

# IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2022

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

## CARACTERIZACIÓN DEL ESPECTRO ARMÓNICO EN LÁMPARAS LED Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE AUTOCOMPENSACIÓN PASIVA

Emmanuel Sangoi<sup>a</sup>, Pablo N. Spies<sup>a</sup>, Nicolás D. Pochettino<sup>a</sup>, Ulises Manassero<sup>a</sup>, Jorge R. Vega<sup>a</sup>, José A. Pomilio<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional - Lavaise 610 – Santa Fe - Santa Fe - Argentina - Tel: +54 (342) 460-1579. Email: esangoi@frsf.utn.edu.ar

<sup>b</sup> Laboratório de Pesquisas em Redes Elétricas Inteligentes (LabREI), Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, Brasil.

**Resumen** – En los últimos años el LED se impuso como tecnología predominante en los sistemas de iluminación para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Si bien estas lámparas se caracterizan por su bajo consumo y alta eficiencia energética, su gran alinealidad hace que presenten un alto contenido armónico en la corriente. El impacto de la incorporación masiva de estas lámparas en la red es condicionado por varios aspectos, entre los que se destaca: i) la inclusión o no de filtros en la fuente de la lámpara, ii) la compensación pasiva entre componentes armónicas de distintas lámparas y de otras cargas, iii) la proporción de la potencia no lineal con relación a la potencia total demandada a la red, y iv) las características de la propia red. El estudio del impacto de estas cargas no lineales en la red puede hacerse mediante simulaciones. Para ello, resulta de utilidad contar con mediciones experimentales que caractericen su consumo (por ejemplo, ante variaciones en el valor eficaz y/o el contenido armónico de la tensión) y den a conocer no solo la amplitud de los armónicos presentes en la corriente sino también su correspondiente ángulo de fase. En este trabajo se presentan mediciones experimentales realizadas con un analizador de red clase A (IEC 61000-4-30) en un conjunto de 29 lámparas LED que se comercializan en Argentina. En las mediciones se compara el espectro armónico en ángulo y fase de lámparas de distintas marcas y modelos, y se caracteriza su consumo analizando distintos parámetros eléctricos. Se analiza particularmente el fenómeno de auto-compensación pasiva entre componentes armónicas de distintas lámparas y su respuesta como “carga” ante variaciones en el valor eficaz de la tensión de alimentación. Los resultados de la compensación armónica entre varias lámparas conectadas a un mismo circuito monofásico se valida luego con mediciones experimentales en laboratorio. Los resultados muestran que estas lámparas se caracterizan en general por corrientes con un alto nivel de distorsión y un factor de potencia muy bajo. Finalmente, las mediciones de lámparas comercializadas en Argentina se comparan con las mediciones en 11 lámparas comercializadas en Brasil, y se muestran las ventajas asociadas a incluir la etapa de corrección del factor de potencia en las fuentes de estos dispositivos. Los resultados de este trabajo permiten definir una metodología de base para estudiar la caracterización armónica de distintas cargas no lineales presentes en la red. A futuro, estos resultados se usarán en simulaciones numéricas con el objetivo de estudiar el impacto de la creciente incorporación de cargas con alto contenido armónico en la red de distribución y la necesidad de exigir a nivel regulatorio una mejor calidad en las fuentes de alimentación de estos dispositivos.

**Palabras claves** - Caracterización del Consumo, Espectro Armónico, Factor de Potencia, Lámparas LED

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el LED (*Light Emitting Diode*) se impuso como tecnología predominante en los sistemas de iluminación para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Estas lámparas se caracterizan por su alta eficiencia y rendimiento luminoso, su seguridad, una gran vida útil y la ausencia de mercurio y agentes contaminantes.

Una lámpara LED tiene varios componentes, pero uno de los más importantes es su “fuente” o *driver*. La fuente permite alimentar al LED con una tensión continua y estabilizada partiendo de la tensión alterna senoidal de la red eléctrica. En la generalidad de los casos, en la fuente se suele incluir un filtro de interferencia electromagnética, un rectificador (generalmente, del tipo puente de diodos), un condensador para filtrado de la señal DC y un convertor DC-DC controlado que garantiza una tensión controlada a la matriz de LED que conforman la fuente luminosa. En el mercado existe una gran variedad de topologías y configuraciones para estas fuentes [1]-[3], y algunas de las etapas/componentes mencionados puede no estar incluido según la calidad de la lámpara. En la mayoría de los casos, la fuente está integrada dentro de la misma lámpara.

Uno de los parámetros más importantes a la hora de medir la calidad y eficiencia de una lámpara LED es su factor de potencia (FP) [4], definido como el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente tomada de la red. Este parámetro debe diferenciarse del factor de desplazamiento (FPD) definido como el coseno del ángulo entre la componente fundamental de la tensión y la corriente. Ante una tensión de alimentación senoidal, el FP y el FPD son numéricamente iguales si la corriente no tiene distorsión armónica [5]. Mientras mayor sea la distorsión armónica

total (THD) de la corriente, menor es el valor del FP con respecto al FPD. Un valor cercano a 1 para el FP implica no solo un mejor aprovechamiento de la energía que consume la lámpara, sino que también es un indicador de baja distorsión armónica en la corriente de la lámpara. El valor mínimo que debe tener el FPD de una lámpara puede ser establecido por norma. Por ejemplo, la norma IEC 62612 exige valores de  $FPD \geq 0,7$  para lámparas con potencias entre 5 W y 25 W y  $FPD \geq 0,9$  para lámparas con potencia mayores a 25W [5]. No obstante, si el contenido armónico en la corriente es elevado, la lámpara puede cumplir con un FPD cercano a 1 pero tendrá un FP bastante menor. Si, por ejemplo, el fabricante de la lámpara garantiza un  $FP \geq 0,7$  no solo se garantizan valores altos de FPD sino también valores bajos en la distorsión armónica de corriente.

El contenido armónico en la corriente de estas lámparas es importante principalmente por su incorporación masiva en la red eléctrica. La iluminación puede representar un porcentaje importante en la potencia demandada en una red de baja tensión, por lo que una mala calidad de estas lámparas puede afectar a la calidad de la energía eléctrica y al desempeño general de la red [6], [7]. Ante la incorporación masiva de estas lámparas en la red interesa analizar por ejemplo si es posible esperar o no la auto-compensación de ciertas armónicas.

En países de Latinoamérica existen regulaciones que definen ciertas aptitudes para el ingreso de lámparas LED al comercio nacional. En Argentina particularmente, la resolución 586/2020 [8] determina los requisitos y las características esenciales para el etiquetado de eficiencia energética que deberán cumplir las lámparas LED para iluminación general que se comercialicen en el país. Esta resolución define la realización de

# IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2022

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

ensayos según la norma IRAM 62404-3 [9] (la cual a su vez delega el método de ensayo en la CIE 84 para medición de flujo luminoso y en la IEC 62612 para definir las condiciones de ensayos). No obstante, esta resolución se orienta a evaluar el rendimiento y la duración de las lámparas, pero no especifica nada acerca de valores mínimos de FP y/o distorsión armónica.

En este trabajo se presentan mediciones experimentales realizadas en un conjunto de 29 lámparas LED que se comercializan actualmente en Argentina. En las mediciones se caracteriza su consumo, se analiza el fenómeno de auto-compensación entre componentes armónicas de distintas lámparas y se estudia su respuesta ante variaciones en el valor eficaz de la tensión de alimentación. Luego, las mediciones de estas lámparas se comparan con las mediciones en 11 lámparas comercializadas en Brasil, y se muestran las ventajas asociadas a incluir la etapa de corrección del factor de potencia en las fuentes de estos dispositivos.

## DESARROLLO

Se efectuaron mediciones de forma individual en un total de 40 lámparas led para aplicaciones típicas en viviendas residenciales, locales comerciales, oficinas, etc. Este conjunto de lámparas se puede dividir en dos subconjuntos: i) lámparas comerciales distribuidas en Argentina (en adelante, “conjunto 1”) y ii) lámparas comerciales distribuidas en Brasil (en adelante, “conjunto 2”). Los resultados del trabajo hacen foco principalmente en las mediciones del primer subconjunto.

El conjunto 1 incluye 29 lámparas LED de 6 marcas distintas, con potencias comprendidas entre 1,5 W y 40 W; el 52% de las lámparas tiene una potencia nominal  $\geq 10$

W. Estas lámparas incluyen distintos tipos de modelos, casquillos (E14, E27, GU10 y G13) y varias temperaturas de color (luz fría y luz cálida); en el conjunto también se incluyeron distintos tubos led aptos para reemplazo directo de tubos fluorescentes.

El conjunto 2 incluye 11 lámparas de 11 marcas distintas, con potencias comprendidas entre 9 W y 40 W y distintas temperaturas de color. El conjunto incluye lámparas con casquillo E27 y tubos led. Estas lámparas son las empleadas en el edificio de la UNICAMP, en donde por políticas asociadas a sustentabilidad y eficiencia energética se colocan sólo lámparas LED con  $FP > 0,7$ .

Las mediciones se realizaron con un analizador de red calibrado marca Fluke, modelo 435 y pinzas de corriente de la misma marca, modelo i5s. Para la medición de algunos parámetros en particular se empleó también un osciloscopio marca Rohde & Schwarz, modelo RTH 1004. Se midieron todos los parámetros eléctricos en el consumo de las lámparas, incluyendo la amplitud y fase de las armónicas de corriente (armónicas impares hasta el orden 49 y armónicas pares hasta el orden 24). En el caso de las lámparas del conjunto 1, las mismas se alimentaron con una UPS que garantiza una baja distorsión armónica en la tensión de alimentación ( $< 2\%$ ) y un valor eficaz estable ( $220\text{ V} \pm 1\text{ V}$ ). Cada lámpara se mantuvo encendida durante 1 hora antes de realizar la medición, de modo de garantizar el precalentamiento de sus componentes internos.

En la Fig. 1 se muestra la forma de onda en la tensión aplicada y en la corriente demandada en una de las lámparas de cada conjunto.

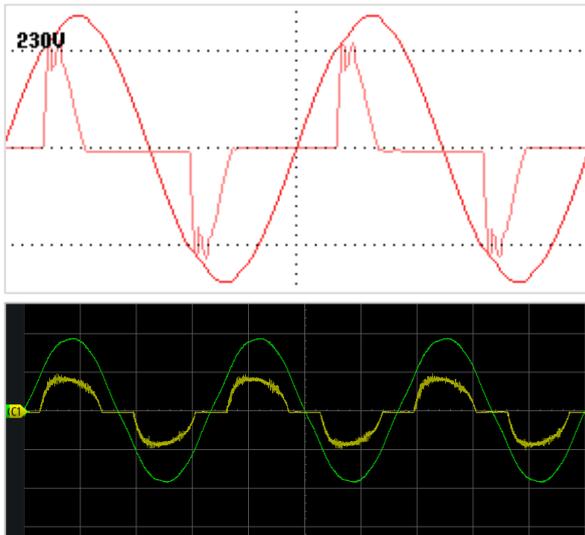


Fig. 1. Forma de onda para la tensión aplicada y la corriente demandada por una de las lámparas analizadas en el conjunto 1 (arriba) y en el conjunto 2 (abajo).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Caracterización del consumo de lámparas LED*

Según se visualiza en la Fig. 1, la corriente demandada por este tipo de carga presenta distorsión armónica, que se aprecia mayormente en las lámparas del conjunto 1. En la Fig. 2 se muestra el espectro de frecuencia hasta la armónica de orden 49 correspondiente a todas las lámparas de cada conjunto. En la figura se indica también el valor promedio para las armónicas más relevantes.

En el caso de las lámparas comercializadas en Argentina, se observa que el espectro de frecuencia para la mayoría de las lámparas es muy similar, con una presencia importante de armónicas impares y de bajo orden. Se destaca particularmente la amplitud de las armónicas de orden 3, 5, 7, 9 y 11. La armónica con mayor amplitud es la de orden 3, cuyo valor medio resultó de 81,72 %f. Esta armónica posee secuencia homopolar y se relaciona de forma directa con la corriente en

el conductor neutro de los sistemas trifásicos. Por otro lado, las lámparas del conjunto 2 se caracterizan por un bajo contenido armónico en la corriente. Se destacan las armónicas de orden 3, 5 y 7 mayormente, pero con amplitudes notablemente menores que las del conjunto 1. En ambos casos, las armónicas de orden par poseen amplitudes bajas o despreciables.

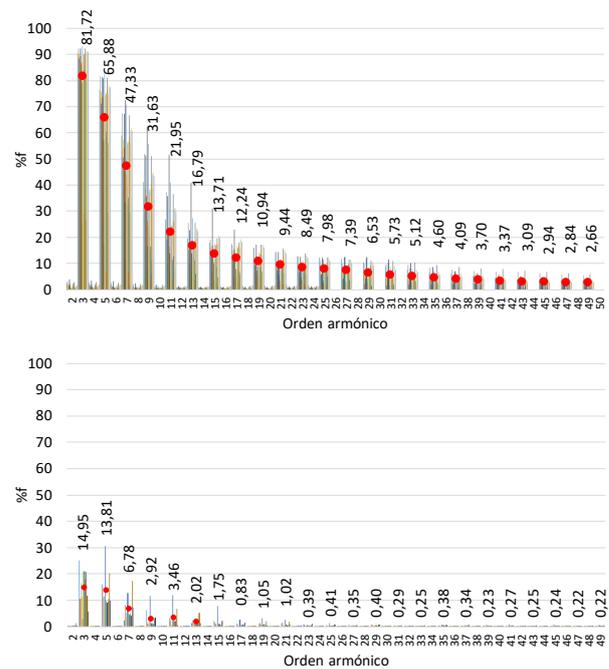


Fig. 2. Espectro de frecuencia para la corriente de todas las lámparas del conjunto 1 (arriba) y del conjunto 2 (abajo). En la figura se indica el valor promedio para cada armónica.

En las siguientes figuras se muestran las mediciones de distintos parámetros eléctricos para las 29 lámparas correspondientes al conjunto 1. La numeración de las lámparas se muestra en orden ascendente según el valor de la corriente eficaz medida para cada una. El conjunto se dividió a su vez en 2 sub-grupos según su potencia nominal: < 10 W (barras en color azul) y  $\geq$  10 W (barras en color verde).

# IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2022

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

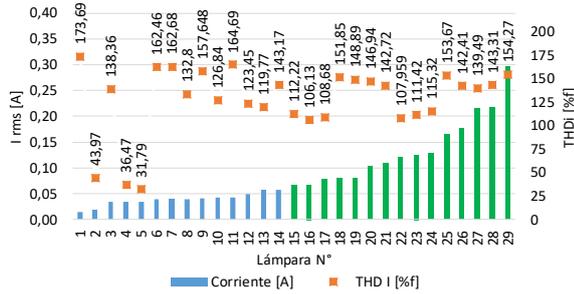


Fig. 3. Conjunto 1. Valor eficaz y THD de la corriente de cada lámpara.

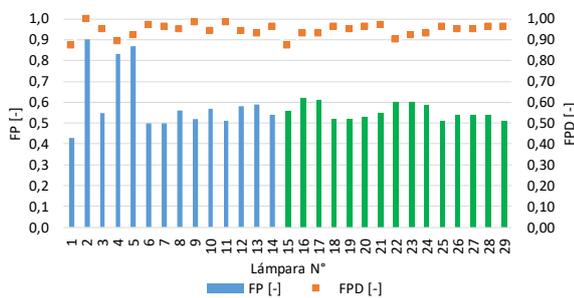


Fig. 4. Conjunto 1. FP y FPD medido en cada lámpara.

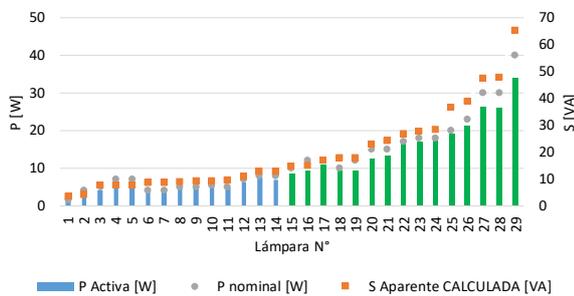


Fig. 5. Conjunto 1. Potencia nominal y mediciones de potencia activa y aparente en cada lámpara.

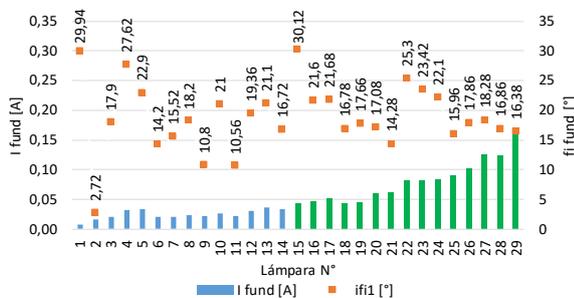


Fig. 6. Conjunto 1. Amplitud y fase de la corriente fundamental para cada lámpara.

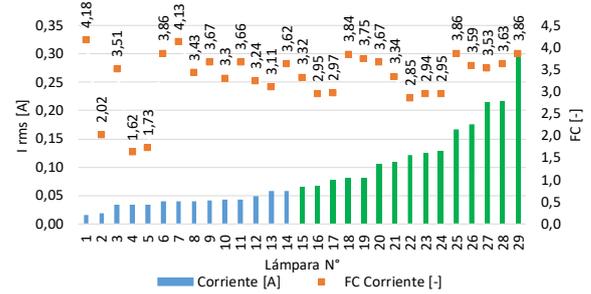


Fig. 7. Conjunto 1. Valor eficaz y factor de cresta para la corriente de cada lámpara.

En el 90% de las lámparas el THD de la corriente supera el 106 %f; en algunos casos resulta incluso mayor a 170 %f (ver Fig. 3). Este nivel de distorsión armónica no se correlaciona con el valor eficaz de la corriente, observándose incluso valores altos de THD en las lámparas de mayor potencia. La corriente de estas lámparas se caracteriza también por un alto factor de cresta; en el 90% de los casos su valor resulta mayor a 2,85 (ver Fig. 7). En solo 3 mediciones se observaron bajos niveles de distorsión armónica y factor de cresta, las cuales corresponden a lámparas que poseen “corrección del factor de potencia” (lámparas n° 2, 4 y 5).

Las lámparas LED presentan características de cargas capacitivas. En todas las lámparas el factor de potencia de desplazamiento resultó en adelanto, con valores cercanos a 0,9 (ver Fig. 4 y Fig. 6); no obstante, el factor de potencia es capacitivo y menor a 0,62 en el 90 % de las lámparas medidas. Incluso las lámparas de mayor potencia presentan valores de FP comprendidos entre 0,5 y 0,6 (ver Fig. 4). Como consecuencia, la potencia aparente demandada por la lámpara resulta notablemente superior a la potencia activa (Fig. 5) y el aprovechamiento energético no resulta ser el más conveniente. En la mayoría de los casos, la potencia activa medida en la lámpara alimentada con tensión nominal es

ligeramente inferior a su potencia nominal indicada (ver Fig. 5).

En la Fig. 8 se muestran los resultados correspondientes a mediciones similares realizadas en el conjunto 2. En todos los casos, se destaca un FP cercano a 1 y niveles de distorsión armónica notablemente inferiores a las lámparas comercializadas en Argentina. Ello trae considerables ventajas a la red eléctrica, no solamente por la reducción en los valores de corriente ocasionados por un alto FP sino también por la reducción del contenido armónico en la misma.

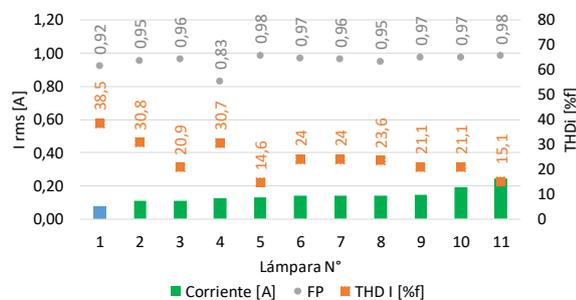


Fig. 8. Conjunto 2. Corriente eficaz, FP y THD medido en las 11 lámparas del conjunto 2.

### Auto-compensación de corrientes armónicas

En la Fig. 9 se muestra con diagramas polares y de forma individualizada la amplitud y ángulo de fase medido para las armónicas de corriente de las 29 lámparas del conjunto 1. Al igual que en los gráficos anteriores, el conjunto de lámparas se clasifica en dos sub-grupos según la potencia nominal de las lámparas: < 10 W (azul) y  $\geq 10$  W (verde).

Se observa que las armónicas con amplitudes más relevantes en la corriente de las 29 lámparas (en general, las de orden 3, 5, 7, 9 y 11) se ubican en la misma zona del diagrama polar. Las armónicas de orden 3 para la mayoría de las lámparas analizadas se ubican en el tercer cuadrante, con un ángulo de fase medio ponderado de  $-114,8^\circ$ . Las armónicas de orden 5 y 7 se ubican

mayoritariamente en el primer y cuarto cuadrante, con ángulos de fase medios ponderados de  $73,45^\circ$  y  $-73,30^\circ$  respectivamente. A medida que se consideran armónicas de mayor orden (y menor amplitud) la variabilidad en los ángulos de fase medidos se incrementa. Esto se observa principalmente para las armónicas de orden 13 en adelante. Si bien estos resultados no tienen una fuerte correlación con la potencia nominal de la lámpara, se observa que las lámparas de menor potencia suelen presentar mayor variabilidad en el valor de la fase de las armónicas.

Estos resultados indican que, para un conjunto de lámparas en paralelo, no debe esperarse el fenómeno de auto-compensación pasiva entre las armónicas de corriente con mayor amplitud generadas por estas lámparas (en general, las de orden 3, 5, 7 y 9). Si resulta esperable la compensación de armónicas de alta frecuencia (en general, orden >13), que a su vez poseen amplitudes relativamente bajas. En otras palabras, la conexión masiva de estas cargas en la red puede contribuir a auto-cancelar la presencia de sus armónicas de alta frecuencia, pero no a las armónicas de baja frecuencia (orden 3, 5, 7 y 9 mayormente). Dado que su ángulo de fase es similar, estas se adicionan entre sí de forma casi aritmética.

Para verificar estas conclusiones se conectó un grupo de 7 lámparas del conjunto 1 en paralelo y se midió el espectro de frecuencia resultante en la corriente total. Luego se comparó el valor medio de las armónicas para las 7 lámparas con el valor de las armónicas en la corriente total de su conexión en paralelo (en todos los casos se compararon amplitudes referidas al valor de la componente fundamental de la corriente). Los resultados correspondientes al grupo de lámparas con potencia nominal  $\geq 10$  W se muestra en la Fig.10. Resultados similares se obtuvieron para lámparas con potencia nominal < 10 W.

# IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2022

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

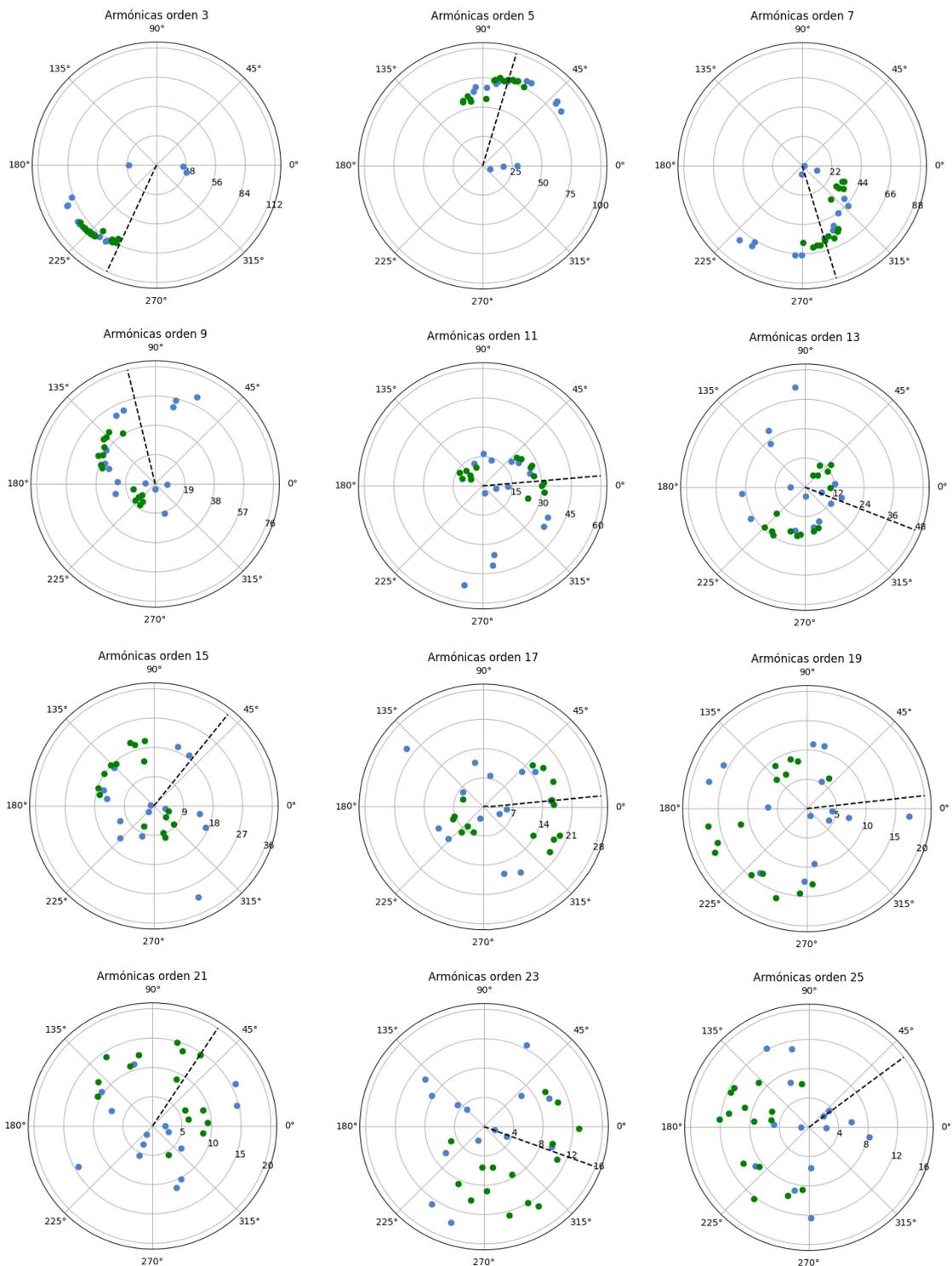


Fig. 9. Amplitud y fase en las armónicas de corriente de orden impar para las lámparas del Conjunto 1. Lámparas con potencia nominal  $< 10\text{ W}$  (color azul) y  $\ge 10\text{ W}$  (color verde). La línea de trazos representa al ángulo de fase promedio ponderado según la amplitud de las armónicas.

# IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2022

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

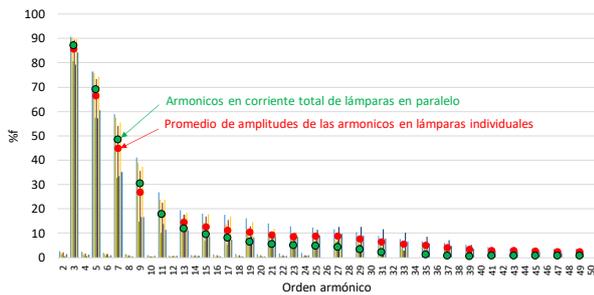


Fig. 10. Conjunto 1. Espectro de frecuencia para la corriente de 7 lámparas con potencia nominal  $> 10$  W conectadas en paralelo.

Se observa que el contenido armónico de la corriente total es similar o ligeramente mayor para armónicas de baja frecuencia (orden 3, 5, 7 y 9) y se reduce para armónicas de alta frecuencia (orden  $> 13$ ).

### *Comportamiento de las lámparas ante variaciones de tensión permanente*

Con el objetivo de caracterizar el comportamiento de las lámparas ante variaciones de tensión permanente, se varió la tensión aplicada a un grupo de 6 lámparas LED de 5 marcas distintas, con potencias comprendidas entre 10 W y 23 W pertenecientes al conjunto 1. Durante el ensayo se les aplicó, de forma escalonada y durante intervalos de aproximadamente 1 minuto, una tensión alterna senoidal con los siguientes valores eficaces: 235 V, 220 V, 200 V, 180 V, 160 V y 140 V. Las 6 lámparas poseen fuentes con características nominales similares (220 V – 50 Hz). Solo en la fuente de la lámpara identificada como M2-12W de las siguientes gráficas se especifica un rango de tensiones más amplio (185-265 V). En la Fig. 11 se muestra la tensión aplicada y la variabilidad en la corriente eficaz de cada lámpara. De forma similar, en la Fig. 12 se muestra el efecto sobre la potencia activa y aparente demandada por las lámparas y en la Fig. 13 y 14 se detalla el efecto sobre la distorsión armónica de la corriente.

En los gráficos se sombrea el rango de tensiones “admisibles” en la red de baja tensión:  $220\text{ V} \pm 10\%$ . Para este rango de tensiones se destaca un comportamiento como carga de potencia activa constante para la mayoría de las lámparas (ver Fig. 12); la potencia aparente se incrementa levemente ante la reducción de tensión a consecuencia de variaciones en la potencia reactiva tomada por la lámpara. Este comportamiento es característico para las lámparas M1-10W, M2-12W, M4-17W, M5-18W y M1-23W. Para reducciones de tensión mayores a 10%, el comportamiento de las lámparas resulta distinto según el caso. Las lámparas M1-10W, M2-12W y M4-17W conservan este comportamiento hasta tensiones incluso tan bajas como 140 V, mientras que M1-23W lo hace hasta 160 V. M5-18W comienza a reducir su potencia para tensiones menores a 200 V, mostrando un comportamiento combinado entre carga tipo “potencia constante” y “corriente constante”. La lámpara M3-15W presenta un comportamiento distinto a todas las demás en cualquier rango de tensión: ante reducciones en la tensión presenta reducciones en la corriente y en la potencia demandada, evidenciando así un comportamiento como “impedancia constante”. Esta lámpara en particular presentó reducciones apreciables en el flujo luminoso durante el ensayo, apagándose a los 160 V.

Con relación al efecto del nivel de tensión sobre la distorsión armónica en la corriente, las lámparas presentaron en general reducciones proporcionales en el THD-%f de la corriente a medida que se reduce la tensión aplicada (ver Fig. 13). No obstante, como se aprecia en la Fig. 14, el contenido armónico total expresado en [A] presenta valores relativamente constantes para variaciones de  $220\text{ V} \pm 10\%$  y leves aumentos ante tensiones más bajas. Los decrementos en el valor del THD-%f se deben principalmente a los

# IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2022

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

incrementos en la componente fundamental de la corriente cuando se reduce la tensión, pero el contenido armónico total de la corriente es poco sensible a las variaciones de tensión.

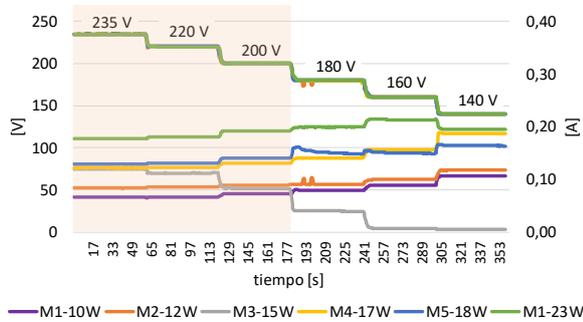


Fig. 11. Ensayo con tensión variable para 6 lámparas de 5 marcas distintas del Conjunto 1. Corriente eficaz.

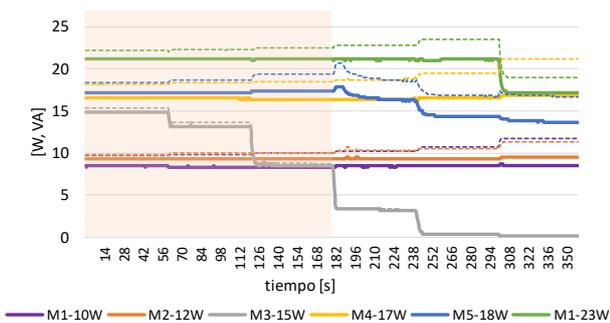


Fig. 12. Ensayo con tensión variable para 6 lámparas de 5 marcas distintas del Conjunto 1. Potencia activa (línea llnena) y potencia aparente (línea de trazos).

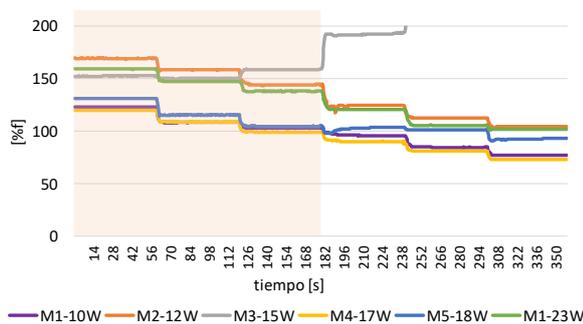


Fig. 13. Ensayo con tensión variable para 6 lámparas de 5 marcas distintas del Conjunto 1. THD expresado en %f.

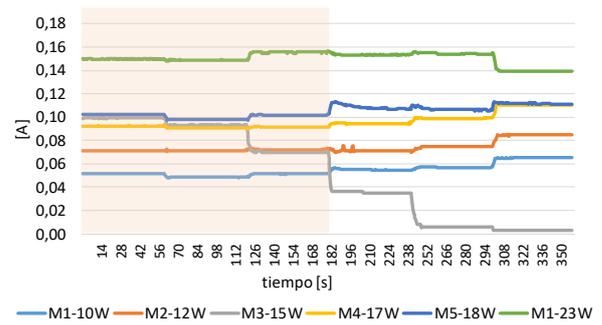


Fig. 14. Ensayo con tensión variable para 6 lámparas de 5 marcas distintas del Conjunto 1. THD expresado en [A].

## CONCLUSIONES

Se realizó un estudio tendiente a caracterizar el consumo de las lámparas LED para uso residencial y comercial que se comercializan en Argentina. A modo de comparación, se muestran algunas diferencias entre estas lámparas y algunas comercializadas en Brasil.

Las lámparas LED comercializadas en Argentina presentan características típicas de cargas capacitivas. En el 90% de las lámparas medidas se registraron valores altos de distorsión armónica y de factor de cresta en la corriente y valores bajos en el factor de potencia ( $THD > 106\%f$ ,  $FC > 2,85$  y  $FP < 0,62$ ). Estos resultados no se correlacionan con la potencia de la lámpara, observándose tanto en lámparas de baja potencia como en lámparas de potencias relativamente grandes. El espectro armónico de estas cargas se caracteriza por altos valores en la amplitud de las armónicas de baja frecuencia, destacándose como la más importante a la armónica de orden 3. Esto puede tener implicancias relevantes en la corriente de neutro de los sistemas trifásicos.

La conexión de un gran número de estas lámparas en la red puede contribuir a auto-cancelar la presencia de sus armónicas de alta frecuencia, pero no a las armónicas de bajo

# IV CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2022

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

orden, que a su vez son las de mayor amplitud. En otras palabras, con la incorporación masiva de estas cargas en la red puede esperarse un incremento casi proporcional en la presencia de armónicas de corriente de orden 3, 5, 7 y 9.

La mayoría de las lámparas mostraron un comportamiento de “potencia activa constante” ante variaciones de tensión en el rango de  $220\text{ V} \pm 10\%$ . Ante reducciones mayores en la tensión, el comportamiento depende de cada lámpara en particular, aunque se destaca en la mayoría la tendencia a mantener constante el valor de la potencia activa hasta tensiones en el orden de los 160 V. En todos los casos se apreciaron variaciones en la potencia aparente ante variaciones en la tensión, marcando así una diferencia entre la respuesta en potencia activa y reactiva. El contenido armónico de la corriente resultó ser poco afectado por las variaciones en la tensión.

En comparación con lámparas similares pero comercializadas en el vecino país, se destaca la diferencia en los valores medidos para el FP y la distorsión armónica de la corriente. En este aspecto, se resalta la importancia de tomar medidas regulatorias adecuadas en Argentina para tender al cambio de las lámparas LED comercializadas actualmente por lámparas con alto FP. Esto no solo contribuiría con la reducción de pérdidas en la red sino también con la atenuación de corrientes altamente distorsionadas.

## REFERENCIAS

[1] Henao Peñaranda G. A., Castro Wilches J. A. (2016) Diseño e implementación de un driver para bombillas domiciliarias led con corrector de factor de potencia y disminución de THD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

[2] S. Uddin, H. Shareef y A. Mohamed (2013). Power quality performance of energy-efficient low-wattage LED lamps. Journal of

the International Measurement Confederation, vol. 46, pp. 3783-3795.

[3] R. M. Abdalaal and C. N. M. Ho (2018) Characterization of commercial LED lamps for power quality studies. 2017 IEEE Electr. Power Energy Conf. EPEC 2017, vol. 2017-October, pp. 1–6.

[4] S. G. Galave, S. D. Dadas, S. N. Bandgar, and S. D. Mangate (2018). Power Quality Analysis Characterization of Different Types of Lamp Used for Domestic and Industrial Purpose. Proc. 2nd Int. Conf. Trends Electron. Informatics, ICOEI 2018, pp. 1501–1506.

[5] IEC 62612. Lámparas LED con balasto incorporado para servicios de iluminación general con tensión de alimentación  $> 50\text{ V}$ . Requisitos de funcionamiento. 2013.

[6] H. Shabbir, M. Ur Rehman, S. A. Rehman, S. K. Sheikh, and N. Zaffar (2014). Assessment of harmonic pollution by LED lamps in power systems,” 2014 Clemson Univ. Power Syst. Conf. PSC 2014.

[7] A. S. O. Ogunjuyigbe, T. R. Ayodele, V. E. Idika, and O. Ojo (2017). Effect of lamp technologies on the power quality of electrical distribution network. Proc. - 2017 IEEE PES- IAS PowerAfrica 2017, pp. 159–163.

[8] Resolución 586/2020, Ministerio de Desarrollo Productivo, Secretaría de Comercio Interior, Ciudad de Buenos Aires, Argentina, 17/11/2020.

[9] IRAM 62404-3, Etiquetado de eficiencia energética de lámparas eléctricas para iluminación general. Parte 3 - Lámparas LED. 2017.