

Marlon Ernesto Moscoso Martínez ^a; Tatiana Paola Zambrano Valverde ^b; Franklin Geovanny Tigre Ortega ^c

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Revista Científica de Investigación actualización del mundo de las Ciencias. Vol. 2 núm., 1, octubre, 2018, pp. 31-50

DOI: [10.26820/reciamuc/2.1.2018.31-50](https://doi.org/10.26820/reciamuc/2.1.2018.31-50)

Editorial Saberes del Conocimiento

a. marlon.moscoso@epoch.edu.ec
b. tp.zambrano@uta.edu.ec
c. fg.tigre@uta.edu.ec

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

RESUMEN

Esta investigación procura el mejoramiento de la tecnología utilizada en controladores o atenuadores de iluminación (dimmers) para el manejo de cargas luminosas LED, resistivas (incandescentes y halógenas) e inductivas (magnéticas de bajo voltaje (MLV)) altamente utilizadas en el sector residencial. El objetivo de este trabajo consiste en el desarrollo de un algoritmo de atenuación de transición suave para controlar dichas cargas luminosas, a través de la creación de rampas de encendido y apagado, en pasos discretos muy pequeños, visualmente imperceptibles al ojo humano, que dan la sensación de continuidad al incrementar o disminuir el nivel de iluminación. Con la regulación se consigue, esencialmente, ahorrar energía eléctrica, prolongar el tiempo de vida útil de los bombillos, y brindar confort al usuario.

Palabras Claves: Tecnología de atenuación; transición suave; TATS; atenuador; iluminación residencial; ahorro energético; confort.

ABSTRACT

This investigation is for the improvement of the technology used in lighting controllers or attenuators for the management of LED, resistive (incandescent and halogen) and inductive (magnetic low voltage (MLV)) light loads highly used in the residential sector. The objective of this work consists of the development of a soft transition attenuation algorithm to control the said light loads, through the creation of on and off ramps, in very small discrete steps, visually imperceptible to the human eye, which give the sensation of continuity by increasing or decreasing the level of illumination. The propose of the regulation is, essentially, saves electricity, prolongs the life of the bulbs, and provide comfort to the user.

Keywords: Attenuation technology; soft transition; TATS; attenuator; residential lighting; energy saving; comfort.

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

Introducción.

En el sector residencial, las cargas luminosas mayormente utilizadas para crear efectos lumínicos son las incandescentes y las halógenas de tungsteno (dicroicos), cuya característica eléctrica es resistiva (Lutron Electronics Co., Inc., 2004); sin embargo, en los últimos años se ha marcado una tendencia general en la utilización de lámparas LED y bombillos fluorescentes compactos (focos ahorradores) debido a su bajo consumo eléctrico, respecto de las primeras (Greenpeace Argentina, 2008).

Las cargas incandescentes y las halógenas de tungsteno son extensamente utilizadas por la calidad de su luz, por su característica de ser regulables y por ser óptimas para crear escenas de iluminación con efectos de luces y sombras, mediante tecnologías de atenuación (Lutron Electronics Co., Inc., 2012). Este tipo de cargas se encuentran en plena vigencia y constantemente están siendo mejoradas para cumplir con las normas de eficiencia energética expedidas por la Unión Europea (Commission of the European Communities, 2009).

Una variante de las cargas incandescentes y las halógenas de tungsteno son aquellas que funcionan a bajo voltaje (generalmente 12V o 24V), las cuales son conocidas como cargas magnéticas de bajo voltaje o MLV, puesto que requieren de un transformador magnético -no electrónico- (120V/12V o 120/24V) para su conexión al sistema eléctrico (Lutron Electronics

Co., Inc., 2012). En este caso, la característica eléctrica del conjunto, transformador más bombillo, es inductiva.

Existe un sinnúmero de tipos de lámparas LED a la fecha fabricadas y disponibles en el mercado internacional (GE Lighting, 2017); no obstante, conforme sea la característica constructiva del driver que las controla, pueden ser o no atenuables (Fraile Vilarras & Gago Calderón, 2012). Este trabajo presenta una solución para aquellas lámparas LED atenuables.

De manera similar, las lámparas fluorescentes pueden también ser o no atenuables conforme sean las características constructivas del balastro que las gobierna; empero, los bombillos compactos no son atenuables debido a que traen embebidos un balastro que sólo permite un control ON/OFF (Lutron Electronics Co., Inc., 2008). Este tipo de bombillos son habitualmente utilizados para la iluminación general de las viviendas, y no son motivo de análisis dentro del alcance de este trabajo de investigación.

Por otro lado, existen varias técnicas para controlar las cargas anteriormente citadas mediante tecnologías de atenuación, por ejemplo: control de fase directo -simétrico y asimétrico-, control de fase inverso -simétrico y asimétrico-, control de fase simétrico, control por ciclo integral, control SPWM, etc. (Hart, 1997). Todas estas técnicas tienen por objeto controlar el voltaje eficaz que se entrega a la carga para con ello conseguir disminuir su luminosidad (ON Semiconductor, 2006). En este trabajo de investigación se desarrolla una tecnología de atenuación de transición suave (TATS) para un control de fase directo simétrico.

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

Desarrollo de la tecnología de atenuación de transición suave (TATS).

Considerando que el nivel de iluminación de la carga luminosa es proporcional al voltaje sobre ella, se elabora una tabla (*Tabla 1*) para diferentes valores de voltaje (pasos), en la cual se determina el ángulo de disparo del tiristor del atenuador y el nivel de iluminación correspondiente.

Red Eléctrica	Voltaje RMS (V)	120.00	
	Frecuencia (Hz)	60.00	
Diseño	Voltaje Mín. (V)	15.00%	18.00
	Voltaje Máx. (V)	95.00%	114.00
	No. Pasos	200	

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

Paso	Vrms (V)	Ángulo " α "		Nivel de Iluminación (%)
		(°)	(μ s)	
0	0.0000	X	X	0.00%
1	18.0000	152.46	7058.34	0.50%
2	18.4824	151.95	7034.92	1.00%
3	18.9648	151.45	7011.66	1.50%
4	19.4472	150.95	6988.56	2.00%
5	19.9296	150.46	6965.60	2.50%
6	20.4121	149.96	6942.78	3.00%
7	20.8945	149.47	6920.11	3.50%
8	21.3769	148.99	6897.56	4.00%
9	21.8593	148.50	6875.14	4.50%
10	22.3417	148.02	6852.85	5.00%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
50	41.6382	130.10	6023.09	25.00%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
100	65.7588	108.61	5028.47	50.00%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
150	89.8794	84.49	3911.74	75.00%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
190	109.1759	57.13	2644.78	95.00%

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

191	109.6583	56.18	2601.01	95.50%
192	110.1407	55.21	2556.04	96.00%
193	110.6231	54.21	2509.79	96.50%
194	111.1055	53.18	2462.13	97.00%
195	111.5879	52.12	2412.94	97.50%
196	112.0704	51.02	2362.06	98.00%
197	112.5528	49.88	2309.33	98.50%
198	113.0352	48.70	2254.52	99.00%
199	113.5176	47.46	2197.41	99.50%
200	114.0000	46.17	2137.68	100.00%

Tabla 1. Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

La técnica utilizada para trocear el voltaje de la red eléctrica consiste en el *control de fase directo simétrico*, como se indica en la *Figura 1* (ON Semiconductor, 2006).

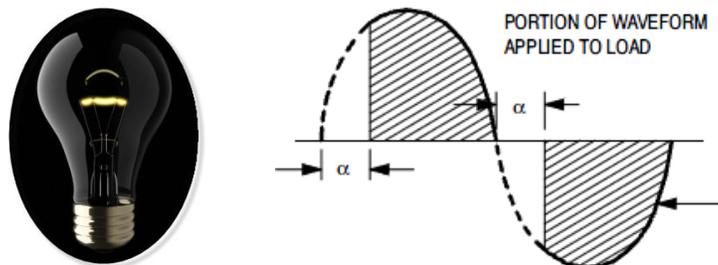


Figura 1. Control de Fase Directo Simétrico

Por otro lado, de acuerdo con la *Tabla 1*, por diseño, el 15% del voltaje de la red eléctrica es asignado para el primer paso (18V), y el 95% para el último paso (114V). Esto se debe a que, por un lado, la carga luminosa requiere de un voltaje mínimo para que se perciba visualmente el encendido del filamento (carga incandescente, halógena o magnética de bajo voltaje) o, en su defecto, para que el driver entre en funcionamiento (carga LED) (Moscoso Martínez, 2014); y por otro lado, se limita el voltaje máximo a un valor inferior al de la red eléctrica para forzar un ahorro de energía y aumentar el tiempo de vida útil de las cargas luminosas, como se muestra en la *Tabla 2* (Lutron Electronics Co., Inc., 2005).

Nivel de Iluminación	Ahorro de Energía Eléctrica	Prolongación del Tiempo de Vida Útil del Bombillo
90%	10%	2 veces
75%	20%	4 veces
50%	40%	20 veces
25%	60%	Más de 20 veces

Tabla 2. Ahorro energético y prolongación del tiempo de vida útil de los bombillos

El número de pasos a utilizarse depende de qué tan fina se requiera la transición de un paso a otro; sin embargo, para voltajes de paso inferiores a 0.5V se obtienen excelentes resultados debido a que la transición discreta no es percibida por el ojo humano, asumiéndose

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

ésta como una transición continua¹. Por diseño se utilizan 200 pasos, obteniéndose con ello un voltaje de paso de 0.48V aproximadamente. Nótese además que, el nivel de iluminación se mide en porcentaje, del 0% al 100%, y mantiene una correspondencia lineal con los pasos (Moscoso Martínez, 2014).

La ecuación para el control de fase directo simétrico que relaciona el voltaje eficaz sobre la carga y el ángulo de disparo del tiristor, está dada por la *Ecuación 1* (Fernández Hernández, 2007).

$$V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde,

V_{RMS} = Voltaje eficaz [V]

V_P = Voltaje pico [V]

α = Ángulo de disparo [rad]

Para la implementación de este algoritmo en un atenuador digital, la *Tabla 1* es almacenada de forma completa en la memoria flash del microcontrolador que gobierna la salida del actuador, y ésta es leída constantemente para disparar el tiristor con el ángulo asociado al paso correspondiente.

¹ Información obtenida de las pruebas realizadas.

Por lo tanto, cuando un cambio en el nivel de iluminación es requerido, la tabla es leída paso a paso, desde el nivel de iluminación actual hasta el nivel de iluminación deseado (futuro), con la finalidad de ir disparando el tiristor para todos y cada uno de los ángulos obtenidos, y generar con ello una transición suave. El *tiempo de paso o nivel* es calculado por el algoritmo implementado en el microcontrolador del atenuador, mediante la *Ecuación 2* y éste depende del *tiempo de transición* de diseño (generalmente 1 o 2 segundos) (Moscoso Martínez, 2014).

$$t_p = \frac{t_t}{|p_f - p_a|} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde,

t_p = Tiempo de paso [s]

t_t = Tiempo de transición [s]

p_f = Número de paso futuro

p_a = Número de paso actual

Los esquemas de conexión de la carga son mostrados en la *Figura 2* y *Figura 3*.

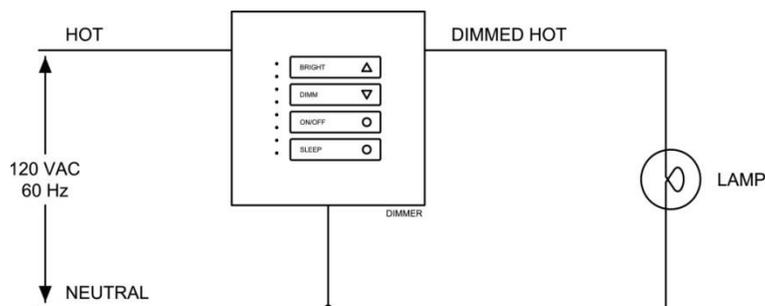


Figura 2. Conexión de una carga resistiva o LED al atenuador

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

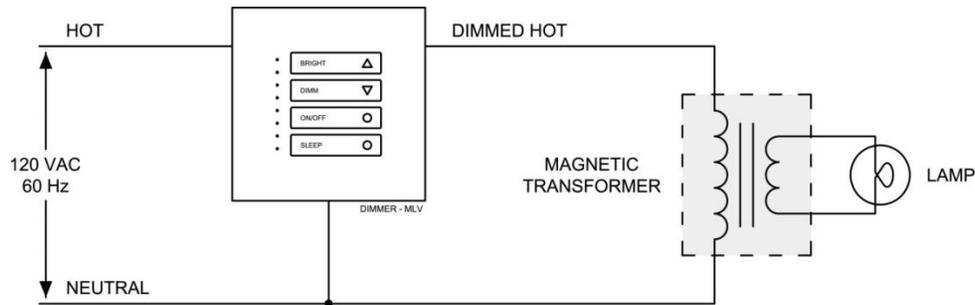


Figura 3. Conexión de una carga MLV al atenuador

Pruebas y resultados.

Cargas resistivas o LEDs:

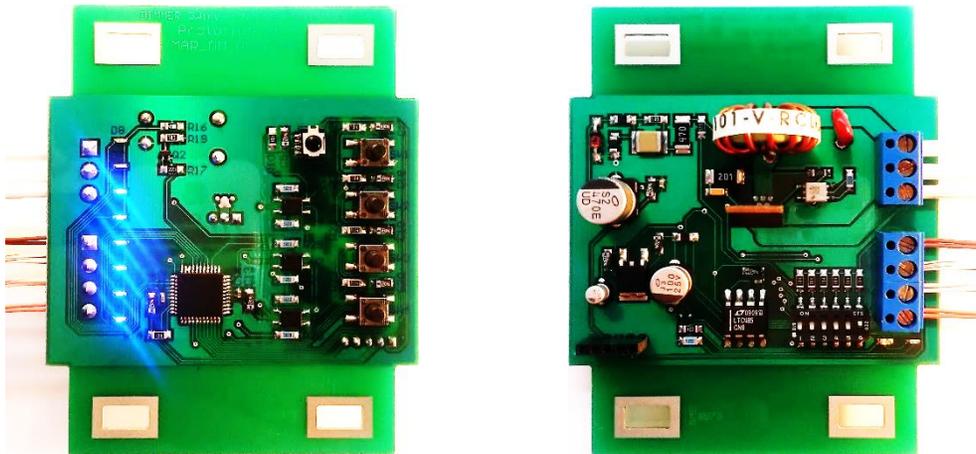


Figura 4. Atenuador digital para cargas resistivas o LEDs – Dispositivo de prueba

Condiciones de funcionamiento del atenuador digital mostrado en la *Figura 4*:

- Alimentación: Red eléctrica residencial monofásica, 120V/60Hz.
- Carga: 1 Bombillo incandescente SYLVANIA, 120V/60W, E27, 1000 horas.

- Mando IR: CONECT-IT RM500, 5 Function Multi-Brand Universal TV Remote.

Resultados obtenidos:

Parámetro		Símbolo	Mín.	Máx.	Unidad	Instrumento de Medida
Control y Potencia	Voltaje de Entrada	V_{AC}	115.1	117.2	V	Multímetro FLUKE 179
	Frecuencia	f	59.92	60.08	Hz	Multímetro FLUKE 179
	Corriente de Entrada	Sin Carga	I_{AC}	39.2	40.2	mA
Con Carga de 60W		0.19 (1%)		0.46 (100%)	A	Multímetro FLUKE 179
Temperatura Ambiente		T_A	23.9	24.3	°C	Termocupla FLUKE 80BK1 y multímetro FLUKE 179
Tiempo de Medición		t	-	5.0	min	Cronómetro estándar

Tabla 3. Mediciones obtenidas en el atenuador de cargas resistivas o LEDs



(a)

(b)



Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

(c)

(d)

Figura 5. Formas de onda obtenidas con el atenuador de cargas resistivas o LEDs: (a) Voltaje de la red eléctrica; (b) Voltaje sobre la carga para el 1% de iluminación; (c) Voltaje sobre la carga para el 50% de iluminación; (d) Voltaje sobre la carga para el 100% de iluminación

Cargas MLV:

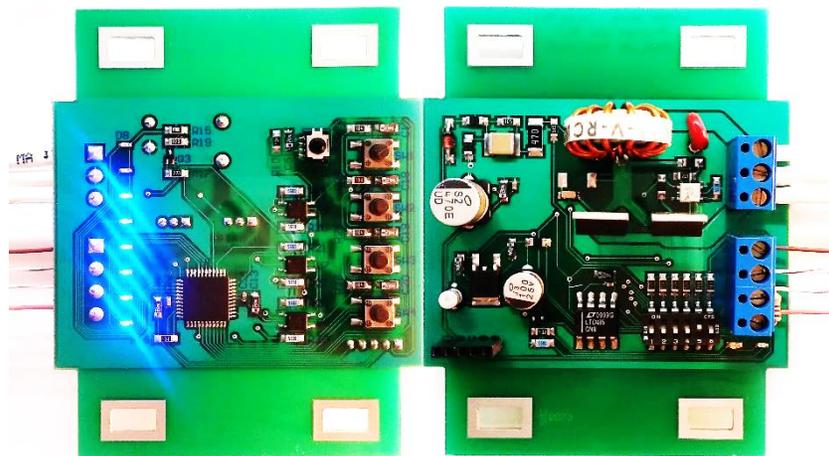


Figura 6. Atenuador digital para cargas MLV – Dispositivo de prueba

Condiciones de funcionamiento del atenuador digital mostrado en la *Figura 6*:

- Alimentación: Red eléctrica residencial monofásica, 120V/60Hz.
- Carga: 1 Transformador LAYRTON, 300VA, 120V/12V, 50/60Hz; 6 bombillos halógenos dicroicos GENERAL ELECTRIC, 12V/50W, MR16, 1000 horas.
- Mando IR: CONECT-IT RM500, 5 Function Multi-Brand Universal TV Remote.

Resultados obtenidos:

Parámetro		Símbolo	Mín.	Máx.	Unidad	Instrumento de Medida	
Control y Potencia	Voltaje de Entrada	V_{AC}	115.1	117.2	V	Multímetro FLUKE 179	
	Frecuencia	f	59.92	60.08	Hz	Multímetro FLUKE 179	
	Corriente de Entrada	Sin Carga	I_{AC}	35.5	36.4	mA	Multímetro FLUKE 179
		Con Carga de 300VA		0.75 (1%)	2.55 (100%)	A	Multímetro FLUKE 179
Temperatura Ambiente		T_A	23.9	24.3	°C	Termocupla FLUKE 80BK1 y multímetro FLUKE 179	
Tiempo de Medición		t	-	5.0	min	Cronómetro estándar	

Tabla 4. Mediciones obtenidas en el atenuador de cargas MLV

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

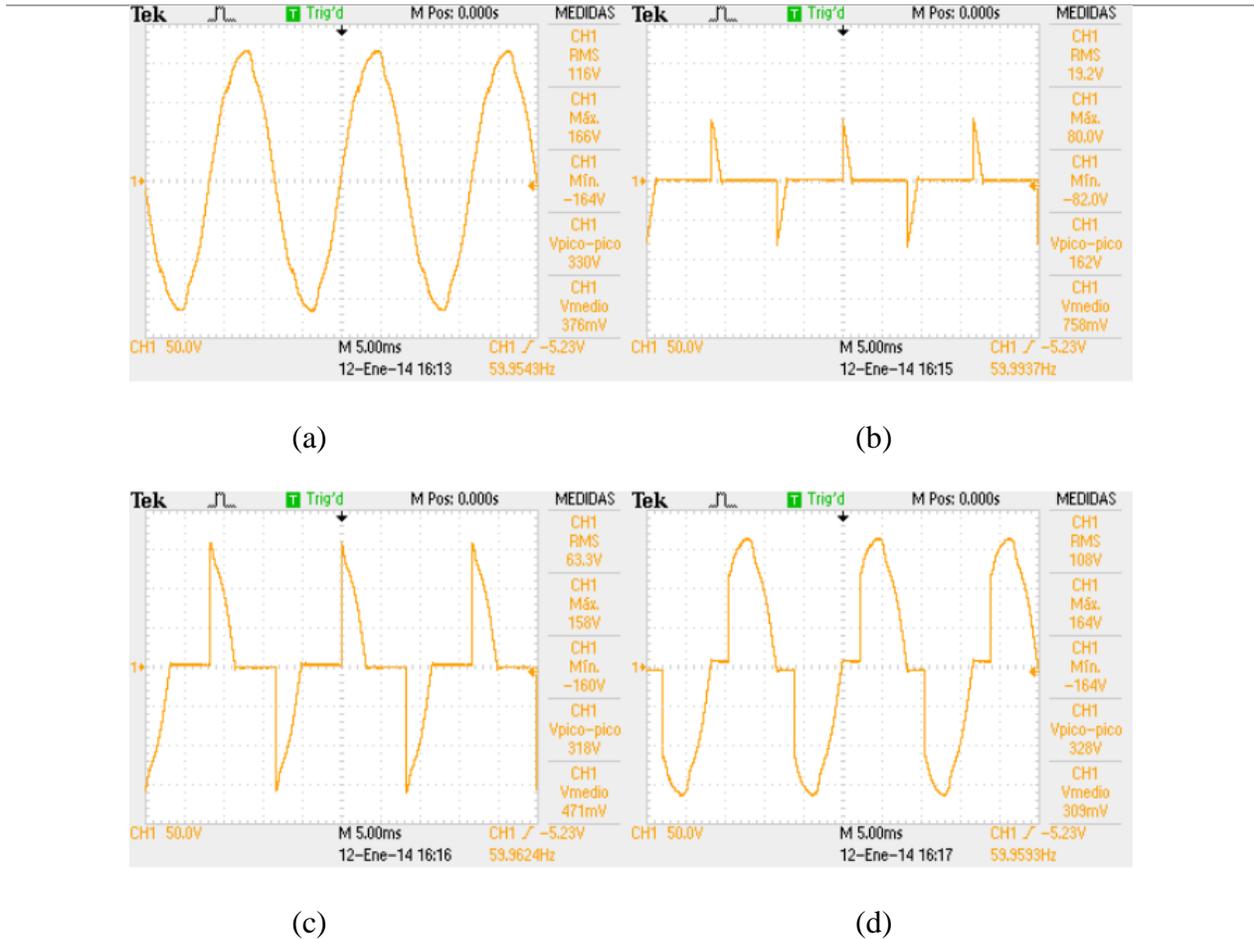


Figura 7. Formas de onda obtenidas con el atenuador de cargas MLV: (a) Voltaje de la red eléctrica; (b) Voltaje sobre la carga para el 1% de iluminación; (c) Voltaje sobre la carga para el 50% de iluminación; (d) Voltaje sobre la carga para el 100% de iluminación

Análisis general de resultados (cargas resistivas, LEDs, y MLV).

- El atenuador trabaja acorde a las especificaciones del algoritmo TATS, generando transiciones suaves al incrementar o disminuir el nivel de iluminación de la carga.

- Al momento de la transición entre niveles de iluminación no se perciben visualmente los pasos discretos del algoritmo TATS.
- El circuito de control del atenuador, al ser alimentado directamente de la red eléctrica, trabaja sin provocar interferencias o intermitencias en la luminosidad de la carga.
- En los LEDs indicadores del atenuador se observa una correspondencia proporcional entre el nivel de iluminación seteado por el algoritmo TATS y la luminancia entregada por la carga.

Conclusiones.

La tecnología de atenuación de transición suave (TATS), diseñada e implementada en los dispositivos de prueba (atenuadores para cargas resistivas o LED, e inductivas); ha permitido obtener encendidos y apagados progresivos de las cargas luminosas, dando una sensación de continuidad al generarse la transición.

Con el uso de los dispositivos de prueba (atenuadores para cargas resistivas o LED, e inductivas) se ha conseguido un ahorro energético, dado que a medida que se atenúa el nivel de iluminación de una carga, la potencia y energía utilizada es menor. De esta manera, se contribuye a disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera -causantes del calentamiento global- y a proteger el medio ambiente (Caballero, Lozano, & Ortega, 2007).

Acorde a las especificaciones de los fabricantes, los bombillos poseen un tiempo de vida útil, el cual puede ser prolongado conforme sea regulado (disminuido) el voltaje sobre sus

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

terminales (Lutron Electronics Co., Inc., 2005). En este sentido, el algoritmo TATS permitiría conseguir lo anteriormente mencionado, ya que además de regular el voltaje, permite evitar los choques eléctricos al encendido y apagado de las cargas mediante la generación de rampas de voltaje (Boylestad, 2002).

Con la regulación se espera brindar al usuario el confort necesario debido a que se han conseguido transiciones suaves al incrementar o disminuir el nivel de iluminación, así como emplear diferentes niveles de iluminación conforme a las actividades a desarrollarse en un área específica.

Bibliografía.

- Boylestad, R. L. (2002). *Introductory Circuit Analysis* (Tenth Edition ed.). Prentice Hall.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (10 de Octubre de 2007). Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una Perspectiva desde las Ciencias de la Tierra. *Revista Digital Universitaria UNAM*.
- Commission of the European Communities. (2009). *Commission Regulation implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for nondirectional household lamps*. Brussels.
- Fernández Hernández, J. (Septiembre - Octubre de 2007). Cálculo simplificado del valor medio y eficaz de una forma de onda. *Técnica Industrial*(271), 67-70.
- Frailé Vilaras, J., & Gago Calderón, A. (2012). *Iluminación con Tecnología LED*. Madrid: Paraninfo.
- GE Lighting. (01 de 06 de 2017). *General Electric*. Obtenido de emea.gelighting.com
- Greenpeace Argentina. (2008). Iluminación Eficiente: primer paso hacia una revolución energética.
- Hart, D. W. (1997). *Introduction to Power Electronics*. Valparaiso, Indiana, EE.UU.: Prentice-Hall, Inc.
- Lutron Electronics Co., Inc. (2004). *Residential Lighting Controls Catalog*. Coopersburg, PA, U.S.A.
- Lutron Electronics Co., Inc. (2005). *HomeWorks Technical Reference Guide* (Rev. G ed.). Coopersburg, U.S.A.

Tecnología de atenuación de transición suave (TATS)

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Marlon Ernesto Moscoso Martínez; Tatiana Paola Zambrano Valverde; Franklin Geovanny Tigre Ortega

Lutron Electronics Co., Inc. (2008). *Dimmers And Lighting Controls*. Retrieved December 2008,

from <http://www.lutron.com>

Lutron Electronics Co., Inc. (2012). *Guide to Dimming Low-Voltage Lighting*.

Moscoso Martínez, M. E. (2014). *Diseño y Construcción de un Prototipo de un Equipo*

Centralizado de Automatización y Control de Sistemas de Iluminación Residencial con

Interfaces de Integración. Quito.

ON Semiconductor. (2006). *Thyristor Theory and Design Considerations, Handbook* (Rev. 1

ed.). SCILLC.