

## ANÁLISIS DE UN TRANSFORMADOR ELECTRÓNICO PARA LÁMPARAS INCANDESCENTES DE BAJA TENSIÓN

Germán Andrés Xander<sup>1</sup>, Jan Ryberg<sup>2</sup>, Victor Hugo Kurtz<sup>3</sup>

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Misiones

Juan Manuel de Rosas 325 Oberá - Misiones Tel/Fax:

(03755) 422169/170

*Recibido 13/08/14, Aceptado 27/09/14*

**RESUMEN:** En el presente se aborda el análisis de un transformador electrónico comercial, para lámparas halógenas de baja tensión (conocidas popularmente como “dicróicas”), marca Philips. con el objetivo de verificar el comportamiento de estos dispositivos cuando son alimentados por sistemas de generación de energía alternativa. Los resultados obtenidos confirman que el dispositivo bajo observación cumple con lo indicado por las normas relativas a la compatibilidad electromagnética (IEC 61000-3-2 y IEC 61000-4-7).

Este trabajo se complementa con el realizado por otro grupo de investigadores, que estudia un transformador similar, pero de diferente marca, todo en el marco del proyecto de investigación acreditado FI-UNaM 16/I091.

**Palabras clave:** transformador electrónico, IEC 61000-3-2, compatibilidad electromagnética, rendimiento, energía renovable.

### INTRODUCCIÓN

Ante la popularización de los transformadores electrónicos para alimentar lámparas incandescentes halógenas, como reemplazo de los tradicionales transformadores electromagnéticos, se decidió estudiar su desempeño, tanto desde el punto de vista de la carga, como el de la red.

En este tipo de transformadores, la transferencia de energía no se realiza en modo continúa, sino en forma de paquetes. Esta técnica denominada “de conmutación” o en inglés *switching*, presenta grandes ventajas, como ser menor tamaño y peso, mayor eficiencia y por lo tanto menor calentamiento. Una de las desventajas comparadas con fuentes lineales, está en la generación de ruido eléctrico de alta frecuencia, que pueden causar interferencias a equipos próximos.

Estas interferencia del tipo electromagnéticos, son conocidas también como **EMI** por sus siglas en inglés (*Electro Magnetic Interference*) o Radio Frequency Interference o **RFI**.

Las EMI, pueden comprometer el correcto funcionamiento de los circuitos de control y regulación, particularmente en pequeños aprovechamientos eléctricos accionados por fuentes de energía renovables.

Por lo expuesto anteriormente, se encaró el estudio de los convertidor para lampara halógenas, dentro de el proyecto de investigación 16/I091, de la Facultad Ingeniería unidad dependiente de la UNaM, denominado : Análisis de Factibilidad para la Regulación Automática de la Generación en Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos y otras Fuentes de Energías Renovables, Utilizando Convertidores Comerciales.

Por otro lado, como los equipo bajo estudio no se comportan en forma lineal, no es posible utilizar instrumentos y métodos tradicionales de medición. Esto hace necesario el diseño de un procedimiento particular para la medición de las magnitud de interés.

El estudio se realiza siguiendo las recomendaciones de las normas IEC 61000-3-2 y IEC 61000-4-7.

### Transformadores Electrónicos

Los transformadores electromagnéticos tradicionales funcionan bien y virtualmente duran para siempre, pero son relativamente caros, y con el aumento del costo del cobre, el panorama no tiende a mejorar. La eficiencia también juega un papel importante, ya que algunos pueden llegar a disipar 20 % o más de la energía aplicada, en forma de calor.

Los transformadores electrónicos son mucho más pequeños y livianos, por lo que suelen generar rechazo debido a la falta de

1 Ingeniero docente investigador del departamento de electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Oberá, Argentina, e-mail: [gaxander@fio.unam.edu.ar](mailto:gaxander@fio.unam.edu.ar) .

2 Ingeniero asesor técnico en el rubro iluminación, Oberá, Argentina, e-mail: [jan.ryberg@gmail.com](mailto:jan.ryberg@gmail.com) .

3 Magister Ingeniero profesor investigador del departamento de electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Oberá, Argentina, e-mail: [kurtzvh@fio.unam.edu.ar](mailto:kurtzvh@fio.unam.edu.ar) .

sensación de “robustez”, pero la mayoría son bastante eficientes, disipando menos del 10% del total de la energía. Menos pérdidas implica menos calor y por ende una reducción del consumo eléctrico.

Un transformador electromagnético convencional opera a la frecuencia de la red eléctrica (50/60 Hz) y el núcleo debe ser relativamente grande, debido a estas bajas frecuencias, ya que el tamaño del núcleo es inversamente proporcional a la frecuencia de funcionamiento de un transformador, por lo que operar a frecuencia más alta redundaría en un núcleo más pequeño. Los “transformadores electrónicos” aprovechan este efecto al modular una onda de alta frecuencia antes de alterar su amplitud con un transformador.

### TRANSFORMADOR ANALIZADO

El equipo bajo análisis es un transformador electrónico marca PHILIPS, modelo ET-S 105, como se ilustra en la figura 1



Figura 1: Transformador ET-S 105 220-240V 50/60Hz

Marca	PHILIPS
Modelo	ET-S 105
Tensión primario	220-240 V
Frecuencia red	50/60 Hz
Tensión secundario	11,3 Vca
Potencia	35-104 W
Factor de potencia	0,98

Tabla 1: datos suministrados por el fabricante

La siguiente es una lista de normas y estándares que promete cumplir el dispositivo

norma/símbolo	significado
IEC 61347-2-2	Lamp controlgear – Part 2-2: Particular requirements for d.c. or a.c. supplied electronic step-down converters for filament lamps.
CE	Conformidad de un producto con la legislación de la UE.
G	Cumple con los estándares australianos.
F	Apto para instalar sobre superficies inflamables.
W/W	Apto para instalación en mobiliarios.
⊖	Equipo auxiliar independiente.
110°C	La temperatura en la carcasa puede alcanzar los 110°C.
⊕	Transformador a prueba de fallas.
□	Doble aislamiento. No requiere puesta a tierra.

Tabla 2: Lista de estándares y símbolos

En el catálogo del producto [8] también se puede leer:

- 30.000 horas de vida.
- EMI-compliant.
- Borneras con tornillos.
- CE.
- safety extra-low voltage (SELV) approval.
- Operación segura con sobrecarga.
- Protección contra cortocircuito y sobretensión.

## MÉTODO

Para una mejor comprensión del funcionamiento del equipo, se procedió a relevar el circuito del mismo, figura 2

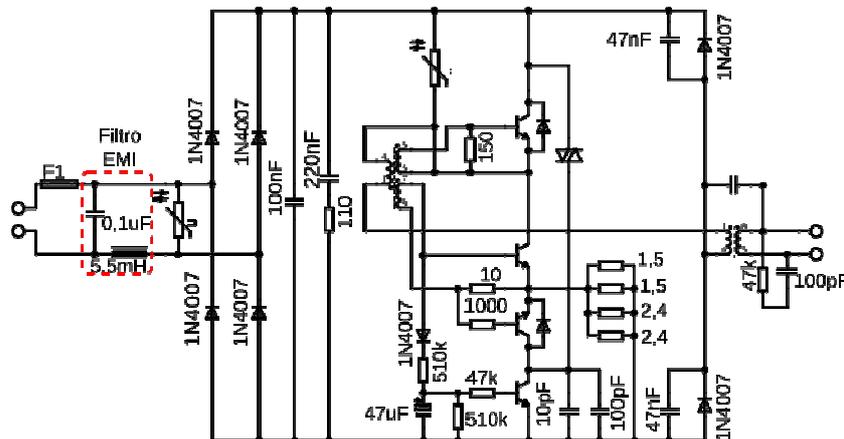


Figura 2: circuito esquemático

Del circuito esquemático se distinguen bloques de función específicos que se muestran en la figura 3

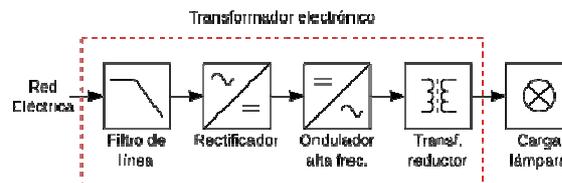


Figura 3: diagrama de bloques del transformador electrónico

## Medición y captura de datos

Como se menciona anteriormente, los equipo bajo estudio no se comportan en forma lineal, por lo tanto no es posible utilizar instrumentos y métodos tradicionales de medición. Esto, hace necesario el diseño de un procedimiento particular para la medición e interpretación de las magnitud de interés.

En todos los casos se utilizó un osciloscopio de 200 MHz / 2 GSa/s [3] y una serie de lámparas halógenas, de baja tensión y de 100 W de potencia nominal, como carga. Para disminuir la carga se conectaron lámparas en serie.

La tensión se obtiene directamente con las puntas del osciloscopio.

Se utilizó la función de captura de datos en crudo del osciloscopio para su posterior análisis en el software de cálculo Matlab.

## Medición de corriente

Para la medición de corriente se probaron tres métodos:

*Método 1:* Punta de corriente Tektronix A622.

Como primer ensayo se utilizó la punta de corriente para osciloscopio Tektronix A622 100 A AC/DC 100 kHz Current Probe [4]. Se utilizó este mecanismo de medición por ser rápido y sencillo, para tener una idea de la forma de onda a la que nos enfrentábamos. En las formas de onda visualizadas se vio que la corriente de salida es alterna pulsante, con una envolvente senoidal de 100 Hz y una frecuencia de conmutación de aproximadamente 41 kHz. Se observa además un desfase importante ente la tensión y corriente de carga, situación que no se correspondía con una carga prácticamente resistiva pura, como son las lámparas incandescentes. Ante la duda, se midió la impedancia de las lámparas con un puente LCR [5]. Se confirmó que efectivamente la componente reactiva de las mismas es nula.

Leyendo el manual de la punta de corriente A622 se comprobó que la misma introduce una distorsión en la fase de  $-50^\circ$  para una frecuencia de 40 kHz (figura 4) que se condice con los resultados empíricos. Para esta frecuencia la señal también se atenúa en 1,5 dB. Por estas razones se decidió que este método no era indicado para esta situación. Por lo que se descarta este método.

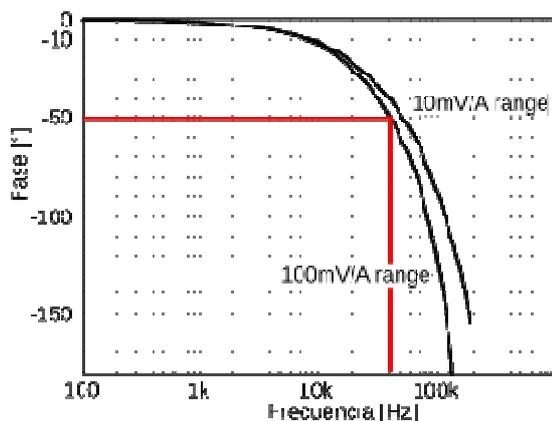


Figura 4: Respuesta en frecuencia (fase) de la punta A622

**Método 2:** Acondicionador Tektronix AM503 + Punta de Corriente Tektronix A6302

Esta combinación de la punta de corriente Tektronix A6302 con el amplificador para puntas de corriente Tektronix AM503 promete un ancho de banda del conjunto de 50 MHz y realmente se aprecia que que la forma de señal de corriente presenta un oscilograma similar al de la tensión, algo esperable en una carga resistiva. Pero nuevamente se evidencia un desfase entre tensión y corriente; en este caso bastante pequeño.

Para estos equipos el fabricante no provee información sobre la perturbación introducida en la fase por lo que no se puede conocer el verdadero desfase tensión-corriente. Este dato es fundamental para los cálculos de factor de potencia, potencia activa, rendimiento, etc., por lo que este método también se descarta.

**Método 3:** Utilización de un resistor Shunt para 15 mV

Finalmente se decantó por la utilización de una resistencia shunt para la medición de corriente. Este método además es el sugerido por la norma IEC 61000 [2]. La norma también establece que la caída de tensión en el shunt no debería superar los 150 mV y que para los cálculos se deben analizar como mínimo capturas de 200 ms.

Con esta configuración el desfase tensión-corriente fue casi imperceptible.

**DESARROLLO**

**Análisis desde la entrada del transformador, con carga nominal.**

Se analizó el comportamiento del transformador con carga nominal, midiendo la tensión y corriente para observar la distorsión armónica introducida en la red. Además se utilizaron los datos para el análisis de rendimiento.

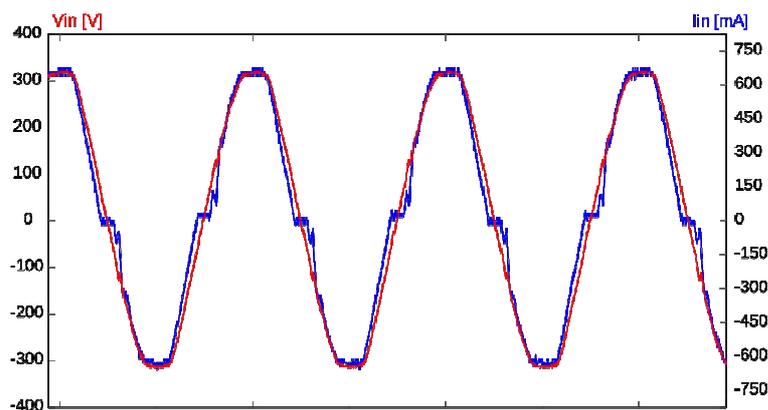


Figura 5: tensión y corriente de entrada con carga nominal

La corriente presenta un desplazamiento mínimo respecto de la tensión.

Con los datos capturados con el osciloscopio se calcula los parámetros característicos de entrada, utilizando el programa Matlab. MATLAB (abreviatura de MATrix LABORatory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado, que permite el procesamiento digitales de señales.

$$I_{i_{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |i_i(n)|^2} = 0,498 \text{ A} \quad (1)$$

$$V_{i_{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |v_i(n)|^2} = 226,103 \text{ V} \quad (2)$$

$$\cos \phi = 0,95 \quad (3)$$

$$THD_i(\%) = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} i_k^2} 100 = 12,91 \% \quad (4)$$

$$FP = \frac{\cos \phi}{\sqrt{1 + THD_i^2}} = 0,98 \quad (5)$$

$$P_i = \frac{1}{10T} \int_t^{t+10T} i_i(t) v_i(t) dt \quad (6)$$

$$P_i \equiv \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_i(n) v_i(n) = 109,3 \text{ W} \quad (7)$$

Armónicos	% de la fundamental	Permitido [A]	Medido [A]
2	2	0,0046	0,0005
3	30.FP	0,0545	0,0172
5	10	0,0228	0,0180
7	7	0,0160	0,0064
9	5	0,0114	0,0075
11 ≤ n ≤ 39	3	0,0068	<0,0068

Tabla 3: Lista de estándares y símbolos

#### Análisis a la salida del transformador, con carga nominal.

##### Carga nominal

La forma de onda de la corriente de salida es alterna con una frecuencia de 41 kHz modulada por una envolvente de 100 Hz.

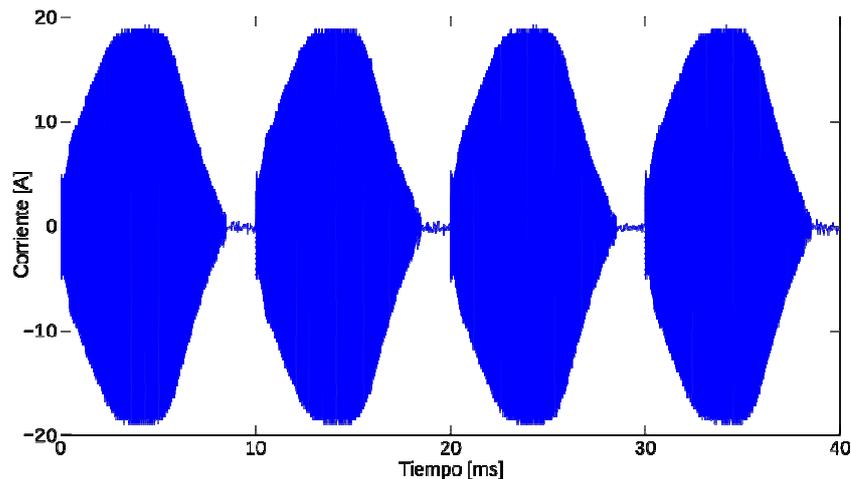


Figura 6: corriente de salida

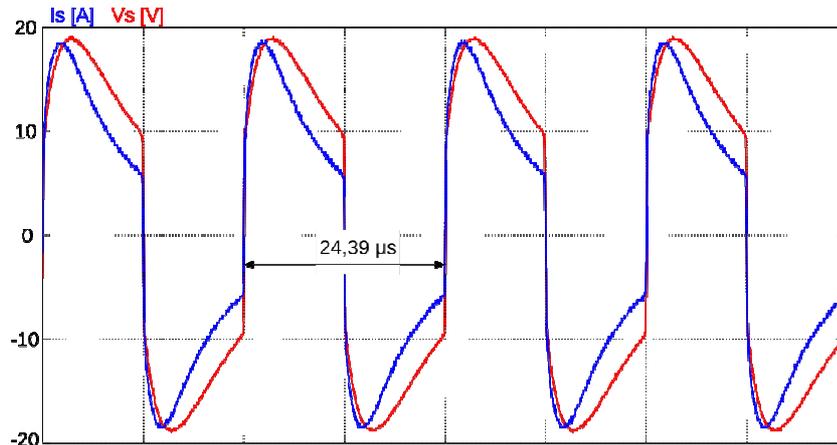


Figura 7: detalle de la corriente y tensión de salida

En la figura 7 se ve un detalle de las formas de onda de tensión y corriente en las zona de máxima amplitud de la envolvente de 100 Hz. Queda claro que la corriente esta en fase con la tensión.

En esta zona el periodo de conmutación dura 24,39 μs, que corresponde a una frecuencia de 41 kHz. Esto también se puede ver en el espectro de la corriente de salida figura 8.

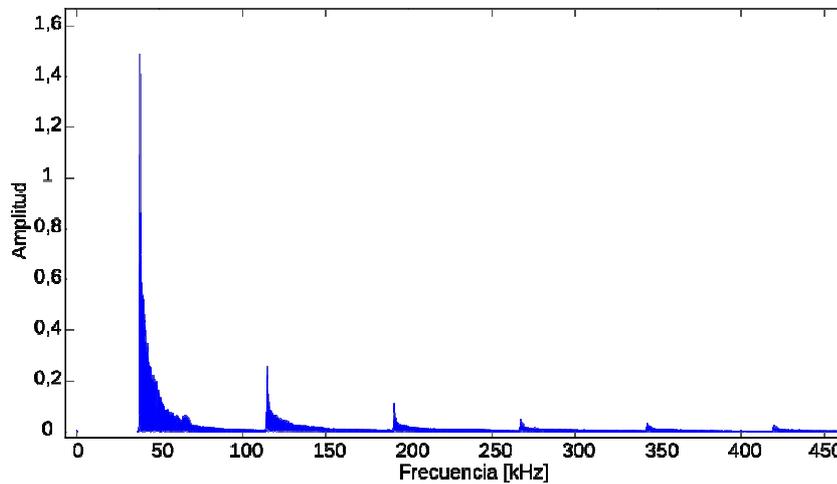


Figura 8: espectro de la corriente de salida

para el caso de la salida nos interesan los valores de potencia activa y tensión eficaz.

$$P_o \equiv \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_o(n) v_o(n) = 97,39 \text{ W} \quad (8)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |v_o(n)|^2} = 11,4 \text{ V} \quad (9)$$

## RESULTADOS

Se aprecia en la figura 9, que el artefacto cumple con las normas internacionales IEC 61000-3-2[1] en todas las componentes de armónicos.

Usando (7) y (8), podemos calcular el rendimiento del dispositivo:

$$\eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} = \frac{97,39 \text{ W}}{109,3 \text{ W}} 100 = 89,10 \% \quad (10)$$

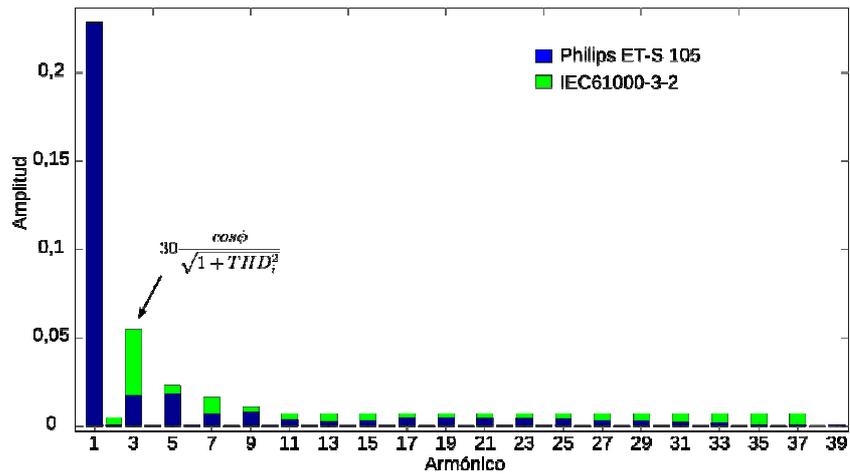


Figura 9: espectro de la corriente de entrada

Del ensayo de regulación se desprende que la tensión de salida se mantuvo dentro del 4 % para todo el rango de potencia de salida autorizado por el fabricante (figura 10).

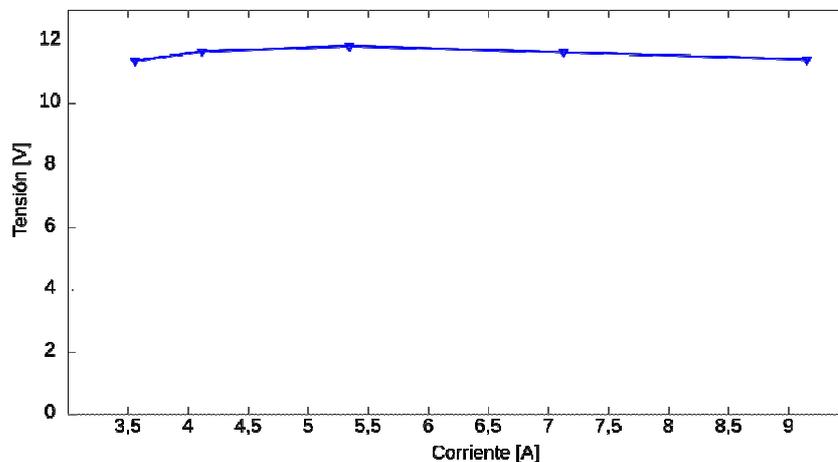


Figura 10: regulación de la salida

Es importante mencionar que el dispositivo cuenta con varios mecanismos de protección para salvaguardar la integridad de las personas e instalaciones, tales como:

- Fusible para sobrecorriente.
- Varistor para sobretensiones.
- Aislamiento galvánico reforzado.
- Separación física de por lo menos 8 mm entre las zonas de tensión de línea y la de baja tensión.
- No existen contactos expuestos.
- Sujeción mecánica de los conductores.
- etc.

## CONCLUSIONES

Luego de los ensayos, pruebas y análisis realizados podemos afirmar que estamos ante un producto de buena calidad. El mismo demostró ser muy seguro y cumple con lo que se anuncia en el prospecto. Se evidencia el esmero que puso el fabricante en los detalles tanto estéticos como constructivos.

Para este transformador el rendimiento es cercano al 90 % (ec. 10), que es superior al de los transformadores electromagnéticos convencionales que rondan el 80 %. Pese a esto, el sistema de iluminación en su conjunto, usando lámparas halógenas de baja tensión, sigue siendo muy ineficiente.

En un sistema existente con transformadores electrónicos, sería difícil reemplazar las lámparas halógenas por unas equivalentes LED, ya que típicamente los reemplazos LED consumen solo una quinta parte de la potencia y esto puede dificultar el encendido de los transformadores electrónicos que ahora estarían sobre dimensionados. Los fabricantes de transformadores electrónicos desaconsejan que estos trabajen con carga por debajo de la nominal. Además, como la salida de

los transformadores electrónicos es pulsante de una frecuencia entre 30 y 50 kHz, los diodos rectificadores de los convertidores de tensión de las lámparas LED, pueden trabajar sobre exigidos, al no estar preparados para esas frecuencias.

La envolvente de la salida es de baja frecuencia y la zona de cruce por cero presenta un tiempo muerto del orden del 15 % de la duración del periodo de la envolvente (figura 6). Esto puede producir flicker en una lámpara de bajo consumo.

Para que los transformadores electrónicos sean una opción económicamente atractiva frente a los electromagnéticos, deben garantizar una vida útil prolongada. Este compromiso recae normalmente sobre los capacitores electrolíticos ya que son los dispositivos con mayor índice de fallas y menor esperanza de vida. En este caso, como se ve en la figura 2, el fabricante utilizó solo un capacitor electrolítico. Seleccionó para el caso un capacitor de marca renombrada y preparado para trabajar a temperaturas de hasta de 105°C.

## REFERENCIAS

1. IEC 61000 Third edition 2005-11 - Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase).
2. IEC 61000 Second edition 2002-08 - Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-7: Testing and measurement techniques General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.
3. Rigol DS2202A 200 MHz, 2 Channel Digital Oscilloscope <http://www.rigolna.com/products/digital-oscilloscopes/ds2000a/ds2202a/>
4. Tektronix A622 100 Amp AC/DC Current Probe <http://www.tek.com/current-probe-manual/a622-100-amp-ac-dc-current-probe>
5. GWinstek LCR-916 handheld LCR meter <http://www.gwinstek.com/en/product/productdetail.aspx?pid=39&mid=79&id=1332>
6. Tektronix AM503 100 MHz Current Probe Amplifier <http://www.tek.com/a6302-manual/am503a-service-manual>
7. Tektronix A6302 50 MHz Current Probe <http://www.tek.com/datasheet/current-measurement-system-probes>
8. ET-S transformer Brochure <http://www.ecat.lighting.philips.com/l/lighting-electronics/halogen-electronic-transformers/et-s-transformer/68262/cat/?t1=ProductList>

**ABSTRACT:** In this analysis of a commercial electronic transformer for low voltage halogen lamps (popularly known as MR16), Philips brand . To verify the performance of these devices when systems are powered by alternative energy generation. The results obtained confirm that the device meets the standards for electromagnetic compatibility (IEC 61000-3-2 and IEC 61000-4-7).

This work is complemented by that done by another group of researchers who studied a similar transformer but different brand, all within the framework of the research project FI-accredited UNaM 16 / I091.

**Keywords:** electronic transformer, IEC 61000-3-2, Electromagnetic compatibility, performance, renewable energy.