

8. Evaluación energética, instrumentación y materiales usados en energías renovables, modelización y simulación.

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSFORMADOR ELECTRÓNICO PARA LÁMPARAS HALÓGENAS

J. A. Olsson¹, J. P. Gross², V. H. Kurtz³

GID, Departamento de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería, U.Na.M. <http://www.fio.unam.edu.ar>

RESUMEN: El objetivo de este trabajo de investigación fue de relevar los parámetros eléctricos de un transformador electrónico comercial para lámparas halógenas, comparar los datos obtenidos con los proporcionados por el fabricante con las exigencias internacionales de calidad de energía. Se pretendió además encontrar aplicaciones alternativas de su diseño.

Mediante ensayos del dispositivo en diferentes niveles de alimentación y condiciones carga, se determinó el rendimiento para los distintos puntos de funcionamiento para evaluar la calidad del mismo.

De los resultados obtenidos se concluyó que el transformador ensayado no cumple con las exigencias de las normas, tiene similar comportamiento que otros transformadores comerciales de tecnología semejante, mejor que un transformador tradicional electromagnético y que es posible darle aplicaciones distintas de su diseño específico.

Palabras clave: transformador electrónico, Potencia eléctrica, rendimiento, distorsión armónica, calidad de energía.

1.- INTRODUCCION

El transformador electrónico para lámparas incandescentes ha incursionado desde hace algunos años como una alternativa al transformador electromagnético convencional, ya que el mismo presenta diversas ventajas: es económico, pequeño y liviano, además posee mejor rendimiento, sin embargo en muchos casos el consumidor sigue apreciando el equipo tradicional principalmente debido a su vida útil muy superior a los dispositivos que alimenta, a la universalidad de aplicaciones, a la baja tasa de fallos y robustez ante cambios bruscos de sus condiciones nominales de funcionamiento.

Por ello, el desafío actual es lograr transformador electrónico con características de robustez análogas a su par electromagnético, pero con mejoras sustanciales en lo que respecta a la eficiencia y calidad de energía.

Generalmente los equipos comerciales presentan inconvenientes relacionados a su vida útil, limitada por los capacitores y agravada por la sensibilidad de los semiconductores a las perturbaciones externas, siendo las descargas atmosféricas el principal causante de fallas prematuras.

El presente trabajo presenta el ensayo de un transformador electrónico comercial, su evaluación de su desempeño en concordancia con la norma IEC-61000-3-2[1], su comparación con otro de tecnología similar y con los de un transformador convencional. Además se identifican sus cualidades y debilidades, y proponer alternativas de aplicación.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Se ensayó un transformador electrónico para lámparas halógenas dimerizable con doble aislación, aprobado por IRAM[2], cuyas características generales se describe en la tabla 1 obtenidas de sus datos de placa, figura 1.

El primer paso realizado fue el relevamiento del esquema eléctrico del transformador, con el objetivo de determinar la estructura de convertidor utilizada, que se presenta en la figura 5. Del análisis del circuito relevado se determinó que la estructura utilizada corresponde con una topología medio puente ("half-bridge") con un divisor de tensión capacitivo.

1 Perteneciente al GID, Departamento de electrónica de la Facultad de Ingeniería, U.Na.M. mail: jorgealbertoolsson@gmail.com

2 Perteneciente al GID, Departamento de electrónica de la Facultad de Ingeniería, U.Na.M. mail: gross@fio.unam.edu.ar

3 Perteneciente al GID, Departamento de electrónica de la Facultad de Ingeniería, U.Na.M. mail: kurtz@fio.unam.edu.ar



Figura 1: Equipo ensayado

Marca	SICA
Código	969219
Tensión de entrada	220-240v
Frecuencia de red	50/60Hz
Tensión de salida	220-240v
Potencia	20-50 W
Factor de potencia	no/esp.

Tabla 1: Características del equipo ensayado

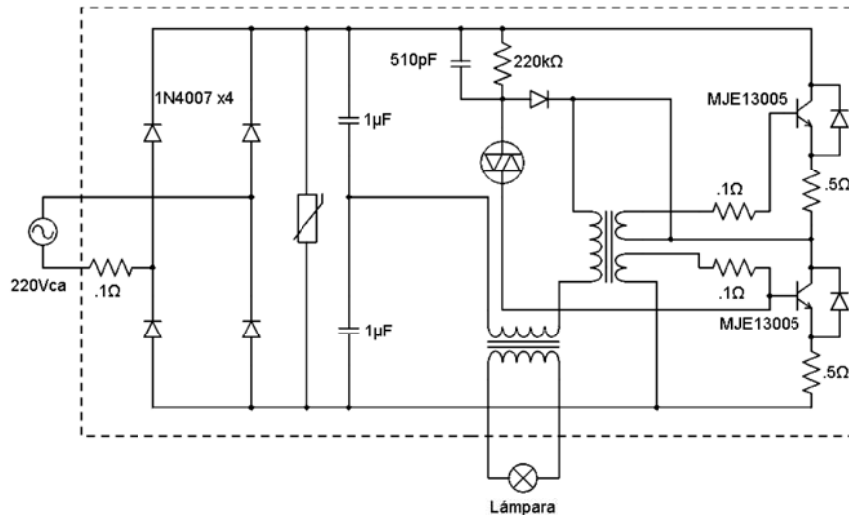


Figura 2: Circuito interno del transformador ensayado

El circuito se alimenta con la tensión alterna de red, la cual es rectificada mediante un puente completo. La salida del rectificador alimenta el medio puente con una tensión continua ondulante. Debido a esto ocasiona la tensión de salida del convertor presenta una fluctuación en amplitud correspondiéndose con las variaciones de la entrada, se observa en la Figura 4. En la Figura 3 se aprecian los parámetros de entrada.

El control es realizado habitualmente a través de un circuito integrado especializado, pero en este caso se utiliza un circuito de auto-oscilación por realimentación de corriente de la salida del convertidor, esto produce la conmutación de los transistores en oposición de fase, permitiendo la conducción alternada[3]. Esta solución simple responde a necesidades de diseño económicas.

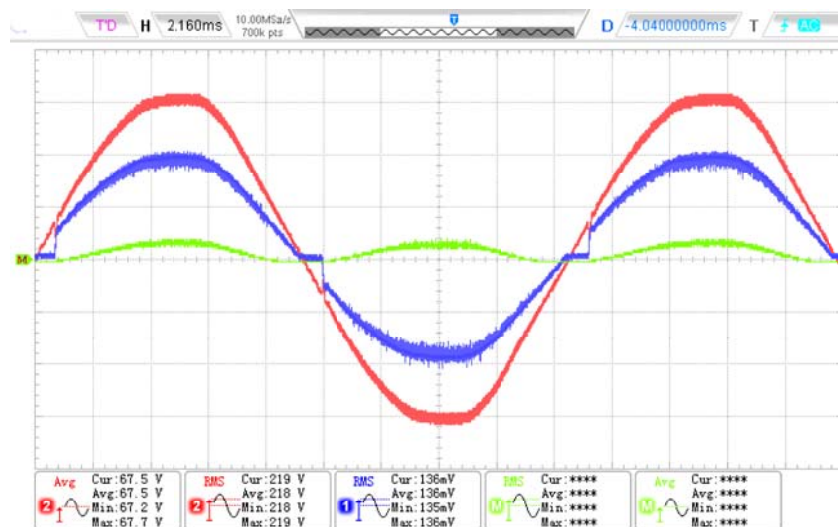


Figura 3: Alimentación del circuito [rojo: tensión 220Vef, azul: corriente]

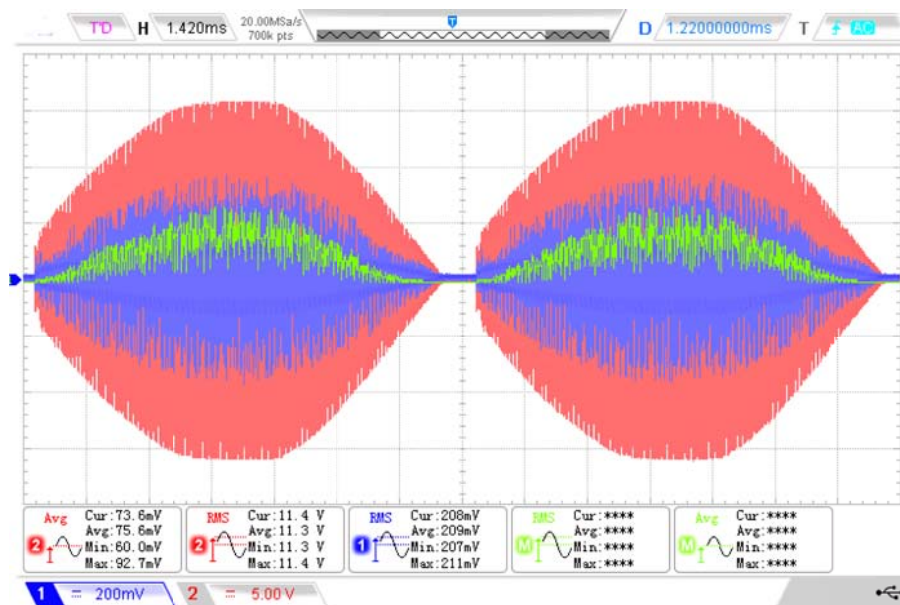


Figura 4: Forma de onda de salida [azul: tensión, rojo: corriente]

3.1 - MATERIALES Y MÉTODOS - PARTE EXPERIMENTAL

Las mediciones se realizaron siguiendo las pautas establecidas por la norma IEC 61000-3[1], sección 3-10. La misma establece que las mediciones de corriente se deben realizar mediante el uso de shunts resistivos. Las condiciones de medición fueron las establecidas en el punto 5 del anexo C de la norma[4]. Para la realización de las mediciones se mantuvo controladas las condiciones ambientales de temperatura y humedad en $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y $65\% \pm 5\%$ respectivamente.

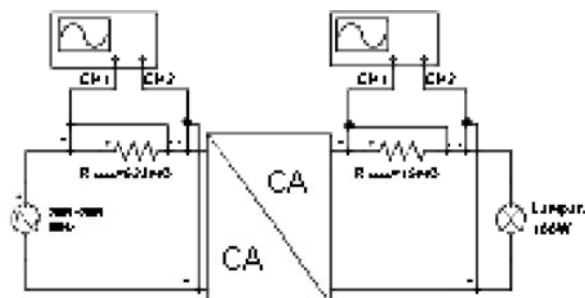


Figura 5: Circuito de medición utilizado

Se descartó el uso de instrumentos tradicionales (multímetros, pinzas de corriente y punta de corriente) debido a que sus respectivas frecuencias de operación no eran compatibles con la medición objeto del ensayo. El procedimiento indicado por la norma consiste en tomar las señales de corriente de entrada y salida del equipo bajo ensayo, mediante resistores Shunt (Tabla 8), las cuales se capturan por medio un osciloscopio digital (Tabla 8), y se almacenan para su procesamiento en el ordenador. Las señales de tensión de entrada y salida se tomaron en paralelo al punto de alimentación del transformador y a la entrada de la carga respectivamente [5], almacenándose también para su posterior análisis mediante MATLAB.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS MEDICIONES REALIZADAS PARA EL ENSAYO CON CARGA NOMINAL DE 50W

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE SALIDA

Calculo indirecto por medio de Shunt:

$$I_{rms_salida} = \frac{73,9mV}{15m\Omega} = 4,98 A \quad (1)$$

$$V_{rms_salida} = 9,61 V \quad (2)$$

$$S_{salida} = I_{rms_salida} \cdot V_{rms_salida} = 4,98 A \cdot 9,7 V = 48,4 VA \quad (3)$$

La potencia entregada se calcula por medio de la definición

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} i_{(t)} v_{(t)} dt \quad (4)$$

$$P_{salida} = \frac{1}{T} \frac{1}{R_{shunt}} \sum_{t=1}^T i_{(t)} v_{(t)} = 44,9 W \quad (5)$$

Donde los puntos $t=1$ hasta $t=T$ son las "N" muestras capturadas por el osciloscopio y luego procesados en MATLAB.

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ENTRADA

$$I_{rms_{entrada}} = \frac{138,6 mV}{623 m\Omega} = 225 mA \quad (6)$$

$$V_{Rms_{entrada}} = 220 V \quad (7)$$

$$S_{entrada} = I_{rms_{entrada}} \cdot V_{rms_{entrada}} = 0,225 A \cdot 220 V = 49,5 VA \quad (8)$$

$$P_{entrada} = \frac{1}{T} \frac{1}{R_{shunt}} \sum_{t=1}^T i_{(t)} v_{(t)} = 49,03 W \quad (9)$$

El rendimiento:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{44,9 W}{49,5 W} \cdot 100 = 91 \% \quad (10)$$

Ángulo de desfase (coseno ϕ):

Se obtuvo de a partir de la captura donde se observó un pequeño desplazamiento entre tensión y corriente (ver figura 6) de $750 \mu s$ correspondientes a un ángulo de $13,68^\circ$, osea $\cos(\phi) = 0,972$.

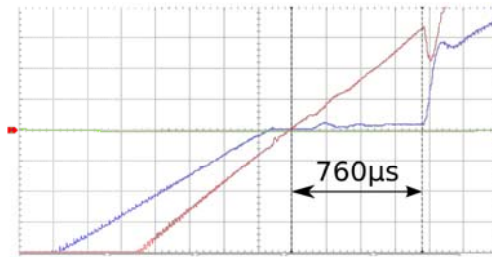


Figura 6: Detalle del desfase (rojo: tensión, azul: corriente)

Table2 - Limits for Class C equipment	
Harmonic Order n	Maximum permissible harmonic current expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency [%]
2	2
3	$30 \times \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 36$ (odd harmonics only)	3
* λ is the circuit power factor	

Tabla 2: límites en el contenido armónico impuesto por la IEC-61000-3-2



Figura 7: Descomposición en frecuencia de la corriente de entrada

En base a los datos obtenidos mediante el análisis en frecuencia, se calcula el THD_i [1],[4], mediante:

$$THD_i = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{k=2}^{\alpha} I_k^2} = 0,27 \quad (11)$$

La Figura7 presenta la comparación del contenido armónico de la corriente medida con los límites establecidos por la norma 2, . Claramente se observa que el equipo supera los límites establecidos, en lo que respecta a la 2^{da} y 3^{ra} armónicas.

Factor de potencia:

$$FP = \frac{1}{\sqrt{1+THD^2}} \cdot \cos \phi \quad (12)$$

$$FP = \frac{1}{\sqrt{1+0,27^2}} \cdot \cos(13,68) = 0,93 \quad (13)$$

En la tabla 3 se presenta un resumen de los parámetros calculados.

Siguiendo el mismo procedimiento se realizaron las mediciones para la carga mínima establecida por el fabricante correspondiente a 20W manteniendo los demás parámetros constantes (ver tabla 4).

Bajo estas mismas condiciones se determinó la carga mínima a la que el transformador que comienza a funcionar y se relevaron parámetros de funcionamiento ante distintas situaciones de carga (tabla 5) de la que se presenta un gráfico de regulación y rendimiento Figuras 8 y 9.

Se realizó otro ensayo manteniendo la carga nominal, y variando la tensión de entrada mediante un VARIAC (tabla 8) entre 200 y 250V. Los resultados son presentados en la tabla 6.

Finalmente se ensayaron los principales parámetros de un transformador convencional comercial (tabla 8) a modo de referencia para las mismas prestaciones del convertidor ensayado (tabla 7).

4 Resultados y análisis

En primer lugar se realizaron las mediciones para carga nominal de 50W máxima, con alimentación de red de 220V 50Hz, obteniéndose:

	Vrms	Irms	S [VA]	P [W]	Cos φ	THD [%]	FP
Entrada	220	0,225	49,5	49,03	0,972	27	0,93
Salida	9,7	4,99	48,4	44,9	1	N/C	N/C

Tabla 3: Ensayo a carga nominal

Rendimiento

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{44,9 \text{ W}}{49,03 \text{ W}} \cdot 100 = 91 \% \quad (14)$$

Seguidamente se realizaron las mediciones para carga de 20W mínima, con alimentación de red de 220V 50Hz, obteniéndose:

	Vrms	Irms	S [VA]	P [W]	Cos φ	THD [%]	FP
Entrada	220	0,148	32,8	32,03	0,972	13	0,93
Salida	10,4	4,22	43,8	22	1	N/C	N/C

Tabla 4: Ensayo a carga mínima 20W

Rendimiento

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{22 \text{ W}}{32,03 \text{ W}} \cdot 100 = 68 \% \quad (15)$$

Teniendo en cuenta que la empresa prestataria eléctrica local impone un límite de factor de $FP \geq 0,95$, comparando con los resultados obtenidos se observa que el equipo ensayado no alcanza el límite establecido. Además el rendimiento decae según la potencia extraída considerablemente, y la potencia entregada a carga nominal es menor que la especificada en la placa del convertidor, presentando distorsión armónica apreciable (Tabla 4).

Con variación de carga, tensión de entrada constante $V_{entrada} = 220 \text{ V } 50\text{Hz}$.

		P=11W	P=20W	P=25W	P=33W	P=50W
Entrada	P [W]	24,2	32,03	37,76	40,8	49,03
	S [VA]	25	32,8	38,5	41,2	49,12
	FP	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Salida	P [W]	11	22	26	32,2	44,9
	V [V]	10,4	10,4	9,95	9,9	9,7
	η [%]	45	68	69	79	91

Tabla 5: Ensayo a variación de carga

Con los datos de la tabla 5 se realiza un gráfico de tensión de salida V_{rms} en función de la carga, en el mismo se aprecia que la regulación es de 6,5%, que el factor de potencia se mantiene prácticamente constante junto con el ángulo de desfase (ϕ). Por otro lado el rendimiento del convertidor aumenta a medida que la carga se acerca a su valor nominal.

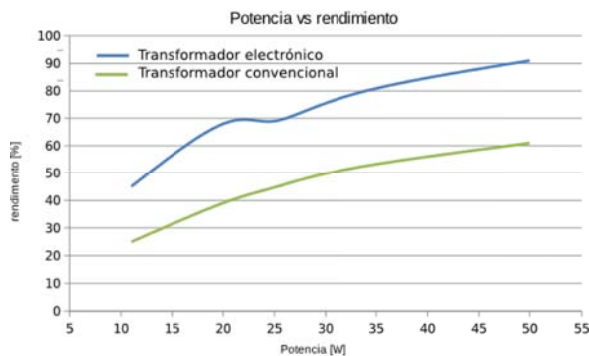


Figura 8: Curva de rendimiento

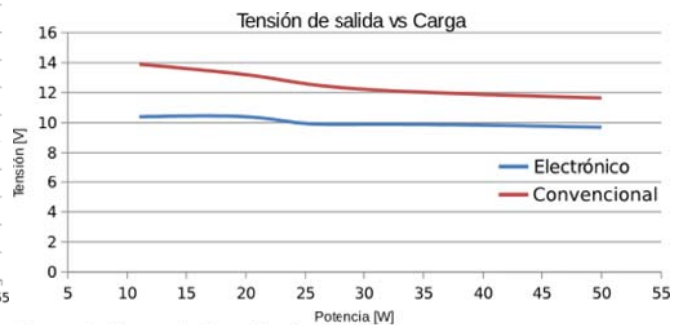


Figura 9: Curva de Tensión de salida vs. carga

Con carga constante nominal de 50W se varió el parámetro de entrada $V_{entrada}$:

		200V	220V	237V	250V
Entrada	P [W]	44,91	48,2	54,37	59,72
	S [VA]	44,09	49,12	54,53	59,84
	cos(ϕ)	0,972	0,972	0,972	0,972
	FP	0,93	0,93	0,93	0,93
Salida	P [W]	40,54	44,98	50,5	56,4
	V [V]	9,01	9,7	10,46	11,03
	η [%]	90	91	93	94

Tabla 6: Ensayo a variación de tensión de entrada

Analizando la tabla 6 se desprende que la tensión de salida es dependiente de la tensión de entrada en forma aproximadamente lineal, por lo tanto la potencia que se suministra a la carga se puede graduar o dimerizar, esto se comprobó para otros valores de tensión que no figuran en la tabla y en todos los casos la variación de tensión de salida es suave y acompaña a la tensión de entrada.

Con respecto al ángulo de desfase se aprecia que se mantiene constante para todas las condiciones ensayadas, esto se debe a la polarización del Diac encargado de comenzar la auto oscilación como se aprecia en la figura 2 .

4.1 Ensayo de un transformador convencional.

Con variación de carga, tensión de entrada constante $V_{entrada}=220$ V 50Hz

	Carga [W]	vacío	P=11W	P=20W	P=25W	P=33W	P=50W
Entrada	P [W]	0,92	4,4	50,5	56	62,5	74,89
	S [VA]	26,4	4,9	55	59,6	66	78,1
	FP	0,035	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96
Salida	P [W]	0	10,1	19,4	25	32,61	44,89
	V [V]	13,9	13,2	12,6	12,1	11,64	9,36
	η [%]	-	25	39	44,7	52	61

Tabla 7: Ensayo de transformador variación de carga con tensión nominal

Comparando los datos de la tabla 7 correspondientes a un transformador electromagnético convencional con los de la tabla 6, se observa las diferencias de rendimiento y regulación, donde el convertidor electrónico supera al convencional, este último tiene la ventaja de que no presenta distorsión armónica y su factor de potencia mejora con el aumento de carga, siempre que esta sea resistiva.

Debe aclararse que otros transformadores convencionales presentan mejores rendimientos, normalmente entre el 80 y 90% al igual que una mejor regulación entre el 10% y 15% [6].

Se realizó la comparación con otro transformador de tecnología similar estudiado en otro informe desarrollado para el presente curso [7]. A diferencia del utilizado en el presente estudio, el mismo presenta un filtro de línea a la entrada, lo que contribuye a disminuir el contenido armónico inyectado a la red.

En cuanto a las mejoras del circuito al respecto de su comportamiento ante los efectos secundarios de cargas atmosféricas, se propone la implementación de un protector de sobretensiones con dos varistores y dos inductores, estos últimos situados en la entrada del convertidor, en serie con la línea luego del filtro, a continuación un varistor entre los conductores de alimentación, y además un varistor de menor tensión entre el neutro y tierra. Esta protección ha demostrado ser muy eficaz en zonas de alto nivel céntrico.

Como parte de los objetivos de este trabajo se plantean usos alternativos del transformador electrónico para lámparas halógenas e incandescentes, para esto se instaló en forma experimental a la salida del convertidor un rectificador de media onda con un diodo rápido UF4007 y un capacitor electrolítico como filtro, el sistema alimenta una carga compuesta por dos ventiladores (tipo "cooler") y una tira de LEDs que se encuentra en funcionamiento ininterrumpido desde el dictado del curso objeto de este trabajo.

5 Conclusiones

Se concluye que el transformador bajo ensayo en general cumple con las expectativas iniciales, tiene un mejor desempeño general que un transformador convencional, pero posible mejorar sus parámetros y confiabilidad, y además permite usos alternativos. Respecto al cumplimiento de las normas se concluye que el mismo no reúne los requisitos exigidos, por ser una versión económica carente de filtro de entrada.

Apéndices

Equipamiento utilizado

Equipo	Características
osciloscopio	Rigol DS2202
Shunt entrada	0.623OHM+-1%
Shunt salida	0.015OHM+-1%
Termohigrometro TES	TES1360
Variac	"Varitrans" - 0-250V
Transformador convencional	Dokimar compacto microica 12V/50W
software de análisis	Matlab

Tabla 8: Equipamiento utilizado

Referencias

- [1] IEC- 61000-3-2 "*Limits for harmonic current emissions*", CEI Std.
- [2] IRAM 2491-3-2 - *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3 -Límites. Sección 2 - Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada menor o igual a 16 A por fase).*, IRAM Std.
- [3] S. Electronics, AN528 - *Electronic transformer for a 12V Halogen Lamp*, ST Electronics. [Online]. Available: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00003902.pdf
- [4] IEC- 61000-3-2 - Anexo C "*Type Test conditions*", CEI Std.
- [5] IEC- 61000-3-2 - Anexo A - "*Measurement circuit and supply source*", CEI Std.
- [6] IEC- 61000-4-7 -, CEI Std.
- [7] O. J. A. X. G. A. Kurtz, Victor H. *Dispositivos electrónicos - laboratorios de clase*. Universidad Nacional de Misiones. [Online]. Available: <http://www.fio.unam.edu.ar/moodle2/course/view.php?id=46>
- [8] J. R. Xander Germán Andrés, "*Transformadores electromagnéticos para lámparas incandescentes de baja tensión*", 2014.