

IMPACTO ENERGETICO Y DE CALIDAD DE ENERGIA POR LA INCORPORACION MASIVA DE LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

**Ing. Carlos Pacheco, Ing. Adrián D'Andrea, Ing. Jorge Caminos,
Ing. Julio Doyharzabal, Ing. Daniel Blanco**

Grupo de Estudios Sobre Energía, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe.
Tel.: 0342 4697858/Fax: 0342 4690348 - Lavaise 610, C.P.: S3004 EWB, Santa Fe, Argentina.

E-mail: gese@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

En los últimos tiempos los usuarios residenciales han aumentado el uso de las lámparas fluorescentes compactas (L.F.C.), intentando disminuir los consumos de energía eléctrica y sumado a esto, el Gobierno de la Nación lanzó cinco millones de estas lámparas del PRONUREE (Programa Nacional de Uso Racional de la Energía) para repartir a la comunidad. En este contexto se realizó un estudio sobre como impacta el uso intensivo de lámparas fluorescentes compactas en la calidad de energía de una instalación domiciliaria.

El informe consta de una recopilación de fundamentos teóricos sobre las características de las lámparas fluorescentes compactas, armónicos (THD, potencias activa, reactiva, de distorsión y aparente), productores de armónicos, efectos sobre equipos y elementos del sistema eléctrico. En base a los datos obtenidos en las mediciones se procedió a analizar distintos tipos de lámparas de bajo consumo, realizando un informe sobre los parámetros eléctricos que presentan, como así también su comportamiento según las especificaciones brindadas por los distintos fabricantes o importadores. Además, se estudió el impacto en la calidad de energía que produce el reemplazo total o parcial de las mencionadas lámparas de bajo consumo en una vivienda tipo.

Palabras Clave: lámparas fluorescentes compactas, parámetros eléctricos, impacto energético.

ABSTRACT

In the last few decades, residential users increment the use of compact fluorescent lamp (C.F.L) trying to reduce consume of electricity. Also, Argentinean Government distributed five millions of these lamps round of PRONUREE (Programa Nacional de Uso Racional de la Energía). In this context we study the impact of intensive exploit of compact fluorescent lamp by residential users in quality of residence electric system.

This study present a compilation of compact fluorescent lamp characteristics, harmonics (TDH, active power, reactive power, distortion power and apparent power), harmonics productions and its effects on residential electric equipment and systems. Based on measurements data, we analyzed the different types of compact fluorescent lamp, studying the electric parameters they present and they performance comparable with the specifications given by manufacturers or importers. Also, we study their energetic impact and the energetic quality that produce the partial or total replacement of classical lamps by compact fluorescent lamp in a typical residence.

Keywords: compact fluorescent lamp, electric parameters, energetic impact.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta hace menos de dos décadas la aparición de armónicos en redes de distribución no era lo más común, limitándose principalmente a las zonas industriales o de oficinas. Pero con el corriente crecimiento de los equipos que poseen características particulares en electrónica (ej.: cargas no lineales) esto se hizo mucho más común en todos los ámbitos.

El efecto de una o más fuentes de armónicos sobre las redes industriales dependerá principalmente de la característica de respuesta de frecuencia del sistema. La mayoría de las industrias se ven afectadas por los armónicos que se producen a través de los equipos que representan cargas no lineales para el sistema eléctrico en general. La presencia de los armónicos en un sistema de red industrial trae graves consecuencias para la misma, ya que se producen daños de equipos que se traducen en pérdidas económicas debido a que, al dañarse estos equipos, pueden distorsionar el normal funcionamiento de un proceso determinado y por ende bajar la calidad de los productos que son elaborados en una industria con estos problemas.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética, a principios del siglo XX se comenzó a estudiar la posibilidad de utilizar el fenómeno de ionización de los gases, para la producción de luz, dando lugar a las lámparas de descarga.

La lámpara fluorescente compacta o L.F.C. es un tipo de lámpara fluorescente que se puede usar con casquillos estándar. En comparación con las lámparas incandescentes, las L.F.C. tienen una vida nominal mayor y usan menos energía eléctrica para producir la misma iluminación.

Presentadas mundialmente a principios de los años ochenta, las ventas de las lámparas L.F.C. se han incrementado constantemente debido a las mejoras en su funcionamiento y la reducción de sus precios. El más importante avance en la tecnología de las lámparas fluorescentes en general (incluidas las L.F.C.) ha sido el reemplazo de los balastos magnéticos por los del tipo electrónico. Este reemplazo ha permitido la eliminación del efecto de "parpadeo" y del lento encendido tradicionalmente asociados a la iluminación fluorescente.

Las lámparas fluorescentes compactas utilizan un 80 % menos de energía (debido a que mayor parte de la energía se transforma en energía lumínica) y pueden durar hasta 12 veces más. Contienen un tubo, un balasto electrónico y un borne atornillable en un portalámparas estándar; lo que permite sustituir fácilmente las lámparas incandescentes. Las lámparas no integradas permiten el reemplazo del tubo y el uso prolongado del balasto; ya que el balasto electrónico tiene mayor duración que el tubo, puede ser más costoso y sofisticado al ofrecer la opción de graduar la intensidad de luz.

2. OBJETIVO

Este trabajo tiene como objetivo recopilar información teórica sobre las lámparas fluorescentes compactas (L.F.C.) para comparar los distintos tipos en relación a su comportamiento según las especificaciones brindadas por los fabricantes e importadores, y analizar su impacto energético y en la calidad energética en función de su uso parcial o total en una vivienda tipo.

3. MÉTODO

Para conocer las especificaciones de las lámparas fluorescentes compactas se realizó una búsqueda bibliográfica intensiva sobre los diferentes tipos existentes, sobre las variadas marcas que circulan en el mercado y los tipos de uso que se dan de las mismas.

Para realizar las mediciones primeramente se consiguieron lámparas de variadas marcas y calidad, para luego conectarlas a la red, y medir los distintos parámetros que estas tienen en un periodo de 24 horas. Ese período fue integrado cada 10 minutos; por medio de un equipo analizador de parámetros eléctricos marca FLUKE modelo 435 equipado con pinzas amperométricas modelo i5s (Figura 1), para poder medir las débiles corrientes que circulan en el caso de un consumo tan pequeño como el que tiene una lámpara de bajo consumo.

Para analizar el impacto de las lámparas fluorescentes compactas en una vivienda tipo, instalamos las lámparas en una vivienda tomando los consumos usados normalmente, y se fue variando el porcentaje de L.F.C. instaladas. En cada caso, conectamos en la entrada del tablero general del inmueble un equipo registrador de magnitudes eléctricas.

La vivienda en estudio tiene ocho bocas para iluminación de uso general, las cuales se tomaron como el 100 % de puntos donde se instalarían las L.F.C. Sobre los valores medidos, se tuvieron en cuenta los consumos clásicos en un inmueble, como ser heladera, televisor, computadoras, etc.

Las marcas de L.F.C. seleccionadas para el estudio fueron: Philips, Osram, MP, High Glow, Silvana, Sica y Alic (Figura 1). Las medidas eléctricas tomadas en cada una de las lámparas fueron: corriente (A),

tensión (V), potencia activa (W), potencia reactiva (Var), THDi (%), THDv.(%), FP y Cos ϕ .



Figura 1 - Equipo analizador de parámetros eléctricos utilizado (FLUKE modelo 435) y ejemplos de las diferentes lámparas fluorescentes compactas estudiadas

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Características generales de las lámparas fluorescentes compactas estudiadas

En el análisis de THDI, se pudo detectar que todas las lámparas analizadas están entre la franja de 100 y 140 %. Además, este factor se mantiene dentro de valores acotados para todas las lámparas ensayadas. Si observamos el Gráfico 1 podemos destacar que no se puede apreciar que el valor de este factor tenga que ver con la calidad de la lámpara ya que hay algunas de marca menos prestigiosa que tienen aproximadamente los mismos valores que las de mejor marca.

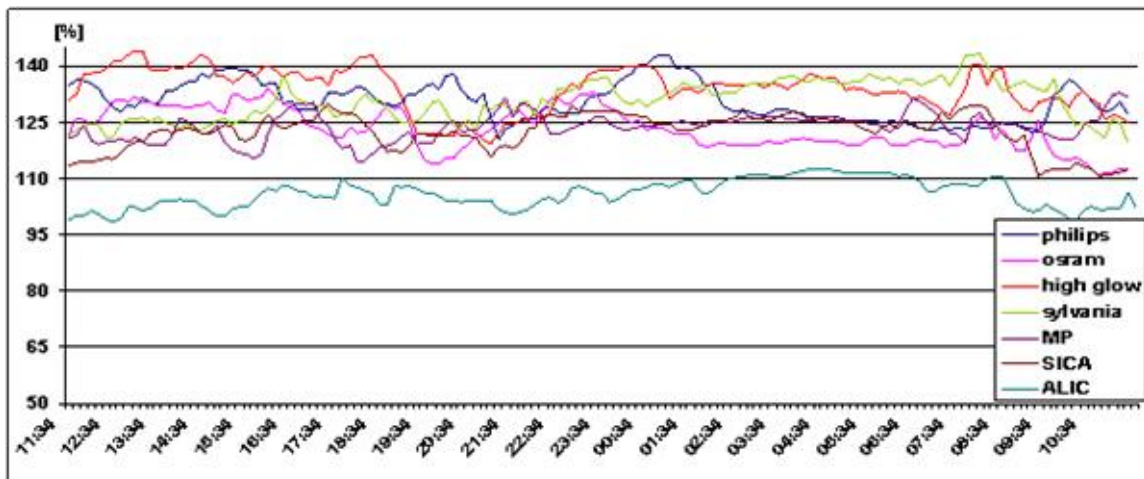


Gráfico 1 - Factor de distorsión de corriente medido, por lámpara (según marca).

Para poder tener una mayor idea de como se relaciona este valor medido (el THDI) con la forma de onda, vemos abajo (Grafico 2) la forma de onda de corriente tipo de una lámpara de bajo consumo, con balasto electrónico. Cabe aclarar que no poseen filtros para los armónicos presentes.

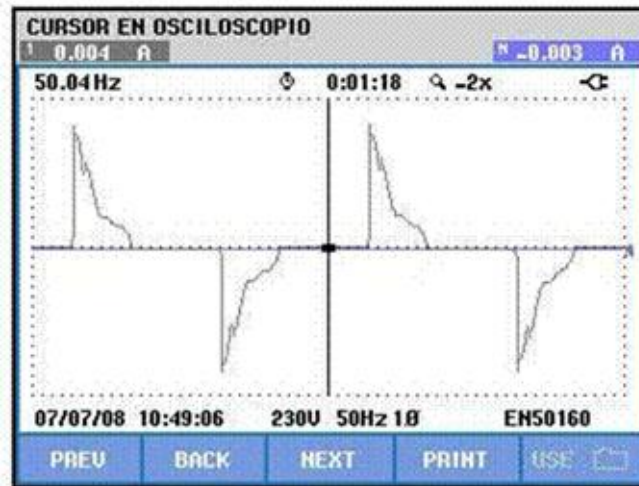


Gráfico 2 - Forma de onda de corriente de una lámpara.

En el histograma de armónicos (Gráfico 3) se puede observar que el contenido de armónicos es muy alto, desde el 3º hasta el 35º y con valores que sobrepasan en muchas veces los valores recomendados (en %) por los distintos manuales de calidad de energía.

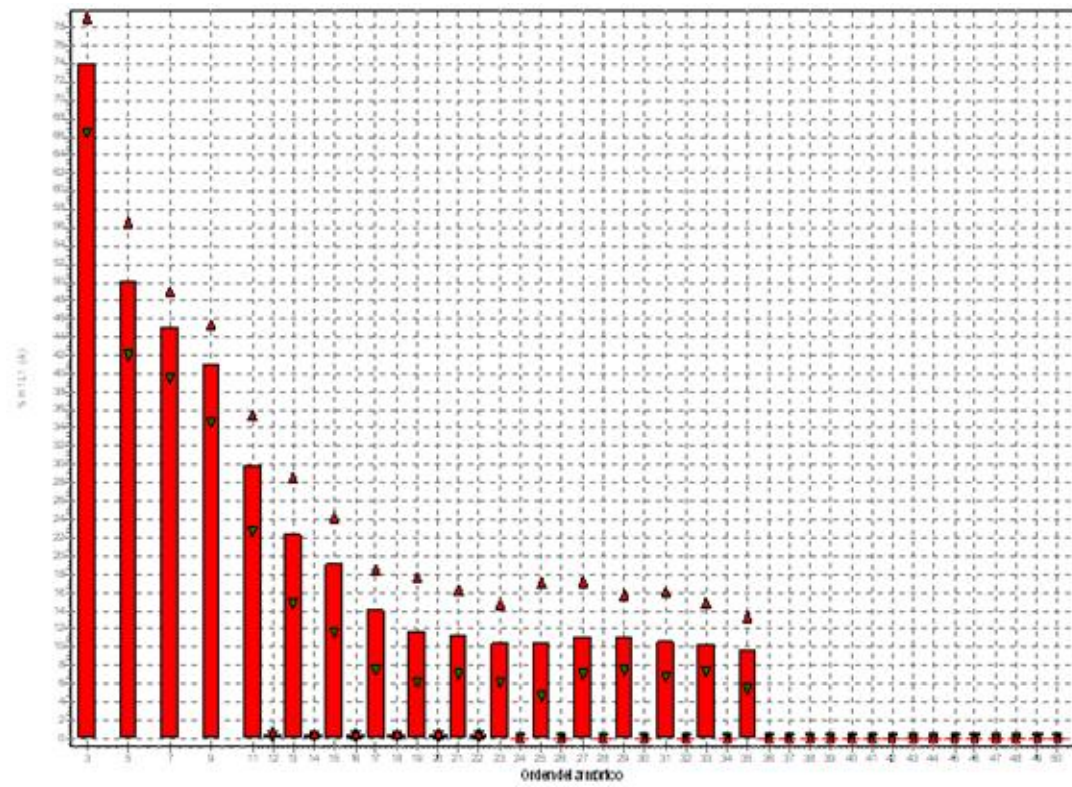


Gráfico 3 - Histograma del contenido armónico en la onda de corriente.

En lo que respecta a la potencia consumida por cada lámpara (Gráfico 4), pudimos observar que se encuentra más abajo del valor que indican los fabricantes, donde se pudo ver que si bien las lámparas eran todas de igual potencia y consumían 20 W según las referencias; solo una consumió ese valor, las demás estuvieron en todo momento dos y hasta cuatro W por debajo de este consumo, lo que repercute sobretodo en el nivel de emisión de luz que emite.

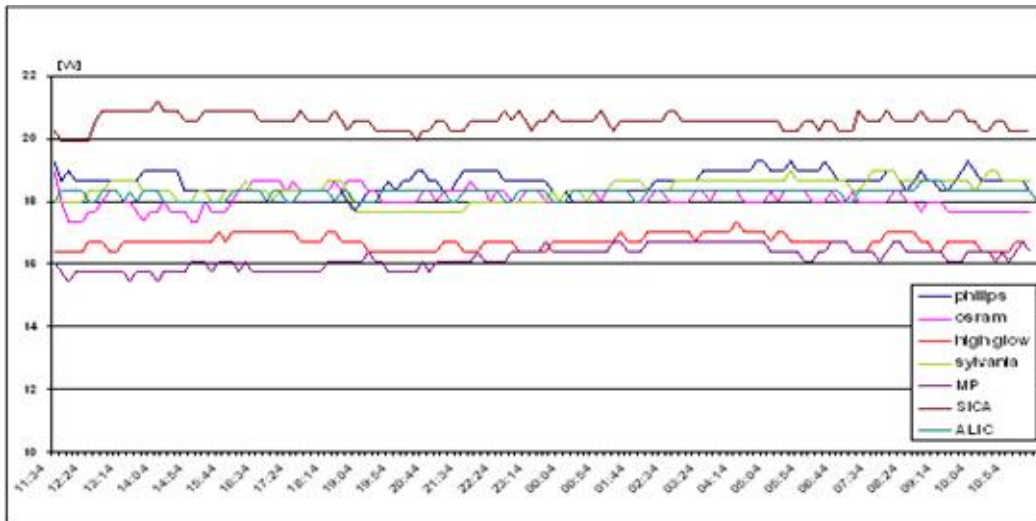


Gráfico 4 - Potencia activa consumida por lámpara.

Si bien los valores de potencia variaban entre distintas lámparas, en lo que respecta a las corrientes (Gráfico 5) se ve que no hay tanta discrepancia entre unas y otras, juntándose la mayoría entre un máximo de 160 mA y un mínimo de 120 mA.

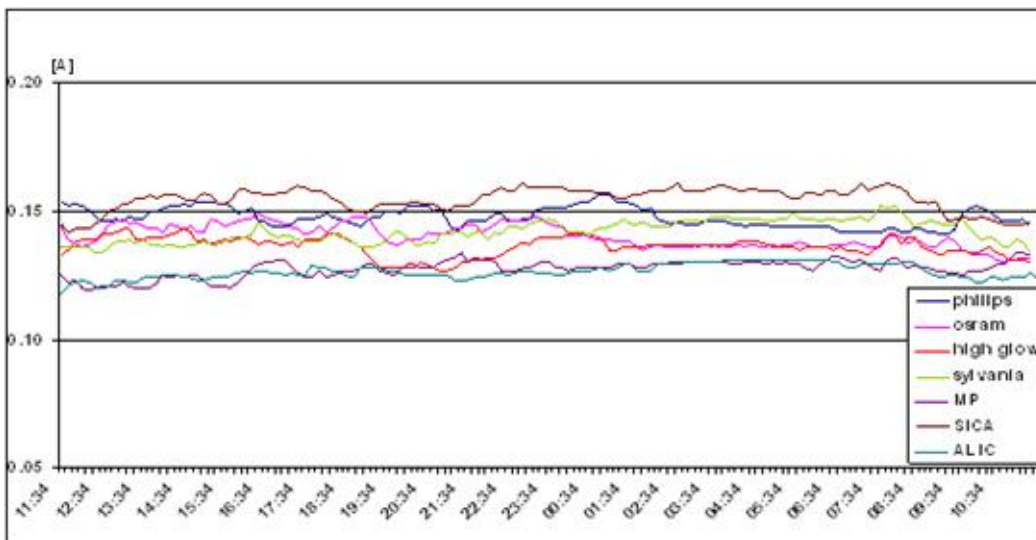


Gráfico 5 - Corriente consumida por cada lámpara.

Observando el gráfico que nos muestra el valor del factor de potencia en función del tiempo (Gráfico 6) se puede apreciar que las líneas se juntan en un valor de aproximadamente 0,55 pero en todo momento todas las lámparas presentan valores muy por debajo del 0,90-0,95 que se exige por las mayoría de las empresas proveedoras de energía de la República Argentina.

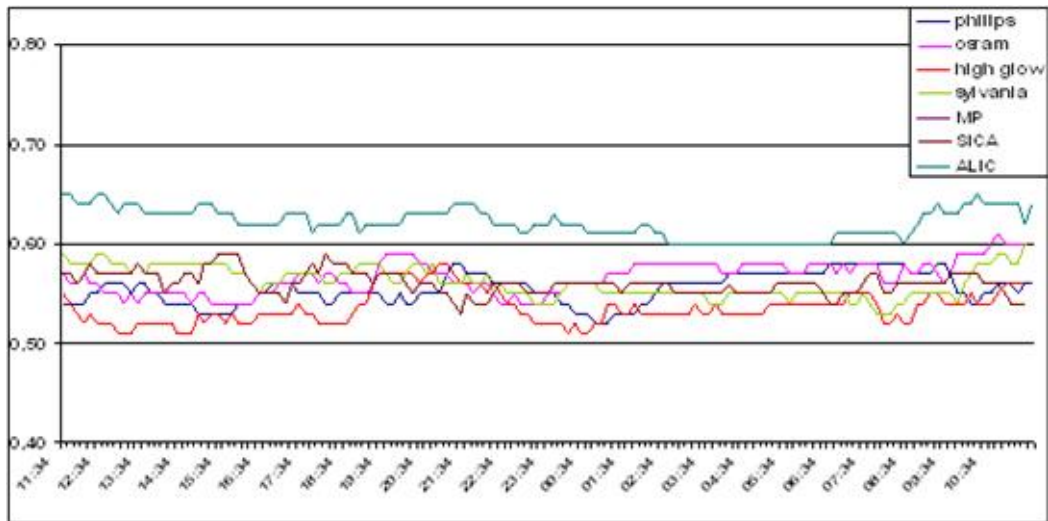


Gráfico 6 - Factor de potencia por cada lámpara.

En la siguiente tabla (Tabla 1) podemos observar el promedio de las variables medidas en las diferentes marcas estudiadas.

Tabla 1 - Valores promedio de las variables medidas en las diferentes marcas

Lámpara	P. Activa W	FP	THD I %
Philips	18,59	0,55	130,59
Osram	18,07	0,57	122,68
MP	16,21	0,56	123,79
High Glow	16,73	0,54	133,90
Sylvania	18,36	0,56	130,76
Sica	20,57	0,58	122,43
Alic	18,27	0,61	105,73

Podemos observar que todas las lámparas tienen una alta distorsión de la onda de corriente (THD I superior al 100 % en todos los casos), lo que lleva a una gran disminución del factor de potencia, y en general a una disminución de la calidad de energía. Además, un alto porcentaje de los parámetros medidos no corresponden con los indicados por el fabricante, por ejemplo todos los fabricantes indicaban que las lámparas consumen 20 W, pero en el laboratorio se midió una potencia promedio de 18 W.

4.2. Impacto de las lámparas fluorescentes compactas en una instalación eléctrica hogareña.

4.2.1. Primer medición

En este caso se instalaron como carga total del inmueble, ocho lámparas de bajo consumo con una potencia nominal de 20 W cada una; podemos observar (Gráfico 7) que la forma de onda que nos presenta una L.F.C. mejora en un pequeño porcentaje al aumentar la cantidad de lámparas, pasando el factor de distorsión armónico de corriente de aproximadamente 120 % a un 102 % para las ocho lámparas que se instalaron juntas. La potencia activa promedio de 160 W durante el tiempo que duró la medición, el factor de distorsión armónico de corriente estuvo en promedio en el 102 % y el factor de potencia fue de 0,63.

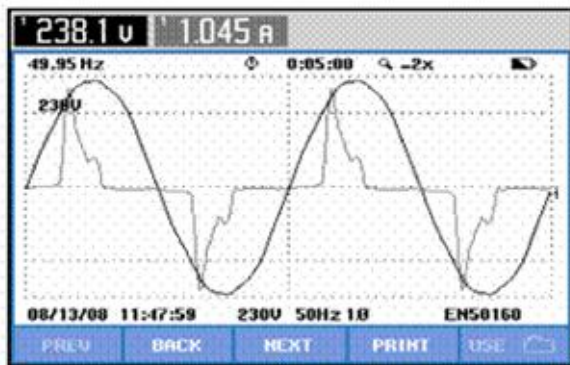


Gráfico 7 – Promedios de las variables obtenidas en la primer medición.

Promedios

Tensión: 238,42 V
 Corriente: 1,06 A
 Potencia Activa: 160,62 W
 Potencia Reactiva: 196,13 VAR
 THDI: 102,23 %
 THDU: 2,14 %
 FP: 0,63
 Cos φ: 0,91

4.2.2. Segunda medición

En esta medición se sacaron dos lámparas de bajo consumo y se colocaron dos lámparas de 100 W incandescentes, y se obtuvieron los siguientes resultados (Gráfico 8): la potencia activa promedio medida fue de 338 W, el factor de distorsión bajo a un valor mucho más pequeño, acercándose al 17 % de promedio mientras que el factor de potencia promedio también subió y se obtuvo el valor de 0,92.

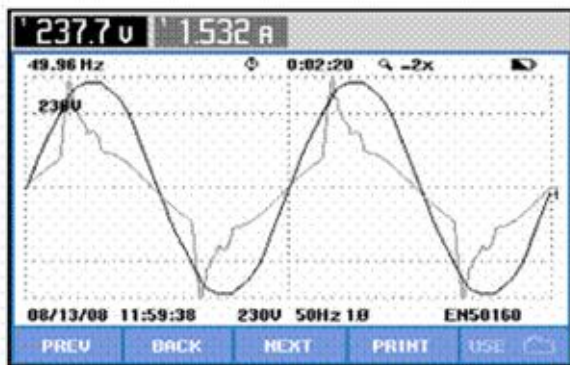


Gráfico 8 - Promedios de las variables obtenidas en la segunda medición.

Promedio

Tensión: 238,97 V
 Corriente: 1,53 A
 Potencia Activa: 337,56 W
 Potencia Reactiva: 42,25VAR
 THDI: 37,39 %
 THDU: 2,18%
 FP: 0,92
 Cos φ: 0,98

4.2.3. Tercer medición

En esta tercera medición se sacaron dos L.F.C. más, y se agregaron otras dos lámparas incandescentes de 100 W cada una, se pudo ver (Gráfico 9) que la potencia activa aumento más aún y se situó en los 538 W mientras que el factor de distorsión también bajando para ubicarse en 15 %, ya por debajo del valor que exige el ENRE y también el factor de potencia sobrepaso en este caso el valor exigido por las empresas prestadoras de energía, llegando a ser 0,98.

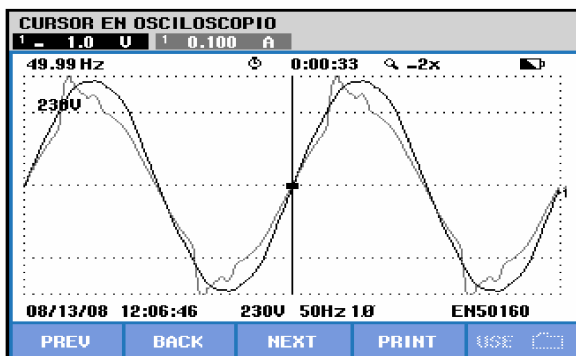


Gráfico 9 - Promedios de las variables obtenidas en la tercer medición.

Promedio

Tensión: 240,03V
 Corriente: 2,28A
 Potencia Activa: 538,25W
 Potencia Reactiva: 95,03VAR
 THDI: 15,12 %
 THDU: 2,21%
 FP: 0,98
 Cos φ: 1

4.2.4. Cuarta medición

En esta medición se desconectaron dos L.F.C. más, y se conectaron dos lámparas incandescentes de 100 W cada una. Como es de esperar, subió el consumo teniendo un promedio de 719 W de potencia activa y como las anteriores bajo el valor de distorsión a 5 % y el factor de potencia a 1. Vemos que ya la calidad de potencia es muy buena, por la gran influencia de las lámparas incandescentes. Pero el consumo se ha

incrementado aproximadamente 4,5 veces con respecto a la primera medición (donde se usan todas L.F.C.) (Gráfico 10)

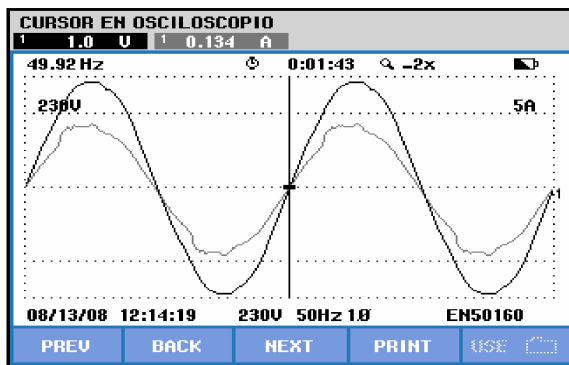


Gráfico 10 - Promedios de las variables obtenidas en la cuarta medición.

Promedio

Tensión: 235,44 V
 Corriente: 3,06 A
 Potencia Activa: 718,18 W
 Potencia Reactiva: 50,72 VAR
 THDI: 5,17 %
 THDU: 2,25%
 FP: 1
 Cos φ : 1

4.2.5. Quinta medición

En todas las mediciones anteriores se tenía un porcentaje distinto de lámparas de bajo consumo e incandescentes, en este caso solamente se conectaron lámparas incandescentes. Se puede notar (Gráfico 11) que las ondas de tensión y corriente responden a una función senoidal pura, característica de aplicar una carga resistiva. Vemos también que la potencia consumida para iluminar con lámparas incandescentes a la misma relación que con L.F.C. es 5,75 veces mayor aproximadamente.

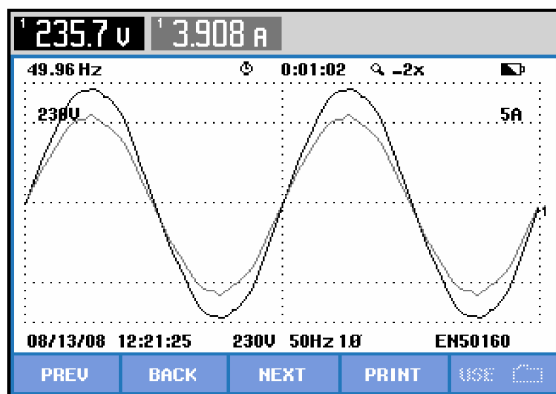


Gráfico 11 - Promedios de las variables obtenidas en la quinta medición.

Promedio

Tensión: 235,75 V
 Corriente: 3,90 A
 Potencia Activa: 918,88 W
 Potencia Reactiva: 27,75 VAR
 THDI: 2,11 %
 THDU: 2,17%
 FP: 1
 Cos φ : 1

4.2.6. Sexta medición

En este caso medimos los parámetros del circuito de la vivienda en cuestión, compuesto de la siguiente manera: ocho L.F.C., una heladera, un televisor y una computadora. Podemos observar que la onda de corriente se ve muy deformada, esto se debe a las fuentes electrónicas que poseen para su alimentación las computadoras y televisores, sumado a las lámparas de bajo consumo a ensayar.

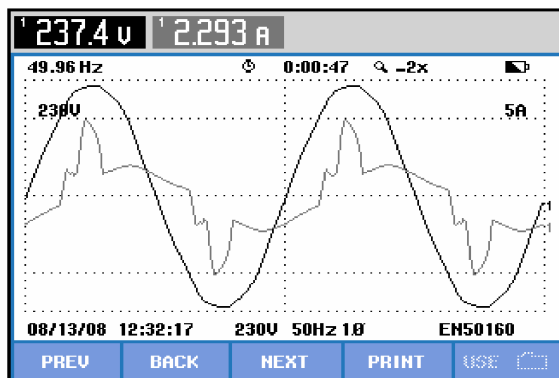


Gráfico 12 - Promedios de las variables obtenidas en la sexta medición.

Promedio

Tensión: 237,68 V
 Corriente: 2,26 A
 Potencia Activa: 415,16 W
 Potencia Reactiva: 339,83 VAR
 THDI: 50,96 %
 THDU: 2,44 %
 FP: 0,77
 Cos φ : 0,87

En la siguiente tabla se detallan los valores obtenidos en cada medición para la vivienda tipo estudiada, con las diferentes cargas de lámparas fluorescentes compactas.

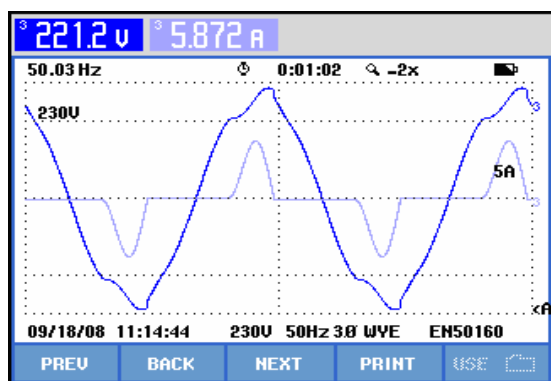
Tabla 2 - Resumen de mediciones

Medición	Corriente	Tensión	Potencia activa	Potencia reactiva	THDi	THDv	F. P.	Cos ϕ
	A	V	W	VA	%	%		
1	1.06	238.4	160.62	196.13	102.23	2.14	0.63	0.91
2	1.53	238.9	337.56	42.25	37.79	2.18	0.92	0.98
3	2.28	240.03	528.25	95.03	15.12	2.21	0.98	1
4	3.06	235.44	718.18	50.72	5.17	2.25	1	1
5	3.9	235.75	918.88	27.75	2.11	2.17	1	1
6	2.26	237.68	415.16	339.83	50.96	2.44	0.77	0.87

4.3. Impacto del uso de L.F.C. en un transformador de pequeña potencia

Una vez analizados los efectos que trae la instalación de lámparas fluorescentes compactas en una residencia tipo, se planteó la idea de conectar un transformador de potencia y poder conectarle una gran variedad de cargas, ya sea solo con lámparas de bajo consumo en sus fases o L.F.C. y resistencias, carga no repartida uniformemente, etc.; para así poder analizar los efectos que este tipo de carga trae a los distintos parámetros del transformador, como ser deformación de la onda de tensión, variación de frecuencia, cancelación de armónicos, etc.

Al transformador se lo conectó en triángulo-estrella para reproducir de alguna manera a los transformadores de distribución ubicados en las subestaciones aéreas y poder tener una idea de que pasa con los armónicos, corriente de neutro, formas de onda, etc. Por ejemplo, como se ve en Gráfico 13, conectando una carga que presente un gran contenido armónico en una fase dada (45 L.F.C.), la corriente de esta fase podemos ver que presenta dos picos pero con una forma que posee menor cantidad de armónicos que la que había en el caso de tener menor cantidad de lámparas. La forma de onda de la tensión presenta una deformación bastante acusada y, como veremos más adelante, solo se da en la fase que tiene conectada este tipo de cargas alineales.

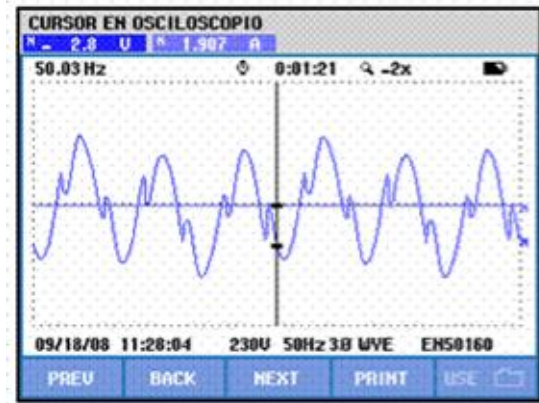
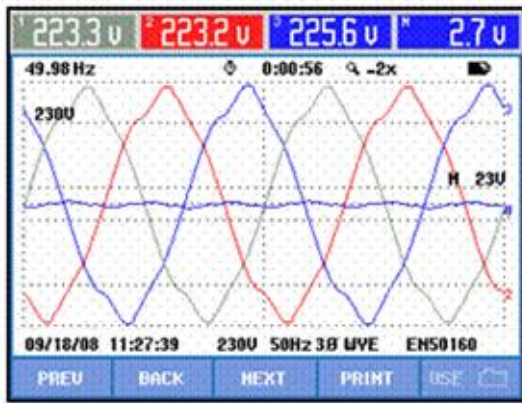


Promedios

Corriente: 5,7 A
 THDI: 100 [%]
 THDU: 6,9 [%]
 FP: 0,38
 Cos ϕ : 0,56

Gráfico 13 - Impacto del uso de L.F.C. en un transformador de pequeña potencia.

Uno de los mayores inconvenientes por la conexión de cargas con una gran cantidad de armónicos, es que los terceros armónicos y sus múltiplos impares, presentan característica homopolar, o sea que no se cancelan sino que se suman para retornar al transformador circulando por el conductor neutro, produciendo serios calentamientos en este conductor que pueden llegar a ser muy perjudiciales ya que el neutro generalmente tiene una sección menor que el de las fases. Esta circulación de corriente forzada por la presencia de armónicos de tercer orden y superiores provoca un incremento en las pérdidas de la instalación por un aumento de la resistencia de los conductores, ya que se acentúa el efecto "Skin" y de "proximidad" debido a que las ondas que circulan en ellos tienen una frecuencia mucho mas alta que la frecuencia industrial. Como el incremento de la resistencia es proporcional al cuadrado de la frecuencia, es importante el calentamiento y pérdidas que se tienen. En Gráfico 14 se puede apreciar la forma de onda de las tensiones de fase y corriente de neutro cuando se conectaron 20 lámparas en cada fase.



1

Gráfico 14 - Tensiones de fase y corriente de neutro.

5. CONCLUSIONES

En vistas al ensayo realizado, se pueden sacar diversas conclusiones:

- Cuando se reemplazaron las lámparas incandescentes por L.F.C., se produjo una desconexión de cargas lineales, las que son reemplazadas por cargas alineales de características luminotécnicas similares pero de una potencia mucho menor (5 veces); por lo que si bien la potencia disminuye se inyecta una gran cantidad de armónicos en la red. Este efecto presenta un apreciable beneficio para las redes, ya que la disminución de la corriente se produce sobretodo en las horas del pico de consumo en la noche, permitiendo de esta forma un mejor aprovechamiento de la potencia instalada y evitar así la ampliación del sistema.
- Teniendo un consumo normal en una casa, con un T.V. una P.C., un par de lámparas incandescentes y algunas lámparas fluorescentes compactas se llega a un valor del factor de deformación de onda de corriente de 75 % aproximadamente, valor que es elevado y da como resultante una gran cantidad de armónicos en circulación en la red con los armónicos 3°, 5°, 7°, 9° y 15° principalmente; sin dejar de tener en cuenta los demás impares que también están presentes.

Por otro lado pudimos observar que:

- Conectando a un transformador lámparas fluorescentes compactas llegamos a tener una deformación considerable de la onda de tensión que entregaba el aparato pero en ningún caso se sobrepasaron los niveles máximos que exige el ENRE (ThdU menor a 8 %). En este mismo ensayo, se verifico el aumento de corriente en el conductor neutro, principalmente proporcionada por los terceros armónicos.
- Si bien conectando solamente lámparas fluorescentes compactas a un transformador no se pudo sobrepasar el límite de ThdU, es posible que los transformadores de distribución queden expuestos a un consumo con mucho mas contenido de armónicos. Este valor máximo se da generalmente en horas de la noche, cuando se tiene generalmente el pico de consumo y los elementos constituyentes del sistema eléctrico están más solicitados, pudiendo generarse algunos problemas.
- Después de todos los ensayos realizados y relacionando con la actualidad energética de la Republica Argentina podemos concluir en que las lámparas fluorescentes compactas se presentan como un aporte rápido para disminuir en parte la demanda en energía eléctrica. Pero no obstante, no es la solución óptima, ya que el ahorro se obtiene en desmedro de la calidad de energía del sistema eléctrico. En un futuro cercano si el porcentaje de cargas “electrónicas” sigue en crecimiento, seguramente los inconvenientes van a surgir debido a la importante polución de armónicos en las redes eléctricas.
- Habría que analizar como mejorar la utilización de este tipo de lámparas, por ejemplo implementando normas de calidad más exigentes en la fabricación y parámetros de funcionamiento de las mismas. También implementando lámparas fluorescentes compactas con balasto magnético corregido, etc. de manera de tener productos con mayor calidad de energía y no solo que sean eficientes energéticamente.

6. REFERENCIAS

- GOMEZ, J. C. Calidad de Potencia para usuarios y empresas eléctricas. Editorial EDIGAR S.A. 2005, 542 páginas, ISBN: 987-97785-2-9.
- Ley 19.587, decreto reglamentario 351/79. Seguridad e higiene en el trabajo. Año 1979.
- INDUSTRIAS SICA Y PIRELLI CABLES. Manual de Calidad de la Energía. New Press. Grupo Inversor S.A. Primera Edición en el Año. 2000).