

Incidencia sobre las Redes Eléctricas de las Lámparas de Bajo Consumo

Fabio Vincitorio, Celestino Brutti, José Frund
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná
Almafuerte 1033 - (CP 3100), Paraná Entre Ríos. Tel/Fax 0343-4243054, fisicaelectronica@frp.utn.edu.ar

Resumen - En este trabajo se presentan los resultados de la investigación realizada sobre los efectos negativos en las redes eléctricas debido al uso masivo de cargas alineales (lámparas de bajo consumo) con distorsiones armónicas en corriente superiores al 110 %. Para esto se analizaron los cambios térmicos y eléctricos sobre un transformador de referencia sometido a iguales niveles de potencia aparente pero con diferentes valores de factor de potencia.

Los resultados obtenidos muestran que el efecto de cargas con un THD (Total Armonic Distortion) elevado genera una sobre elevación de temperatura debido al aumento de las pérdidas en el transformador asociadas a un menor factor de utilización. Por otra parte, se han determinado distorsiones en la tensión de salida del transformador a plena carga con valores superiores al 12 %, existiendo una alta incidencia del 5 y 9 armónicos.

Además ensayos realizados sobre conductores han demostrado que al igual que en el transformador existe una sobre elevación de temperatura al conducir iguales niveles de corriente eficaz pero con mayores niveles de contenido armónico.

Los resultados documentados estarían indicando que existen menores niveles de eficiencia energética cuando se realiza una comparación directa entre la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente compacta.

Summary - This work shows the results of the research of negative effects on electric network caused by massive use of *alinear charge* with higher harmonic distortion in current superior at 110%. For this reason was analyzed the thermal and electrical changes on a reference transformer subjected to the same level of apparent power but with different values of power factor.

The results show that the high THD loads generates a raised temperature due to increased losses in the transformer associated with a lower utilization factor.

Furthermore test on conductors had shows that for the same current level, in accordance with the result obtained in a transformer, the final temperature on equal interval time is higher when the harmonic distortion is incremented.

The results demonstrate there are lower levels of energetic efficiency when a comparation of incandescent lamps and compact fluorescent lamp is made.

INTRODUCCIÓN

Las lámparas de bajo consumo han ganado gran parte del mercado de la iluminación basándose en el argumento de ser una alternativa más eficiente desde el punto de vista energético. Sin embargo, cuando se realiza una comparación del régimen de lúmenes por Watt el argumento puede no ser tan concluyente (Reid Iwao Sasaki, 1994).

Las lámparas de bajo consumo se encuentran construidas a partir de dos componentes principales, un balasto electrónico y una lámpara fluorescente.

El hecho de contar las lámparas con un balasto electrónico tiene como consecuencia directa una serie de efectos indeseados, cuyas consecuencias no se encuentran evaluadas con profundidad.

La mayoría de los balastos electrónicos utilizados en estos dispositivos de acuerdo con los relevamientos realizados sobre productos de diferentes fabricantes, utilizan topologías que hoy podrían ser consideradas ob-

soletas. Su principio de funcionamiento se basa en la configuración denominada inversor de pulso resonante auto excitado, el cual puede verse en la Fig. 1 (Grunwaldt G, 1963), en una de sus primeras versiones o bien en una versión actualizada en la Fig. 1a (Mytums - Rutgers, 1998). En la Fig. 1-b puede verse el circuito relevado sobre una lámpara Sylvania de 20 W.

Los balastos se conectan a la red mediante un rectificador monofásico de puente completo. La consecuencia directa de la aplicación de esta configuración es un alto nivel de distorsión armónica total, con valores que pueden superar 110 %.

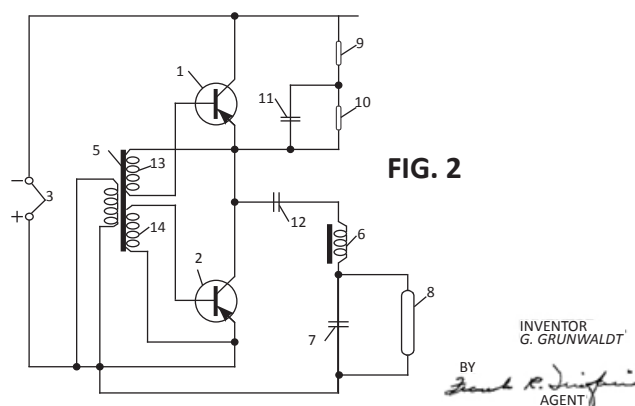


Fig. 1 - Inversor auto resonante de salida usado en un balasto electrónico patentado en el año 1963 (Grunwaldt G, 1963)

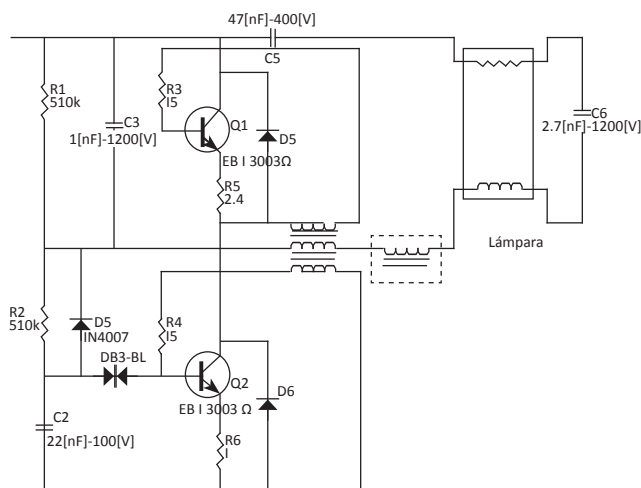


Fig. 1b - Configuración del inversor resonante utilizado en una lámpara Sylvania de 20 W (Relevada Año -2007)

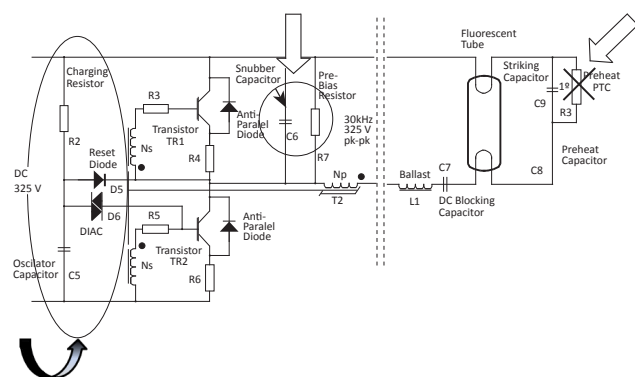


Fig. 1a - Configuración general del inversor resonante auto excitado (Mytums- Rutgers, 1998)

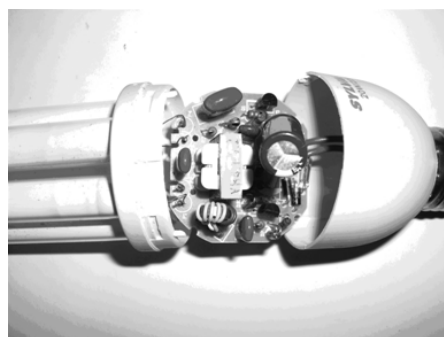


Fig. 1c - Fotografía del balasto de la lámpara Sylvania de 20 W (relevada Año -2007)

Tales niveles de distorsión armónica podrían generar efectos nocivos sobre las redes eléctricas, máxime cuando la cantidad de dispositivos con estas características crezcan respecto de las cargas lineales (resistivas o inductivas).

Si bien existen en la literatura especializada trabajos precedentes - algunos publicados muy tempranamente (Reid Iwao Sasaki, 1994) - no existe aún un consenso acerca de cómo evaluar los efectos reales que podrían generar estas cargas sobre los sistemas eléctricos.

Los ensayos realizados en el laboratorio sobre un sistema eléctrico monofásico y con una potencia limitada que fueron desarrollados en este trabajo, han dado como resultado un aumento en las pérdidas del sistema cuando se contrastan, a iguales niveles de potencia aparente, cargas lineales representadas por lámparas incandescentes con lámparas de bajo consumo con altos niveles de THD.

EL BALASTO ELECTRÓNICO EN LAS LBC

Las lámparas de bajo consumo (LBC) necesitan de un balasto o reactor para poder ser conectadas a la red. Este balasto cumple las mismas funciones que el balasto electromagnético convencional (generar una descarga de alta tensión para la ignición y limitar la corriente de lámpara). La operación de un balasto se realiza a muy alta frecuencia, desde los 23 KHz hasta los 70 KHz dependiendo de las condiciones de diseño.

En aplicaciones para lámparas fluorescentes lineales han sido desarrollados sistemas sumamente avanzados que convierten al conjunto en una carga eléctrica ideal con un factor de potencia de 0,98, un THD inferior al 8 % y un rendimiento energético del 97 %, superior desde todo punto de vista al balasto convencional.

El balasto electrónico usado en las LBC por su parte usa una configuración de por sí obsoleta, que difícilmente alcance un rendimiento superior al 87 % (valor no aceptado en la electrónica de potencia moderna), un factor de potencia inferior a 0,6 y un THD elevado.

En la Fig. 1a se muestra la topología elemental para un balasto electrónico del tipo autoresonante, según las normas de diseño de fines de los 70, pero actualmente en uso tal como lo demuestra la Fig. 1b correspondiente a una lámpara Sylvania relevada en el año 2007. En la Fig. 1a, circunscrito se han indicado los componentes que la mayor parte de los fabricantes sacrifican para obtener competitividad en sus productos, pero que afectan fundamentalmente la confiabilidad de los mismos.

La Fig. 1c muestra la fotografía del balasto de la Fig. 1b. Claramente puede observarse que en éste ha sido sacrificada la resistencia PTC indicada en la Fig. 1a y el capacitor de precalentamiento de los filamentos.

Por otra parte la configuración de entrada o rectificador debería poseer filtros de tipo EMC para reducir el contenido armónico y evitar la presencia de señales de alta frecuencia (no armónicas) moduladas sobre la señal de 50 Hz.

En las lámparas de bajo consumo es prácticamente imposible montar el filtro EMC dadas las dimensiones que se pretenden tengan estos dispositivos, dado que dicho filtro implica la utilización de un núcleo de dimensiones equivalentes al usado en el inductor de salida del inversor resonante. En algunas lámparas como la Philips Twister 23W ha sido relevado como único elemento un pequeño inductor serie de núcleo abierto.

Componentes de protección tales como varistores de óxido metálico no han sido encontrados dentro del conjunto de 60 lámparas de diferentes fabricantes, de marcas reconocidas o genéricas, seleccionadas para el relevamiento de su configuración. En algunos casos como el mostrado en la Fig. 2c, correspondiente a una lámpara Sica de 45 W, no es posible encontrar ningún tipo de elemento de protección contra sobre tensiones o cortocircuito del inversor.

La excepción la constituyen las líneas de lámparas de Philips denominadas Master, las cuales abarcan el rango de potencias desde los 45 W a los 80 W. En éstas es posible encontrar una configuración completa del circuito de salida equivalente a la mostrada en la Fig. 1a con el agregado de un controlador del factor de potencia activo que confiere a esta lámpara características ideales en lo referente al consumo de energía de la red.

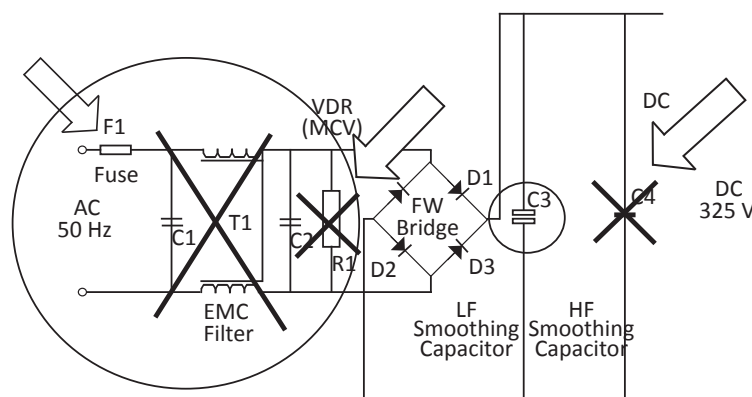


Fig. 2a – Circuito de entrada para un balasto electrónico sin corrección del factor de potencia

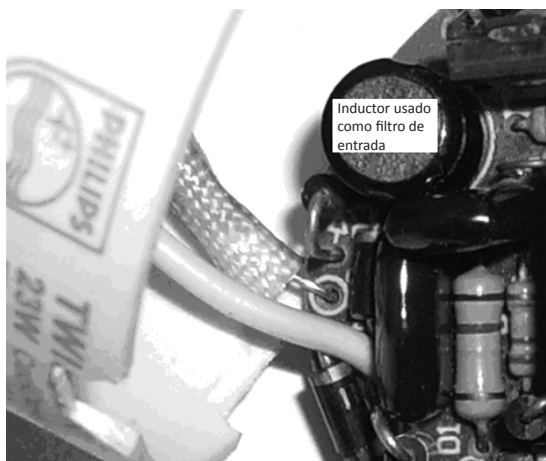


Fig. 2b – Fotografía del circuito de entrada de la lámpara Philips Twister 23 W

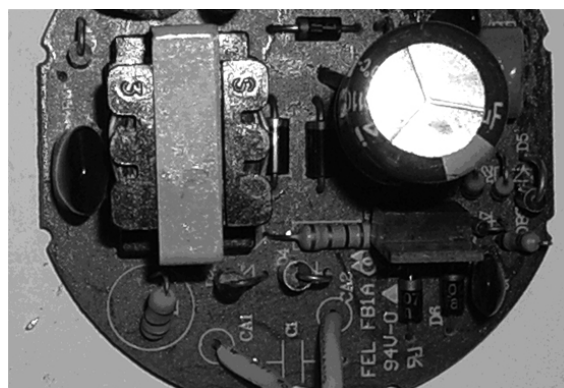


Fig. 2c – Fotografía del circuito de entrada de la lámpara Sica de 45W. Pueden observarse los cables de entrada sobre el circuito impreso y el rectificador, pero la ausencia de filtros, fusibles o varistores de protección

ANÁLISIS DE LAS SEÑALES DE TENSIÓN Y CORRIENTE DEBIDO AL BALASTO EN LAS LBC

El balasto usado en las lámparas de bajo consumo se acopla a la red mediante un rectificador monofásico de puente completo, el cual se conecta a un condensador electrolítico cuya función es mantener un valor de factor de rizado lo más bajo posible para que el inversor no presente fluctuaciones que afecten la emisión luminosa de la lámpara. Esta configuración genera una forma de consumo de corriente con alto nivel de contenido armónico y un bajo factor de potencia pero con un coseno ϕ elevado. (L. Whidart, 1995).

Con el fin de documentar el comportamiento de las lámparas de bajo consumo hacia la fuente se procedió con una metodología de doble ensayo. Por una parte se midieron los valores asociados a las corrientes, tensiones, potencias y factores de mérito desde el lado de la línea. Individualmente fueron ensayadas un total de 60 lámparas de diferentes fabricantes.

El segundo ensayo consistió en documentar el comportamiento de un conjunto de lámparas de diferentes potencias y diferentes fabricantes a potencia aparente constante.

En la tabla 1 puede apreciarse parte de la información asociada a una lámpara Sica de 45[W] medida en forma individual.

Tiempo	Vca	Ica	THD	3°	5°	7°	9°
0	225	150	155,86	76,9	67,52	43,24	28,5
5	224	170					
10	225	170		%	%	%	%
15	224	180					
20	224	170					
25	225	160		73,6	64,7	41,4	27,3
30	226	170					
[m]	[V]	[mA]	%	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]

Tabla 1 - Valores de tensión, corriente de entrada y contenido armónico para una lámpara Sica de 45 W obtenidos con Osciloscopio Tektronix TDS210 con módulo de extensión de medidas

En la tabla 2 se documentan los resultados del análisis estadístico realizado sobre el THD de los datos obtenidos en 28 de las 60 lámparas medidas individualmente.

Descriptivos		Estadístico
Media		109,44%
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite superior	100,35%
	Límite inferior	118,52%
Desviación Típica		23,44%
Mínimo		8,34%
Máximo		155,86%
Amplitud intercuartil		17,11%

Tabla 2 - Resultados del análisis estadístico del contenido de distorsión armónica total, para una población de 28 lámparas de diferentes potencias y fabricantes

En el oscilograma de la Fig. 3, el cual corresponde a una segunda lámpara Sica (de las tres medidas) de 45 [W], representa la tensión y corriente de entrada. El gráfico permite observar que la forma de onda de corriente se encuentra prácticamente en fase con la onda de tensión con un ángulo de $22,9^\circ$ en adelante, el THD = 124,39 % y el FP=0,585. Estos valores resultan diferentes a los documentados en la muestra 1 de la Tabla 1.

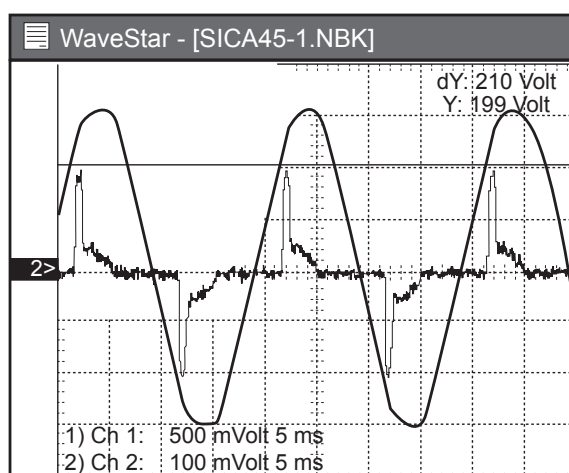


Fig. 3 – Forma de onda de tensión y corriente para una lámpara fluorescente compacta Sica de 45 W

En la Fig. 4 es posible observar el espectro de la señal de corriente correspondiente a esta señal.

Del análisis del contenido espectral es de notarse que existen armónicos con un 7 % del valor en corriente de la fundamental a una frecuencia tan elevada como 2250 Hz, si bien el armónico de mayor peso es el de tercer orden.

Desde el lado de la lámpara se realizaron mediciones solamente sobre 19 dispositivos dado que al abrir el alojamiento del balasto, en muchos casos es necesario destruirlo.

Se realizaron medidas de la tensión y corriente entregada a la lámpara y de la potencia activa entregada por el balasto con el fin de obtener el rendimiento de este dispositivo.

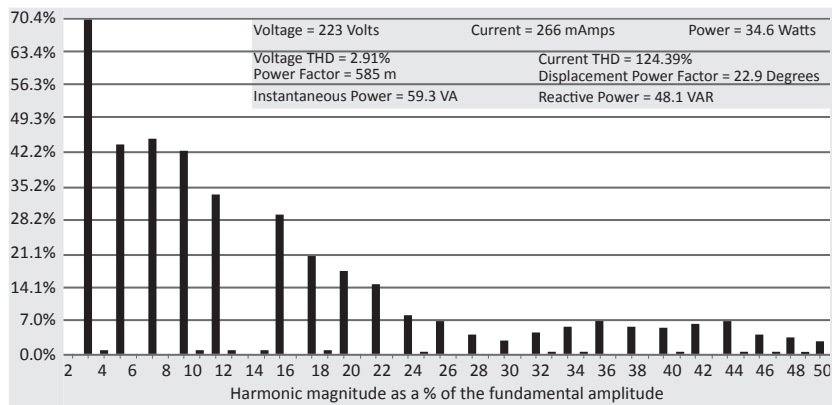


Fig. 4 – Contenido armónico y análisis espectral de la señal de corriente correspondiente a una lámpara de 45 W obtenida con osciloscopio Tektronix TDS210 y el Software WaveStar

En la Tabla 3 es posible ver la evolución de la tensión y corriente de lámpara dentro de los primeros 30 minutos de funcionamiento de una lámpara en particular, Sylvania 15 W a modo de ejemplo de la metodología de medición implementada.

Tiempo	Vrms	VP	I rms	I P	FCV	FCI
0	60	144	88,5	180	2,40	2,03
5	63,5	144	81,3	180	2,27	2,21
10	62,7	144	85,2	176	2,30	2,07
15	63,5	140	81	175	2,20	2,16
20	57,6	146	86,1	172	2,53	2,00
25	62,4	146	86,1	176	2,34	2,04
30	59,8	143	79,9	184	2,39	2,30
[m]	[V]	[V]	[mA]	[mA]		

Tabla 3 - Resultados de la medición de las variables de salida de una lámpara Sylvania de 15W

Es notable observar que los valores del factor de cresta de corriente pueden ser considerados como muy elevados dado que el valor deseable debería ser el equivalente a una señal senoidal es decir 1.41. La existencia de un factor de cresta elevado, es indicativo de un agotamiento prematuro en las lámparas de tipo fluorescente (Sekine – Ribarich).

La medición de potencia activa sobre la lámpara y sobre la línea, fue realizada en forma directa usando nuevamente el software WaveStar del osciloscopio Tektronix TDS210.

Los resultados tratados estadísticamente usando como variable de salida el rendimiento en potencia, el cual fuera evaluado como el cociente entre la potencia de entrada y la potencia de lámpara se muestran en la Tabla 4.

ANÁLISIS DE LAS SEÑALES DE TENSIÓN Y CORRIENTE DEBIDO AL USO MASIVO DE LBC CON BALASTO ELECTRÓNICO

En el párrafo anterior se presentaron diferentes casos de comportamiento eléctrico de lámparas de bajo consumo funcionando aisladamente.

Media	0.85
Mediana	0.85
Desviación típica	0.06554
Mínimo	0.74
Máximo	0.95
Amplitud intercuartil	0.1

Tabla 4 – Valores estadísticos del rendimiento de los balastos tomados sobre una muestra de 19 lámparas de bajo consumo de diferentes potencias y fabricantes

En los sistemas eléctricos de distribución los componentes fundamentales son el transformador de media tensión a baja tensión y los conductores de distribución, los cuales serían los puntos principales de fallo ante sistemas eléctricos con distorsiones armónicas elevadas (Sasaki, 994) (Radovik, Franfioskos, Topalis, Kostic,2005). Otros elementos como seccionadores bajo carga, tableros de distribución y elementos de protección podrían ser afectados por altos niveles de distorsión. En particular sistemas automáticos de control de tableros o protecciones podrían sufrir interferencias y fallos de funcionamiento debido al ruido eléctrico resultante en las líneas.

Para estudiar los efectos que produciría el uso masivo de estas cargas alineales se construyó un sistema eléctrico acoplado a la red de distribución mediante un transformador de 400 VA de tipo aislador de línea (1:1), sometiéndolo a condiciones de operación límite (2.2 A 210 / 220 V).

Los ensayos realizados contemplaron el seguimiento del comportamiento eléctrico y la evolución térmica del transformador tanto en su núcleo como en sus conductores.

Con el fin de obtener resultados comparativos se ensayaron dos tipos diferentes de carga, una totalmente lineal con factor de potencia unitario, constituida por lámparas incandescentes y una segunda carga compuesta por lámparas fluorescentes compactas.

También se estudiaron la combinación de cargas en iguales proporciones de corriente.

Para el primer tipo de carga ensayada, lámparas incandescentes, con una potencia de 400 W se obtuvieron las formas de onda de tensión y corriente mostradas en la Fig. 5.

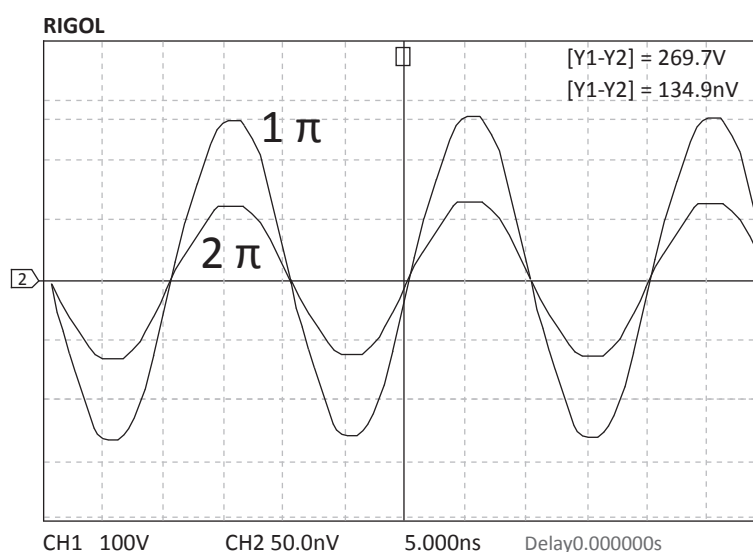


Fig. 5 – Forma de onda de tensión (1) y corriente (2) con lámparas incandescentes, potencia activa 400 W potencia aparente 400 VA

En éstas es posible observar la total concordancia de las señales de tensión y de corriente tanto en fase como en forma, a pesar de encontrarse al límite de potencia aparente indicada por el fabricante.

En el segundo caso se implementó una carga no lineal constituida por lámparas fluorescentes compactas de diferentes fabricantes y diferentes potencias hasta una potencia aparente total de 400 VA, es decir en iguales condiciones que la utilizada en lámparas incandescentes.

Al utilizar lámparas de bajo consumo se pueden diferenciar dos casos: n lámparas iguales o n lámparas de diferentes fabricantes y potencias.

En el primero de los casos el THD resultante es levemente inferior al THD individual de la lámpara. En el segundo de los casos el THD se reduce notablemente. Esto puede explicarse a partir de un factor de desplazamiento diferente para cada tipo de lámpara independiente del THD individual.

Las tablas 5 y 6 muestran estos resultados.

Coseno ϕ medido	Porcentaje
0,54	3,7 %
0,73	18,5 %
0,77	63,0 %
0,81	3,7 %
0,88	3,7 %
1	7 %
Total 27 lámparas	100 %

Tabla 5 – Valores estadísticos del coseno ϕ medido para diferentes fabricantes y diferentes potencias sobre un total de 27 lámparas

THD-I1	THD-I2	THD-I3	Pact. 1	Pact. 2	Pact. 3	Pap. 1	Pap. 2	Pap. 3
69,1	72,9	94,6	438	354	318	588	474	492
69,1	71,6	93,1	444	360	324	588	480	498
69,1	71,7	93,3	444	360	324	588	480	498
69,7	74	95,5	438	360	324	588	480	498
69,3	72,7	93,2	438	360	324	588	474	498
71,1	72,7	92,3	432	348	318	582	456	486
70,7	73	94,3	432	348	318	582	462	492
%	%	%	W	W	W	VA	VA	VA

Tabla 6 – Valores de THD, Potencia Activa y Potencia aparente, en un sistema trifásico. Fase 1 Lámparas incandescentes (10 % de la potencia total) y LFC. Fase 2 LFC de diferentes fabricantes y potencias. Fase 3 LFC de dos fabricantes diferentes General Electric y Leelite de 18W

Tal como lo muestran las tablas 6 y 7 debido a la coexistencia de cargas con diferentes factores de desplazamiento, aplicando el principio de superposición de señales tendríamos como resultado una forma de onda con contenido armónico menor, tal como la registrada en la Fig. 6.

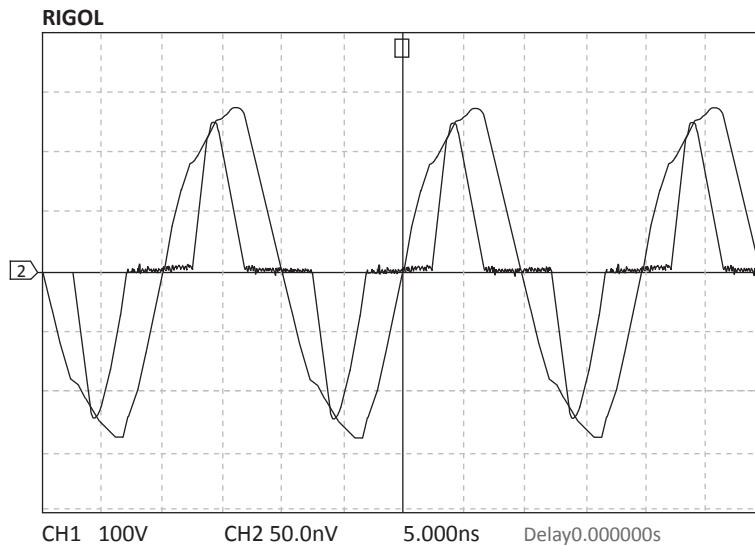


Fig. 6 – Forma de onda de señal de tensión (1) y corriente (2) para una carga de 400 VA de LBC 23 en total (Potencias 11 W, 15 W, 23 W, 45 W, 65 W)

Además se puede observar que el transformador, a pesar de estar a la misma potencia aparente registrada con carga resistiva pura tiene dificultades para mantener una señal senoidal con un THD inferior al 3 %, tal como la registrada para lámparas incandescentes. La toma de tensión fue realizada en bornes del transformador, utilizando dos diferentes tipos de instrumentos, osciloscopio y analizador de potencia. La distorsión armónica de tensión medida para lámparas incandescentes (400 VA) de acuerdo con la Fig. 5 registró en ambos instrumentos un valor de 3%, vale decir igual valor medido en la línea de entrada. Por otra parte, con cargas LFC en iguales condiciones de potencia aparente la distorsión armónica de tensión asciende al 10 %, en total acuerdo con el espectro documentado en la Fig. 7.

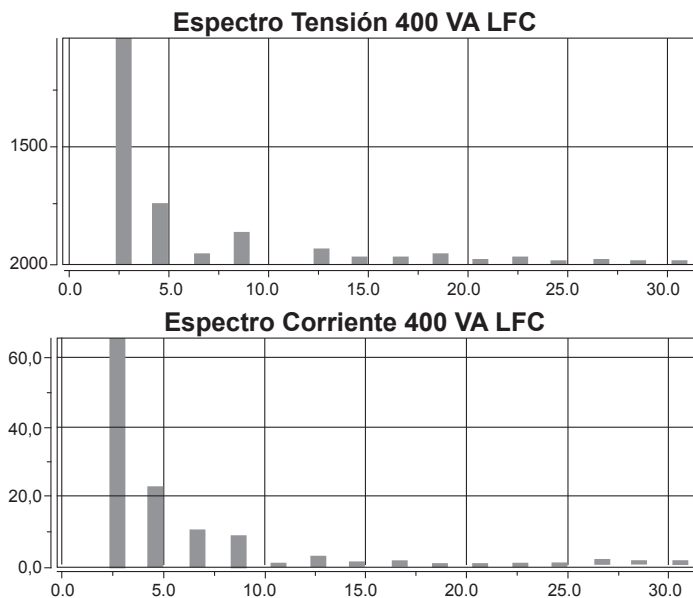


Fig. 7 – Espectro de tensión y corriente para 400 VA con lámparas de bajo consumo (Potencias 11 W, 15 W, 23 W, 45 W, 65 W)

Del estudio espectral de la corriente es posible observar que existe un corrimiento del contenido armónico hacia los armónicos de menor orden, en comparación con el espectro individual registrado para la lámpara Sica de 45W de la Fig. 3.

La tercera carga utilizada durante el ensayo consistió en una combinación de lámparas de bajo consumo de diferentes potencias e incandescentes. Las potencias aparentes aportadas por cada tipo se las determinó iguales (50/50). Del análisis de la forma de onda resultante es posible observar una forma de onda de mayor extensión angular, con un pequeño adelanto respecto de la señal de tensión y con una distorsión armónica total del 34% lo que representa una disminución notable respecto de las LFC. Sin embargo, la distorsión armónica de tensión sobre la tensión de salida del transformador no se reduce en igual proporción ubicándose en el 7%.

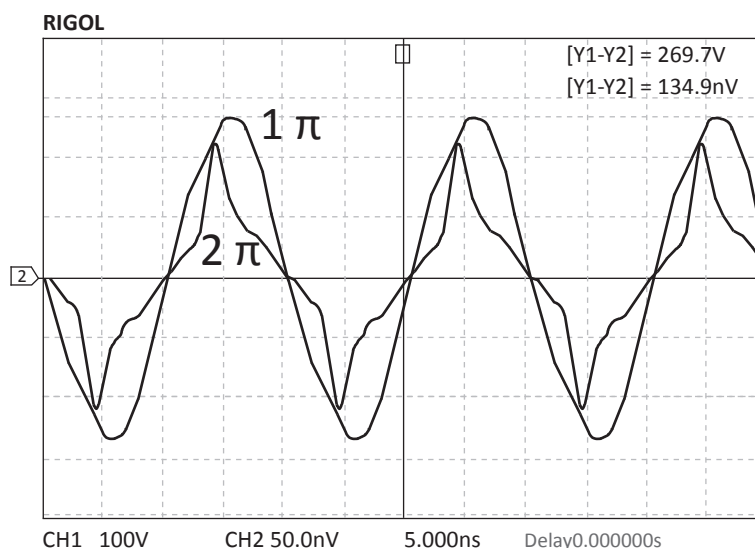


Fig. 8 – Forma de onda de tensión (1) y corriente (2) para cargas combinadas 400 VA en total

Voltage LN1	187,1 V
Current LN1	2,1 A
Apparent Power L1	390 VA
Active Power L1	354 VA
THD V1	7%
THD I1	34%
Power Factor L1	-0,91
Cos L1	-0,97

Tabla 8 – Indicadores de consumo eléctrico para una carga combinada, LFC - incandescente

RESPUESTA TÉRMICA DEL TRANSFORMADOR A DIFERENTES CARGAS CON POTENCIA CONSTANTE

Con el fin de evaluar el rendimiento energético del sistema y sobre la base de las publicaciones consultadas, se procedió con la realización de mediciones de temperatura sobre un transformador de referencia de

400 VA, de aislamiento (1:1) sometido a condiciones de máxima potencia aparente y aislamiento térmico con el exterior.

Inicialmente se realizaron tomas de temperatura en un punto intermedio entre los bobinados de primario y secundario introduciendo una termocupla para tal fin.

Posteriormente se decidió la toma de temperaturas con termómetro digital múltiple, tomando medidas sobre el núcleo y los bobinados.

Finalmente se procedió a la toma de temperatura sobre un arrollamiento de alambre de cobre sin núcleo e inductancia despreciable de manera de contar con un modelo concentrado de condiciones de disipación de los conductores sometidos a diferentes condiciones de carga.

En la Fig. 9 se muestra una gráfica comparativa de temperatura vs. tiempo, para una carga de lámparas de bajo consumo, lámparas incandescentes, una carga mixta y finalmente la evolución térmica del transformador en vacío.

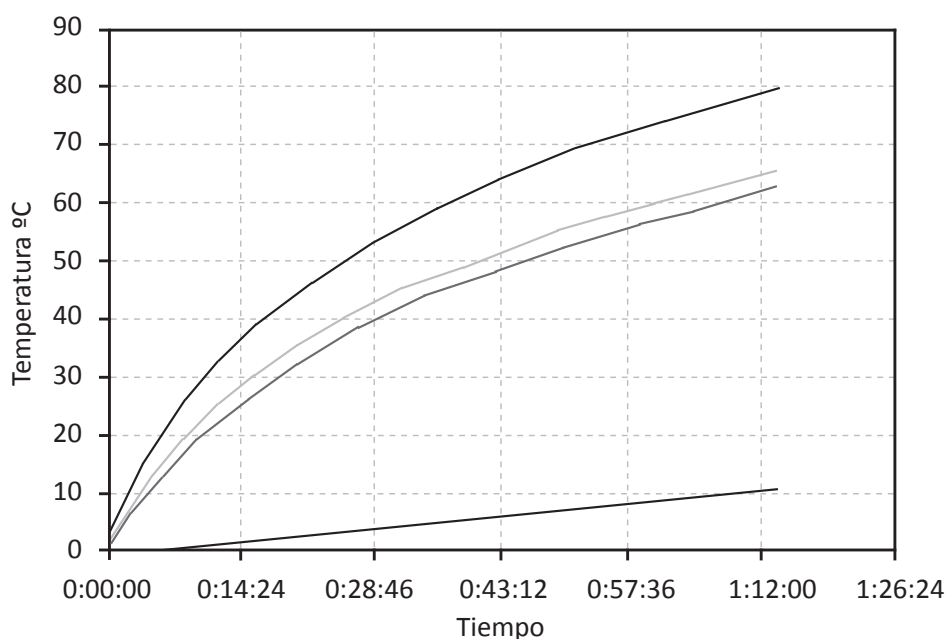


Fig. 9 – Gráfica comparativa de las temperaturas alcanzadas por el bobinado del transformador en el mismo punto de medición en 4 condiciones diferentes, (1) transformador en vacío, (2) transformador con carga resistiva, (3) transformador con carga de LFC, (4) transformador con carga combinada

El resultado de graficar en un mismo sistema de ejes coordenados las evoluciones térmicas, muestra claramente una mayor pendiente en la curva correspondiente al ensayo en el cual se combinan lámparas incandescentes y fluorescentes compactas con balasto electrónico.

Con una pendiente menor vemos la curva correspondiente a la carga pura de LFC.

Finalmente, el ensayo correspondiente a lámparas incandescentes es el que muestra la menor pendiente de las tres curvas.

Siguiendo el mismo protocolo de ensayo se repitieron las mediciones sobre el núcleo resultando la gráfica comparativa mostrada en la Fig. 10.

En el ensayo del núcleo del transformador podemos observar que los niveles de temperatura alcanzados sobre éste, fueron menores que los medidos sobre el alambre de los arrollamientos.

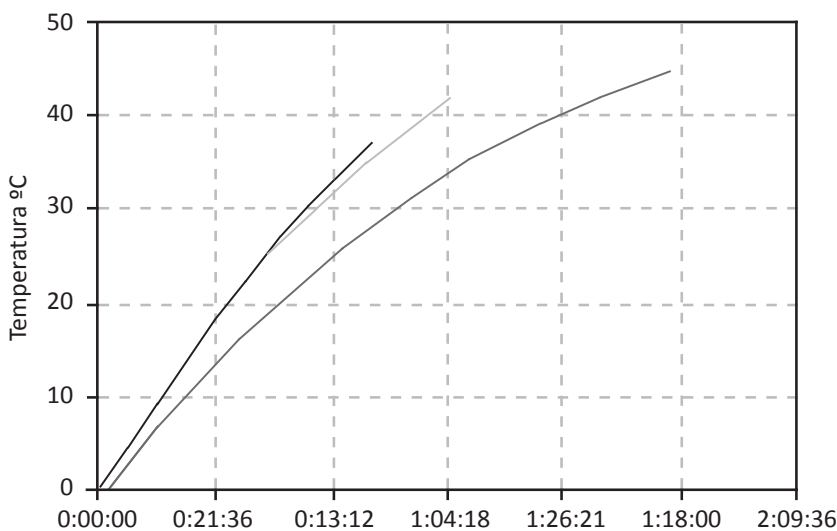


Fig. 10 – Gráfica de la evolución térmica del núcleo del transformador, ensayado con diferentes tipos de carga. (1) Resistiva, (2) Combinada, (3) LBC

Los ensayos descriptos anteriormente estarían sugiriendo un nivel de pérdidas mayores en el bobinado que en el núcleo, situación que se opone a los resultados indicados en las simulaciones realizadas por diferentes autores.

Como consecuencia de esto y con el fin de analizar el fenómeno de disipación térmica en los arrollamientos debido a un aumento de pérdidas por conducción, se realizaron medidas sobre un arrollamiento de cobre de 300 espiras de alambre 0,8 mm de diámetro bobinadas sin núcleo.

Esta sección de alambre garantiza una profundidad de penetración de la onda asociada a la onda electromagnética, tal que asegura la circulación de corriente en toda el área del conductor incluso para la armónica N° 51. Esta condición implicaría un cierto grado de independencia de la temperatura final con respecto al contenido armónico de la corriente circulante, considerando pérdidas por efecto pelicular. Los resultados pueden observarse en la Fig. 11.

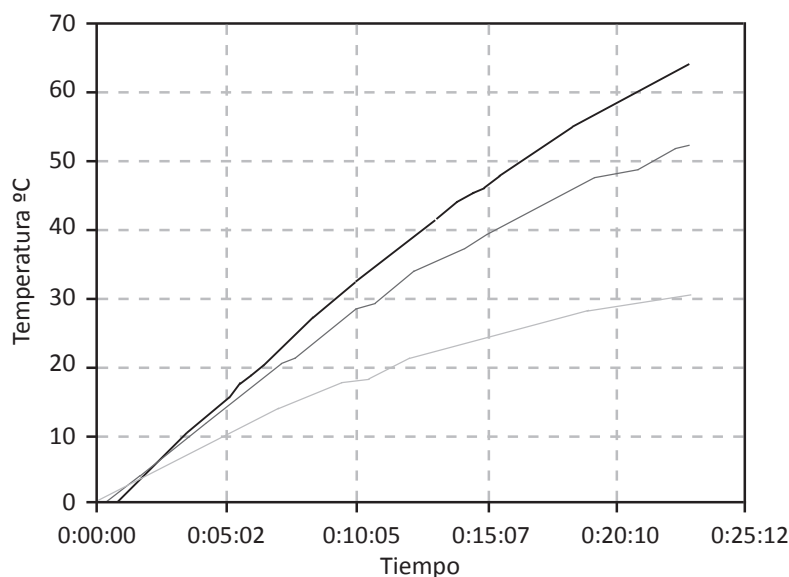


Fig. 11 – Gráfica de la evolución térmica en un conductor debido a diferentes cargas. (1) Resistiva pura, (2) Combinada, (3) LBC

En el gráfico compuesto de la Fig. 11 es posible observar que la pendiente de la curva de temperatura vs. tiempo correspondiente a una carga de LFC de igual potencia aparente que la carga de lámparas incandescentes es dos veces mayor.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Si analizamos el uso de las LFC vemos que el THD individual es elevado pero el THD resultante de la introducción de un número mayor de lámparas lo reduce notablemente, pasando de una media del 109 % para lámparas individuales a valores medidos para 23 lámparas diferentes en el orden del 70%. En función de esto quedaría establecido que el uso de una gran cantidad de lámparas tendría un efecto menor al que se podría considerar si se las analiza individualmente.

Por otra parte, los estudios térmicos realizados sobre un transformador demostrarían que la peor condición se presentaría cuando existen cargas lineales y alineales combinadas, más allá que el THD se reduzca a valores del orden del 30 %. Del análisis de las curvas térmicas es posible observar que existe un aumento de la temperatura, principalmente en los conductores más que en el núcleo de un transformador, en contraposición a lo esperado de las simulaciones realizadas por otros autores.

En el estudio realizado sobre un conductor de cobre se muestra que tiene un mayor impacto sobre las pérdidas el uso de las LFC que el de una carga combinada.

Estos resultados deben entenderse sobre la base de considerar al transformador como un sistema más complejo desde el punto de vista de su diseño que el de un conductor simple.

CONCLUSIONES

En la introducción hemos hecho referencia a la falta de consenso sobre los efectos que pudieran generar el uso de cargas no lineales sobre los sistemas eléctricos, existiendo trabajos que indicarían una perspectiva más favorable a su uso y trabajos indicando un panorama diferente.

En función de los valores hallados resulta evidente que existe un aumento de las pérdidas en el sistema lo que afirmaría las teorías que indican un alto grado de afectación de los sistemas eléctricos. Sin embargo, debemos tener en cuenta que el análisis ha sido acotado a condiciones de laboratorio y potencias reducidas.

Por otra parte, hemos documentado las configuraciones adoptadas por los fabricantes, las cuales por su topología afirman que los resultados de las mediciones concuerdan totalmente con los valores teóricos esperados.

Resulta de particular interés el hecho que existan diferentes niveles de disipación térmica en el mismo conductor sometido a iguales niveles de corriente eficaz con THD nulo o con un THD elevado. Sabemos que la teoría clásica de la conducción eléctrica no contempla diferencias para estos dos casos, por lo cual creemos debe ser objeto de estudios más profundos.

De los resultados documentados es posible observar que grandes cantidades de cargas alineales podrían tener un efecto de disminución en el rendimiento de un sistema eléctrico simplemente debido a un factor de potencia bajo y que por lo tanto deberán ser necesarias acciones de compensación activa. Una segunda alternativa sería normalizar las cargas no lineales, en particular las LFC, a valores de THD menores introduciendo nuevas tecnologías y circuitos integrados que permitan minimizar estos efectos (que hoy se encuentran disponibles).

REFERENCIAS

- Reid Iwao Sasaki - The Impact Of Electronic Ballast Compact Fluorescent Lighting On Power Distribution Systems. ECE Technical Reports – 1994.
- Mytums, Rutgers - Power Innovations Data Manual – 1998.
- Radovik, Franfioskos, Topalis, Kostic, - The low voltage distortion in low voltage network caused by compact fluorescent lamps with electronic gear. Electronic power system research 73 (2005) pag. 129-136. Elsevier.
- Whidart - Understanding Power Factor. Application Note 824/0795. SGS Thomson, 1995.
- Grunwaldt - US Patent 3084283. Philips Apr. 1963.

Sekine, Ribarich - CFL Ballast Design Using Passive PFC and Crest Factor Control. Application Note AN-1157 – International Rectifier.

Acevedo, Esparza, Olivares –Diseño de un procedimiento de cálculo de conductores bajo el efecto de corrientes armónicas. Redalyc <http://redalyc.uaemex.mx>.

Dell'Aquila, Monopoli, Zanchetta - New Power-Quality Assessment Criteria for Supply Systems Under Unbalanced and Nonsinusoidal Conditions. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 19, NO. 3, JULY 2004.