

MODELADO MATEMÁTICO DE SISTEMAS ELECTROMECÁNICOS: UN AMBIENTE DE APRENDIZAJE EN GENERACI3N ENERGÉTICA PARA VEHÍCULOS TIPO SCOOTER

MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS: A LEARNING ENVIRONMENT IN ENERGY GENERATION FOR SCOOTER TYPE VEHICLES

Harold Vacca-González¹, Jeisson Ricardo Morales Coronel², Roberto Ferro-Escobar³

Resumen

Se ha estimado que para el año 2035 el transporte público llegará a ocupar un 40% en la emisi3n de gases efecto invernadero en comparaci3n con el año 2011 (donde ésta obtuvo un 22%, cifra que super3 al sector industrial que ocup3 un 21% y un 42% el sector de generaci3n de energía eléctrica, segú la Agencia Internacional de Energía). Recientes investigaciones en Latinoaméri, además, han indicado que, ante el alto crecimiento esperado de vehículos ligeros, el aumento del rendimiento vehicular es el esquema de mitigaci3n que puede ahorrar energía en niveles cercanos al 47 % en aplicaciones aisladas. Por lo anterior, el presente trabajo est3 orientado hacia el modelamiento de sistemas electromecánicos de manera que favorezca un ambiente de aprendizaje de generaci3n y almacenamiento de energía eléctrica a través de fuentes de energía renovable y la consecuente optimizaci3n de los tiempos en los recorridos para usuarios de transporte terrestre. El producto final de la secuencia se concreta en un prototipo generador que aprovecha la energía cinética producida por sistemas alternativos de movilidad individual como el patinete eléctrico tipo Scooter. La funci3n del dispositivo, es incrementar la autonomí y vida útil de las baterías que energizan el vehículo, al evitar que se ejecuten ciclos completos de carga y descarga sin depender de la red eléctrica doméstica; y en el caso de la bicicleta, optimizar el almacenamiento de la energía en un banco de baterías a través de una configuraci3n alternativa de salidas de voltaje, aprovechando un remanente que el usuario puede usar en dispositivos externos.

Palabras clave: Autosostenibilidad, Energía renovable, Innovaci3n, Movilidad, Vehículo tipo Scooter, Tecnología amigable

¹ BSc. In Licensed in Mathematics, Universidad Francisco Jose de Caldas, Colombia. MSc. In Mathematics Applied. Current position: Professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. E-mail: hvacca@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7017-0070>

² Electronic Technologist (c), Universidad Francisco José de Caldas, Colombia. Current position: EUREKA research hotbed, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Email: jrmoralesc@udistrital.edu.co; ORCID:<https://orcid.org/0009-0007-0109-5223>

³ BSc. In Electronic Engineering, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. PhD. In Informatics Engineering, Universidad Pontificia de Salamanca campus Madrid, España. Professro Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. E.mail: rferro@udistrital.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8978-538X>

Abstract

It has been estimated that by 2035, public transportation will account for 40% of greenhouse gas emissions compared to 2011 (where it accounted for 22%, a figure that surpassed the industrial sector, which used 21% and 42% the electricity generation sector, according to the International Energy Agency). Recent research in Latin America has also indicated that, given the expected high growth of light vehicles, increasing vehicle performance is the mitigation scheme that can save energy at levels close to 47% in isolated applications. Therefore, the present work is oriented towards the modeling of electromechanical systems in a way that favors a learning environment for the generation and storage of electrical energy through renewable energy sources and the consequent optimization of travel times for users of ground transportation. The final product of the sequence takes shape in a generator prototype that takes advantage of the kinetic energy produced by alternative individual mobility systems such as the Scooter-type electric scooter. The function of the device is to increase the autonomy and useful life of the batteries that power the vehicle, by preventing complete charge and discharge cycles from being carried out without depending on the domestic electrical network; and in the case of the bicycle, optimize the storage of energy in a battery bank through an alternative configuration of voltage outputs, taking advantage of a remainder that the user can use in external devices.

Keywords: Self-sustainability, Renewable energy, Innovation, mobility, Scooter Vehicle, Friendly technology

1. Introducción

Históricamente, cuando se examina el origen y evolución de la máquina eléctrica, hay que remontarse hacia los 800 AC a la ciudad de Magnesia, ubicada al este de Grecia, donde se descubren las propiedades de piedras como el ámbar (imanes) - denominadas en aquel momento magnetitas en honor al pastor Magnes quien observó la atracción de pequeños trozos de metal hacia ellas-. Posteriormente, ya en el siglo XIII, se evidencia en una carta enviada por el ingeniero francés Pierre Pèlerin de Maricourt a un desconocido amigo suyo en alguna ciudad francesa, la existencia y descripción de unas esferas a las que denominó *terellas*, a través de las que logra identificar los polos hacia donde se orientaban unas agujas magnéticas diseñadas para el efecto.

Según Rafael López Valverde (2001), estos primeros descubrimientos anteceden las formalizaciones y generalizaciones que el físico británico Michael Faraday desarrollaría a partir de sus primeros experimentos con la electricidad en 1821 y que le condujeron a descubrir el campo magnético que se forma alrededor de un conductor eléctrico de cobre. Esta descripción ordenada del fenómeno, el de las corrientes inducidas, daría lugar a la creación del primer motor eléctrico en 1830, trabajo que luego postularía en 1832 ante la *Philosophical Transactions* de la Royal Society con el título de *Experimental Researches in Electricity*. Así, se daría la evolución y formalización del concepto primario de lo que hoy se conoce como fuente electromotriz (F.E.M.), y el de la F.E.M. inducida

De otro lado, y en el mismo sentido tecnocientífico, el de las metodologías adoptadas en la Ciencia o en sus grandes disciplinas o campos de conocimiento –por ejemplo, la Electrónica-, se ha considerado la ejecución de un proyecto tecnológico de manera ascendente: desde lo más básico a lo más complejo. En la Electrónica aplicada esto resulta plausible en tanto se sigan, como en las matemáticas, de manera consistente, coherente e independiente, elementos emergidos de un modelo que orienta las fases de tal proyecto a lo largo de su desarrollo. Como lo indica la historia, esta metodología para investigaciones de carácter aplicado no ha sido lineal; es decir, los conceptos y procedimientos en sus orígenes no siguieron un estricto orden epistemológico como lo establece la academia en el ámbito formativo: en Electrónica, por ejemplo, primero se descubrió el principio del equivalente de corriente de Norton y luego el del equivalente de voltaje Thevenin; y, en Matemática, primero se estableció la idea de la integral y luego la de la derivada.

En esa vía, la presente investigación parte de un concepto esencial encontrado en la fase exploratoria donde se asume un principio de funcionamiento: la generación de energía limpia se da a través del acoplamiento de turbinas eólicas que aprovechan la cinemática producida por una bicicleta y una motocicleta pero cuyo sistema de almacenamiento no resulta estable: solo aprovecha la energía generada en el momento de la transición vehículo-máquina para utilizarla en la carga de dispositivos móviles (Smartphone) con ambos vehículos en marcha, como lo indica Sanchez-Mestra, Salas-Alvarez y Gironza (2021). La idea mencionada se concreta en un dispositivo generador de energía para un vehículo tipo scooter basado en el desarrollo de un sistema inductivo que usa semiconductores y materiales reciclados,

El documento se estructura así: inicialmente se establece un estado del arte sobre dispositivos de generación y almacenamiento en sistemas de transporte autónomo; luego se considera un modelo matemático del sistema electromecánico; posteriormente se describe los elementos del ambiente de aprendizaje; inmediatamente se exhiben los resultados en términos de carga, gestión, periféricos adicionales y visualización; finalmente, se establecen las conclusiones y perspectivas de investigación.

2. Estado del Arte

El alternador, o generador eléctrico, es una configuración avanzada del elemento pasivo inductor o bobina; en tal tránsito, ya no es un elemento pasivo sino una máquina eléctrica. Se encuentra en diferentes aplicaciones: en la industria automotriz, por ejemplo, reemplazó al dínamo hacia 1970.

En esa idea, a partir de la Energía Mecánica generar Energía Eléctrica, la primera impulsada por una batería que una vez recargada mantiene estable el voltaje de todo un

circuito; el alternador tradicional se compone por dos elementos: los polos magnéticos (campo magnético estacionario) y un inducido formado por hilos que giran (conductor). Partiendo de este principio de funcionamiento se derivan medios de transporte alternativos que lo usan para estabilizar la componente eléctrica.

El monociclo eléctrico, actual solución de transporte, en realidad es un derivado de la bicicleta eléctrica inventada en 1985 en Ohio, EEUU; pero que se mantuvo como prototipo hasta 1922 cuando se produce masivamente en Alemania y EEUU como el primer Scooter manillar plegable, recibiendo el nombre de Skoomota (scooter de pie). No se acomoda, como se sabe, a las expectativas del consumidor ya que se confió más en el mismo dispositivo pero trabajando con un combustible fósil, gasolina; y producido en masa por el Reino Unido, Alemania y EEUU, como lo refiere Britannica Moderna (2020).

2.1. Alternador para el scooter

Al tomar como punto de partida el parámetro de potencia que exige el motor, se requiere un diseño de la maquina eléctrica con características particulares de fabricación. En términos del alternador, su bobina rotor recibe corriente de la batería; y una vez arrancado el motor, el regulador se autoalimenta con la energía que produce el propio alternador. El regulador de corriente se somete a una regla de control que indica que si la resistencia del circuito alimentado por el alternador es demasiado baja, la intensidad de la corriente se hace excesiva llegando a quemar el inducido. Para controlar esto, se intercala en el circuito de carga un disyuntor. El regulador de voltaje, en tanto, se somete a una regla de control la cual indica que si la resistencia del circuito es alta y el voltaje es alto, así también el voltaje será demasiado alto para el alternador; esto podrá causar averías en el circuito de campo y en el circuito de carga. Por otro lado, el alternador no puede regular por sí mismo la tensión de la corriente que produce, por estos motivos se equipa con un regulador de corriente intercalado, como lo indican González Sierra, Valcárcel-Montañez, y Torres- Sánchez (2011).

2.2. Batería ion-litio

El funcionamiento de las baterías ion-litio recargables o secundarias se basan en procesos denominados de inserción-desinserción de iones de litio (Li+). Las reacciones son en estado sólido entre dos compuestos de inserción como electrodos. Uno de los

compuestos es denominado huésped (M) -de naturaleza iónica-, y reacciona ocupando lugares vacantes en la estructura de otra especie denominada anfitrión (A). Estas reacciones pueden ocurrir en forma reversible. En las baterías primarias de litio, el electrodo negativo está constituido por el litio metálico y el electrodo positivo, por un compuesto que actúa como anfitrión durante la reacción de inserción. El electrolito puede ser una disolución de sal de litio en un solvente no acuoso. El litio al ser el metal más liviano, con un potencial estándar de reducción de -3.04 voltios, tiene mayor potencial electroquímico; por el valor tan grande negativo de su potencial de reducción le proporciona una inestabilidad termodinámica en disolventes protónicos como el agua, o en ambientes con aire húmedo que reacciona muy fácilmente, limitando el uso o construcción de baterías de litio en electrolitos no acuosos.

En las figuras 1 y 2, Fonseca (2011), puede apreciarse el comportamiento químico que tiene los electrodos uno de ellos polarizado dentro de la batería de litio.

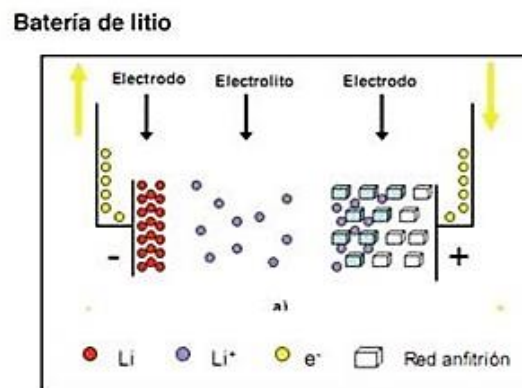


Figura 1. Funcionamiento de una batería de litio metálico como electrodo, Fonseca (2011).

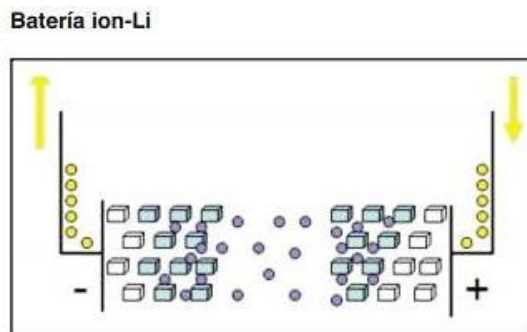


Figura 2. Funcionamiento de la batería ion-litio. Fonseca (2011).

2.3. Control de velocidad en sistemas de transporte autónomo

2.3.1. Velocímetro digital controlado por microchip

Teniendo en cuenta que el dispositivo a implementar ejecuta su acción en un vehículo, es indispensable para el usuario visualizar en un tablero de control la velocidad a la que se desplaza y poder dominar su variación. La aceleración se define como la razón entre el cambio de velocidad y el intervalo en el cual esta ocurre. Es decir, mide que tan rápidos son los cambios de velocidad de un objeto. La aceleración es una cantidad vectorial, es decir, tiene una magnitud que define su tamaño y una dirección que define hacia adónde apunta dicha aceleración; es por eso que se puede decir que:

- Una aceleración grande significa que la velocidad cambia rápidamente.
- Una aceleración pequeña significa que la velocidad cambia lentamente.
- Una aceleración cero significa que la velocidad es constante.

Las técnicas convencionales para detectar y medir aceleraciones se basan en el principio descubierto por Isaac Newton y que se sintetiza en el principio que estableció hacia 1687. Este principio, conocido como la segunda ley de Newton, indica que la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo. Una forma más rigurosa y clara la da su expresión matemática que relaciona tres magnitudes como son fuerza, masa y aceleración (esta última será fundamental y a partir de ella se realizará todo el estudio que compete en la parte del control de velocidad), Bouziane (2009).

2.3.2. Sensor encoder

Un encoder se compone de un disco conectado a un eje giratorio; este puede estar fabricado de vidrio o plástico y se modifica combinando zonas transparentes y opacas que bloquean el paso de la luz y por ende evita que haya corriente en la base del transistor de salida

Los encoders son componentes que se añaden a un motor de corriente continua para convertir el movimiento mecánico en pulsos digitales que puedan ser interpretados por el sistema de electrónica de control integrado. El objetivo principal de este tipo de sensores es el de transformar información de un formato a otro, con el propósito de estandarización, adecuación de la velocidad o control de la seguridad, indicado en 2020 por Contell; y Aguar.

3. Metodología

En la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con la motivación de reconocer el asunto Tecnológico como importante para la modernización productiva y ocupacional del país posterior a la pandemia , y considerando la enseñanza como una estrategia de flexibilización de oportunidades y metodologías de aprendizaje en aras de lograr una mayor equidad social en la educación superior; concibió sus programas de formación como el primer ciclo en la formación de un ingeniero altamente especializado, orientado hacia la práctica, adaptación y mejoramiento de tecnologías.

Desde entonces, se ha trabajado por estructurar ambientes de aprendizaje tecnológicos (ADATs), (Andrade L., 1996), donde se precisa que los objetivos de la educación en tecnología implican la formación en tres aspectos, primero: Un ciudadano alfabetizado tecnológicamente, es decir un usuario culto de tecnología en tres dimensiones. La primera, buscando: Manejo reflexivo de medios técnicos (artefactos y máquinas) que, aunque “amigables” al usuario deben ser utilizadas adecuadamente en términos de eficiencia y eficacia; Capacidad para controlar dispositivos tecnológicos en circunstancias específicas de toma de decisiones; Tendencia a innovar tecnología bajo los niveles educativos superiores en forma continua y crítica de manera que se abra paso en medio de la amplitud selectiva de opinión. La segunda, buscando el desarrollo de competencias (utilización de conceptos en entornos diferentes donde fueron aprendidos) traducidas en logros de aprendizaje tales como: Capacidad para identificar, acceder y mantener fuentes de información; Capacidad para formular problemas; Capacidad para desarrollar y presentar propuestas de solución; Capacidades técnicas; Capacidad de hacia la autoformación como signo distintivo de madurez personal. La tercera, la revalidación del espacio universitario en un ambiente de aprendizaje (compuesto por agentes determinados) entendido como un entorno delimitado, estructurado y flexible en el cual ocurren ciertas relaciones de trabajo escolar, (Andrade L., 1996).

Delimitado, pues se definen concretamente los contenidos, su complejidad, e indicadores de competencias. Estructurado, ya que corresponde a una organización conceptual a la manera que lo propone (Novak, J. & Gowin, Bob, 1988) efectuando la planeación de actividades cíclicamente. Y, por último, flexible ya que existe la posibilidad de novedosas formas de adquirir competencias y posibilitar autonomía de control.

Así, la realización de un trabajo de naturaleza interdisciplinario es apremiante y tal sentido colaborativo se busca implementar desde la concepción de las actividades y sus plataformas. En este caso, los Proyectos transversales en Tecnología electrónica utilizados para la Enseñanza-Aprendizaje de la Matemática, asumen la transición de la “enseñanza” de conceptos en forma eficiente y con sentido; hacia la comprensión del “aprendizaje” de los mismos, y particularmente de conceptos Matemáticos y su aprendizaje vistos como una construcción de redes de representación internas en la mente del estudiante, conectadas y estructuradas de diversas formas. Tales concepciones (representaciones internas de una misma idea) contienen información factual, conceptual y procedimental, (Gómez, Pedro, 1997).

Gascón J. (1995) indicaba que las experiencias en la Universidad autónoma de Barcelona develaban paradigmas que aparecen frecuentemente en la práctica docente real de tipo constructivista adicionado con el de los “momentos didácticos”. El paradigma constructivista, incluye las tendencias que utilizan la resolución de problemas con el objetivo de que los alumnos puedan “construir” nuevos conocimientos; y en ello toma importancia capital la “situación problema”; esta se entiende cuando:

- El alumno ha de poder introducirse en la resolución del problema y ha de poder considerar lo que es una solución posible.
- Los conocimientos del alumno han de ser en principio, insuficientes para resolver el problema.
- La “situación problema” ha de permitir al alumno decidir si una situación determinada es correcta o no.
- El conocimiento que se desea que el alumno adquiera (“construya”) ha de ser la herramienta más adecuada para resolver el problema a nivel de conocimientos del alumno.
- El problema se ha de poder formular en diferentes “cuadros” (por ejemplo, cuadro físico, geométrico, algebraico) entre los que han de poderse establecer correspondencias.

En tanto, el paradigma de los “momentos didácticos”, expuesto por Chevallard en 1992, fue un proyecto donde se estableció que:

- Todo problema de matemáticas es el punto de partida de un campo de problemas. Estos se agrupan en función de las técnicas matemáticas que se pueden utilizar para estudiarlos.
- Este proceso de estudio de campos de problemas se lleva a cabo mediante la utilización y producción de técnicas de estudio (desarrollo interno de las técnicas), que provoca en el estudiante necesidades teóricas. Es decir, la referencia obligada a modelos matemáticos amplios en los que se interpreten y justifiquen las nuevas técnicas. Surgiendo entonces una relación funcional entre dos momentos de la actividad matemática que es inesperada: del momento de la técnica al momento teórico.
- Toda actividad matemática puede ser interpretada como un proceso de estudio de campos de problemas, recursivo en donde una cierta práctica matemática se le asocia una teoría.

En últimas, enseñar matemáticas consistiría en hacer que el alumno sea capaz de estudiar ciertos campos de problemas de manera autónoma, es decir posibilitar que el alumno llegue a dominar e incluso a producir (de acuerdo con el nivel en que se encuentre), técnicas de estudio de ciertos campos de problemas. Poniéndose de manifiesto que cualquier cambio en la enseñanza de las matemáticas (inspirado en un nuevo currículo) ha de estar fundamentado en una investigación didáctica a la vez “teórica” y experimental, luego por defecto, el trabajo de ingeniería en didáctica de las matemáticas presupone un modelo, tanto del saber matemático como del propio sistema de enseñanza.

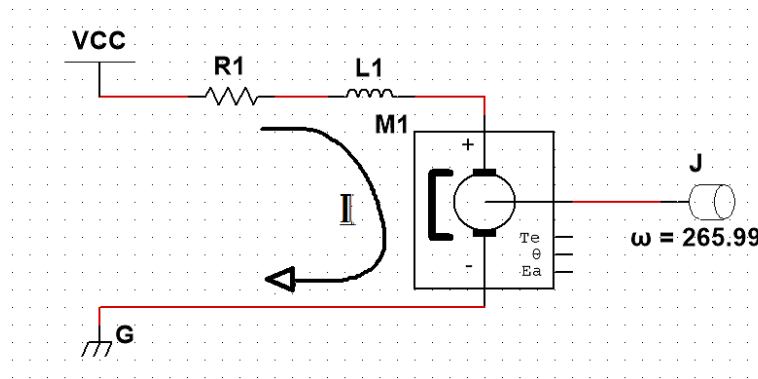
Por lo anterior se proponen a continuación los campos generados en el cuadro de modelamiento matemático de un sistema electromecánico, para proporcionar un marco teórico desde el momento didáctico de la función de transferencia para comprender y predecir la evolución de un dispositivo incorporado en un vehículo tipo scooter.

4. Modelado Matemático

Partiendo de la consideración de que el dispositivo a implementar es básicamente un dínamo, se realiza el modelado matemático del sistema electro-mecánico de un motor DC, basado en ecuaciones diferenciales transformables por Laplace y las consecuentes funciones de transferencia. A partir de estas últimas y con la hoja de referencia de un motor reciclado (datasheet) se establecen: el torque, la velocidad angular, el voltaje y la corriente nominales, se sustituyen tales datos en las expresiones resultantes y así caracterizar su comportamiento.

En la figura 2 se muestra el circuito inicial de control del motor DC, con la respectiva carga.

Figura 2. Modelo de control para motor DC



Fuente: elaboración propia

Aquí, el VCC va a ser igual a $V(t)$ que es el voltaje nominal inyectado al motor. Cabe recordar que para el dispositivo será el voltaje de salida; R1 es la impedancia terminal del motor y L1 la inductancia del rotor. Para el primer valor de velocidad angular ω que se obtiene en la salida del motor se usa un voltaje nominal de 9 voltios; este dato lo facilita el fabricante, obteniéndose una velocidad de 2.450 revoluciones por minuto (RPM), que al convertirlas a radianes por segundo (rad/s) se obtiene:

$$2.450 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 265,99 \text{ rad/s} \quad (1)$$

De otro lado, la ecuación diferencial del motor tiene la forma,

$$V(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + Ea(t) \quad (2)$$

Organizándola despejando el operador diferencial, se obtiene:

$$L \frac{di(t)}{dt} = V(t) - Ri(t) - Ea(t) \quad (3)$$

Donde $Ea(t)$ representa la fuerza contraelectromotriz.

Para la siguiente ecuación diferencial se hace referencia a la parte mecánica del sistema.

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = Tm(t) - B\omega(t) \quad (4)$$

Donde $Tm(t)$ hace referencia al torque del motor; B es el coeficiente de fricción respecto al eje y la carga del motor; J es el momento de inercia total del rotor con relación al eje del motor y $\omega(t)$ es la velocidad angular del motor.

Se asume una relación proporcional, Ka , entre el voltaje inducido y la velocidad angular nominal del motor. Para esto se indica que la fuerza contraelectromotriz $Ea(t)$ hace referencia a la siguiente igualdad:

$$Ea(t) = Kaw(t) \quad (5)$$

Para la relación electromecánica entre el torque mecánico $Tm(t)$ y la corriente eléctrica $i(t)$ se tiene una proporción Km , que al igual que Ka se asume como la ganancia diferencial para el torque y la velocidad angular, para el torque se tiene:

$$Tm(t) = Kmi(t) \quad (6)$$

Aplicando la transformada de Laplace a las ecuaciones 3,4,5,6, se obtiene:

$$Lsi(s) = v(s) - Ri(s) - Ea(s) \quad (7)$$

$$Jsw(s) = Tm(s) - Bw(s) \quad (8)$$

$$Ea(s) = Kaw(s) \quad (9)$$

$$Tm(s) = Kmi(s) \quad (10)$$

Ahora, con estas ecuaciones en función de s , se hacen las sustituciones para llegar a las funciones de transferencia del Sistema, respectivamente (8) y (9) en (6):

$$Ls \frac{Tm(s)}{Km} = v(s) - R \frac{Tm(s)}{Km} - Kaw(s)$$

Despejando el voltaje,

$$v(s) = \frac{(R+Ls)Tm(s)}{Km} + Kaw(s) \quad (11)$$

De la ecuación (8) puede despejarse la velocidad angular,

$$w(s) = \frac{Tm(s)}{Js+B} \quad (12)$$

Sustituyendo (12) en (11),

$$v(s) = \frac{(R + Ls)Tm(s)}{Km} + Ka \frac{Tm(s)}{Js + B}$$

Factorizando el torque $Tm(s)$, se tiene:

$$v(s) = \left(\frac{R + Ls}{Km} + \frac{Ka}{Js + B} \right) Tm(s)$$

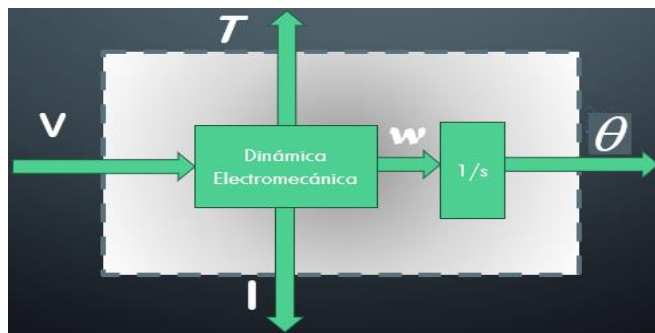
$$v(s) = \frac{(R+Ls)(Js+B)+KaKm}{Km(Js+B)} Tm(s) \quad (13)$$

Con la ecuación (13) se obtiene la función de transferencia que relaciona la salida $Tm(s)$ con la entrada $v(s)$, para la aplicación a esta investigación cabe recordar que va a ser funcionamiento inverso.

$$\frac{Tm(s)}{v(s)} = \frac{Km(Js+B)}{LJs^2+(RJ+LB)s+RB+KmKa} \quad (14)$$

Este sistema ya puede representarse en un diagrama de bloques, figura 3.

Figura 3. Diagrama de bloques del sistema de control



Fuente: elaboración propia.

En la figura 3, se expresa la representación del sistema con una entrada $v(s)$ y salidas $i(s)$, $Tm(s)$ y $w(s)$; al integrar esta última se tendrá, de ser necesario, la posición θ del motor. A partir de la función de transferencia del torque con respecto al voltaje $\frac{Tm(s)}{v(s)}$, se obtienen las siguientes funciones transferencia del sistema.

Fuerza contraelectromotriz - voltaje,

$$\frac{Ea(s)}{v(s)} = \frac{KmKa}{LJs^2+(RJ+LB)s+RB+KmKa} \quad (15)$$

Corriente – voltaje,

$$\frac{i(s)}{v(s)} = \frac{Js+B}{LJs^2+(RJ+LB)s+RB+KmKa} \quad (16)$$

Velocidad angular – voltaje,

$$\frac{w(s)}{v(s)} = \frac{Km}{LJs^2+(RJ+LB)s+RB+KmKa} \quad (17)$$

Posición – voltaje,

$$\frac{\theta(s)}{v(s)} = \frac{Km}{s(LJs^2+(RJ+LB)s+RB+KmKa)} \quad (18)$$

De la ecuación (5) puede obtenerse la constante electromotriz Ka

$$Ka = \frac{Ea}{w(t)} \quad (19)$$

Aplicando ley de kirchoff:

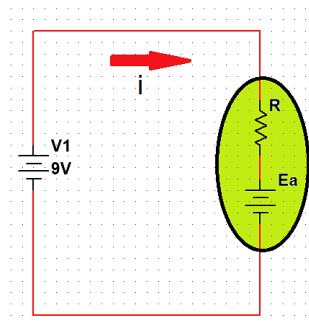
$$Ea = v - iR \quad (20)$$

Reemplazando en (19) se tiene:

$$Ka = \frac{v-iR}{w(t)} \quad (21)$$

Como se mencionó anteriormente, teniendo el datasheet del generador a utilizar se dispone de datos como voltaje nominal, corriente nominal y velocidad angular; midiendo directamente se tendrá la Resistencia de armadura R y puede hallarse Ka , y con él puede sustituirse en (20) y hallar la fuerza contraelectromotriz Ea .

Figura 4. Circuito de fuerza contraelectromotriz



Fuente: elaboración propia

Sustituyendo los datos dados por el fabricante:

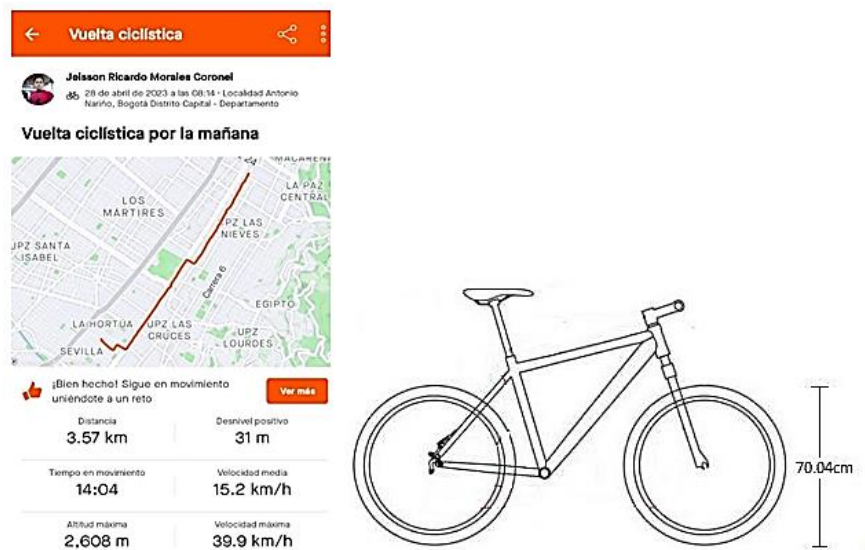
$$Ea = 9v - (120mA * 100\Omega) \quad (22)$$

$$Ka = \frac{9v - iR}{265.99 \text{ rad/s}} \quad (23)$$

Para la entrada de datos, se toma como punto de referencia el desplazamiento estándar en bicicleta que realiza todos los días un empleado; asumiéndose hipótesis básicas: que es un recorrido lineal, y que se realizan movimientos rectilíneos uniformes, así como movimientos circulares uniformes.

En consecuencia, con el movimiento circular uniforme (MCU) puede exhibirse la relación de engranaje del vehículo con el dispositivo comparándose los ciclos o vueltas por minuto generados por la bicicleta, y simulando la relación de 6 engranajes en total del dispositivo conectado a un motor DC de voltaje nominal 5V y una velocidad de 3100 RPM, datos extraídos del fabricante en la hoja técnica. Este MCU, al ser adaptado a la bicicleta en marcha con una velocidad promedio de 15,2 km/h, llegó a producir voltajes a la salida de hasta 24 voltios. Ya en el sitio de trabajo, al inducirle 6 voltios en una relación i de poleas 1 a 1, generó a la salida una tensión de 5,07 voltios y una corriente de 60 mA; lo cual era de esperarse en cuanto pérdida de energía debido a la relación de poleas comportado como un sistema reductor de velocidad y, por ende, de energía generada. En cuanto a la medida de velocidad de desplazamiento y distancia recorrida, se usa el software STRAVA, figura 5, habitual en los practicantes del ciclismo para medir potencia alcanzada después de un recorrido estimado y así tener un comparativo para validar los cálculos matemáticos realizados.

Figura 5. Parámetros de recorrido censados por medio de STRAVA.



Fuente: elaboración propia.

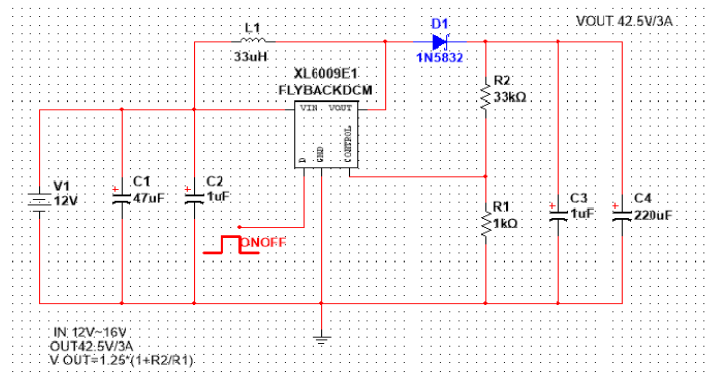
Luego de obtener los datos de recorrido, se aplican las ecuaciones (3) -(23) para el Scooter, vehículo donde se centra esta investigación.

4. Resultados del funcionamiento eléctrico de carga y gestión

Al obtener la variación de voltaje en la salida, se procede a diseñar la etapa de potencia cuya entrada son los datos anteriores; el cual corresponde al circuito elevador tanto de tensión como de corriente; y su salida debe ser un voltaje estable de 42v y una corriente de 3A, que serán los parámetros que ingresarán al sistema de gestión de baterías(BMS). Allí, finalmente se simulará, en principio, la inducción de forma directa a la batería principal, la cual pertenece a la familia de fabricación de 10s (10 celdas) para el vehículo tipo scooter; para el banco de baterías en el caso de la bicicleta se utiliza el mismo modulo, pero este cuenta con una salida de voltaje 14v y una corriente de 2A, que se inducirán como en el caso anterior; pero esta vez a un banco 4s (4 celdas), este suministrará un voltaje emergente de 5v y 12v y corriente de 1A, que el usuario podrá utilizar para sus dispositivos externos (smartphone, tablet).

El siguiente circuito esquemático, figura 6, corresponde a la etapa de potencia, en donde el fabricante del integrado switching current boost XL6009 nos indica la fórmula de configuración de resistencias de salida para el caso del voltaje y el diodo Schottky para la corriente de salida.

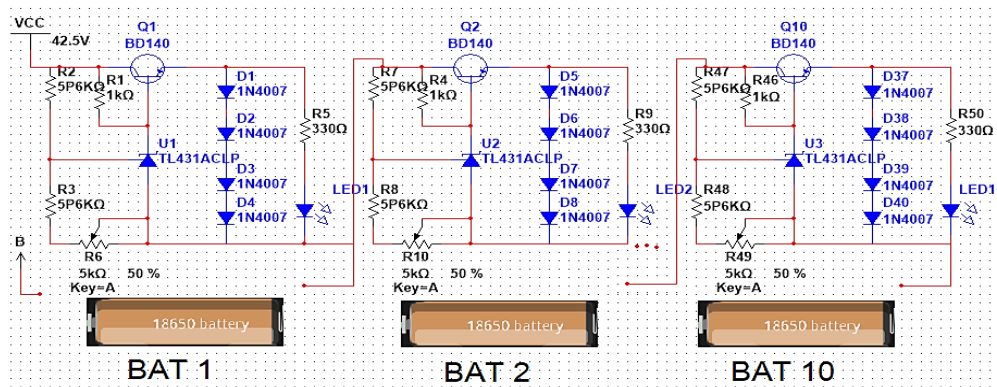
Figura 6. Circuito boost converter XL6009E1.



Fuente: elaboración propia.

La salida de voltaje y corriente de la figura 6 va en serie con el sistema de gestión de baterías(bms) para 10 celdas, figura 7.

Figura 7. Batería y Sistema de gestión de carga.

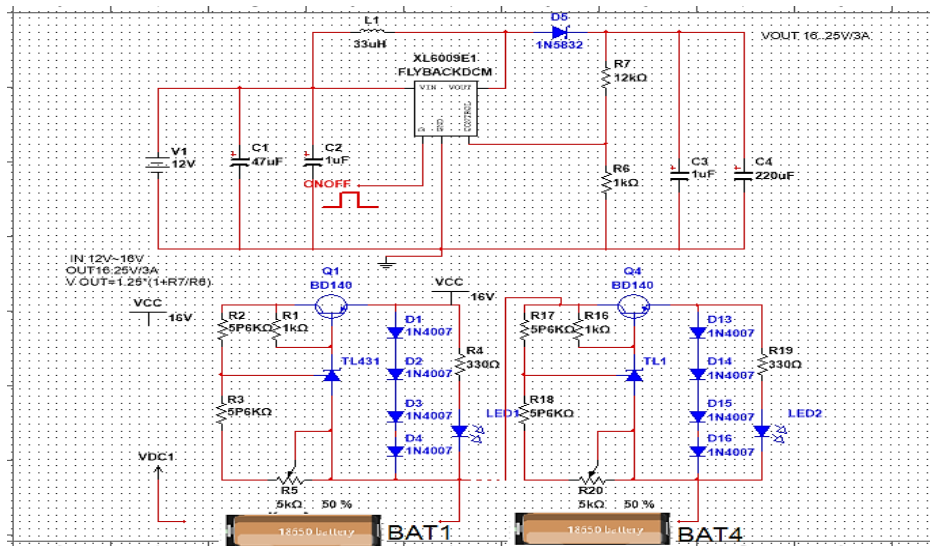


Fuente: elaboración propia.

El circuito de la figura 7 corresponde a la carga de las baterías del vehículo scooter; para los periféricos del vehículo y para el caso de la bicicleta se realizó una configuración similar, en donde la obtención de energía no depende solo del generador principal sino, además, del agregado de paneles solares. Ya que para estos no se necesita una tensión superior a los 12 voltios; en el caso del scooter, con el diseño fotovoltaico, se pueden alimentar periféricos como; luz de stop, direccionales, luz delantera principal, iluminación de tablero de control y luces adicionales nocturnas.

Para la configuración electromecánica, se utiliza el mismo sistema boost converter DC-DC + BMS, con la modificación de las resistencias de salida para 12 voltios, BMS 4s (4 celdas), como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Sistema electromecánico de gestión de baterías y carga, 4s – 12v



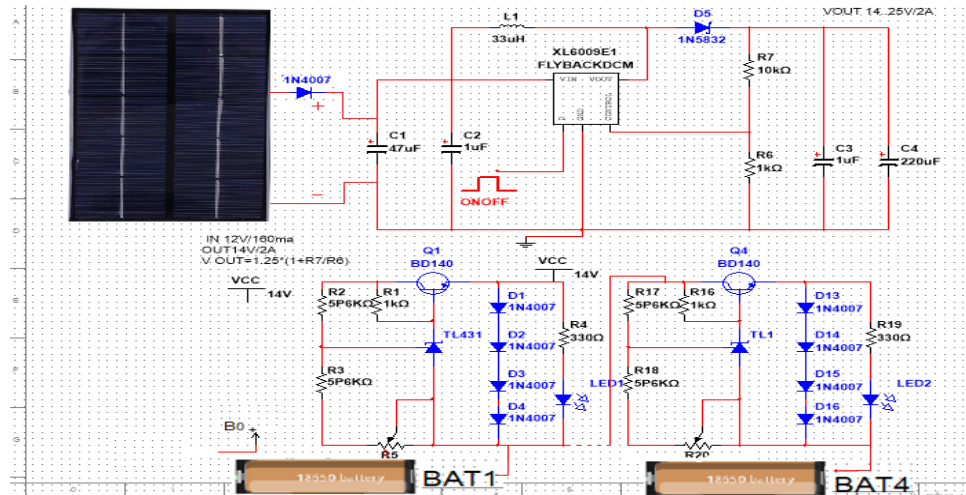
Fuente: elaboración propia.

En la figura 8 se ilustra el circuito de la etapa de potencia electromecánica enlazado a la etapa de carga para 4 celdas, 12 voltios de disposición a la salida.

En el diseño fotovoltaico, se reemplaza el generador principal por paneles solares y se utiliza el mismo circuito en la etapa de potencia, ya que los periféricos a los que se suministra energía no requieren de una potencia notable como la del motor del vehículo para el caso del scooter.

Para el caso del scooter también servirá no solo para periféricos como luz de freno direccionales y luz delantera principal; sino, además, tendrá la función ya mencionada de voltajes emergentes para los dispositivos externos que requiere el usuario, como se ilustra en la figura 9.

Figura 9. Batería y Sistema de Gestión de Carga fotovoltaica 4s – 12v



Fuente: elaboración propia

5. Conclusiones

- Los ambientes de aprendizaje tecnológicos (ADATs) basados en el uso de modelamiento matemático de un momento didáctico correspondiente al motor generador de un sistema para vehículo tipo scooter ha demostrado ser una herramienta efectiva para comprender y predecir el fenómeno de movilidad terrestre. Estos modelos permiten ser útiles en la necesidad de energías alternativas por cinética de movimiento favoreciendo el campo de problemas del control y la automatización en los estudiantes.
- En investigaciones futuras, se facilitan los procesos investigativos en el campo de los diversos entornos de desarrollo e innovación tecnológica; no solo en correspondencia con la ingeniería, sino además a la consideración de necesidades urbanísticas y la optimización de recursos ambientales, tecnológicos y humanos; todo esto en la búsqueda de un escenario futuro de equidad, convergente para todos los entes que son agentes activos que protagonistas de una ciudad inteligente.
- De igual manera, al enfatizar la capacidad del estudio realizado, y la continuación de diferentes procesos de análisis desde otras áreas del conocimiento y la aplicabilidad que tiene para estudios futuros; la construcción de cualquier dispositivo electrónico, el conocimiento e investigación para quien lo propone nunca es suficiente; siempre emergen aspectos a mejorar en el funcionamiento y adaptación del lado del usuario que va a disponer de la nueva tecnología.
- En la búsqueda de tecnologías que mejoren la calidad de vida, se evidencia un avance lento, pero progresivo a nivel de Latinoamérica, gracias a la disposición de entornos de desarrollo libres, ofrecidos e impulsados con gran fuerza por las instituciones de educación superior.
- De otro lado, la fabricación de tecnología, deja al descubierto dos aspectos notables: las brechas o tecnologías de los países desarrollados, patentadas; y la capacidad de

crear alternativas que contrarrestan estas brechas, desde aspectos que favorezcan la usabilidad, control y monitorización.

- Para otras aplicaciones susceptibles de usar los métodos descritos para convertirlos en ADATs pueden sugerirse aquellos escenarios intensivos en información y diferentes contextos de aplicación: (Nieto Duran, J. D., Santos Quintero, L. F., Vargas Escobar, L. J., & Salinas, S. A. (2017); Duarte Barón, K., & Borrás Pinilla, C. (2016); Caicedo, C. H., & Smida, A. (2016); Montiel, Ó. I., Ayala, M. A., & Ripoll L. (2016); Briñez de León, J. C., Fandiño Toro, H. A., Restrepo Martínez, A., & Branch Bedoya, J. W. (2017); Herrera-Cubides, J. F., Gaona-García, P. A., Montenegro-Marín, C. E., Sánchez-Alonso, S., & Martín-Moncunill, D. (2019); Salamanca, T. (2018); Lemus P. , Garzón S. , y Tarazona B. (2016).

Reconocimientos

Se reconoce la asesoría del grupo de investigación SciBas adscrito a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; y al semillero de Investigación EUREKA.

6. Referencias

Andrade Londoño, E. Ambientes de aprendizaje para la educación en tecnología. Memorias EDENTEC. Santafé de Bogotá, agosto 1996.

Briñez de León, J. C., Fandiño Toro, H. A., Restrepo Martínez, A., & Branch Bedoya, J. W. (2017). Análisis de resolución en imágenes de fotoelasticidad: caso carga dinámica. *Visión electrónica*, 11(1), 69-75. <https://doi.org/10.14483/22484728.12789>

Bouziane, H., “Diseño e implementación de un acelerómetro, velocímetro móvil digital controlado por un PIC de microchip,” 2009, Accessed: May 23, 2020. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/7998#.Xsr1--5wZZc.mendeley>

Caicedo, C. H., & Smida, A. (2016). Intensidad informacional para la longitudinalidad asistencial en sistemas de salud. *Visión electrónica*, 10(1), 83-95.

Contell Codoñer G, “Diseño de un monopatín eléctrico controlado por Arduino,” Jan. 2020, Accessed: Jun. 02, 2020. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/136087>

Chevallard, Y. “Hacia una teoría de los momentos didácticos”. Granada 1992. *Face and Gesture Recognition*, pp. 454-459, 1998.

Deibys D, Sanchez-Mestra, ‘Daniel J Salas-Alvarez’ ‘Anderson Gironza’, “Aplicación móvil y dispositivo generador de energía renovable que aprovecha el desplazamiento de las bicicletas y motos,” *Revista de Ingenierías Interfaces*, Vol 4 (2) Julio-Diciembre,2021. ISSN 2619-4473- ISSN 2619-4465, pp 1-10., vol. 4, pp. 1–13, Jul. 2021

Duarte Barón, K., & Borrás Pinilla, C. (2016). Generalidades de robots paralelos. *Visión electrónica*, 10(1), 102-112. <https://doi.org/10.14483/22484728.11711>

Fonseca, J.H. “LITIO UNA ALTERNATIVA PARA???” *Cells , Batteries And Lithium-Ion Batteries for an Alternative???*, Journal Boliviano de Ciencias, vol. 8, pp. 41–48, 2011.

Gascón, José. *El papel de la resolución de problemas en la enseñanza de las matemáticas*. México D.F. 1995.

“GENERADOR ELÉCTRICO -- Britannica Moderna.” Accessed: May 25, 2020. [Online]. Available: <https://moderna-eb-com.bdigital.udistrital.edu.co/levels/academica/article/GENERADOR-EL%C3%89CTRICO/578469#304924.toc>

Gómez, Pedro. *Tecnología y educación matemática*. En revista de Informática Educativa Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá. Mayo 1997.

González H. Sierra, J. Valcárcel Montañez, and S. Torres Sánchez, “Diseño y construcción de un generador eólico de energía eléctrica continua,” *Revista Entornos*, no. 24, pp. 139–146, 2011.

Herrera-Cubides, J. F., Gaona-García, P. A., Montenegro-Marín, C. E., Sánchez-Alonso, S., & Martín-Moncunill, D. (2019). Abstraction of linked data's world. *Visión electrónica*, 13(1), 57-74. <https://doi.org/10.14483/22484728.14397>

Lemus P. , Garzón S. , y Tarazona B. (2016). TIC en gestión de la cadena de suministro bogotana. *Visión electrónica*, 10(2), 195-202. <https://doi.org/10.14483/22484728.11653>

López Valverde R., "historia_del_electromagnetismo," Ediciones IES, Pablo Picasso., pp. 1–4, 2001, Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: RL Valverde - Ediciones IES, Pablo Picasso, 2001 - ulpgc.es

Montagud Aguar M., "Modelado del sistema de control de máquinas eléctricas rotativas su implementación en sistemas de simulación tipo hardware in the loop; para el desarrollo y validación de técnicas de diagnóstico," Oct. 2019, Accessed: Jun. 02, 2020. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/129193>

Montiel, Ó. I., Ayala, M. A., & Ripoll L. (2016). Diseño y simulación de antena no resonante: guía de onda de ranuras para 30 GHz. *Visión electrónica*, 10(1), 49-56. <https://doi.org/10.14483/22484728.11611>

Nieto Duran, J. D., Santos Quintero, L. F., Vargas Escobar, L. J., & Salinas, S. A. (2017) Geolocalización para pacientes con alzhéimer: una propuesta. *Visión electrónica*, 11(1), 40-44. <https://doi.org/10.14483/22484728.12791>

Novak, J. & Gowin, Bob. *Aprendiendo a aprender*. Ed. Martínez Roca, Barcelona 1988.
Salamanca, T. (2018). Prototipo para monitorización de signos vitales en espacios confinados. *Visión electrónica*, 12(1), 83-88. <https://doi.org/10.14483/22484728.13401>