

# MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO AD-HOC PARA BATERÍAS DE IONES DE LITIO EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO SUS PARÁMETROS MECÁNICOS Y UN PERFIL DE CONDUCCIÓN

## AD-HOC SIZING METHOD FOR LITHIUM ION BATTERIES IN ELECTRIC VEHICLES CONSIDERING THEIR MECHANICAL PARAMETERS AND A DRIVING PROFILE

Joaquín Domínguez Zenteno<sup>1</sup>, Manuel de Jesús López Pérez<sup>2</sup>, Francisco Ronay López Estrada<sup>3</sup>, Samuel Gómez Peñate<sup>4</sup> & Guillermo Valencia Palomo<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Ingeniería Aplicada. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, Grupo de Diagnóstico y control TURIX-DYNAMICS, Carretera Panamericana S/N, Tuxtla Gutiérrez C.P. 29050, México. [joaquin.dz@tuxtla.tecn.mx](mailto:joaquin.dz@tuxtla.tecn.mx)

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, Grupo de Diagnóstico y control TURIX-DYNAMICS, Carretera Panamericana S/N, Tuxtla Gutiérrez C.P. 29050, México, [manuel.lp@tuxtla.tecnm.mx](mailto:manuel.lp@tuxtla.tecnm.mx)

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias en Control Automático. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, Grupo de Diagnóstico y control TURIX-DYNAMICS, Carretera Panamericana S/N, Tuxtla Gutiérrez C.P. 29050, México. [frlopez@tuxtla.tecnm.mx](mailto:frlopez@tuxtla.tecnm.mx)

<sup>4</sup> Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, Grupo de Diagnóstico y control TURIX-DYNAMICS, Carretera Panamericana S/N, Tuxtla Gutiérrez C.P. 29050, México. [samuel.gp@tuxtla.tecnm.mx](mailto:samuel.gp@tuxtla.tecnm.mx)

<sup>5</sup> Doctor en Ciencias en Control Automático. Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico Nacional de México, Departamento de Ingeniería Electrónica, Av. Tec 115, C.P. 83170, Hermosillo, México. [gvalencia@hermosillo.tecnm.mx](mailto:gvalencia@hermosillo.tecnm.mx)

**Resumen** -- En este trabajo de investigación se propone un método de dimensionamiento "Ad-Hoc" para baterías de iones de litio (Li-Ion) para vehículos eléctricos. El método considera los parámetros mecánicos del vehículo, así como el perfil de conducción del mismo para cumplir un desempeño esperado por éste. Se desarrolló una herramienta en MATLAB para la estimación del requerimiento de potencia y de energía para el vehículo eléctrico (VE) que permite especificar la capacidad del motor eléctrico y dimensionar el banco de baterías para cumplir una autonomía específica del mismo. Por lo que, los resultados de esta investigación pueden servir de guía para la especificación de componentes electromecánicos del vehículo eléctrico, así como el tamaño final del banco de baterías, para que éstas entreguen la energía requerida de acuerdo al desempeño esperado del vehículo seleccionado y su perfil de conducción.

**Palabras Clave:** – Dimensionamiento, baterías de iones de Litio, Vehículo Eléctrico, Electrónica de Potencia.

**Abstract** -- In this research paper, an "Ad-Hoc" sizing method for lithium-ion (Li-Ion) batteries for electric vehicles is proposed. The method considers the mechanical parameters of the vehicle, as well as its driving profile to meet the performance expected by it. A tool was developed in MATLAB for the estimation of the power and energy requirement for the electric vehicle (EV) that allows specifying the capacity of the electric motor and sizing the battery bank to meet a specific range of the same. Therefore, the results of this research can serve as a guide for the specification of electromechanical components of the electric vehicle, as well as the final size of the battery bank, so that they deliver the required

energy according to the expected performance of the selected vehicle and its driving profile.

**Key words** – Sizing, Li-Ion batteries, electric vehicle, power electronics.

### INTRODUCCIÓN

Las baterías de Li-Ion han empezado a estar más presente en el mercado debido a su continuo crecimiento de sus aplicaciones. Comparados con las baterías de plomo-ácido, las baterías de Li-Ion tienen un mejor desempeño, la cual está relacionado por su larga vida útil, eficiencia, potencia específica, densidad energética y su energía específica alta [1,2]. Este tipo de baterías se están utilizando en diversos dispositivos y aplicaciones, desde celdas, para celulares, tabletas y computadores portátiles (laptops) hasta módulos que se encuentran en los actuales vehículos, los llamados "cero emisiones", es decir, vehículos totalmente eléctricos [3].

Los automóviles se han utilizado, por lo general, para el transporte de personas y de carga. Estos han utilizado motores de combustión interna que emiten contaminantes y gases de efecto invernadero. Una manera de mitigar estos efectos es con la inclusión de vehículos llamados "cero emisiones", es decir, los totalmente eléctricos. A diferencia de los vehículos convencionales, que tienen baterías de plomo ácido, éstas batería se han utilizado para la ignición y servicios auxiliares como las luces del vehículo. Sin embargo, para los vehículos cero emisiones, las baterías juegan un papel más importante, pues son las encargadas de suministrar la potencia al tren motriz del vehículo y hacer que se mueva. También éstas deben entregar la energía requerida para un cierto recorrido, es

decir, una autonomía determinada. Por estas razones, las baterías de Litio son las más indicadas por su mayor densidad energética comparada con las de plomo ácido. Además, para cumplir con el requerimiento de potencia y de energía, el sistema de baterías debe incrementar su tamaño para construir un paquete de baterías que pueda suplir en potencia y energía, cómo la que pudiera demandar un vehículo eléctrico.

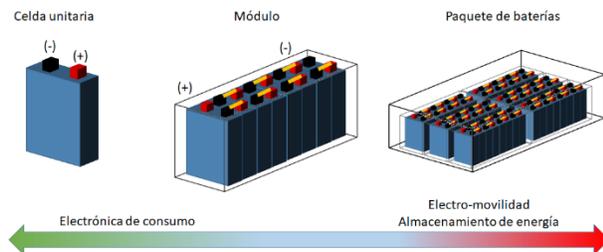


Figura 1. Estructura de un sistema de baterías y su aplicabilidad.

### Electromovilidad y las baterías de Li-Ion

Los vehículos eléctricos han alcanzado una gran importancia en la actualidad, al ser más eficientes que los de gasolina y no generar emisiones contaminantes, la mayoría de éstos (principalmente de transporte de personas) se basan en baterías de Li-Ion. Con el avance continuo de tecnologías clave para vehículos eléctricos y la mejora de la infraestructura, países de todo el mundo se han sumado a las filas para apoderarse de la tecnología y el mercado de vehículos eléctricos. El desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía ha acelerado en gran medida la tendencia impulsada por baterías en la industria del automóvil. Los vehículos eléctricos tienen tres componentes principales: fuentes de energía, motor y sistema de control electrónico. Desde la perspectiva del desarrollo global de vehículos de nueva energía, sus fuentes de energía incluyen principalmente baterías de Li-Ion [4]. Sin embargo, el uso de las baterías de Li-Ion en vehículos eléctricos se debe tomar muchas consideraciones, tales como: seguridad, costo, eficiencia energética, tipos de recarga, temperatura, y su dimensionamiento. Este último ha tomado importancia, ya que, si el tamaño del banco de baterías se incrementa, también su costo, así como la seguridad del mismo, pues la robustez de sus componentes auxiliares, como fusibles, interruptores, etc., deben ser más robustos. Además, un mal dimensionamiento de estos dispositivos electroquímicos puede conllevar a un desempeño demeritado del vehículo o un gasto energético innecesario por el peso adicional de un exceso de baterías.

Por lo general, el análisis del dimensionamiento del paquete de baterías de un VE sólo toma en consideración el peso bruto del vehículo y su capacidad de carga [5].

Si bien, muchos de los trabajos para el diseño de banco de baterías de Li-ion se realizan bajo perfiles de manejo

estandarizados, estos deben ser seleccionados para acorde al vehículo y su aplicación, pues el perfil de manejo representa el desempeño del mismo y una selección incorrecta de éste implicaría un desempeño demeritado del vehículo [6]. Por lo tanto, realizar el cálculo del requerimiento energético para un perfil de manejo personalizado, permitirá un diseño y dimensionamiento “Ad-Hoc” de la planta de potencia y de sus componentes motrices. El uso de un motor eléctrico y de un banco de baterías de Li-Ion “Ad-Hoc” permitirá reducir el peso añadido al VE, así como el costo de inversión del motor y de las baterías. Además, se mejora la autonomía y del uso de la energía al evitar mover el peso excedente.

Uno de los parámetros de operación de las baterías de Li-Ion que se toman muy en cuenta es la temperatura, pues la elevación de ésta puede provocar deméritos en su operación disminuyendo la eficiencia de éstas al disipar energía en forma de calor. Además, en un caso extremo, el exceso de temperatura no controlada puede provocar incidentes provocando conatos de fuego y, por lo tanto, poniendo en riesgo la seguridad del VE. Por lo anterior, en [7] abordan el efecto de la temperatura en un paquete de baterías para un VE híbrido, en donde se monitorea las baterías a diferentes perfiles de temperatura y observando el envejecimiento de las mismas por dicho parámetro. También, en [4] realizan una revisión de estrategias de manejo de calor para baterías de Li-Ion en vehículos eléctricos, donde se evalúan diferentes métodos, sin embargo, no hay un método óptimo, pues se debe considerar diferentes condiciones del paquete de baterías, tales como el tamaño, la química de la batería y sus tasas de carga/descarga. Otra línea de investigación en la que las baterías de Li-ion se ha considerado es en el manejo de energía a bordo del vehículo. Por ejemplo, en [8] su principal objetivo es diseñar una estrategia de manejo de energía en la cual dos fuentes renovables, celdas de combustible y fotovoltaicas, puedan recargar al sistema de banco de baterías, principal fuente propulsora del VE. En [9] realiza una investigación de los retos, costos, aplicaciones y su control de sistemas de almacenamiento de energía como medio de propulsión de vehículos eléctricos basados en baterías y ultra-capacitores. También en [10] se analizan una estrategia de manejo de energía de un sistema de almacenamiento en el vehículo y la interacción con la red eléctrica, conocida como V2G y G2V (vehículo a red y viceversa). En esta última, G2V, también se han realizado investigaciones en las que se proponen sistemas de recarga para paquetes de baterías de Li-Ion. Por ejemplo, en [11] se centralizan en el estudio del impacto de un sistema de recarga rápida en el tiempo de vida de un paquete de baterías para un VE pesado.

Si bien, todos los temas tratados en los trabajos descritos anteriormente se relacionan con la operación de las baterías de Li-Ion, éstos se encuentran fuertemente

ligados con el dimensionamiento del paquete de las baterías de Li-Ion [12], pues un dimensionamiento incorrecto puede provocar un sobrecalentamiento del sistema de baterías. Además, las estrategias de manejo de energía deben considerar el tamaño de las baterías, pues ésta debe identificar cuánta energía se encuentra disponible para realizar la distribución a bordo del vehículo, así como también para que éstas puedan entregar energía a la red (V2G) y viceversa, recibir energía desde estaciones de re-carga. Por lo tanto, un dimensionamiento “Ad-Hoc” podría disminuir todos estos retos descritos anteriormente en los sistemas de baterías de Li-Ion. En [13] presentan una guía para realizar el dimensionamiento, así como una estrategia de manejo de energía basado en baterías de Li-Ion y ultracapacitores en orden de minimizar la degradación de las baterías y reducir el costo del VE. Es evidente que el dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía basado en baterías de Li-Ion está fuertemente ligado a parámetros de operación como la temperatura, tasas de descarga para el manejo de energía y las tasas de recarga para las estaciones de recarga. En [14] muestran que el porcentaje de energía requerida para mover el peso del sistema de baterías de Li-Ion en comparación con la de mover un vehículo pesado crece exponencialmente cuando la autonomía de éste crece proporcionalmente. Por lo tanto, se requiere de un dimensionamiento “Ad-Hoc” para mejorar la eficiencia del uso de la energía a bordo del VE y que la relación de la energía para mover el peso del sistema de baterías de Li-Ion contra la energía para mover sólo el vehículo sea menor. Además, si el dimensionamiento se realiza correctamente se puede alargar la vida útil de las baterías de Li-Ion al evitar sobrecalentamiento en ellas. También, con ello también se puede reducir la capacidad de potencia que puedan manejar las estaciones de recarga para vehículos eléctricos.

Para el cálculo del requerimiento energético y de potencia del VE se requiere conocer el comportamiento del mismo. Éste se puede deducir desde un perfil de manejo y de los parámetros mecánicos del vehículo.

## DESARROLLO

### Metodología para dimensionamiento del banco de baterías.

En este trabajo de investigación se propone un método de dimensionamiento de un banco de baterías para un vehículo eléctrico, donde se toman en consideración la aplicación del vehículo, es decir, sus parámetros mecánicos y un perfil de conducción para determinar el tamaño del motor eléctrico asociado al vehículo, así como el tamaño del banco de baterías de Li-Ion para cumplir con el desempeño esperado del mismo. Para ello se propone un caso de estudio, un autobús que cumpla con un perfil de conducción y una ruta definida dentro de la

ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Para ello se desarrolló una herramienta en MATLAB que facilita la estimación del requerimiento energético del vehículo y posteriormente la especificación de sus componentes de propulsión.

### Requerimiento energético del vehículo

La estimación del requerimiento energético se determina a través de un balance de energía de las diferentes fuerzas que actúan en el VE. La fuerza que se necesita para mover el vehículo hacia adelante  $F_x$ , tiene que vencer las fuerzas siguientes: la resistencia de rodamiento  $R_x$ , el arrastre aerodinámico  $F_d$ , la fuerza inercial del vehículo  $m \cdot a$ , y la fuerza para superar la componente debido al peso del vehículo que actúa en un camino con una pendiente  $w$  [15]. Las ecuaciones siguientes describen la dinámica longitudinal de un vehículo (ver Figura 2).

$$F_x = m \cdot a + R_x + F_d + w \quad \text{Ec. (1)}$$

$$R_x = C_R \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$F_d = \frac{1}{2} \rho \cdot A_f \cdot C_a \cdot v^2 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$w = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad \text{Ec. (4)}$$

donde  $m$  es la masa del VE y  $a$  es la aceleración del vehículo en (1). En (2),  $C_R$  es el coeficiente de rodamiento,  $g$  es la gravedad y  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la pendiente del camino Finalmente,  $\rho$  es la densidad del aire,  $A_f$  es el área frontal del vehículo,  $C_a$  es el coeficiente aerodinámico y  $v$  es la velocidad del vehículo.

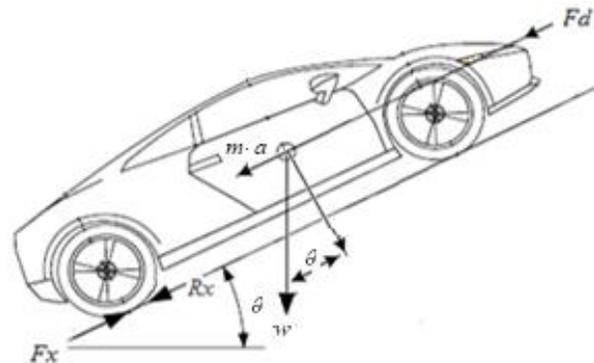


Figura 2.- Fuerzas principales que actúan en un vehículo.

Por lo tanto, es posible obtener la potencia mecánica  $P_M$  que se requiere en las llantas, así como la potencia eléctrica  $P_E$  y la energía  $E$  requerida por el vehículo considerando una autonomía meta.

$$P_M = Fx \cdot v \quad \text{Ec. (5)}$$

$$P_E = \eta \cdot P_M \quad \text{Ec. (6)}$$

donde  $\eta$  es la eficiencia de conversión entre el sistema mecánico (llantas, diferencia y transmisión) y el sistema eléctrico (motor eléctrico y su controlador).

$$E = \int_0^t P \cdot dt \quad \text{Ec. (7)}$$

y, el tiempo  $t$  estará determinado por un ciclo de manejo o una autonomía específica.

### Perfil de conducción

El perfil de conducción o ciclo de manejo es un perfil de velocidades en un plano velocidad-tiempo, que representa una forma típica de conducir en una ciudad o autopista. El ciclo de manejo es útil para poder estimar, junto con las ecuaciones que rigen el comportamiento del vehículo, la energía y potencia que se requieren para mover un vehículo con características específicas.

Los ciclos de manejo se desarrollan en diferentes países y organizaciones en el mundo, para evaluar el rendimiento de los vehículos en varias formas, por ejemplo, estimación del consumo de combustible, emisiones contaminantes, etc. Otro uso del ciclo de manejo es para la simulación de los vehículos para la validación de su desempeño. En específico, éstos se utilizan para la evaluación de los sistemas de propulsión para predecir, no sólo el desempeño de vehículos de combustión interna, sino también para vehículos todo eléctricos, como los basados en baterías, celdas de combustible o un sistema híbrido.

### CASO DE ESTUDIO: AUTOBUS ELÉCTRICO RUTA ITTG-PREPA 5

Para evaluar el método de dimensionamiento para un paquete de baterías para un VE se desarrolló una herramienta computacional, utilizando el software de MATLAB®, en la cual se incluyeron las ecuaciones involucradas en el balance de fuerzas presentes en un vehículo para determinar la energía y la potencia requerida para cumplir con un ciclo de manejo seleccionado.

El caso de estudio es un autobús cuyo peso bruto inicial es de 7200 kg. y una capacidad de carga de 40 pasajeros de 80 kg. cada uno, y cuyos demás parámetros mecánicos se presentan en la Tabla 1.

Para el dimensionamiento del paquete de baterías de este autobús se propuso una ruta que va desde el Instituto

Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) hacia la preparatoria estatal no. 5, con una distancia a recorrer de 26 km para un viaje redondo.

Para la ruta descrita anteriormente, se consideró que el vehículo tuviese un desempeño de acuerdo al ciclo de manejo “Manhattan bus cycle” el cual fue propuesto para este tipo de vehículos en dicha ciudad y, el cual fue seleccionado para la orografía presente en dicha ruta y las velocidades alcanzadas para el transporte público actual de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, la cual se muestra en la Figura 3.

Tabla 1. Parámetros del vehículo, caso de estudio.

| Parámetro                     | Valor                |
|-------------------------------|----------------------|
| Masa del vehículo (cargado)   | 10400 kg.            |
| Área frontal                  | 6.1 m <sup>2</sup> . |
| Coefficiente aerodinámico     | 0.52                 |
| Coefficiente de rodamiento    | 0.014                |
| Relación de transmisión       | 1:1                  |
| Eficiencia mecánica-eléctrica | 95%                  |

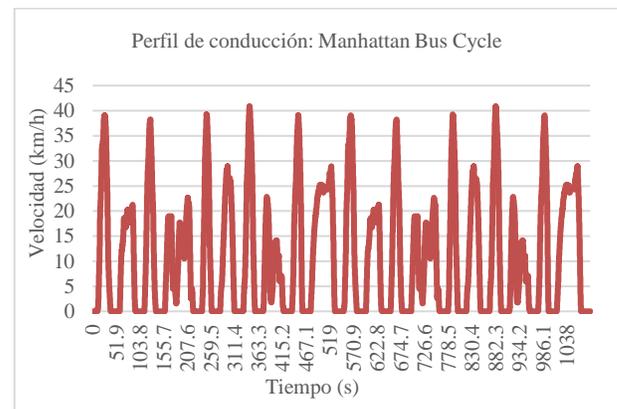


Figura 3. Ciclo de manejo: “Manhattan bus cycle”.

Tabla 1. Parámetros del perfil de conducción.

| Parámetro          | Valor                 |
|--------------------|-----------------------|
| Tiempo (t)         | 1089 s                |
| Velocidad máxima   | 40.87 km/h            |
| Aceleración máxima | 2.23 m/s <sup>2</sup> |
| Distancia máxima   | 3.32 km               |

### DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de utilizar el autobús con los parámetros descritos en la Tabla 1 y el desempeño descrito por el ciclo de manejo que se muestra en la Fig. 3, muestran que la potencia máxima que necesita el autobús es de 188 kW aproximadamente (ver Fig. 4). Este dato se obtiene de la evaluación de un ciclo de manejo ya que, para una autonomía requerida, por ejemplo, un viaje de solo de ida (13 km), el ciclo de manejo se repite tantas veces se requiera hasta cumplir con dicha autonomía. Por

lo anterior, la potencia máxima es igual para una autonomía de 13 km (ida) o 26 km (viaje redondo) y cualquier autonomía superior a la de un único ciclo de manejo (3.3 km). De lo anterior, se puede deducir que el motor eléctrico debe ser capaz de entregar dicha potencia mecánica a la transmisión del vehículo, por lo tanto, se puede definir que la capacidad del motor debe ser de 200 kW (para un valor de un motor comercial).

A diferencia de la estimación de la potencia eléctrica, en el caso de la autonomía si es necesario evaluar la distancia a recorrer, debido a que es una ruta desde el ITTG hacia la preparatoria no. 5, la distancia mínima a estimar es aquella para el cual es autobús realiza un viaje redondo, es decir, 26 km. La estimación de la energía para dicha autonomía se muestra en la Fig. 5, la cual es de 30 kWh, que es la energía que debe contener el banco de baterías del autobús para que propicie dicha autonomía (26 km, para cada viaje redondo). Por lo tanto, incrementar el número de viajes redondos, implica que la energía requerida es proporcional al número de viajes a realizar, y la energía total almacenada en el banco de baterías será aquella para el número final de viajes esperados a realizar por el autobús.

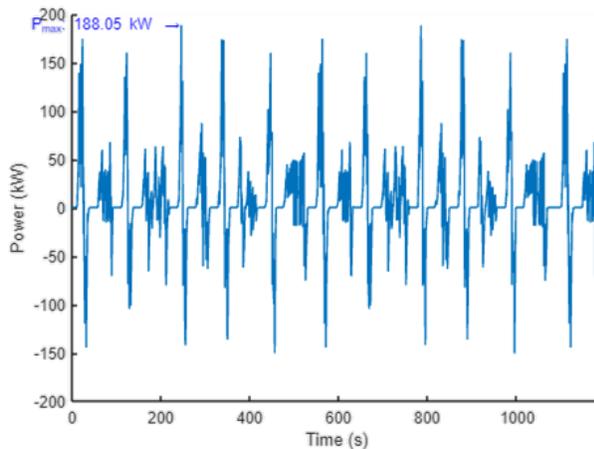


Figura 4.- Potencia requerida por el autobús acorde al ciclo de manejo seleccionado.

Sin embargo, la potencia y energía que puede entregar un banco de baterías están fuertemente relacionadas, de tal forma que no se puede especificar una sin la otra. Por lo tanto, en este caso, el banco de baterías debe cumplir con una potencia de 188 kW y una energía almacenada de acuerdo al número de viajes redondos (30 kWh, 60 kWh, etc.). Adicionalmente, el banco de baterías debe cumplir con el voltaje nominal de operación del controlador del motor eléctrico, el cual puede estar especificado entre 200 a 800 Volts de corriente directa.

Hay otros trabajos que ocupan otros factores y condiciones para dimensionar el paquete de baterías, como en [5], lo que los hace más complejos, aunque más

precisos. Por lo que el enfoque de este trabajo se centró en generar un método simple y rápido para el dimensionamiento de un banco de baterías Ad-Hoc para un vehículo eléctrico. En ese sentido, para el dimensionamiento del sistema baterías, en [16] se considera el peso de todos los elementos que lo integran, desde los electrodos hasta los materiales para la integración de las celdas (baterías unitarias), paquetes de celdas y módulos. Y qué, en este trabajo se considera que quedará embebido cuando se selecciona una batería comercial considerando las necesidades energéticas y de potencia, así como la tasa de descarga.

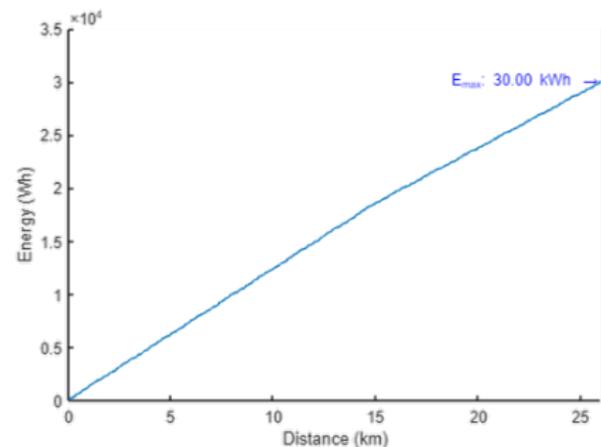


Fig. 5.- Energía requerida para un viaje redondo del autobús.

Ya que este último parámetro está determinado por el tipo de motor y su controlador, se puede especificar el tamaño del banco de baterías de acuerdo a su capacidad de descarga, la cual está definida normalmente en términos de "C". El término "C" es la tasa de descarga de la corriente eléctrica a la cual la batería queda completamente descargada en una hora. Por ejemplo, para una batería de 5000mAh, la tasa de corriente de 1C es equivalente a descargarla a 5A, en la cual, después de una 1 hora, ésta quedaría totalmente descargada.

Para el caso de estudio, si se define una tasa de descarga para la máxima potencia requerida por el autobús en términos de "C", es decir, en "1C", el tamaño de la batería debe ser tal que puede almacenar 188 kWh. Esta energía almacenada será suficiente para realizar hasta 6 viajes redondos. En el caso de utilizar "2C" para dicha descarga, la energía del banco de baterías sería de 94 kWh, lo que sólo alcanzaría para 3 viajes redondos. Si bien, con una tasa de descarga al doble de "1C" se disminuye la energía almacenada y la autonomía para ello, también se disminuye el costo del banco de baterías. Asumiendo un costo de \$135 USD por kWh de baterías de Li-Ion [17], para un banco de 188 kWh su costo sería de \$25,380 USD, mientras que el segundo, de 94 kWh, sería sólo de \$12,690 USD. Un análisis similar se presentó en [11], sin

embargo, en éste se utilizó un sistema híbrido constituido por tres fuentes de energía. Utilizar una tasa de descarga mayor a “1C” se observa que el costo disminuye del sistema de baterías disminuye, pero es probable que también el ciclo de vida también disminuya, pues éstos estarían trabajando bajo un mayor estrés electroquímico en comparación con el primer banco, lo que pudiera desencadenar en un cambio del paquete de baterías anticipadamente. Aunque estos datos obtenidos son suficientes para especificar el tamaño del banco de baterías, el motor eléctrico y su controlador, el diseñador-fabricante de vehículos eléctricos debe asumir la responsabilidad de definir las especificaciones finales de dichos componentes de acuerdo a sus especificaciones de diseño.

### CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se desarrolló una herramienta computacional que permite realizar la estimación del requerimiento de potencia y energía para un vehículo determinado, con sólo utilizar algunos parámetros mecánicos como el peso bruto del vehículo y su capacidad de carga, su área frontal, y los coeficientes de rodamiento y de aerodinámica. Así como la selección de un perfil de conducción (ciclo de manejo) para el cual el vehículo debe cumplir un desempeño de velocidad versus tiempo. La herramienta permite indicar la potencia instantánea y máxima para el vehículo de acuerdo a un ciclo de manejo seleccionado y una autonomía especificada, de dónde se permite determinar el tamaño mínimo del motor eléctrico para desempeñar el trabajo esperado del vehículo. Así mismo, especificada una autonomía esperada y una tasa de descarga de la misma, se puede estimar el tamaño del banco de baterías del mismo. Lo que, para diseñadores y fabricantes de vehículos eléctricos les propicia una guía para especificar los componentes electromecánicos y electroquímicos que puedan integrar el vehículo, así como una estimación burda del costo de los mismos, facilitando la toma de decisiones para el desarrollo del vehículo eléctrico.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado bajo proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación del Tecnológico Nacional de México. También fue apoyado por el CONAHCYT bajo la estancia post-doctoral con número 2420855.

### BIBLIOGRAFÍA

[1] Aneke M, Wang M. Energy storage technologies and real life applications-a state of the art review. *Appl Energy* 2016;179: 350-377.  
 [2] Anselma, P., Musa, A., Maino, C., Misul, D. et al., "Effect of Temperature Distribution on the Predicted Cell Lifetimes for a Plug-In Hybrid Electric Vehicle Battery Pack," SAE Technical Paper 2022-01-0712, 2022, <https://doi.org/10.4271/2022-01-0712>.

[3] Hua, Y., Zhou, S., Huang, Y., Liu, X., Ling, H., Zhou, X., Zhang, C., Yang, S. "Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for electric vehicles". 2020, *J. Power Sources* 478, 228753.  
 [4] Nitta N, Wu F, Lee JT, Yushin G. "Li ion battery materials: present and future". *Mater Today* 2014; 18(5):252-264.  
 [5] Akpolat, A.; Yang, Y.;Blaabjerg, F.;Dursun, E.; Kuzucuoglu, A. "Li-ion-based Battery Pack Designing and Sizing for Electric Vehicles under Different Road Conditions", 2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies, 2020.  
 [6] Zhang, X., Li, Z., Luo, L., Fan, Y., & Du, Z. (2022). A review on thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles. *Energy*, 238, 121652.  
 [7] Mohamed, N., Aymen, F., Altamimi, A., Khan, Z. A., & Lassaad, S. (2022). Power Management and Control of a Hybrid Electric Vehicle Based on Photovoltaic, Fuel Cells, and Battery Energy Sources. *Sustainability*, 14(5), 2551.  
 [8] Rezaei, H., Abdollahi, S. E., Abdollahi, S., & Filizadeh, S. (2022). Energy management strategies of battery-ultracapacitor hybrid storage systems for electric vehicles: Review, challenges, and future trends. *Journal of Energy Storage*, 53, 105045.  
 [9] Ouramdane, O., Elbouchikhi, E., Amirat, Y., Le Gall, F., & Sedgh Gooya, E. (2022). Home Energy Management Considering Renewable Resources, Energy Storage, and an Electric Vehicle as a Backup. *Energies*, 15(8), 2830.  
 [10] Al-Saadi, M., Olmos, J., Saez-de-Ibarra, A., Van Mierlo, J., & Berecibar, M. (2022). Fast Charging Impact on the Lithium-Ion Batteries' Lifetime and Cost-Effective Battery Sizing in Heavy-Duty Electric Vehicles Applications. *Energies*, 15(4), 1278.  
 [11] M. López-Pérez, A. Claudio-Sánchez, U. Cano-Castillo, F. Loyola-Morales, "Hybrid electric power plant sizing strategy based on ab-initio fuel cell design for weight minimization", *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, Volume 45, Issue 41, 21738-21753.  
 [12] Zhu, T., Lot, R., Wills, R. G., & Yan, X. (2020). Sizing a battery-supercapacitor energy storage system with battery degradation consideration for high-performance electric vehicles. *Energy*, 208, 118336.  
 [13] Loyola-Morales, F., López-Pérez, M., Cano-Castillo, U., (2022). El potencial del hidrógeno en el transporte público, *Eficiencia Energética*, 10, 33, pags: 23-27.  
 [15] Z. Mokrani, D. Rekioua, N. Mebarki, T. Rekioua, and S. Bacha, "Proposed energy management strategy in electric vehicle for recovering power excess produced by fuel cells," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 30, pp. 19556–19575, 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.06.106.  
 [16] Y. Chen, "Running battery electric vehicles with extended range: Coupling cost and energy analysis", *Applied Energy*, Vol. 306, Part B, 2022, 118116,

[17] “Aumento de costos de baterías afecta a fabricantes de automóviles y amenaza el impulso por el cambio climático”, Bloomberg (2022). Disponible en línea. <https://www.bloomberg.com/latam/blog/aumento-de-costos-de-baterias-afecta-a-fabricantes-de-automoviles-y-amenaza-el-impulso-por-el-cambio-climatico/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20encuesta%20de%20BloombergNEF,al%20nivel%20de%20este%20a%C3%B1o>. acceso: 8 de junio de 2023.

### ROL DE CONTRIBUCIÓN

| Rol                            | Autor (es)                    |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Conceptualización              | Manuel de Jesús López Pérez.  |
| Administración del proyecto    | Joaquín Domínguez Zenteno     |
| Supervisión                    | Francisco Ronay López Estrada |
| Validación                     | Guillermo Valencia Palomo     |
| Redacción – Borrador original  | Manuel de Jesús López Pérez   |
| Redacción – Revisión y edición | Samuel Gómez Peñate           |



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.