

# Vehículo de apoyo para la población de adultos mayores

Oscar Marino Rodriguez Ortiz

[oscarr@javerianacali.edu.co](mailto:oscarr@javerianacali.edu.co)

**Resumen:** En este documento se describe el desarrollo de un triciclo eléctrico para la movilidad de los adultos mayores, ya que no es necesario realizar un gran esfuerzo, no usa combustibles derivados del petróleo debido a que trabaja por medio de energía eléctrica. El sistema sensa variables de cadencia de pedaleo, nivel de aceleración y es capaz de realizar frenado regenerativo permitiendo que se recupere parte de la energía en pendientes negativas, evitando que esta energía cinética se transforme en calor.

## I. Introducción

Este proyecto está dedicado a la tarea de comparar opciones en torno a los diferentes tipos de bicicletas que satisfacen la necesidad previamente identificada, en segundo lugar, la toma de decisiones con respecto a los tipos de motores susceptibles de adaptación a este tipo de bicicletas, en tercer lugar, la valoración de la tecnología de paneles para aprovechar la energía solar y su almacenamiento en baterías y finalmente en torno al diseño del presente prototipo, se describen y caracterizan los tipos de convertidores.

Una segunda etapa relacionada con la implementación, donde se materializa el prototipo, que implica las modificaciones y adaptaciones realizadas al triciclo para que responda a los criterios del diseño en cuanto a su funcionabilidad y que satisfaga los requerimientos del futuro usuario.

Finalmente, en una tercera etapa denominada de pruebas, se explicitan todos aquellos aspectos que evidencian la operatividad funcionalidad del prototipo, en particular, con respecto a pruebas de luminosidad, autonomía de la batería, control de velocidad y su desempeño en diferentes condiciones topográficas.

Todas las etapas, diseño, implantación y pruebas se describen a lo largo del texto, enfatizando en aquellos aspectos de carácter técnico y tecnológico que configuran el presente trabajo de grado, con la finalidad de cumplir con los requisitos, tanto de formación como de investigación en procura de optar al título de ingeniero electrónico.

## **II. Fundamentación Teórica**

Durante el último siglo han ocurrido cambios demográficos importantes, presentando un crecimiento en los grupos de adultos mayores; esta población tiene una característica muy particular y es la gran variabilidad de las condiciones socioeconómicas. Debido a esta condición las Naciones Unidas han mostrado gran preocupación por los contextos del envejecimiento de la población mundial y/o promover acciones que ayuden a esta población.

En este contexto, Colombia ha tenido un crecimiento poblacional que pasó de 4'355.470 habitantes (año 1905) a 42'090.502 (año 2005), de los cuales más del 6% (2'617.240) pertenecen a la población de adultos mayores. Aunque en las zonas rurales es donde se presenta la mayor tasa de fecundidad, el 75% de la población general, habita en las cabeceras municipales debido a las altas tasas de migración. El 63.12% de la población adulta mayor se ubica en Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Santander, Atlántico, Bolívar y Tolima, teniendo una mayor concentración en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla (Secretaría de Cultura Recreación y Deporte, 2015).

Teniendo en cuenta las cifras en las que se observa el incremento de la población adulta mayor en Colombia, se pensó en la movilidad de esta población, la cual tiene muchos inconvenientes a la hora de usar un transporte público y el transporte privado tiene inconvenientes como el tráfico diario, la reducción de la capacidad motriz, la contaminación ambiental y el incremento en los costos de los productos derivados del petróleo.

## **III. Resultados**

Con el fin de hacer uso de las energías no tradicionales para el triciclo, se realizó el diseño de un sistema de conversión de energía solar fotovoltaica a energía eléctrica, para esto se llevó a cabo un proceso de evaluación del recurso solar disponible el cual es de 4.14 kWh/m<sup>2</sup>/d.

En este sentido las ventajas de la elección de este convertidor se dan en dos posibles situaciones específicas. La primera de ellas se relaciona directamente con el modo en que se ahorra energía pues el cargar este tipo de dispositivo se da en un menor tiempo; por otro lado, la necesidad de convertir una mayor cantidad de energía solar a energía eléctrica es mucho más significativa que cualquier otro dispositivo.

Para el circuito de carga de baterías se realizó el diseño de un convertidor DC/DC tipo Boost estableciendo sus parámetros de salida en 54 V y 1 A, estos valores se toman teniendo en cuenta el

voltaje nominal de la batería (48V) y aumentándole aproximadamente un 15% para llegar así a los 54V para realizar la carga de esta.

Este es un circuito elevador de tensión, que usa las características del inductor y el capacitor como elementos almacenadores de energía para elevar la corriente proveniente de la fuente de alimentación y usarla para inyectarla al condensador, produciendo así niveles de voltaje mayores en la carga que los de la fuente.

Se escogió este tipo de convertidor ya que tiene ventajas como: la corriente de entrada es de forma de onda continua, lo que reduce el número de armónicos a la entrada; es relativamente fácil controlar ya que el transistor tiene el terminal “gate” conectado a tierra; el valor de la ganancia de voltaje varía de 1 a infinito, en tanto el valor del ciclo útil varíe de 0 a 1. Por otra parte, algunos convertidores como el sepic tiene desventajas como las grandes cantidades de corriente y voltaje en los semiconductores; la corriente sobre el MOSFET es muy alta comparada con la corriente de salida. En el tipo Push-pull, los transistores deben soportar una tensión igual a dos veces  $V \cdot I$ , aparte de esto la implementación es más compleja debido a que requiere componentes adicionales comparado con el Boost.

El interruptor en el esquema (ilustración 18), consiste de dos elementos: un elemento de conmutación rápida como un transistor BJT, un Mosfet o el más comúnmente usado el IGBT y el otro, un diodo con un tiempo de recuperación mucho menor que el periodo de la señal de control; la función de éste último, es impedir que la corriente de descarga del condensador se devuelva, ya que se desea que cuando la fuente se desconecta del condensador y de la resistencia de carga para almacenar energía en la bobina, se suministre corriente a la carga mediante la descarga del condensador. Cuando el transistor está en conducción (interruptor en 1), la inductancia almacena energía para luego suministrarla simultáneamente a la carga y al condensador a otro nivel de voltaje en los intervalos en los que el transistor esté en corte (interruptor en 2).

El interruptor en la posición 1 del circuito real (ilustración 19), indica que el transistor está en saturación, por lo que el ánodo del diodo queda cortocircuitado a tierra, con esto, el diodo queda en polarización inversa y por consiguiente no conduce comportándose como un interruptor abierto.

A continuación, se describen los aspectos más importantes del sistema usado para modelar el pulsador elevador, los parámetros y variables que se presentan en el sistema son:

Entrada: Se toma la señal  $u$  que define el tiempo de conducción del transistor y determina el voltaje de salida. En estado estable la relación entre el tiempo de conducción y el periodo del oscilador se denomina ciclo de trabajo ( $D$ ).

Salida: Es la señal de voltaje con la que se desea alimentar la carga y corresponde al voltaje en el condensador ( $v$ ), en régimen permanente este voltaje está dado por la ecuación ( $i$ ).

Perturbaciones: Los parámetros que pueden afectar en mayor medida el funcionamiento del circuito y por consiguiente el voltaje de salida, son la fuente de alimentación (E) y la resistencia de carga (R), puede que componentes del sistema real produzcan perturbaciones en menor grado, como el transistor y el diodo, ya que, dependiendo de las características de funcionamiento de estos elementos, efectos como la temperatura afecten su funcionamiento.

### ***Análisis con el interruptor en la posición 1***

En la ilustración 20 se muestra el circuito con el transistor en conducción, lo cual hace que la fuente solo alimente al inductor, mientras que el diodo entra en estado de no conducción y desacopla el circuito RC, obteniendo las ecuaciones (ii) y (iii)

### ***Análisis con el interruptor en la posición 2***

Este caso corresponde al transistor en corte o no conducción, el circuito resultante tiene dos mallas (Ilustración 21) representadas por las ecuaciones (iv) y (v)

### **Unificación del modelo**

Al considerar las ecuaciones (ii) y (iv), se observa que solo se diferencian en un término correspondiente al voltaje, de la misma forma las ecuaciones (iii) y (v) difieren solo en el término correspondiente a la corriente; basado en esto, es posible unificar el sistema adicionando un parámetro (u) que representa la posición del interruptor con  $u = 0$  cuando el interruptor está en la posición 1 y  $u = 1$  cuando está en la posición 2; con este parámetro las cuatro ecuaciones se unifican, y al despejar los términos para representar la ecuación de estado del sistema resulta la ecuación (vi).

Al tener un solo grupo de ecuaciones para modelar el circuito bajo cualquier condición de operación en el interruptor, las ecuaciones (ii) a (v) que son lineales, se transforman en ecuaciones no lineales debido a la multiplicación de las variables de estado con el parámetro u. De las ecuaciones (vi) se obtiene el modelo en variables de estado que corresponden a la corriente en la inductancia (i) y el voltaje en la carga (v), la entrada al sistema es el parámetro u que determina el nivel de voltaje de salida, debido a que controla el tiempo de conducción del transistor.

Con el circuito operando en régimen permanente. Las ecuaciones que definen los valores de L y C están definidas por la ecuación (viii), donde  $\Delta V_o$  es el rizado de voltaje de salida.

Los parámetros de entrada necesarios para los cálculos son la frecuencia de operación (f) y la resistencia que representa la carga (R); el valor del ciclo de trabajo (D) se determina con el valor de la fuente de alimentación disponible (E) y el voltaje deseado en la carga (V) con la ecuación (i). Debido a que el voltaje de alimentación proviene de un panel solar de 80W que entrega un voltaje entre 18.25 y 22 Voltios, se utilizara un regulador de tensión LM7815, para tener un voltaje de

entrada constante. El voltaje deseado es de 54 Voltios y haciendo uso de la ecuación (i), el ciclo útil de la señal PWM es de 72.2%

Basado en la potencia máxima del panel solar que es 80 Watts y en la eficiencia del elevador DC-DC que se está diseñando, la corriente máxima de salida será de 1.33A como se muestra en la ecuación (ix); teniendo la corriente procedemos a calcular la resistencia de carga por medio de la ley de ohm teniendo como resultado una resistencia de carga de  $40.5\Omega$

Para evitar que el sistema trabaje en un punto crítico, se usará una resistencia de  $40\Omega$ , dado que la corriente de carga para la batería de 48 Voltios será de 1A. El circuito podrá entregar dicha corriente sin mayores problemas.

Basados en las ecuaciones (viii) procedemos a calcular el valor del inductor y el capacitor se escogerá una frecuencia de 10KHz y un porcentaje de voltaje de rizado del 1%; con estos valores se obtiene que el valor de inductancia mínima debe ser de  $111.6\mu\text{H}$ ; sin embargo, como el valor comercial más cercano es de  $100\mu\text{H}$ , se procederá a elevar la frecuencia a un valor adecuado para este inductor quedando establecida en 11.6 KHz. Finalmente calculamos el valor del capacitor de filtrado para dicha frecuencia y teniendo como resultado que el valor del capacitor debe ser de  $155.6\mu\text{F}$ .

Se utilizará el valor comercial de 220 microfaradios a un voltaje de trabajo de 100V. Dado que estamos trabajando con una frecuencia relativamente baja, podemos hacer uso del popular circuito integrado NE555 y configurarlo en su forma astable, pero adicionando un circuito de control del ciclo de trabajo D para obtener a la salida una señal del tipo PWM que podemos ajustar por medio de un trimmer.

Basados en la hoja de datos del integrado LM555,  $R_a$  será ligeramente mayor al mínimo permitido, que para este caso es de  $5.6\text{K}\Omega$  para obtener la frecuencia deseada. Como la configuración será en modo PWM la frecuencia de salida será siempre la misma y el trimmer solo podrá variar el ancho de pulso de la señal. Se utilizará un trimmer de  $20\text{K}\Omega$ .

Basados en la formula (viii) el capacitor necesario para obtener una frecuencia cercana a 11.6KHz es de  $2.99\text{ nF}$ , pero como el valor comercial más cercano es de  $3\text{nF}$ . Con esto aseguramos que el sistema estará trabajando con parámetros cercanos a los calculados. En la ilustración 22, se muestra un diagrama esquemático del circuito

## IV. Conclusiones

En torno a la etapa de diseño, relacionada con la comparación de opciones de tipos de bicicleta, se seleccionó el triciclo, como el vehículo de apoyo apropiado, previo el análisis de sus características técnicas y operativas para satisfacer los objetivos propuestos en el prototipo. Este análisis comparativo implicó las siguientes actividades:

- En cuanto a los tipos de motores se compararon propiedades técnicas y se decidió por el motor cuyo fabricante es Golden Motor, constitutivo de características técnicas óptimas para facilitar el pedaleo, tal como quedó explícitamente expresado al interior del texto.
- En torno al tipo de panel se eligió una tecnología policristalina por su comportamiento óptimo en escenario de alta temperatura, que fue la opción seleccionada por el entorno donde se puso en marcha el prototipo.
- En lo relativo al almacenamiento de energía eléctrica, se decidió por la batería tipo LiFePO<sub>4</sub>, toda vez que esta permite regular la descarga de conformidad según las necesidades del usuario.

## V. Tablas y figuras

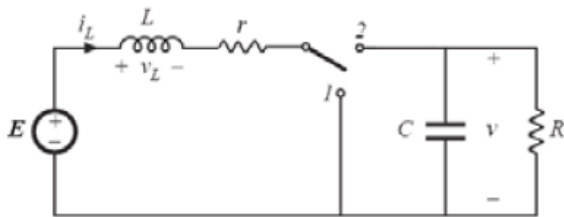


Ilustración 1. Circuito convertidor-elevador. Fuente: Autor

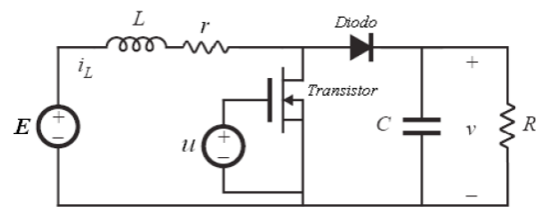


Ilustración 2. Convertidor real. Fuente: Autor

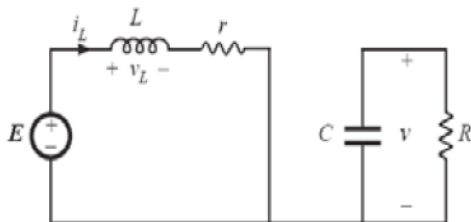


Ilustración 4. Circuito equivalente transistor en conducción

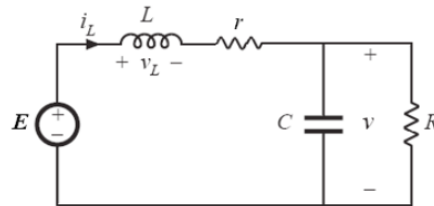


Ilustración 3. Circuito equivalente transistor en corte.

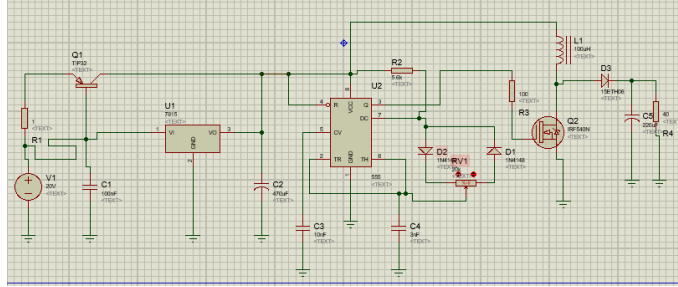


Ilustración 22. Elevador de voltaje. Fuente: Autor

## VI. Ecuaciones

$$v = \frac{E}{1 - D} \quad (i)$$

$$E = L \frac{di}{dt} + (i * r) \quad (ii)$$

$$C \frac{dv}{dt} = - \frac{v}{R} \quad (iii)$$

$$E = L \frac{di}{dt} + (i * r) + v \quad (iv)$$

$$i = C \frac{dv}{dt} + \frac{v}{r} \quad (v)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L} [E - (i * r) - (u * v)] ;$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{C} \left[ (u * i) + \frac{v}{R} \right] \quad (vi)$$

$$L_{min} = \frac{D(1 - D)^2 * R}{2 * f} \quad C$$

$$> \frac{D}{f * R * \Delta V_o} \quad (viii)$$

$$i = \frac{80 \text{ W}}{54 \text{ V}} * 0.9 \rightarrow i = 1.33 \text{ A} \quad (ix)$$

## VII. Referencias

Golden Motor. (30 de Agosto de 2013). Golden Motor. Obtenido de MagicPie Kit -- with built-in maintenance-free multi-voltage controller: <http://www.goldenmotor.com/magicpie/magicpie.html>

Macias, R. G. (2014). Freno regenerativo en automóviles para uso híbrido. Mexico DF, Mexico: UNAM.

Secretaria de Cultura Recreación y Deporte. (30 de Agosto de 2015). Alcaldia Mayor de Bogota. Obtenido de Crecimiento poblacional en Colombia: [www.culturarecreacionydeporte.gov.co/](http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/)

Technosun. (15 de Diciembre de 2011). Technosun. Obtenido de Technosun en español: <http://blog.technosun.com/?p=5469>