

Diseño de una fuente de alimentación conmutada para lámpara automatizada en terapias medicas

MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo *†, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y ROSALES-DAVALOS, Jaime

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

En este artículo se presenta el análisis, diseño e implementación de una fuente de alimentación conmutada para una lámpara automatizada para terapias médica. La fototerapia es uno de los métodos terapéuticos usado por la medicina moderna. Consiste básicamente en el uso de luz en las longitudes de onda adecuadas, dependiendo del efecto terapéutico deseado, en el tratamiento o terapia de algunos grupos de patologías. La reactivación celular se lleva a cabo a través de la excitación de las células por medio de formas de ondas pulsantes, provocado por la exposición de la piel o de algún órgano a los fotones que emiten este tipo de lámparas. Por lo que la fuente de alimentación diseñada tiene la capacidad de ser variante en amplitud y longitud de onda para la aplicación en los tratamientos médicos a través de un convertidor inversor clase C bidireccional en corriente, el cual es un convertidor el cual invierte y regula la tensión de forma simultánea, a través de una carga foco de alógeno en conexión diferencial, así como una técnica de modulación SPWM, para el control del sistema de potencia.

Potencia, Convertidores, Inversores, Fototerapia

Abstract

This paper presents the analysis, design and implementation of a switched power supply for an automated lamp for medical therapies. Phototherapy is one of the therapeutic methods used by modern medicine. It basically consists of the use of light at the appropriate wavelengths, depending on the desired therapeutic effect, in the treatment or therapy of some groups of pathologies. The cellular reactivation is carried out through the excitation of the cells by means of pulsating waves forms, caused by the exposure of the skin or of some organ to the photons that emit this type of lamps. Therefore, the designed power supply has the capacity to be an amplitude and wavelength variant for application in medical treatments through a current inverter converter class C bidirectional, which is a converter which inverts and regulates the Voltage simultaneously, through a halogen bulb load in differential connection, as well as a SPWM modulation technique, for the control of the power system.

Power, Converters, Inverters, Phototherapy

Citación: MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y ROSALES-DAVALOS, Jaime. Diseño de una fuente de alimentación conmutada para lámpara automatizada en terapias medicas. Revista de Tecnología e Innovación.2017, 4-12: 1-8.

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: mastache@cenidet.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

En la actualidad la calidad de vida de las personas se ve afectado por los altos índices de contaminación que existe en el ambiente, lo que provoca que desde hace muchos años las investigaciones para producir nuevos medicamentos para abastecer las necesidades para curar las enfermedades, han enfocado sus esfuerzos en producir fármacos más potentes, que en algunas ocasiones, modifican o afectan otras zonas del cuerpo, es por esto que en la búsqueda de complementar los tratamientos con medicina alternativa, conllevó a investigar los efectos de las radiaciones de luz para el tratamiento de enfermedades.

A este tratamiento se le conoce como fototerapia la cual implica una exposición de una luz con características especiales sobre la piel de las personas por un período de 20 minutos como mínimo y 30' como máximo. La luz se puede dirigir a un área afectada del cuerpo en especial.

El tratamiento de patologías con fototerapia clásica está basado en la interacción entre la luz producida por un convertidor de potencia y el tejido afectado, o bien desde un punto de vista microscópico, la alteración de las características bioquímicas de las moléculas del cuerpo o de las células patógenas y en consecuencia se produce una mejora terapéutica. Existen evidencias, de la efectividad de la fototerapia, no sólo como un agente antiproliferativo, sino también por sus efectos inmunológicos.

Es por esto que en este artículo se propone un diseño de una fuente de alimentación para una lámpara de fototerapia, con un convertidor de potencia inversor reductor-elevador que contenga menores pérdidas que los sistemas convencionales.

Y del mismo modo lograr una modulación en la longitud de onda de la lámpara, para amplificar el efecto terapéutico en la medicina alternativa, donde se propone una reducción química a los que el paciente se ve expuesto cada que toma algún tipo de fármaco, o en su defecto complementar el tratamiento con este tipo de técnica

El diseño está separado en dos partes, una etapa de control la cual determina la activación y desactivación de los interruptores de potencia y una parte de potencia para los convertidores bidireccionales, como se muestra en la siguiente figura esquematiza el procedimiento experimental para lograr la modulación y la eficiencia del convertidor.

En la figura 1 se muestra de forma esquemática la conexión del sistema partiendo de la señal de línea y culminando con una lámpara de halógeno, la cual será la carga de nuestro circuito de potencia.

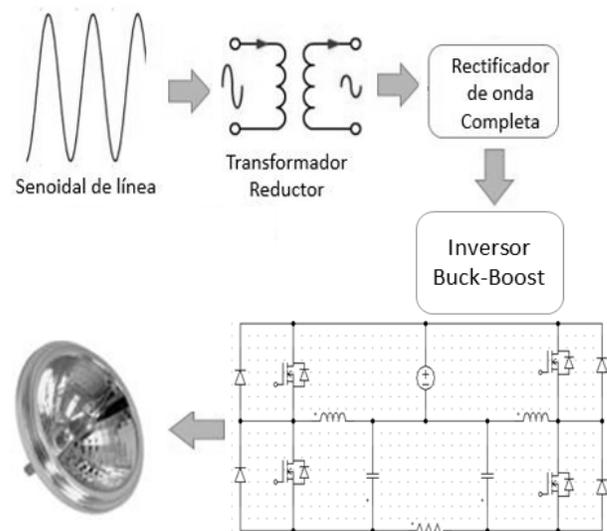


Figura 1 Diagrama Esquemático de la fuente de Potencia

Convertidor Buck - Boost Convencional

El convertidor Buck-Boost convencional se muestra en la figura 2, este convertidor regula el voltaje de C.D. de salida promedio a un nivel más alto o más bajo que el voltaje de C.D. de entrada.

En la figura 2a se tiene el circuito del convertidor, donde el interruptor de potencia se encuentra conmutando bajo el régimen PWM, por lo que cuando el interruptor se encuentra conduciendo, carga de energía al inductor y el diodo se polariza inversamente, como se muestra en la figura 2b, por lo que cuando el interruptor pasa al estado de apagado el inductor cambia de polaridad, por lo que la tensión almacenada en el inductor es liberada hacia el capacitor y el diodo se polariza directamente como se muestra en la figura 2c, de tal manera que la tensión de salida “Vo” dependerá del tiempo de carga y descarga de los elementos pasivos del convertidor. Por lo tanto dependiendo el ciclo de trabajo, el voltaje de salida será mayor o menor que el voltaje de entrada.

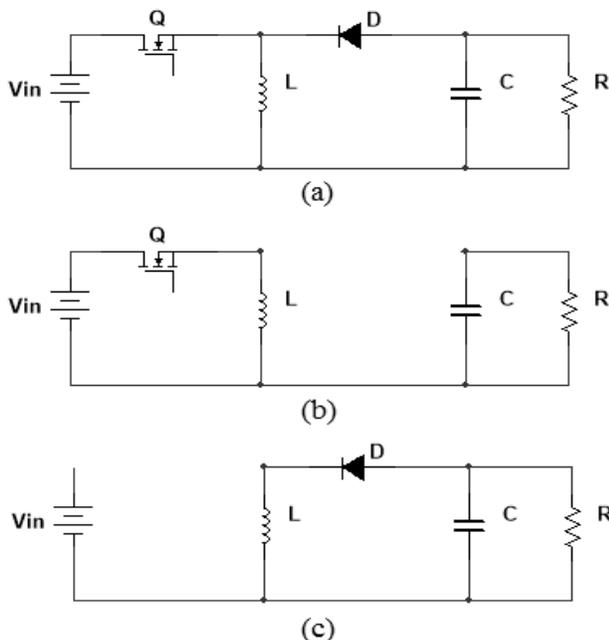


Figura 2 (a) Convertidor Buck-Boost Convencional. (b) Interruptor Conduciendo. (c) Interruptor apagado

El convertidor Buck-Boost puede operar en el modo de conducción continuo y en el modo de operación discontinuo. Para nuestra aplicación utilizaremos el modo de operación continuo ya que en este modo de operación, el convertidor es menos sensible a las variaciones de carga, y además la corriente en el inductor mantiene un valor mayor a cero en todo momento.

En la Figura. 3 se muestra la corriente del inductor para el modo de operación continuo, donde se puede observar la carga y la descarga del inductor en cada uno de los tiempos de conmutación.

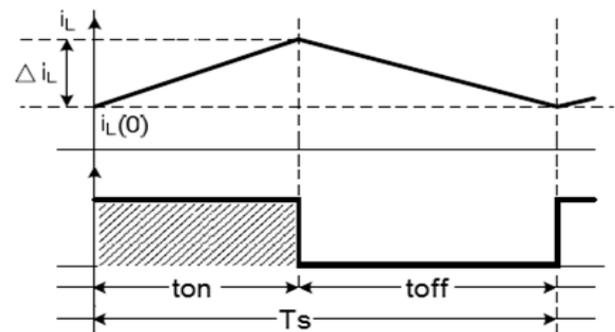


Figura 3 Corriente del inductor para el modo continuo

Aplicando el principio de balance en el voltaje de la bobina y la corriente en el capacitor, podemos deducir las siguientes expresiones, las cuales rigen el comportamiento de este convertidor.

$$V_o = \frac{D}{1-D} V_{in} \tag{1}$$

$$I_L = \frac{I_o}{1-D} \tag{2}$$

$$I_T = \frac{D}{1-D} I_o \tag{3}$$

$$L = \frac{V_{in} D T}{\Delta i} \tag{4}$$

$$C = \frac{D I_o}{F_s \Delta v} \tag{5}$$

Donde D es el ciclo de trabajo, Vo es el voltaje de salida, Δi es el rizo pico - pico de la corriente del inductor, Δv es el rizo pico – pico del voltaje de salida, IL es la corriente del inductor, IT es la corriente del transistor, L es el inductor, y C es el capacitor de salida.

Inversor reductor elevador

El principal atributo de esta topología es integrar, el proceso de dos o más convertidores en un solo circuito, su función radica en generar un voltaje de salida mayor o menor adaptable de C.A. que el voltaje de entrada de C.D., dependiendo el ciclo de trabajo del convertidor, invirtiendo y regulado el voltaje de salida en una sola etapa.

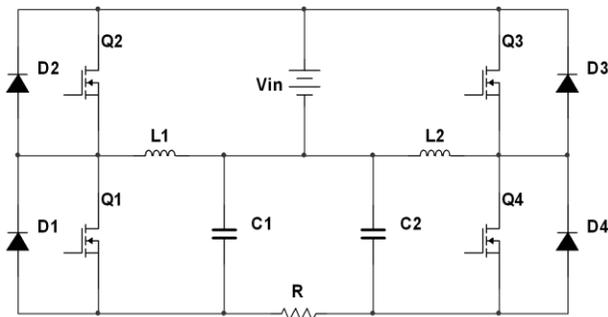


Figura 4 Inversor Reductor Elevador

El diseño del inversor reductor-elevador se obtiene de la combinación de los dos convertidores Buck-Boost convencionales, en los cuales los diodos que conducen durante el tiempo de apagado, son sustituidos por otros interruptores de potencia que conducirán de forma comandada en el tiempo de apagado, lo que conlleva a la configuración del convertidor bidireccional clase C y por último estos convertidores se colocan en paralelo, utilizando la carga como una conexión diferencial a la salida, con una sola fuente de alimentación de entrada (ver figura 4).

Este diseño logra la conversión C.D. a C.A., utilizando la Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM) para generar las señales de disparo de los interruptores.

La señal senoidal de referencia de cada modulador SPWM, son necesarias para generar los pulsos S+ y S-, para el disparo de interruptores, los cuales tienen una diferencia de fase de 180°. Esto implica que el ciclo de trabajo es modulado senoidalmente, como se muestra en la figura 5.

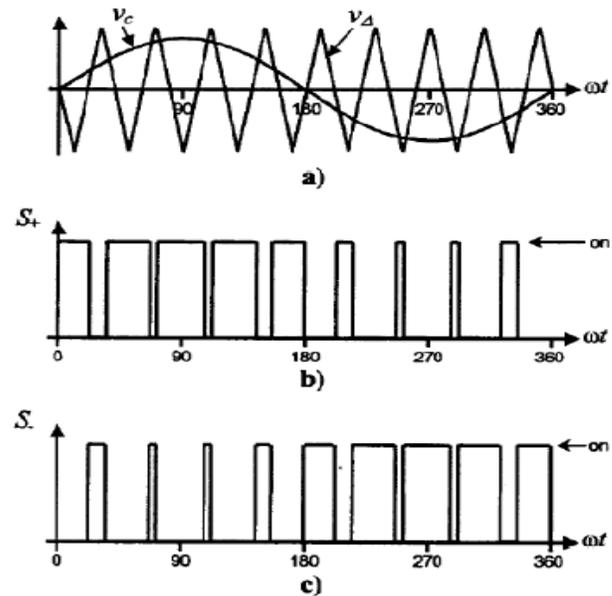


Figura 5 (a) Empalme de onda moduladora y portadora. (b) S+ Demodulación Positiva. (c) S- Demodulación Invertida

Donde S+ son las señales de disparo de nuestro inversor reductor-elevador en D y S- son las señales de disparo en D', trayendo como consecuencia que cada convertidor reductor-elevador produzca un voltaje de salida senoidal negativo por el efecto de Buck-Boost y desfasado 180°, uno con respecto al otro, con una componente de voltaje de CD unipolar. Ver Figura 6

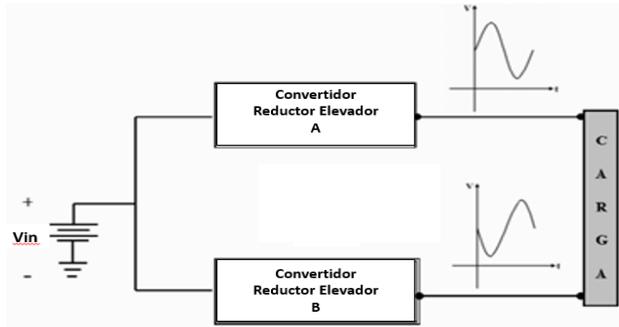


Figura 6 Salida de los convertidores Va y Vb desfasadas 180°

Por lo que los voltajes de salida de cada uno de los convertidores bidireccionales quedan definidos como:

$$V_a = -(V_{off} + Amp \text{ Sen}(wt)) \tag{6}$$

$$V_b = -(V_{off} - Amp \text{ Sen}(wt)) \tag{7}$$

Considerando que la carga está conectada en forma diferencial, el voltaje de CD es cancelado, como se muestra en la figura 7, dando como resultado una señal senoidal igual al doble de la amplitud generada en cada convertidor.

$$V_o = V_a - V_b \tag{8}$$

$$V_{load} = -V_{off} - Amp \text{ Sen}(wt) - (-V_{off} + Amp \text{ Sen}(wt)) \tag{9}$$

$$V_o = -2Amp \text{ Sen}(wt) \tag{10}$$

Simulando el comportamiento del inversor logramos emular el comportamiento de cada uno de los convertidores Buck-Boost, con una modulación SPWM y utilizando la carga en forma diferencial el voltaje de salida queda representado como la siguiente figura.

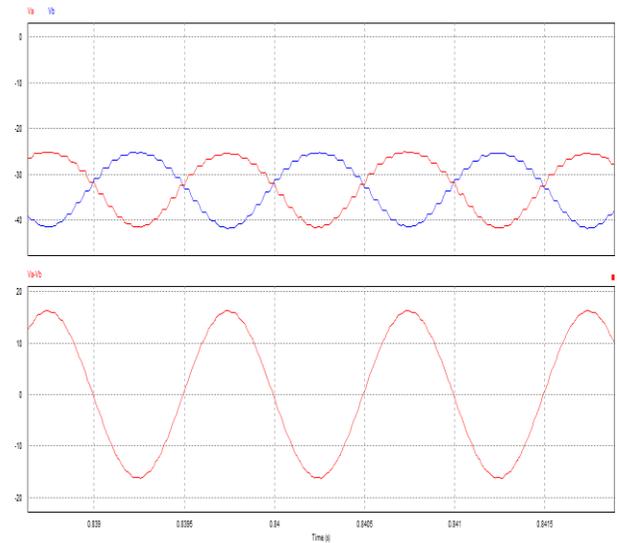


Figura 7 Salida de los convertidores Va y Vb modulados senoidalmente y la señal de salida Vo

Implementación de la fuente de potencia

Como se ha mencionado anteriormente la fuente de alimentación se dividió en dos secciones, una etapa de control y una de potencia.

Para el diseño del control se desarrolla un generador de señal senoidal variante en amplitud y frecuencia, de baja potencia, con ayuda de arreglos de operacionales y esta señal es comparada a través de un integrado generador de PWM, donde se intercambiaron la señal de CD, con la señal senoidal generada, como se muestra en la figura 8 del lado izquierdo.

La señal ya modulada es acoplada al sistema de potencia a través de optoacopladores para lograr un aislamiento de tierras y al mismo tiempo evitar ruido proveniente de la etapa de potencia. Posteriormente para lograr el encendido de los interruptores de potencia del puente inversor, se utilizaron drivers controladores de compuerta para activación de la conmutación superior e inferior.

Cabe señalarse que para esta activación se deben de contemplar los tiempos muertos entre las activaciones y por consecuencia lograr tener menores pérdidas de conmutación en los dispositivos de potencia, esta implementación se muestra en la figura 8 del lado derecho.

Para la etapa de potencia redujo la tensión de línea a través de un transformador reductor que transformó, la señal a un voltaje de 48 V de CD. Posteriormente esta señal fue rectificada y acoplada como entrada a nuestro inversor reductor-elevador, donde se diseñaron e implementaron artesanalmente las bobinas a través de la técnica de la constante geométrica, para el óptimo manejo de pérdidas en los inductores, así como embobinarlas con hilo de litz para reducir las pérdidas en el cobre, se utilizaron capacitores MKP y MKT para el manejo de la frecuencia de conmutación de los dispositivos y como carga se utilizó un foco de halógeno, 12 V. a 50 W. Conectado de forma diferencial, entre los dos convertidores reductores elevadores.

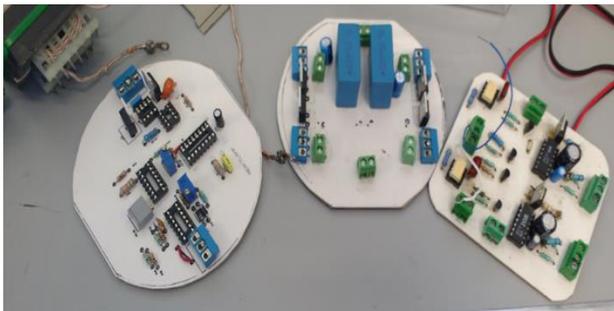


Figura 8 Implementación del Control y Potencia

Para el diseño de la estructura de la lámpara, se buscaba que fueran diseños capaces de soportar el peso de los componentes, debido a que la conexión entre los sistemas de control y potencia debe de ser lo más próxima posible, para evitar con las conexiones largas, ruido por capacitancias e inductancias parasitas.

Así mismo se buscaba que las estructuras aparte de ser resistentes para el peso, fueran estéticas y funcionales para los usuarios y pacientes. Por lo que se propusieron dos tipos de estructura mecánica.

La primera propuesta fue una estructura empotrable a una pared, que era funcional para llegar a todas las partes de cuerpo, pero era limitada y requería la instalación de una cama pegada a la pared donde se colocó la lámpara.



Figura 9 Estructura de Lámpara Empotrable

En la siguiente figura se muestra un tipo de estructura más completa, implementando un tripe, el cual proporcionó mayor movilidad a la lámpara y se contemplaron diferentes articulaciones para poder acceder a todas las partes de los pacientes.



Figura 10 Estructura de Lámpara Movable

Cabe señalarse que las dos estructuras propuestas, fueron diseños de iluminación convencional que se encuentran en el mercado, lo que se busca para trabajos futuros, es desarrollar e implementar a través de impresión 3D y del maquinado de piezas contar con una estructura propia para el diseño.

Resultados de la fuente de alimentación

El sistema cumple con reducir e invertir en una sola etapa la tensión de salida vista por el foco de halógeno. Así como modular la amplitud y frecuencia de la señal de salida.

Además el sistema disminuye las pérdidas con este inversor integrado, debido a la reducción de los interruptores de potencia y no se cuenta con las típicas conexiones en cascada.

Para producir la señal senoidal, cabe señalarse que se genera sin necesidad de tener un filtro de acoplamiento como en los inversores convencionales, los cuales suelen ser robustos y generan más pérdidas en los elementos pasivos. En la figura 11, se muestra la forma de onda de salida de voltaje del inversor reductor-elevador, teniendo como carga un foco de halógeno y medido con un osciloscopio.

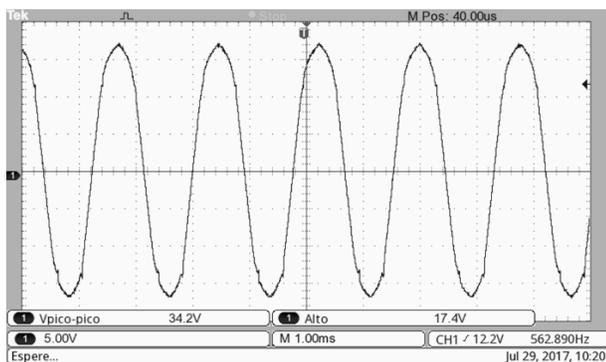


Figura 11 Voltaje de Salida del Inversor

En la figura. 12, se observa una foto del resultado de la fuente de alimentación, donde se muestra el Inversor reductor-elevador, implementado, junto con el sistema de control y potencia.



Figura 12 Prototipo de la fuente de alimentación para la lámpara

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecemos el apoyo que se ha tenido, para el desarrollo y financiamiento de este proyecto, por parte del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, TESJo, así como al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico recibido para el mismo propósito

Conclusiones

Se implementó la fuente de alimentación con el inversor reductor elevador, lo cual produjo un aumento considerable en la potencia y eficiencia de salida de nuestro sistema, con el cual se pudo alcanzar los 50 w para alimentar el foco de halógeno y modular a su vez la amplitud y la frecuencia de la señal de salida.

Para trabajos futuros como se menciona en el texto se puede mejorar el diseño utilizando interruptores de potencia optimizados para el sistema, para de esta forma incrementar la eficiencia de salida de nuestro inversor.

Además de agregar un lazo de retroalimentación al circuito de disparo, para disminuir aun más los niveles de distorsión armónica y ruido por conmutación en la salida.

Referencias

- Alonso, J. M., Viña, J., Vaquero, D. G., Martínez, G., & Osorio, R. (2012). Analysis and design of the integrated double buck–boost converter as a high-power-factor driver for power-LED lamps. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(4), 1689-1697.
- Cajas Narváez, K. J., & Vargas Salinas, S. R. (2015). Diseño y construcción de un equipo de fototerapia con control de intensidad de luz, posicionamiento y evaluación de cambios de bilirrubina para el tratamiento de bilirrubinosis en neonatos (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.).
- Cuenca Vicente, A. L. (2014). Diseño y construcción de un prototipo de lámpara de fototerapia con sistema de control digital para tratamiento de ictericia en neonatos (Bachelor's thesis).
- Effectiveness of conventional phototherapy versus Super light-emitting diodes phototherapy in neonatal hyperbilirubinemia. *J Med Assoc Thai*, 95(7), 884-9.
- Hönigsmann, H. (2013). History of phototherapy in dermatology. *Photochemical & photobiological sciences*, 12(1), 16-21.
- Kwon, H. H., Lee, J. B., Yoon, J. Y., Park, S. Y., Ryu, H. H., Park, B. M., ... & Suh, D. H. (2013). The clinical and histological effect of home-use, combination blue–red LED phototherapy for mild-to-moderate acne vulgaris in Korean patients: a double-blind, randomized controlled trial. *British Journal of Dermatology*, 168(5), 1088-1094.
- Miranda, L. C. (2013). Estudio, Análisis y Simulación de una Familia de Inversores Elevadores y Reductores de tensión con Ganancia cuadrática. Memoria para optar al Grado de Ingeniero Civil Eléctrico. PUCV–Chile año.
- Mudigonda, T., Dabade, T. S., & Feldman, S. R. (2012). A review of targeted ultraviolet B phototherapy for psoriasis. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 66(4), 664-672.
- Pressman, A. (1997). *Switching power supply design*. McGraw-Hill, Inc..
- Rashid, M. H. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación.
- Shinde, V. V., Kungatkar, R. G., & Dhoble, S. J. (2015). UVB-emitting Gd³⁺-activated M₂O₂S (where M= La, Y) for phototherapy lamp phosphors. *Luminescence*, 30(8), 1257-1262.
- Sopapan Ngercham, M. D., Kriangsak Jirapaet, M. D., Suvonachai, R., Chaweerat, R., Wongsiridej, P., & Kolatat, T. (2012).
- Wentworth, S. D. (2005). Neonatal phototherapy–today's lights, lamps and devices. *Infant*, 1(1), 14-19.