



PROYECTO DE DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA BICICLETAS CON PEDALEO ASISTIDO

Diana Sofía Mendoza, Javier Solano, Óscar Quiroga

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

Este trabajo presenta resultados parciales de un proyecto de investigación enfocado en el diseño, implementación y evaluación de un sistema de asistencia eléctrica para bicicletas con pedaleo asistido. Se presentan los desafíos técnicos del proyecto, como la autonomía y la vida útil de las baterías, el diseño del convertidor de potencia y el sistema de control de las bicicletas. Se presentan las etapas propuestas del proyecto y también los resultados que se han obtenido por cada etapa ya ejecutada por el Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) de la Universidad Industrial de Santander.

Palabras clave: movilidad eléctrica; bicicletas con pedaleo asistido; gestión de energía; sistemas de control; baterías

Abstract

This work presents partial results of a research project focused on the design, implementation, and evaluation of an electric assistance system for assisted pedaling bicycles. The technical challenges of the project are presented, such as the autonomy and the useful life of the batteries, the design of the power converter and the control system of the bicycles. The proposed stages of the project are presented as well as the results that have been obtained for each stage already executed by the Research Group on Electric Power Systems (GISEL) of the Universidad Industrial de Santander.

Keywords: *electric mobility; assisted pedaling bikes; energy management; control systems; batteries*

1. Introducción

Los sistemas de transporte representan más de una cuarta parte de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, y cerca del 80% provienen del transporte terrestre (McBain, et al., 2018). Los vehículos eléctricos parecieran ser una de las soluciones para mitigar este problema. Sin embargo, la huella de carbono provocada por estos depende fuertemente de la matriz energética y el modo de abastecimiento de la energía en la región. Múltiples investigaciones sugieren que esta huella no es significativamente más baja que la de los vehículos convencionales (Sarlioglu, et al., 2017). En este contexto, las bicicletas eléctricas (BE) toman relevancia por ser ambientalmente superiores a cualquier otro medio de transporte motorizado (Ji, et al., 2012).

Las BE permiten reducir tanto la contaminación ambiental como la congestión vehicular en zonas densamente pobladas. Adicionalmente, combinan la simpleza de la bicicleta y las ventajas de la tracción eléctrica en un vehículo unipersonal sencillo, liviano y eficiente. ¿Pero tiene una bicicleta eléctrica la potencialidad de reemplazar el uso de vehículos convencionales? En general, los resultados de los estudios disponibles indican que el medio de transporte sustituido depende en gran medida del contexto local y, en particular, de las alternativas de transporte previamente disponibles (Fyhri, et al., 2015)

La normativa vigente en Colombia y en otros países no permite utilizar BE operadas en modo eléctrico puro (R160-2017MTC). Estas normas contemplan que las bicicletas se accionen por sistemas de asistencia al pedaleo, donde el usuario siempre debe pedalear para impulsar la bicicleta (Bicicletas con pedaleo asistido –BPA), y el sistema de asistencia eléctrica al pedaleo -SAE contribuye con una cantidad determinada de potencia adicional.

El proyecto está enfocado en tres de los desafíos técnicos que conlleva el desarrollo de una BPA:

- La autonomía, la vida útil y el precio dependen principalmente del tipo de batería utilizada.
- Los convertidores de potencia disponibles en el mercado no permiten flujo bidireccional de energía (frenado regenerativo). Sin embargo, en ciudades con topografía pronunciada como Bucaramanga el potencial de recuperación de energía de frenado podría ser interesante para pensar en la implementación de estos.
- La asistencia eléctrica debe cumplir con lo estipulado en la R160-2017MTC “Dicha potencia deberá disminuir progresivamente conforme se aumente la velocidad del vehículo y se suspenderá cuando el conductor deje de pedalear o el vehículo alcance una velocidad de 25km/h”.



2. Antecedentes de bicicletas de pedaleo asistido en Colombia

En nuestro país se comienza a reglamentar el uso y comercialización de las bicicletas eléctricas. La ley 1811 del 21 de octubre de 2016 tiene por objeto incentivar el uso de la bicicleta como medio principal de transporte en todo el territorio nacional; incrementar el número de viajes en bicicleta, avanzar en la mitigación de impacto ambiental que produce el tránsito automotor y mejorar la movilidad urbana. Entre los incentivos que se promueven con esta ley se incluyen entre otros, pasajes de servicio público gratuitos para biciusuarios, días compensatorios para funcionarios públicos que usen la bicicleta como medio de transporte y se establecen beneficios para estudiantes biciusuarios, motivando a las instituciones de educación a implementar programas de movilidad sostenible en donde se promueva el uso de la bicicleta. Diversas políticas y programas se llevan a cabo actualmente en la ciudad de Bucaramanga para impulsar el uso de la bicicleta y particularmente se observa un liderazgo por parte de la Universidad Industrial de Santander. Surge entonces la pregunta ¿Qué otros programas deben ser implementados en las ciudades y universidades para incrementar el número de biciusuarios?

Desde hace algunos años, se comercializan kits importados, generalmente desde China, que permiten convertir una bicicleta común en una bicicleta eléctrica BE. Estos kits están compuestos por un motor eléctrico, un controlador de potencia, una batería y accesorios como acelerador de manija, indicador de carga o cargador. La normativa vigente en Colombia y en otros países no permite utilizar este tipo de BE operadas en modo eléctrico puro (R160-2017MTC, IRAM 60020 en Argentina). Estas normas contemplan que las bicicletas se accionen por sistemas de asistencia al pedaleo, donde el usuario siempre debe pedalear para impulsar la bicicleta (Bicicletas con pedaleo asistido –BPA), y el sistema de asistencia eléctrica al pedaleo -SAE contribuye con una cantidad determinada de potencia adicional.

Varias empresas en el país (Bicielectron, Binci, Auteco, entre otras) ofrecen también la posibilidad de adquirir BPA que cumplen con las normativas, ensambladas y listas para ser usadas. Sin embargo, los controladores empleados por estas bicicletas no permiten implementar el frenado regenerativo. El sistema de almacenamientos de estas bicicletas únicamente cuenta con baterías, sin posibilidad de incluir bancos de supercondensadores que permitirían aumentar la vida útil de las baterías y el rendimiento global de la BPA.

3. Desarrollo de un sistema de asistencia eléctrica

El diseño de una fuente eléctrica para BPA consta entre otras etapas, del dimensionado -cálculo de los elementos y capacidades del sistema para suministrar de modo fiable energía eléctrica-. En una BPA, el dimensionado se enfoca en determinar la capacidad de la batería eléctrica para que la bicicleta pueda funcionar con una autonomía en particular. El consumo de energía depende de las fuerzas que se oponen al movimiento de la bicicleta, como la fuerza de fricción, las fuerzas aerodinámicas y la fuerza para subir un terreno inclinado que depende de la gravedad y el ángulo de inclinación. Por lo anterior, la autonomía de una bicicleta en una ciudad montañosa no será la misma que en una ciudad plana. Por tal motivo se debe caracterizar el área donde la bicicleta va a ser utilizada para poder definir la autonomía para una batería en particular o dimensionar la



batería para una autonomía definida (Silva, et al., 2018). La figura 1 presenta un resumen de la propuesta de desarrollo de un sistema de asistencia eléctrica para BPA.

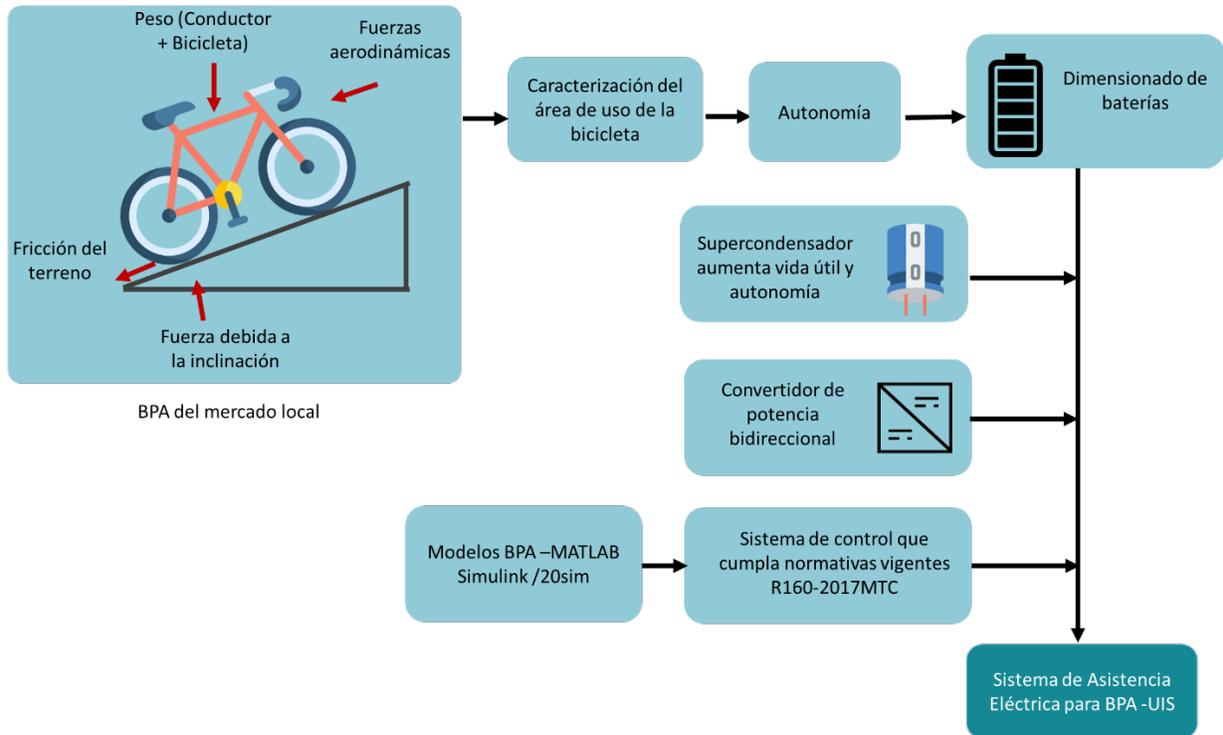


Figura 1. Propuesta de desarrollo de un sistema de asistencia eléctrica para BPA

El uso de supercondensadores permitiría, de un lado aumentar la vida útil de la batería, y de otro, aumentar la autonomía del sistema de almacenamiento (Kai, et al., 2017). Respecto al convertidor de potencia, se tiene interés en la implementación de convertidores bidireccionales que permitan la recarga de las baterías (y los supercondensadores) mediante un sistema de frenado regenerativo. Algunas propuestas para estos se encuentran en la literatura (Lin, et al., 2010). Respecto al sistema de control de asistencia al pedaleo, se encuentran diversos trabajos que intentan resolver este problema (Mira, 2016) (Aligia, et al., 2017). Las estrategias de asistencia al pedaleo adicionan la dificultad en que se debe conocer la potencia de pedaleo ejercida por el conductor de la BPA. Se deben investigar técnicas para la estimación de esta potencia, ya que los sensores disponibles comercialmente presentan un costo bastante elevado (Sankaranarayanan, et al., 2015)

Respecto a los modelos de simulación, esta propuesta utilizará la Representación Energética Macroscópica y su implementación en software como Matlab Simulink o 20sim, que permitirá capitalizar resultados de trabajos precedentes realizados por investigadores del grupo GISEL (Aparicio et al., 2017), (Solano et al., 2016), (Solano et al., 2014), (Mendoza et al., 2019).



4. Metodología

El desarrollo del proyecto contempla las siguientes etapas

- a) **Dimensionamiento de la batería:** Se partirá de los métodos disponibles para realizar el dimensionamiento que existen actualmente. También se definirán los perfiles (topografía, velocidad, frecuencia) para el funcionamiento de bicicletas con pedaleo asistido en el contexto Universidad Industrial de Santander. Se realizará la instrumentación de 3 diferentes BPA disponibles en el mercado local mediante ciclo-computadores que adquieran información proveniente de sensores de cadencia, de velocidad, GPS y de potenciómetros, entre otros. Finalmente se realizará la Caracterización de la autonomía de las BPA teniendo en cuenta la información obtenida con las BPA instrumentadas en los perfiles definidos anteriormente.
- b) **Convertidor de potencia:** en esta etapa consiste en el diseño, implementación, evaluación y construcción de un convertidor de potencia para alimentar un motor de corriente continua de imanes permanentes 350 W, alimentado por fuente de tensión continua. Las evaluaciones se realizarán mediante la simulación del convertidor alimentado por una batería iones de litio y por una fuente híbrida batería-supercondensador. Se realizará también la simulación experimental del prototipo.
- c) **Sistema de control de la asistencia eléctrica:** en esta etapa es necesario diseñar un método para la estimación de la potencia de pedaleo proporcionado por el usuario. Esta será una entrada al sistema un sistema de control. La asistencia eléctrica, debe permitir la selección de múltiples niveles de asistencia y ser compatible con la definición legal de BPA. Después de evaluarse mediante simulación se procederá a la implementación y evaluación experimental.
- d) **Evaluación por simulación:** aquí es necesaria la implementación de un modelo de simulación electromecánico de la BPA en conjunto con del sistema de control en Matlab Simulink presentado en la etapa 3. La evaluación del SAE de la BPA se hará utilizando perfiles obtenidos experimentalmente.
- e) **Evaluación experimental:** en esta etapa se implementará una plataforma de ensayo para la evaluación del SAE en condiciones controladas. Para esto se utilizará un sistema de entrenamiento por rodillos adaptados a una de las bicicletas adquiridas.
- f) **Valorización de resultados:** los resultados obtenidos en las tres primeras etapas se valorizarán por medio de artículos en conferencias internacionales (e.g. IEEE Vehicular Power and Propulsion). Los resultados globales se valorizarán por medio de un artículo en revista (e.g. IEEE Transactions on Vehicular Technology)

5. Avances del proyecto

- a) **Adquisición de 3 BPA del mercado local:** en el marco de este proyecto se han adquirido tres bicicletas de la marca Auteco. Dos de las tres bicicletas tienen el mismo modelo, todas baterías Ion-Litio con una capacidad de 36V10Ah. Se han realizado diferentes recorridos con el objetivo de caracterizar la autonomía en el área de uso. En este caso, en la Sede Guatiguará de Universidad Industrial de Santander en Piedecuesta y sus



alrededores. Como se puede observar, esta zona es interesante debido a que existe un desnivel considerable. Para cada bicicleta se obtiene un perfil de desnivel y de velocidad por recorrido, como se puede observar en la figura 3.



Figura 2. a) BPA Auteco. b) Recorrido para caracterización de autonomía

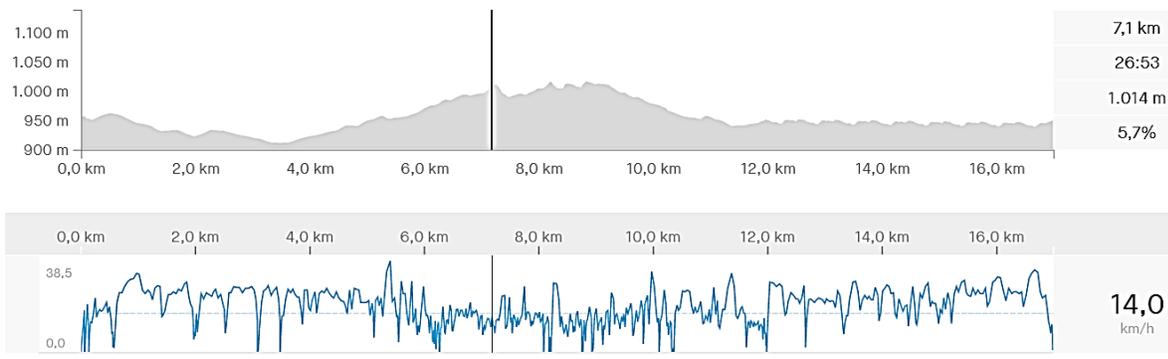


Figura 3. Perfil de desnivel y velocidad obtenido para un recorrido.

- b) Adquisición de repuestos de las BPA:** Se han adquirido dos motores y dos baterías, uno por cada modelo de bicicleta, con el objetivo de realizar pruebas de laboratorio para caracterización de estos elementos, y obtención de parámetros necesarios para la simulación.
- c) Recopilación y prueba de modelos base de bicicletas desarrollados por GISEL:** Los trabajos desarrollados por algunos estudiantes son la base para adecuar el nuevo modelo de BPA. Los modelos recopilados en Matlab- Simulink se han probado y funcionan adecuadamente. Aquí se presentan algunas de las variables medidas del modelo.



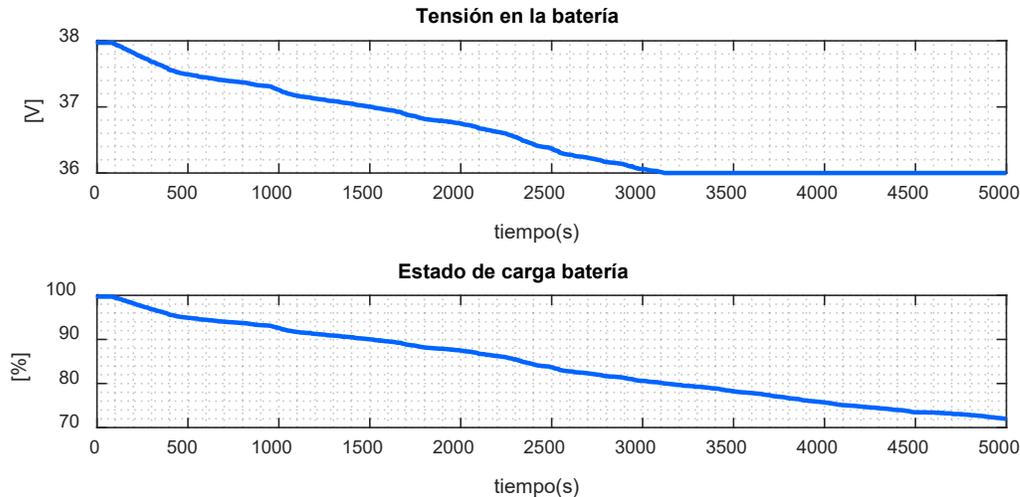


Figura 4. Corroboración de funcionamiento de modelos base de BPA en Matlab-Simulink.

6. Conclusión

Este trabajo presenta un proyecto de investigación enfocado en el diseño, implementación y evaluación de un sistema de asistencia eléctrica para bicicletas con pedaleo asistido de Universidad Industrial de Santander y algunos resultados parciales de su ejecución en curso.

7. Referencias

- Fyhri and N. Fearnley, "Effects of e-bikes on bicycle use and mode share," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 36, pp. 45–52, 2015.
- McBain, M. Lenzen, G. Albrecht, and M. Wackernagel, "Reducing the ecological footprint of urban cars," *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 12, no. 2, pp. 117–127, 2018
- Sarlioglu, C. T. Morris, D. Han, and S. Li, "Driving toward accessibility: A review of technological improvements for electric machines, power electronics, and batteries for electric and hybrid vehicles," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 23, no. 1, pp. 14–25, Jan 2017
- Aparicio, L. Ospino, J. Solano, "Simulation of an EV-HEV charging station for multichemistry batteries using Energetic Macroscopic Representation (REM)", *Simposio Internacional sobre Calidad de la Energia Electrica SICEL 2017*, Bucaramanga, Colombia, Noviembre 2017.
- A. Aligia, G. A. Magallan, and C. H. De Angelo, "EV Traction Control Based on Nonlinear Observers Considering Longitudinal and Lateral Tire Forces," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2017.
- D. Mendoza, P. Acevedo, S. Jaimes and J. Solano. Energy Management of a dual-mode locomotive based on the energy sources characteristics, *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Hanoi, Vietnam, Oct. 2019.
- J. Solano, A. Jacome, L. Boulon " Modelling and simulation of an electric bicycles charging station based on renewable energy," *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Hangzhou, China, 17-20 Oct. 2016.
- J. Solano, D. Hissel and M-C. Péra. "Energy management of an hybrid electric vehicle in degraded operation," *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Coimbra, Portugal, Oct. 2014. Best paper award.



- L. Silva and J. Solano, "Energy-Based Model for Simulating and Control the Traction System of Electric Bikes" , 26° CONGRESO ARGENTINO DE CONTROL AUTOMÁTICO. AADECA 2018, Buenos Aires, Argentina, Noviembre 2018.
- Lin, C. H., Liu, H. W., & Wang, C. M. (2010, June). Design and implementation of a bi-directional power converter for electric bike with charging feature. In 2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (pp. 538-543). IEEE.
- M. E. T. MIRA, "Environmental evaluation and effectiveness of electric-assist bicycle for a local transportation," 2016.
- V. Sankaranarayanan and S. Ravichandran, "Torque sensorless control of a human-electric hybrid bicycle," in Industrial Instrumentation and Control (IIC), 2015 International Conference on, 2015, pp. 806-810.
- S. Ji, C. R. Cherry, M. J. Bechle, Y. Wu, and J. D. Marshall, "Electric vehicles in china: missions and health impacts," Environmental science & technology, vol. 46, no. 4, pp. 2018–2024, 2012.
- Z. Kai and Y. Dejun, "A control approach adaptive to load and road slope for electric power assisted bicycle," in Control Conference (CCC), 2017 36th Chinese, 2017, pp. 3414-3418

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

