

Caracterización del perfil de consumo de cargas de uso residencial.

Characterization of the consumption profile of residential loads.

Presentación: 17/10/2023

Kevin Tomás Basilio

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
kbasilio@frsf.utn.edu.ar

Resumen

El sector residencial representa el 45% de la demanda eléctrica de la República Argentina, y se estiman valores similares para la provincia de Santa Fe. Consecuentemente, conocer las curvas de cargas y perfiles típicos de consumo de este segmento reviste gran interés previo a ejecutar medidas de mejora en la calidad de energía, eficiencia energética, gestión de la demanda y generación distribuida.

El proyecto que enmarca el estudio busca caracterizar los perfiles de demanda de usuarios residenciales en la ciudad de Santa Fe. En este trabajo se muestran los resultados de la primera etapa, la cual caracteriza el consumo de electrodomésticos de uso común. Los resultados obtenidos dan cuenta de los importantes aportes a la distorsión de calidad eléctrica del área residencial y de la necesidad de ejecutar medidas correctivas. Las mediciones se sustentan en la utilización de instrumentos que están en consonancia con las normativas de calidad de energía.

Palabras clave: perfiles de consumo residencial, armónicos, calidad de energía, eficiencia energética, THDI

Abstract

The residential sector represents 45% of the electricity demand in the Argentine Republic, and similar values are estimated for the province of Santa Fe. Consequently, knowing the load curves and typical consumption profiles of this segment is of great interest before implementing measures to improve energy quality, energy efficiency, demand management, and distributed generation.

The project that frames the study seeks to characterize the demand profiles of residential users in the city of Santa Fe. This work shows the results of the first stage, which characterizes the consumption of commonly used appliances. The results obtained show the important contributions to the distortion of electrical quality in the residential area and the need to implement corrective measures. The measurements are based on the use of instruments that are in line with energy quality regulations.

Keywords: residential consumption profiles, harmonics, power quality, energy efficiency, THDI

Introducción

Es destacable cómo el sector residencial representa el 45% de la demanda eléctrica de la República Argentina (CAMESA, 2023), y puede estimarse lo propio para la provincia de Santa Fe. No obstante, existe una gran incertidumbre en cuanto a aspectos específicos de consumo de este segmento (Dehghanpour, et al., 2016). Esta incertidumbre es acrecentada por causa de la habitual inclusión de dispositivos electrónicos de potencia a la matriz de consumo, los cuales, en muchos casos, generan un perjuicio no determinado, ni regulado, a la red eléctrica (Dehghanpour, et al., 2016).

Esta creciente utilización de la electrónica de potencia a nivel residencial se traduce en cargas no lineales y armónicos de corriente con grandes aportes a la distorsión armónica de las redes de distribución secundaria, además de ineficiencia energética (Meyer, et al., 2017). Estudios han demostrado cómo, por ejemplo, LEDs (diodos emisores de luz), equipos con tecnología inverter, transformadores que saturan su núcleo, sistemas con controles de velocidad, computadoras y otros pequeños dispositivos electrónicos residenciales (Wang, et al., 2017) contribuyen a la polución armónica.

Dada la importancia del sector residencial y conocidas sus aportaciones a la degradación en calidad de energía, resulta necesario evaluar y caracterizar mediante mediciones experimentales (Meyer, et al., 2017) zonas residenciales de Argentina. El análisis que se muestra a continuación se limita a caracterizar los perfiles de algunas cargas residenciales típicas, sin embargo, brinda el sustento necesario para expandir el estudio a técnicas de mitigación de armónicos y eficiencia energética que puedan mantener la calidad de energía dentro de valores normados en toda la Argentina.

Las mediciones se han realizado en acometidas y dispositivos de consumo de distintos usuarios residenciales de la ciudad, tal como se detalla en la metodología propuesta. El principal vector analizado es el THD (total harmonic distortion) de corriente (THDI), pues, artículos respaldan que armónicos de orden impar no se mitigan de forma pasiva, sino que se acrecientan (Elhenawy, et al., 2018). Además, se contrasta la relación del THDI contra el factor de potencia (FP) y la potencia activa consumida para establecer conclusiones que permitan mitigar problemas de calidad de energía. La premisa final de las mediciones de curvas de cargas perfila a identificarlas para, posteriormente, reducir las pérdidas del sistema de distribución, mejorando la eficiencia de la red (Elhenawy, et al., 2018).

Metodología

Las mensuras y comprobaciones se han realizado con analizadores de red disponibles en el CIESE (Centro de I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos de la UTN FR Santa Fe). Se utilizó un analizador Fluke-435 y un Metrel-2892 para realizar las mediciones experimentales en dispositivos eléctricos y usuarios en general. Por tratarse de equipos clase A (según IEC 61000-4-30), han permitido medir todas las variables eléctricas en usuarios con conexión de 2 hilos de manera que resulten especialmente precisas para estudios de eficiencia energética y calidad de energía. No solo registran parámetros asociados a consumo eléctrico, sino que también permiten estudiar con detalle variables asociadas a la calidad del suministro eléctrico.

Para la representación y evaluación de resultados se ha utilizado Python y Power BI. En ellos se ha realizado una depuración de datos para el posterior trazado de curvas con respecto al tiempo, de tensión, corriente, factor de potencia, potencia activa consumida y THDI, además de gráficos de componentes armónicas medias del THDI, entre otras.

Resultados y discusión

A continuación, se muestran gráficos de tendencia de demanda de equipos eléctricos de habitual uso residencial, para los cuales expondrán una serie de conclusiones en cuanto a lo que a eficiencia y calidad de energía refiere, para cada uno. Es importante señalar ciertas conclusiones anticipadas, basadas en la bibliografía, que nos ayudaran a analizar las visuales.

- En primer lugar, se tomará como proporcional el trazado de las curvas de potencia activa a las curvas de corriente. Esto se hará a modo de simplificación para facilitar la visualización de resultados.
- El THDI representa un valor porcentual, por tanto, debe contrastarse con valores absolutos de corriente, o en nuestro caso, de potencia. Los componentes armónicos que se representan son las medias absolutas (Figura N° 3, Figura N° 6, Figura N° 9, Figura N° 12, Figura N° 15).
- Se contrasta THDI contra FP y potencia activa, pues es sabido que un FP bajo suele dar cuenta de una corriente no senoidal (con contenido armónicos) o desfasada (afectada por dispositivos que utilizan campos eléctricos o magnéticos).

Las Figura N° 1, Figura N° 2 y Figura N° 3 muestran el análisis realizado para un acondicionador de aire de 2800 W con tecnología inverter.

Al tratarse de un equipo con tecnología “inverter”, la corriente en el arranque tiende a ser constante y no presentar picos de demanda de energía, como sucedería en dispositivos que no posean esta particularidad. Está marcada característica repercute, sobre todo, en el THDI, dado que se modifica la linealidad de la carga para lograr esta característica.

Como síntesis de las gráficas se destaca que el THDI se eleva en momentos de bajo consumo, lo cual no genera un gran perjuicio (Figura N° 2). Aun así, oscila entre un 10% y un 25% en momentos de consumo pico, lo cual tiende a ser notable dadas las grandes potencias consumidas (Figura N° 1 y Figura N° 2). Los armónicos son preponderantemente impares y el FP suele ser elevado, lo que se traduce en baja polución armónica relativa, en cuanto al consumo de potencia del equipo.

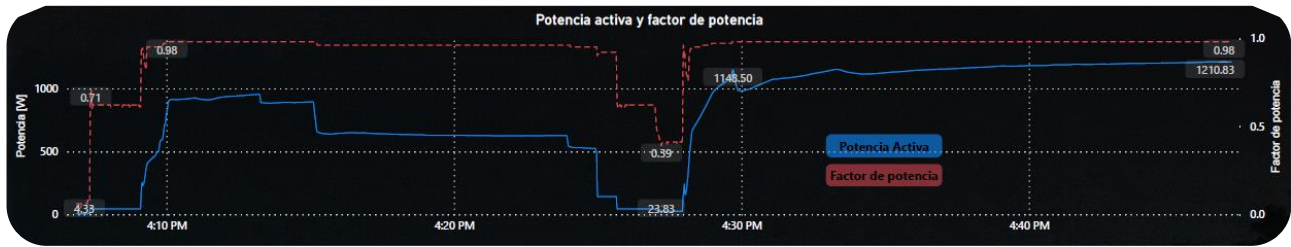


Figura N° 1 - Curva de potencia y factor de potencia del acondicionador de aire inverter

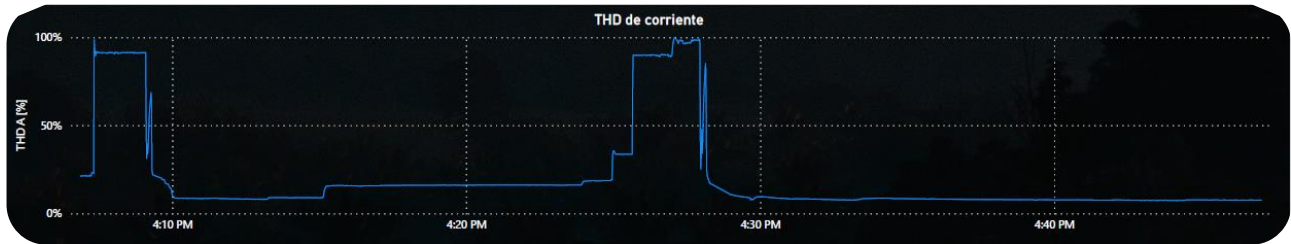


Figura N° 2 - Curva de THDI del acondicionador de aire inverter



Figura N° 3 – Componentes armónicos de la corriente del acondicionador de aire inverter

En las Figura N° 4, Figura N° 5 y Figura N° 6 se muestran los resultados correspondientes a un tubo LED de 18W de luz fría.



Figura N° 4 - Curva de potencia y factor de potencia del tubo LED

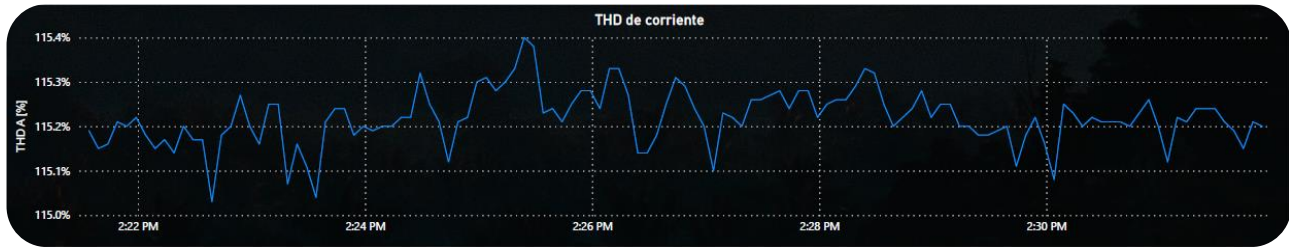


Figura N° 5 - Curva de THDI del tubo LED

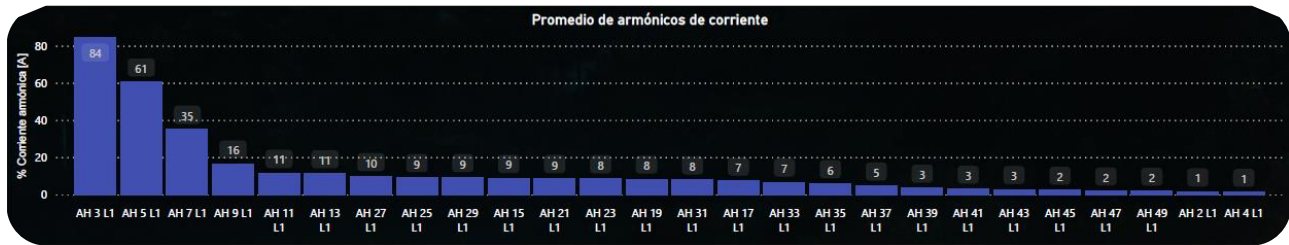


Figura N° 6 – Componentes armónicos de la corriente del tubo LED

A modo de síntesis, se analizarán la Figura N° 4 y la Figura N° 5 como las principales, donde denotan un pobre FP asociado a un alto contenido de THDI. Este patrón puede parecer insignificante debido al consumo de la lámpara, pero debe tenerse en cuenta, tal como se adelantó en la introducción, lo nocivo de sumatoria de estos aportes, sobre todo de componentes armónicos impares (Figura N° 6), ya que no se mitigan de forma pasiva.

Continuamos con el análisis de las Figura N° 7 y Figura N° 8 que corresponden una computadora personal (PC) del tipo notebook, marca CX:

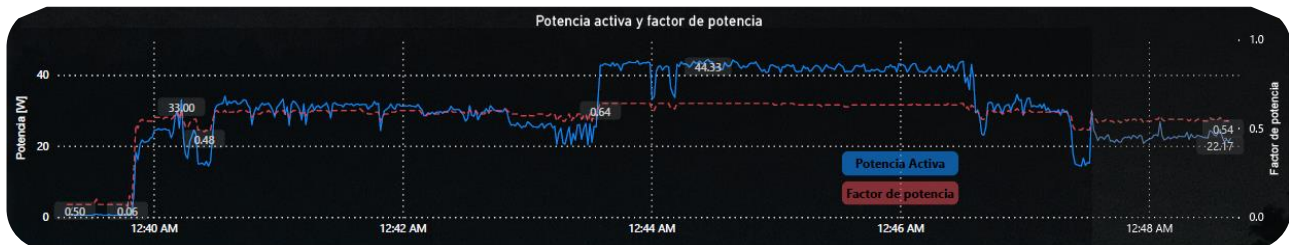


Figura N° 7 - Curva de potencia y factor de potencia de la PC

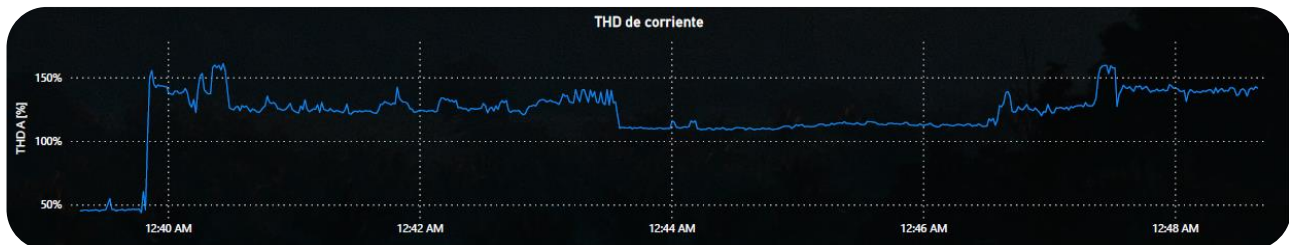


Figura N° 8 - Curva de THDI de la PC

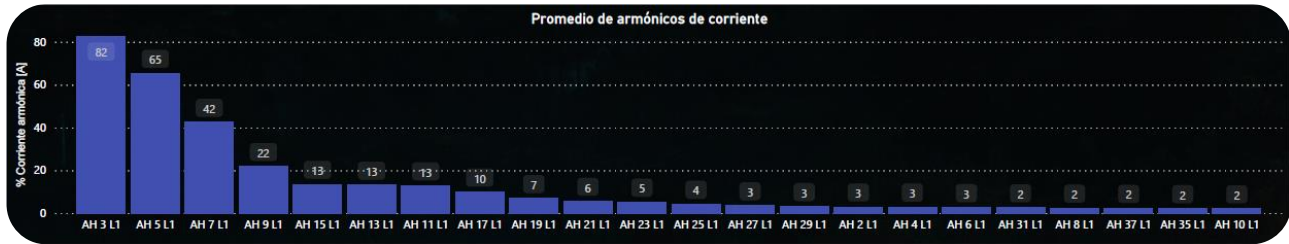


Figura N° 9 – Componentes armónicos de la corriente de la PC

Nuevamente estamos en presencia de una carga fuertemente no lineal. En el estudio de esta carga es plausible estimar conclusiones similares a las del tubo LED, solo que, con potencia variable (Figura N° 7 y Figura N° 8). Esta potencia depende del consumo y uso del ordenador al momento de la medición. Asociados a este consumo existe un pobre factor de potencia y un alto coeficiente THDI que es prácticamente constante (Figura N° 8) y de composición preponderantemente impar (Figura N° 9).

Proseguimos con el estudio de las Figura N° 10, Figura N° 11 y Figura N° 12 que dan parámetros de interés de un lavarropas automático:

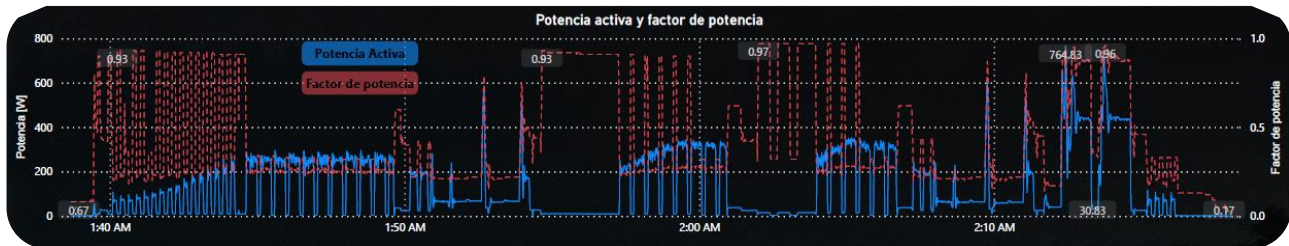


Figura N° 10 - Curva de potencia y factor de potencia del lavarropas

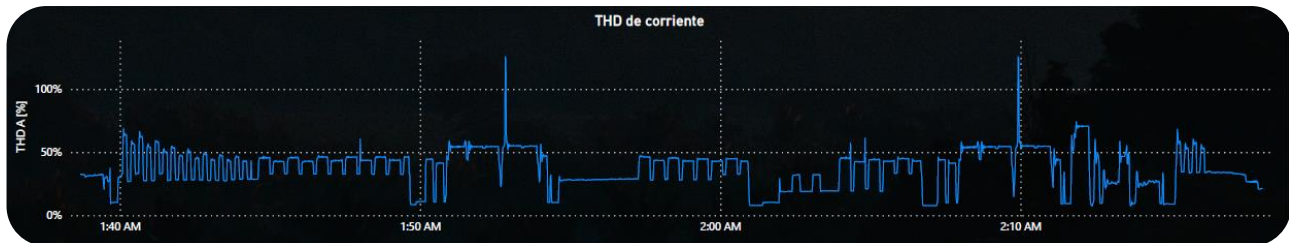


Figura N° 11 - Curva de THDI del lavarropas



Figura N° 12 – Componentes armónicos de la corriente del lavarropas

Los aparatos impulsados por motores (no inverter), como éste, suelen estar acompañados por componentes electrónicos que ayudan a variar la velocidad de los mismo, y que afectan negativamente a la linealidad de la carga. Como consecuencia, en la comprobación de gráficos, puede observarse que los ciclos de demanda están asociados a un FP bajo y a un THDI elevado (Figura N° 10 y Figura N° 11). Este equipo presenta grandes armónicos absolutos debido a su elevada potencia y se destaca que posee notables armónicos pares además de los impares ya analizados (Figura N° 12). Estos armónicos pares suelen mitigarse de forma pasiva.

De la misma forma se realiza ahora el análisis de un horno microondas, para las Figura N° 13, Figura N° 14, Figura N° 15:

De la valoración de los gráficos de interés del microondas se concluye que posee armónicos de gran peso, porque a pesar de que su THDI es relativamente bajo, la potencia consumida es muy elevada (Figura N° 13 y Figura N° 14). Tal situación se traduce en un importante componente armónico inyectado a la red. Este fuerte componente armónico se estima a causa de la magnetización del núcleo del dispositivo emisor de microondas, y, en mucho menor medida, a su electrónica interna. La composición de armónicos se detalla en la Figura N° 15.

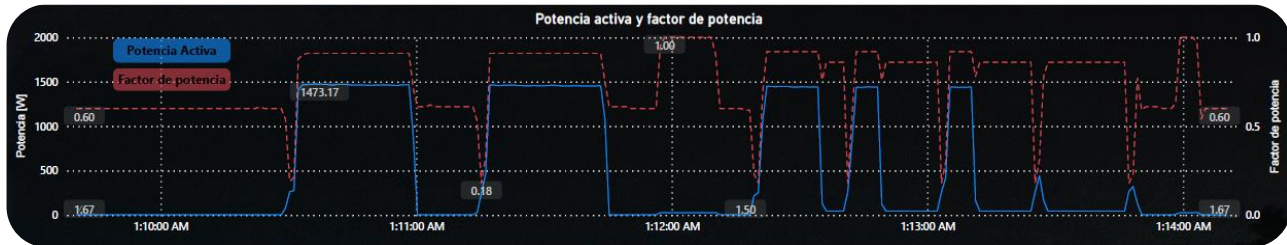


Figura N° 13 - Curva de potencia y factor de potencia del microondas

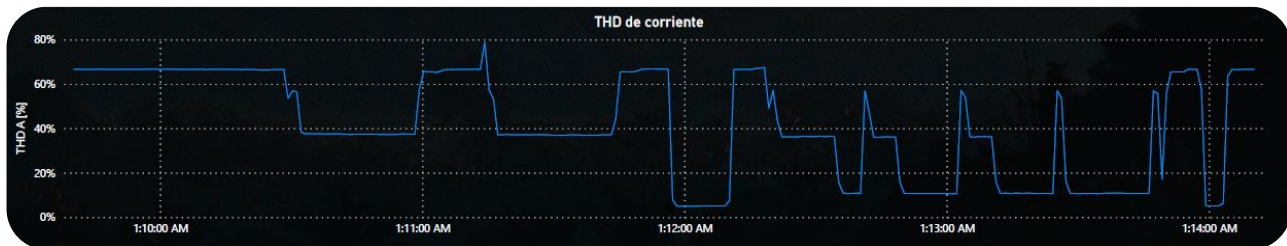


Figura N° 14 - Curva de THDI del microondas



Figura N° 15 – Componentes armónicos de la corriente del microondas

De la misma forma, se han estudiado otros aparatos de pequeño consumo, pero importante electrónica interna, por ejemplo, enrutadores. En ellos se han detectado altos armónicos de corriente, sobre todo de orden impar, y que al no mitigarse impactan en la totalidad de la red. Este rápido análisis permite entrever la naturaleza de estas cargas: pequeñas, pero altamente distorsionadas.

Conclusiones

La electrónica de potencia, los equipos inverter, los variadores de velocidad, equipos con núcleos magnéticos saturados, las pequeñas cargas electrónicas y las cargas no lineales en general, son los grandes participantes de la matriz de consumo residencial. Estos tipos de cargas generan armónicos, los cuales producen un deterioro en la calidad de energía debido a su propagación como ondas distorsionadas, que deben ser soportadas por la red de distribución. En este ensayo se ha logrado caracterizar perfiles típicos de consumo de dispositivos eléctricos antes señalados sentando bases para estudios posteriores. A diferencia de otros trabajos, en este caso se pretende caracterizar la variabilidad de estos parámetros según el perfil de carga del equipo. Siendo este sector residencial uno de los que posee mayor consumo, resulta una necesidad primaria considerar los efectos de la polución armónica y dedicar esfuerzos a medirla, estudiarla e intervenir en la generación de planes y normativas que permitan controlarla o mitigarla.

Referencias bibliográficas

CAMMESA. (Septiembre de 2022). Informe Anual 2022. Obtenido de CAMMESA:
<https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>

Dehghanpour, K., Wang, Z., Wang, J., & Bu, Y. Y. (Marzo 2016). A Survey on State Estimation Techniques and Challenges in Smart Distribution Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 2, 2312-2322.

Elhenawy, A. A.-M., Sayed, M. M., & Gilany, M. I. (2018). Harmonic Cancellation In Residential Buildings. *Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 346-351.

Meyer, J., Blanco, A. -M., Domagk, M., & Schegner, P. (2017). Assessment of Prevailing Harmonic Current Emission in Public Low-Voltage Networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 2, 962-970.

Wang, Y., Yong, J., Sun, Y., Xu, W., & Wong, D. (Junio 2017). Characteristics of Harmonic Distortions in Residential Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 3, 1495-1504.

International Electrotechnical Commission. (2015). *Electromagnetic compatibility (EMC)— Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods (IEC 61000-4-30)*