de velocidad.

Se observa que el contenido de armónicos en los reguladores de velocidad electrónicos es superior en todo el espectro a los que emplean un autotransformador. Además, se ha destacar que, en estos últimos, solo llega a ser apreciable (superior al 1%) el armónico de orden 3 y 5. El THD en corriente ponderado también exhibe esta diferencia, alcanzando un valor del 53,61% en los reguladores de velocidad electrónicos, en oposición al 18,92% medido en los que emplean un autotransformador.

Conclusiones

Para este trabajo, se realizaron mediciones de espectro armónico sobre cargas presentes comúnmente en las viviendas (se priorizó trabajar con condiciones dadas en situaciones de uso más habituales). Posteriormente, se procesaron y analizaron los datos, destacando que, si bien la mayoría de las cargas cumplen con los límites admisibles de distorsión armónica establecidos en la IEC 61000-3-2, al comparar el contenido de armónicos entre las diferentes mediciones, se observa que:

- En las tres mediciones efectuadas sobre aires acondicionados existe una diferencia en los espectros armónicos dependiendo de la tecnología empleada (convencional o Inverter) pero la misma no se refleja en el THD en corriente, siendo este muy similar en todos los casos.
- En las dos mediciones realizadas sobre computadoras de escritorio existe una diferencia significativa en los espectros armónicos y en el THD en corriente según la forma de conexión (mediante estabilizador de tensión o directamente a la red eléctrica).

- En las cuatro mediciones efectuadas sobre heladeras, aquellas con tecnología Inverter son las que presentan notoriamente el mayor contenido de distorsión armónica en corriente.
- En el caso de una notebook, existe una diferencia en la distorsión armónica en corriente medida que se corresponde con tipo de uso que se le da a la carga de la batería: si solo se la carga, si se la carga y ocupa, o si se la emplea con la batería ya cargada.
- En las cuatro mediciones efectuadas sobre reguladores de velocidad, aquellos con electrónica son los que presentan un mayor contenido de distorsión armónica en corriente.

En conclusión, el espectro armónico y el THD en corriente están vinculados a las características de las cargas (tecnología empleada, medio de conexión) y al uso que se le da a esta (el caso de la notebook). Además, existe una mayor presencia de distorsión armónica en aquellas cargas más modernas, por ejemplo, las que emplean la tecnología Inverter (el caso de las heladeras) o los reguladores de velocidad electrónicos. En este punto es importante destacar que estas cargas más modernas están pensadas para ser más eficientes en términos de consumo de energía, lo que podría indicar que existe una relación entre la calidad de la energía y la eficiencia energética en el diseño de electrodomésticos y dispositivos electrónicos. Esto plantea oportunidades y desafíos para la investigación y el desarrollo en el campo de la electrónica residencial. Finalmente, como horizonte futuro de investigación, se propone estudiar las estrategias de control empleadas en los electrodomésticos modernos para comprender en detalle cómo estas estrategias afectan la calidad de la energía eléctrica.

Reconocimientos

Este trabajo se llevó adelante con el apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN, Argentina) a través del Laboratorio de Mediciones Eléctricas y de la cátedra de Proyecto Final en el marco del trabajo de fin de grado para obtener el título de ingeniero electromecánico titulado “Análisis de los efectos perjudiciales de las cargas eléctricas no lineales en viviendas unifamiliares”.

Referencias

- International Electrotechnical Commission. (2018). *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)* (IEC 61000-3-2:2018).
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems* (IEEE 519-2014).
- Deschères, L. (2021, Junio). Impacto de la Iluminación led en la calidad de la energía. *Revista Luminotecnia*(151), 32-50.
- Esparza González, M. S., Mata Guerrero, J. A., & Castañeda Ramos, L. A. (2006, Julio-Diciembre). Las cargas no Lineales, su Repercusión en las Instalaciones Eléctricas y sus Soluciones. *Conciencia Tecnológica*, 32, 0. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403211>
- Franco, A. F., Vega, L. A., & Ramírez, W. M. (2017, Julio - Diciembre). Análisis de distorsión armónica en iluminación LED. *Revista Vínculos*, 14(2), 95-107.
- Mora Barajas, M., & Bañuelos Sánchez, P. (2010). Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XI(2), 189-198.
- Ruggero Ríos B, S. Q. (2014, Diciembre). Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución. *Revista Científica de la UCSA*, 1(1), 33-51. Recuperado de http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522014000100005&lng=en&nrm=iso
- Vincitorio, F. M., Balducci, D. N., Frund, J. L., Rispoli, L. D., & Mache, C. D. (2012, Agosto 30 y 31). Incidencia del uso de LFC como cargas no lineales en los sistemas de distribución eléctrico. *Seminario Nacional Universidad Tecnológica Nacional - Eficiencia Energética*, 0.