



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Automotriz

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA BATERÍA DE LITIO-ION  
PARA UN VEHÍCULO DE SHELL ECO MARATHON**

**Jeremy Hormandi Zurita Valladarez**

**Christian Alexander Yunga Lazo**

Director: Ing. Efrén Esteban Fernández-Palomeque, Ph.D.

Cuenca – Ecuador

2026

## **Dedicatoria**

Con profundo agradecimiento y cariño, dedico este trabajo a mi madre Gina Lucrecia Valladarez Cajamarca a mi padre Jorge Hormandi Zurita Chávez a mi segunda madre Rosa María Cajamarca Serrano, a mi hermana Scarlett Valeria Zurita Valladarez quienes fueron los principales pilares durante toda mi formación profesional brindándome todo su apoyo y acompañamiento en cada actividad que realice durante mi carrera profesional.

De igual manera dedico este trabajo a mis principales amigos Doménica Crespo, Emilia Crespo, Christian Yunga, Fabian Chuisaca y Diego Cornejo quienes me dieron su apoyo incondicional en todo momento en momentos difíciles durante mi formación profesional

Jeremy Hormandi Zurita Valladarez

Con mucho cariño y aprecio, dedico este trabajo de titulación a mis padres, Christian Yunga y Jessica Lazo, por ser el cimiento sobre el cual he construido mi vida. Gracias por enseñarme que la educación es la herramienta más poderosa para transformar el mundo y por sus sacrificios silenciosos, que hoy se ven reflejados en este logro.

A mi hermana, Lisseth Yunga, por su alegría y por ser mi compañera de vida incondicional. Su presencia ha sido el equilibrio necesario durante los momentos de mayor presión en esta carrera. Este éxito es un testimonio de la unión y el amor de nuestra familia.

De igual manera dedico este trabajo a mis amigos más cercanos Jeremy Zurita, Diego Cornejo, Fabian Chuisaca, Christian Sarmiento y todos aquellos que me han brindado una mano en los momentos en los que más los necesite.

Christian Alexander Yunga Lazo

## Agradecimiento

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por darme la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para llegar hasta este momento tan importante de mi vida. En cada etapa de este camino fue quien me dio la motivación para seguir adelante, incluso en los momentos de mayor dificultad, permitiéndome alcanzar una meta que representa años de esfuerzo, dedicación y aprendizaje.

A los docentes de la Universidad del Azuay, les expreso mi sincero agradecimiento por todos los conocimientos compartidos y por la formación académica y humana brindada a lo largo de estos años. Cada enseñanza, consejo y experiencia transmitida en las aulas contribuyó de manera significativa a mi crecimiento profesional y personal, sentando las bases para afrontar los retos de mi carrera. A Luis Tapia quien fue la persona que nos brindó muchas enseñanzas en el taller de la universidad.

A nuestro director de proyecto, el Ing. Efrén Fernández-Palomeque, Ph.D., y al Ing. Gustavo Álvarez, les agradezco profundamente por su guía constante, su tiempo y sus valiosas recomendaciones durante el desarrollo de este trabajo. Sus observaciones, orientaciones y apoyo fueron fundamentales para fortalecer este proyecto y para llevarlo a cabo de la mejor manera posible.

A mis compañeros de clase, gracias por el apoyo, la colaboración y los momentos compartidos a lo largo de la carrera. Cada experiencia vivida, tanto dentro como fuera de las aulas, hizo que este recorrido fuera más enriquecedor y llevadero. De manera especial, agradezco a los amigos que me dejó este camino, por su compañía, su confianza y por convertirse en una parte importante de esta etapa de mi vida.

Finalmente, quiero expresar un agradecimiento muy especial a mi familia: a mis padres, mi abuelita y mi hermana, quienes han sido el pilar más importante durante todo este proceso. Su amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional me dieron la fuerza necesaria para seguir adelante en cada momento. Este logro también les pertenece a ellos, porque siempre creyeron en mí y estuvieron presentes en cada paso de este camino.

Jeremy Hormandi Zurita Valladarez

A Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para superar cada desafío y alcanzar esta meta tan importante en mi vida. Su guía ha sido fundamental a lo largo de este camino.

A la Universidad del Azuay, por abrirme sus puertas y proporcionarme una formación académica integral, así como los recursos y el entorno necesarios para mi desarrollo profesional y personal.

Al Ing. Efrén Esteban Fernández-Palomeque, Ph.D., director de este proyecto, por su valiosa orientación, paciencia y apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo. Sus conocimientos, consejos y exigencia académica fueron clave para la culminación exitosa de esta investigación. De igual manera, extendiendo mi agradecimiento a todos los docentes que formaron parte de mi formación universitaria, quienes, con su dedicación y compromiso, contribuyeron significativamente a mi crecimiento académico.

A mis compañeros de clase, por el apoyo mutuo, la camaradería y las innumerables jornadas de estudio compartidas, que hicieron de esta etapa una experiencia enriquecedora tanto en lo académico como en lo personal.

De manera especial, a mis padres y a mi hermana, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante en cada etapa de mi vida. Sus sacrificios, esfuerzos y confianza han sido el pilar fundamental para alcanzar este logro, y a ellos dedico este trabajo con profunda gratitud.

Finalmente, a mis amigos y familiares que, con sus palabras de aliento, motivación y compañía, estuvieron presentes a lo largo de este proceso, brindándome el impulso necesario para culminar esta importante etapa de mi vida.

Christian Alexander Yunga Lazo

## Resumen

El sistema de almacenamiento energético constituye uno de los subsistemas más importantes en vehículos eléctricos de alta eficiencia, debido a su influencia directa sobre la autonomía, el peso y el desempeño energético del sistema de propulsión. En competencias como Shell Eco-Marathon, donde el objetivo principal es maximizar la eficiencia energética del vehículo, el diseño del paquete de baterías adquiere un papel fundamental para garantizar un suministro energético eficiente bajo estrictas restricciones técnicas y normativas. En la presente investigación se realizó el diseño, construcción y validación de un paquete de baterías de litio-ion destinado a alimentar un motor eléctrico de 36 V y 250 W seleccionado para un prototipo de la competencia Shell Eco-Marathon. Para ello, se emplearon celdas cilíndricas de ion-litio de 3,7 V y 2,5 Ah, a partir de las cuales se desarrolló el análisis de configuración eléctrica necesario para satisfacer los requerimientos energéticos del sistema. Como resultado, se obtuvo un paquete de baterías con configuración 10S3P, conformado por 10 celdas en serie y 3 en paralelo, alcanzando un voltaje final de 37 V y una capacidad de 7,5 Ah, con un peso total de 1,4285 kg. Adicionalmente, se seleccionó e integró un sistema de gestión de baterías (BMS) compatible con la configuración desarrollada, permitiendo el monitoreo y protección del sistema frente a condiciones de sobrecarga, descarga profunda y desbalance entre celdas. Finalmente, la validación del paquete de baterías se realizó mediante pruebas de carga y descarga orientadas a evaluar el comportamiento electro energético del sistema durante ciclos de funcionamiento, evidenciando el correcto desempeño del paquete bajo condiciones reales de operación y validando la viabilidad técnica y funcional del diseño propuesto para aplicaciones de movilidad eléctrica eficiente.

### Palabras clave:

Baterías, Celdas cilíndricas, Litio-Ion, BMS, vehículos eléctricos, Shell Eco Marathon

## Abstract

The energy storage system constitutes one of the most important subsystems in high-efficiency electric vehicles due to its direct influence on autonomy, weight, and the energetic performance of the propulsion system. In competitions such as Shell Eco-Marathon, where the main objective is to maximize vehicle energy efficiency, the design of the battery pack plays a fundamental role in guaranteeing an efficient energy supply under strict technical and regulatory constraints. In the present research, the design, construction, and validation of a lithium-ion battery pack intended to supply a 36 V and 250 W electric motor selected for a Shell Eco-Marathon prototype were carried out. Cylindrical lithium-ion cells rated at 3.7 V and 2.5 Ah were employed, from which the electrical configuration analysis required to satisfy the energetic demands of the system was developed. As a result, a 10S3P battery pack configuration was obtained, consisting of 10 cells connected in series and 3 in parallel, achieving a final voltage of 37 V and a capacity of 7.5 Ah, with a total weight of 1.4285 kg. Additionally, a Battery Management System (BMS) compatible with the developed configuration was selected and integrated, allowing the monitoring and protection of the system against overcharge, over-discharge, and cell imbalance conditions. Finally, the validation of the battery pack was carried out through charge and discharge tests aimed at evaluating the electro-energetic behavior of the system during operating cycles, demonstrating the proper performance of the battery pack under real operating conditions and validating the technical and functional feasibility of the proposed design for efficient electric mobility applications.

## Keywords:

Batteries, Cylindrical cells, Lithium-ion, BMS, Electric vehicles, Shell Eco-Marathon.

## Índice de contenidos

<b>Dedicatoria .....</b>	<b>i</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>iii</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>v</b>
Palabras clave:.....	v
<b>Abstract .....</b>	<b>vi</b>
Keywords: .....	vi
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
Objetivos .....	10
General .....	10
Específicos .....	10
<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>10</b>
Equipamiento/Insumos.....	10
Metodología .....	14
<b>Resultados .....</b>	<b>32</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>38</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>40</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>43</b>

## Índice de figuras

Fig 1: Vehículo campeón perteneciente a Saint Thomas Academy.....	1
Fig 2: Comparativa de composiciones químicas de diferentes baterías .....	4
Fig 3: Conexión en Serie.....	6
Fig 4: <i>Conexión en paralelo</i> .....	6
Fig 5: Ejemplo conexión de la BMS.....	7
Fig 6: BMS con sensor térmico (Termistor) .....	8
Fig 7: Esquema configuración de la batería.....	16
Fig 8: Celdas de litio-ion colocada en los elementos de interconexión .....	17
Fig 9: Platinas de níquel soldadas para configuración en serie .....	18
Fig 10: Platinas de níquel soldadas para configuración en paralelo .....	18
Fig 11: Esquema de conexión de la BMS .....	19
Fig 12: Batería con el material termo contraíble .....	20
Fig 13: Aislamiento eléctrico de la batería .....	21
Fig 14: Conexión batería al motor en la bancada .....	22
Fig 15: Conexión del sistema eléctrico primera bicicleta.....	23
Fig 16: Alojamiento de la batería en la bicicleta.....	23
Fig 17: Recubrimiento base de la batería.....	24
Fig 18: Batería montada en el alojamiento en la bicicleta .....	25
Fig 19: Medición del peso de la bicicleta .....	26
Fig 20: Peso de la Bicicleta.....	27
Fig 21: Peso del operador de la bicicleta .....	27
Fig 22: Peso adicional.....	28
Fig 23: Voltaje inicial de la batería .....	29
Fig 24: Recorrido a realizar en la competencia .....	30
Fig 25: Recorrido realizado durante las pruebas.....	31
Fig 26: Paquete de baterías .....	32
Fig 27: BMS integrado al paquete de baterías .....	33
Fig 28: Tiempo de carga útil de la batería.....	33
Fig 29: Carga máxima de la batería .....	35
Fig 30: Tiempo de carga útil de la batería en la última prueba.....	35
Fig 31: Kilometraje antes de la prueba .....	36
Fig 32: Kilometraje al final de la prueba .....	36
Fig 33: Voltaje mínimo del paquete luego de la prueba.....	37
Fig 34: Diseño Batería en Proteus .....	43
Fig 35: Principales materiales para la construcción de la batería .....	43
Fig 36: Especificaciones del motor utilizado.....	44

## Índice de tablas

Tabla 1: Datos Técnicos Celdas Litio-Ion.....	11
Tabla 2: Pesos del vehículo.....	26

## Índice de ecuaciones

Formula de la potencia en base a la intensidad y el voltaje .....	5
Formula de la potencia en base a la intensidad y la resistencia .....	5

# Diseño e implementación de una batería de Litio-Ion para un vehículo de Shell Eco Marathon

## Introducción

La Shell Eco-Marathon (SEM) es una de las competencias estudiantiles de mayor prestigio a nivel mundial en el ámbito de la innovación automotriz. Su objetivo principal es desafiar a equipos de universidades y centros técnicos a diseñar, construir y operar vehículos experimentales capaces de recorrer la mayor distancia posible con el menor consumo de energía. En este escenario, los equipos desarrollan prototipos desde su etapa conceptual hasta su validación en pista, enfrentando estrictas exigencias técnicas y normativas. La competencia se organiza principalmente en dos categorías: Prototype, enfocada en maximizar la eficiencia energética mediante diseños altamente optimizados, y Urban Concept, orientada a vehículos más cercanos a condiciones reales de circulación. El presente proyecto se enmarca en la categoría Prototype de vehículos eléctricos, la cual exige altos niveles de eficiencia, reducción de masa y optimización energética. En la Fig 1 se aprecia el vehículo campeón de Shell Eco-Marathon Américas 2025 en la categoría prototipo-baterías eléctricas el cual hizo 211.7 mi/kWh.



*Fig 1: Vehículo campeón perteneciente a Saint Thomas Academy.*

Fuente: Shell Eco-Marthon, 2026

Dentro del reglamento técnico de la competencia se establecen restricciones clave que condicionan el diseño del vehículo, tales como un voltaje máximo de 60 V DC, una capacidad energética limitada a 1000 Wh y la obligatoriedad del uso de baterías de tecnología de litio como única fuente de energía. Asimismo, se exige la implementación de sistemas de protección eléctrica,

aislamiento adecuado, dispositivos de desconexión de emergencia y la integración de un sistema de gestión de baterías (BMS) capaz de garantizar la seguridad operativa. Estas regulaciones, junto con la necesidad de documentar completamente el sistema eléctrico del vehículo, influyen directamente en las decisiones de ingeniería adoptadas por los equipos participantes.

La construcción del prototipo responde a la naturaleza colaborativa de los proyectos universitarios, en los cuales el desarrollo del vehículo se organiza mediante la división en diferentes subsistemas, asignados a distintos grupos de trabajo dentro del equipo. Entre los principales subsistemas se encuentran la dirección, la carrocería, el chasis, el sistema de frenos y el sistema de control del motor eléctrico, cuya integración permite la materialización del vehículo completo. Dentro de esta estructura, el sistema de almacenamiento de energía constituye un subsistema fundamental, ya que es el encargado de suministrar la energía necesaria para la propulsión y, por ende, influye directamente en variables como la autonomía, el peso total, la seguridad operativa y el desempeño energético del vehículo.

En el contexto de la Shell Eco-Marathon, esta condición convierte a la batería en uno de los elementos de mayor incidencia sobre el rendimiento global del prototipo, ya que de su diseño dependen directamente la autonomía alcanzable, la masa total del vehículo y la seguridad de operación (Ghabech et al., 2021). Aunque las baterías de litio representan la alternativa más adecuada por su elevada densidad energética y capacidad de descarga, su implementación plantea desafíos técnicos relevantes. Según (Chen, 2022), uno de los principales retos consiste en la correcta selección y configuración de las celdas, de modo que sea posible alcanzar un equilibrio adecuado entre la energía disponible, la potencia suministrada y el peso total del sistema. A ello se suman las restricciones propias de los proyectos universitarios, en los cuales las limitaciones técnicas y económicas obligan a plantear soluciones factibles, seguras y eficientes, reforzando la necesidad de investigación y desarrollo en el ámbito del almacenamiento energético automotriz (Ghabech et al., 2021).

En concordancia con lo anterior, el reglamento de la Shell Eco-Marathon establece como requisito el uso exclusivo de baterías de tecnología de litio-ion como fuente de energía para la propulsión del vehículo, además de imponer limitaciones como un voltaje máximo de operación y restricciones en la capacidad energética del sistema. Estas condiciones obligan a los equipos a

diseñar soluciones eficientes, seguras y adaptadas a las exigencias de la competencia, lo que resalta la importancia de comprender a profundidad esta tecnología.

Bajo estas condiciones, el diseño e implementación de una batería específica para un vehículo de competencia se justifica por la necesidad de optimizar el sistema de almacenamiento energético, elemento que determina en gran medida la eficiencia y el desempeño en pista. Este tipo de desarrollo permite profundizar en aspectos como la selección de celdas, la configuración del paquete, la gestión térmica y la integración de un sistema de protección electrónica mediante un sistema de gestión de baterías (BMS) (Sun et al., 2022). Desde la perspectiva académica, los vehículos eléctricos de competición constituyen además un escenario idóneo para aplicar de manera integrada principios de ingeniería automotriz y electrónica, fortaleciendo competencias profesionales vinculadas con el diseño de soluciones energéticas avanzadas y sostenibles (Ghabech et al., 2021).

Las baterías de litio-ion son sistemas electroquímicos en los que la energía se almacena y libera mediante el movimiento de iones de litio entre un ánodo y un cátodo a través de un electrolito. Dentro de esta tecnología existen diferentes familias químicas, como NMC (níquel-manganeso-cobalto), NCA (níquel-cobalto-aluminio) y LFP (litio-hierro-fosfato), las cuales presentan distintos compromisos en términos de densidad energética, seguridad y vida útil, por lo que la selección de la química constituye una decisión central en el diseño de un paquete de baterías para aplicaciones automotrices y de competición (Koech et al., 2024; Liu et al., 2021). Estudios recientes destacan que las químicas NMC y NCA ofrecen alta densidad energética, lo que las hace idóneas para aplicaciones donde el espacio y el peso son factores críticos, mientras que las baterías LFP sobresalen por su mayor seguridad y larga vida útil, siendo una opción adecuada para equipos con recursos limitados o para proyectos académicos que priorizan la confiabilidad (Koech et al., 2024; Liu et al., 2021). Aunque emergen tecnologías alternativas como las baterías de sodio-ion, litio-azufre y estado sólido, estas aún se encuentran en fase experimental y no resultan viables para proyectos estudiantiles o prototipos de competencia como los de la Shell Eco-Marathon, donde prevalece la optimización de las configuraciones de litio-ion disponibles en el mercado (Koech et al., 2024).

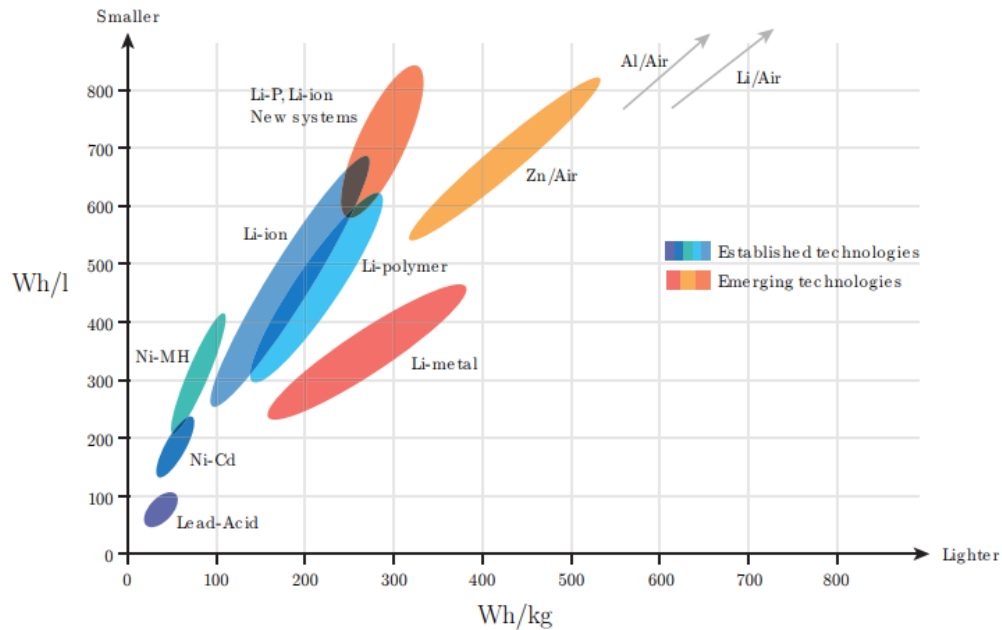


Fig 2: Comparativa de composiciones químicas de diferentes baterías

Fuente: Jarrett, 2011

En los últimos años, los avances en el diseño de paquetes de baterías se han enfocado en incrementar la densidad energética y optimizar la seguridad de las celdas. En este sentido, la industria ha migrado progresivamente del formato cilíndrico 18650 (18 mm de diámetro y 65 mm de longitud) al formato 21700 (21 mm de diámetro y 70 mm de longitud), debido a que este último ofrece mayor capacidad individual y mejor densidad volumétrica, lo cual permite reducir el número de conexiones requeridas en el paquete, simplificar el diseño y mejorar la confiabilidad del sistema. No obstante, el incremento en la densidad energética también implica mayores desafíos térmicos, ya que una mayor acumulación de energía puede generar más calor durante los procesos de carga y descarga, exigiendo sistemas de gestión térmica más eficientes (Liu et al., 2021).

Esta evolución tecnológica ha abierto nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir la masa total de los sistemas de almacenamiento energético, aspecto especialmente relevante en competencias donde cada gramo y cada milivoltio resultan determinantes para el desempeño final (Fraunhofer ISI, 2022). No obstante, el aumento de la densidad energética también incrementa la complejidad del diseño, ya que el calor generado durante el funcionamiento puede comprometer la eficiencia, la vida útil y la seguridad del sistema. En este sentido, (Sun et al.,

2022) señalan que la integración de estrategias adecuadas de protección y monitoreo constituye un requisito fundamental para garantizar resultados óptimos en aplicaciones de alta exigencia.

En este sentido, el presente trabajo se enfoca en el diseño, implementación y validación del sistema de baterías de litio-ion, así como en la gestión de las mismas, con el propósito de satisfacer los requerimientos energéticos del motor eléctrico seleccionado para la competencia. Para ello, resulta fundamental comprender los principios básicos que rigen el comportamiento de los sistemas eléctricos, donde la potencia constituye una magnitud clave al describir la rapidez con la que la energía es transferida o consumida por un dispositivo. Esta depende directamente del voltaje (V) y la corriente (I), cuya relación se expresa como:

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Asimismo, considerando la resistencia del circuito, la potencia puede representarse mediante relaciones adicionales que resultan útiles para el análisis y diseño del sistema:

$$P = I^2 \cdot R \quad \text{y} \quad P = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

Bajo este fundamento, el almacenamiento de energía en vehículos eléctricos se realiza mediante paquetes de baterías compuestos por múltiples celdas electroquímicas, cuya disposición eléctrica depende de los requerimientos de tensión, capacidad y potencia del sistema de propulsión. La conexión en serie (véase en Fig 3) permite incrementar el voltaje total, ya que las tensiones individuales de cada celda se suman, mientras que la conexión en paralelo (véase en

Fig 4) aumenta la capacidad energética y la corriente disponible al combinar las capacidades de las celdas. La literatura especializada señala que la selección de la configuración eléctrica influye directamente en el desempeño energético del vehículo y en la susceptibilidad al desbalance entre celdas, lo que constituye uno de los principales retos técnicos en el diseño de baterías para aplicaciones de movilidad eléctrica (Pesaran, 2002; Plett, 2015).

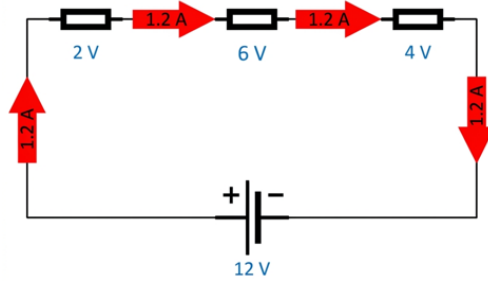


Fig 3: Conexión en Serie

Fuente: Leeftink, 2026

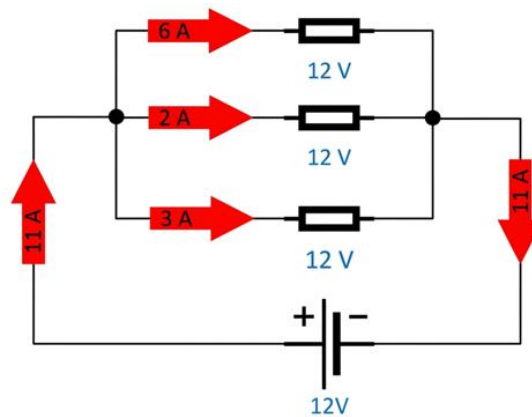


Fig 4: Conexión en paralelo

Fuente: Leeftink, 2026

La importancia de esta etapa radica en que la configuración de las celdas no solo define el nivel de tensión, capacidad y potencia que podrá suministrar el paquete, sino que también condiciona el comportamiento térmico y el grado de complejidad del sistema de supervisión requerido. En consecuencia, el diseño de la arquitectura eléctrica del paquete constituye uno de los puntos críticos del presente estudio, ya que de ella depende el cumplimiento de los requerimientos energéticos del motor, así como la estabilidad y seguridad del sistema durante la operación en competencia.

Precisamente, a medida que aumenta el número de celdas y se complejiza su configuración eléctrica, se vuelve indispensable incorporar un sistema capaz de supervisar continuamente el comportamiento individual y colectivo del paquete. En este contexto, el funcionamiento seguro y confiable de los paquetes de baterías depende en gran medida de los Sistemas de Gestión de Baterías (BMS, por sus siglas en inglés). En un conexionado típico, el polo positivo total del

paquete (B+) se conecta directamente a la BMS y de allí a la salida positiva, mientras que el polo negativo (B-) pasa primero por la BMS antes de dirigirse a la salida común (P-), compartida por el cargador y el motor. Adicionalmente, el arnés de balanceo enlaza cada punto intermedio del paquete, correspondiente a cada grupo de celdas en serie, permitiendo que la BMS supervise individualmente el comportamiento de cada sección del sistema.

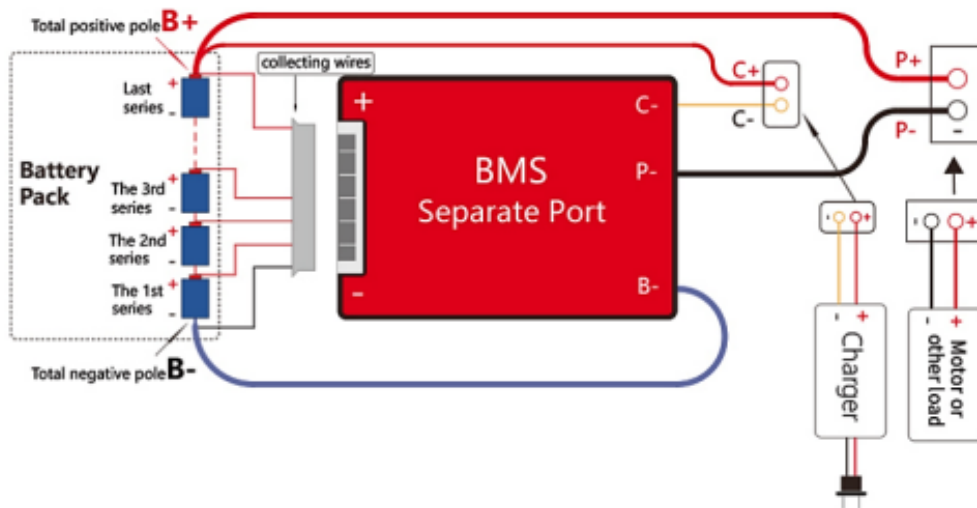


Fig 5: Ejemplo conexión de la BMS

Fuente: Guanoluisa, 2022

Esta arquitectura resulta especialmente relevante cuando la batería está formada por varias celdas conectadas en serie, ya que pequeñas diferencias de capacidad, resistencia interna o temperatura entre ellas pueden generar desequilibrios de voltaje que afectan el rendimiento global del paquete. Por esta razón, la BMS se encarga de supervisar parámetros como tensión, corriente, estado de carga (SoC) y estado de salud (SoH), con el fin de prevenir condiciones de riesgo como sobrecargas, descargas profundas, exceso de corrientes o desbalances entre celdas. De esta manera, la configuración eléctrica de la batería y la estrategia de monitoreo implementada por la BMS no son elementos independientes, sino aspectos estrechamente relacionados que determinan la estabilidad operativa, la seguridad y la vida útil del sistema (Liu et al., 2021; Plett, 2015).



Fig 6: BMS con sensor térmico (Termistor)

Fuente: Elaboración propia

A esta supervisión eléctrica se suma la necesidad de controlar el comportamiento térmico del paquete. El incremento en la densidad energética y la agrupación de múltiples celdas en un espacio reducido hacen que durante los procesos de carga y descarga se genere calor, el cual, si no es adecuadamente gestionado, puede reducir la eficiencia energética, acelerar fenómenos de degradación electroquímica y comprometer la seguridad del sistema. En este sentido, algunos BMS modernos incorporan sensores térmicos que permiten monitorear en tiempo real la temperatura de las celdas y aplicar estrategias de protección y balanceo térmico, contribuyendo tanto a la seguridad como a la extensión de la vida útil del sistema (Liu et al., 2021; Plett, 2015).

La necesidad de incorporar estas estrategias de control se vuelve aún más relevante en entornos de alta exigencia como los vehículos de competición. En este sentido, (Li et al., 2025) enfatizan que la gestión térmica efectiva “es esencial para optimizar el rendimiento, garantizar la seguridad y satisfacer las demandas rigurosas de la competencia”. De manera complementaria, (De Jesús Lozoya-Santos et al., 2025) destacan que la temperatura influye significativamente en el rendimiento y la seguridad de las baterías, por lo que los sistemas de gestión térmica permiten controlar eficazmente esta variable, asegurando la eficiencia y durabilidad del sistema.

La gestión térmica de los paquetes de baterías constituye, por tanto, un campo de investigación clave en aplicaciones de alta exigencia como los vehículos de competición. Los enfoques documentados en la literatura incluyen sistemas pasivos basados en materiales de alta conductividad térmica y sistemas activos de ventilación o refrigeración líquida. Investigaciones recientes demuestran la eficacia de integrar estrategias pasivas y activas para optimizar el control

térmico; por ejemplo, el uso de materiales de cambio de fase (PCM) combinados con aletas metálicas o ventilación dirigida ha mostrado un desempeño eficiente para estabilizar la temperatura con una adecuada relación peso-costos (Ling et al., 2014; Rahmani et al., 2024). En aplicaciones de competición también se han explorado sistemas de refrigeración líquida; sin embargo, su implementación puede incrementar el peso total y la complejidad constructiva del vehículo, factores que deben evaluarse cuidadosamente dentro del contexto de la Shell Eco-Marathon.

En concordancia con lo expuesto, la construcción del prototipo para la Shell Eco-Marathon Américas 2026 responde a la integración de diversos subsistemas que, en conjunto, permiten la materialización y operación eficiente del vehículo. Dentro de esta arquitectura, la fuente de energía constituye un subsistema primordial, ya que de su diseño dependen directamente el suministro de potencia, la autonomía y la capacidad de satisfacer los requerimientos energéticos del motor eléctrico seleccionado para la competencia. En este marco, el alcance de la presente tesis se circunscribe al diseño e implementación de un paquete de baterías de litio-ion destinado a un vehículo participante en la categoría Prototipo – Baterías Eléctricas, considerando exclusivamente las especificaciones del motor definido para este proyecto. El estudio comprende el análisis de la configuración en serie y paralelo de las celdas con el fin de cumplir los requerimientos de tensión y capacidad del sistema de propulsión, así como el desarrollo estructural y energético del paquete de baterías. Asimismo, se contempla la selección del sistema de gestión de baterías (BMS) más adecuado, orientado a garantizar la seguridad, el monitoreo y el balanceo del sistema. En consecuencia, la investigación no aborda la selección del motor ni el diseño de su controlador, concentrándose exclusivamente en el subsistema de almacenamiento energético y en la gestión integral del mismo.

## Objetivos

### *General*

Diseñar e implementar una batería de Litio-ion para un vehículo Shell Eco-Marathon.

### *Específicos*

- Analizar la configuración en serie y paralelo de las celdas de Litio-ion con el fin de determinar la disposición más adecuada que cumpla los requerimientos de tensión y capacidad necesarios para el funcionamiento del motor destinado a la competencia.
- Desarrollar el diseño del paquete de baterías de Litio-ion considerando su estructura, capacidad energética y criterios de integración en el vehículo de la Shell Eco-Marathon.
- Definir el sistema de gestión de la batería (BMS) más adecuado en función de las características del paquete desarrollado y de las necesidades de seguridad y monitoreo establecidas para la competencia.
- Implementar el paquete de baterías diseñado en el vehículo de la Shell Eco-Marathon, asegurando su correcta integración y funcionamiento con los demás sistemas.
- Validar el paquete de baterías mediante pruebas de rendimiento, eficiencia y seguridad realizadas en un motor eléctrico en banco.

## Materiales y métodos

### Equipamiento/Insumos

A continuación, se presentan los materiales empleados para el desarrollo del proyecto de diseño e implementación de la batería de litio para el vehículo destinado a la competencia de Shell Eco-Marathon. La selección de estos componentes se realizó con base en criterios de seguridad, eficiencia energética, compatibilidad eléctrica y resistencia mecánica, garantizando un funcionamiento confiable y óptimo del sistema. Los materiales utilizados se describen a continuación:

## Celdas Cilíndricas de Litio-Ion 18650 (3.7V, 2500mAh)

Tabla 1: Datos Técnicos Celdas Litio-Ion

Parámetro	Valor típico
Voltaje nominal	3.7 V
Voltaje máximo de carga	4.2 V
Voltaje mínimo de descarga	≈ 2.8–3.0 V
Capacidad nominal	2500 mAh
Energía por celda	≈ 9.25 Wh
Ciclos de vida útiles	~500–1200
Rango de temperatura	-20 °C a 60 °C
Tipo de química	NMC / NCA / Li-ion

Las celdas 18650 son el estándar mundial para baterías de litio recargables utilizadas en diseño de packs para vehículos eléctricos. Tienen buena densidad energética, vida útil y seguridad.

### Sistema de Gestión de Baterías (BMS) (Quartz Components, 2026a)

- Monitoreo de voltaje por celda y total del pack
- Equilibrado de celdas (balanceo)
- Protecciones contra:
  - Sobrecarga
  - Descarga profunda
  - Exceso de corriente
  - Cortocircuito
  - Exceso de temperatura
- Corriente nominal (ej. 10 A – 30 A según modelo)
- Compatible con paquetes en serie

### **Platinas de níquel (Nickel Strip)** (WinAck, 2026)

- Material: níquel puro o niquelado
- Espesor típico: 0.1 – 0.2 mm
- Alta conductividad eléctrica
- Compatibilidad con soldadura por puntos

### **Soldadora por puntos (Spot Welder)** (Accio, 2026)

- Corriente de soldadura: hasta 800–2000 A
- Voltaje: ~1–5 V DC en el punto de soldadura
- Duración de pulso: milisegundos
- Energía de pulso: ~50–840 J (según potencia)

### **Multímetro digital** (COMPEL SA, 2026)

- Rango de voltaje DC: hasta 6000 V
- Rango de corriente: mA hasta 10 A
- Rango de resistencia:  $\Omega$  a  $M\Omega$
- Funciones: continuidad, medición de diodos

### **Cinta de fibra de vidrio** (McMaster-Carr, 2026)

- Alta resistencia térmica (hasta ~200–500 °C dependiendo del tipo)
- Aislante eléctrico
- Resistencia mecánica

### **Cautín (soldador eléctrico)** (Manuals+, 2026)

- Potencia: 25–60 W (electrónica)
- Temperatura punta: 200–450 °C
- Aplicación: soldadura con estaño

### **Balanza Automotriz (GIROPES, 2026)**

- Medición individual del peso por rueda y cálculo del peso total del vehículo
- Sistema de plataformas independientes (una por cada rueda del vehículo)
- Capacidad de carga por plataforma (ej. 10 000 kg – 25 000 kg según modelo)
- Alta precisión de medición ( $\pm 0,5\%$  a  $\pm 1\%$  del valor medido)
- Estructura en aluminio o acero de alta resistencia
- Sensores de carga tipo celda (load cell) con protección IP66–IP68
- Pantalla digital o sistema inalámbrico para visualización de datos
- Posibilidad de medir peso por eje, por rueda y peso total del vehículo
- Sistema portátil de bajo perfil para fácil instalación en campo
- Requiere superficie plana y nivelada para garantizar precisión
- Configuración modular (el número de plataformas depende del número de ruedas del vehículo)

### **Cinta Termo contraíble para Baterías de Ion-Litio (Quartz Components, 2026b)**

- Material polimérico termo contraíble (poliolefina o PVC especializado)
- Capacidad de contracción térmica al aplicar calor (relación típica 2:1 o superior)
- Aislamiento eléctrico de alta resistencia dieléctrica
- Protección mecánica contra abrasión, vibraciones y golpes
- Resistencia a temperaturas elevadas y variaciones térmicas
- Adaptabilidad a diferentes geometrías del paquete de baterías
- Protección contra humedad y agentes externos
- Mejora de la integridad estructural del pack de baterías
- Compatible con celdas de ion-litio y sistemas electrónicos asociados
- Aplicación mediante calor controlado (pistola de aire caliente)

## Metodología

Inicialmente, se efectuó la caracterización eléctrica individual de las celdas de ion-litio disponibles en el laboratorio de la universidad, específicamente celdas cilíndricas formato 18650 con una capacidad nominal de 2500 mAh y un voltaje nominal de 3,7 V por unidad. La evaluación se realizó mediante medición directa de voltaje en circuito abierto utilizando un multímetro digital calibrado, con el propósito de determinar el estado de carga (State of Charge, SoC) preliminar y descartar posibles celdas con degradación significativa.

Desde el punto de vista electroquímico, se consideró como criterio técnico que una celda de ion-litio no debe descargarse por debajo de 2,75 V, ya que una descarga profunda puede inducir fenómenos irreversibles como degradación del material activo, incremento de la resistencia interna y pérdida de capacidad útil. Este umbral mínimo de tensión se adoptó como parámetro de seguridad operativa, con el fin de prevenir daños estructurales internos y garantizar la estabilidad del voltaje final del paquete de baterías, contribuyendo así a la maximización de la vida útil del sistema de almacenamiento energético (Wang et al., 2021).

Posteriormente, una vez determinado el estado de salud (State of Health, SoH) de las celdas seleccionadas, se procedió al dimensionamiento del arreglo eléctrico requerido para satisfacer las especificaciones nominales del motor eléctrico disponible, el cual opera a 36 V y 250 W de potencia. Para ello, se realizó el cálculo de la configuración serie-paralelo del banco de baterías aplicando la Ley de Ohm y los principios de asociación de fuentes de tensión.

En la configuración en serie, se incrementa el voltaje total mediante la suma algebraica de las tensiones individuales, manteniéndose constante la capacidad en amperios-hora; mientras que, en la configuración en paralelo, se conserva el voltaje nominal y se incrementa la capacidad total del sistema mediante la suma de las corrientes disponibles. A partir de estos criterios se determinó el número óptimo de celdas necesarias para alcanzar el voltaje requerido por el motor y garantizar el suministro de corriente adecuado para su régimen de operación nominal.

## Cálculo en Serie y Paralelo para satisfacer las necesidades de 36V y 250W

Intensidad necesaria para el funcionamiento del motor de 250W

$$P = V * I$$

$$\frac{P}{V} = I$$

$$I = \frac{250W}{36V}$$

$$I = 6.944A \sim 7A$$

Posteriormente se calcularon el número de celdas en serie y paralelo para cumplir con los requerimientos energéticos del motor, dicho cálculo se muestra a continuación:

### Especificaciones técnicas de cada celda de Litio-ion

- 3.7V
- 2500mAh

Teniendo presente que la conexión en serie permite incrementar el voltaje y mantener el amperaje se realizó el siguiente cálculo:

$$N_{celdas} = \frac{Voltaje\ Total}{Voltaje\ individual\ celda}$$

$$N_{celdas} = \frac{37V}{3.7V}$$

$$N_{celdas} = 10$$

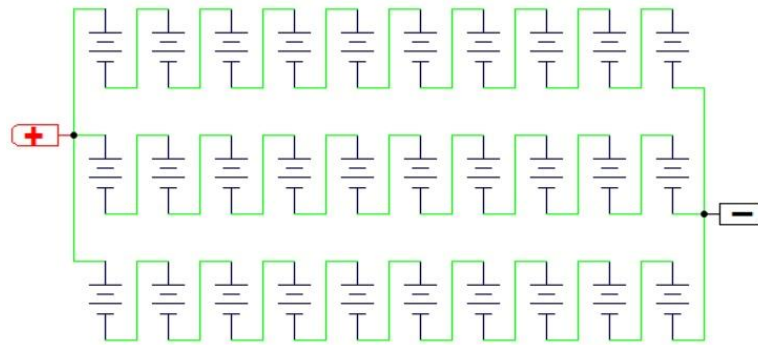
Posteriormente se realizó el cálculo del número de celdas en paralelo teniendo en cuenta que en la suma en paralelo se incrementa el amperaje y se mantiene el voltaje:

$$N_{celdas} = \frac{Amperaje\ necesario}{Amperaje\ individual}$$

$$N_{celdas} = \frac{7A}{2.5A}$$

$$N_{celdas} = 2.8 \sim 3$$

A partir de los cálculos eléctricos desarrollados previamente, se determinó una configuración final correspondiente a un arreglo 10S3P, la cual permitió satisfacer los requerimientos energéticos y eléctricos establecidos para el sistema de propulsión. Esta disposición fue posteriormente representada mediante esquemas electrónicos en el software de simulación Proteus, con el propósito de validar gráficamente la arquitectura del paquete de baterías, analizar el comportamiento teórico del sistema y documentar la topología implementada del banco de baterías.



*Fig 7: Esquema configuración de la batería*

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la disposición óptima de las celdas, es fundamental considerar que la configuración del paquete de baterías depende directamente de las características eléctricas individuales de cada celda, principalmente de su voltaje nominal y su capacidad de amperaje. En este sentido, los parámetros energéticos requeridos por el sistema de propulsión deben ser satisfechos a partir de las especificaciones técnicas unitarias de las celdas seleccionadas. Por lo tanto, la utilización de celdas con diferentes valores de voltaje o capacidad eléctrica daría lugar a configuraciones distintas para alcanzar los mismos requerimientos de operación, evidenciando que la arquitectura final del paquete se encuentra condicionada por las prestaciones eléctricas propias de cada tecnología de celda empleada.

Una vez concluido el análisis preliminar del diseño y configuración de cada una de las celdas, se procedió al ensamblaje del módulo de batería. Inicialmente, se construyó la estructura mecánica utilizando los elementos de interconexión de celdas disponibles en la universidad, configurando el arreglo electroquímico mediante la conexión de un número determinado de celdas en serie y en paralelo, según los requerimientos de tensión y capacidad establecidos en la etapa de

diseño. Posteriormente, se instaló la carcasa complementaria del módulo con la finalidad de funcionar como cubierta superior e inferior, garantizando la correcta fijación mecánica del conjunto y proporcionando estabilidad estructural al sistema de baterías.



*Fig 8: Celdas de litio-ion colocada en los elementos de interconexión*

Fuente: Elaboración propia

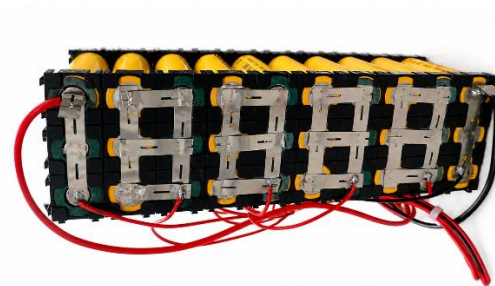
Una vez posicionadas las celdas en su configuración definitiva dentro del módulo, se procedió a la interconexión eléctrica mediante la soldadura de tiras de níquel (niquelinas), empleando un proceso de soldadura por puntos para garantizar una unión de baja resistencia eléctrica y adecuada integridad mecánica.

Las conexiones horizontales se realizaron con el propósito de establecer la configuración en serie (véase Fig 9), permitiendo la suma algebraica de los potenciales individuales de cada celda y, en consecuencia, el incremento del voltaje total del paquete, mientras se mantiene constante la capacidad nominal (Ah) del conjunto. De manera complementaria, las interconexiones verticales se ejecutaron para conformar los grupos en paralelo (véase Fig 10), en los cuales las capacidades individuales de las celdas se suman, lo que se traduce en un incremento de la capacidad total del paquete y de la corriente máxima de descarga disponible. Esta disposición en paralelo permite aumentar el amperaje suministrado por el sistema, manteniendo inalterado el voltaje nominal previamente obtenido mediante la configuración en serie.



*Fig 9: Platinas de níquel soldadas para configuración en serie*

Fuente: Elaboración propia



*Fig 10: Platinas de níquel soldadas para configuración en paralelo*

Fuente: Elaboración propia

Esta arquitectura mixta serie-paralelo fue diseñada estratégicamente para alcanzar los valores finales de tensión nominal y capacidad requeridos por la aplicación, asegurando además una distribución homogénea de corriente entre las celdas y minimizando pérdidas por resistencia de contacto.

Previo a la integración del sistema de gestión de baterías (BMS, *Battery Management System*), se realizó la selección del dispositivo en función de la configuración eléctrica definida para el paquete, correspondiente a 10 celdas en serie y 3 en paralelo (10S3P). Este criterio permitió garantizar la compatibilidad del BMS con el número de grupos en serie que requieren supervisión individual, así como con la capacidad total resultante de la disposición en paralelo. Una vez seleccionada la BMS, se procedió a su integración al paquete de baterías con el objetivo de asegurar el monitoreo, control y protección del conjunto durante su operación. La implementación de este sistema resulta fundamental para mantener condiciones seguras de funcionamiento, ya que permite supervisar parámetros críticos como el voltaje individual de cada grupo de celdas, la corriente de carga y descarga, y la temperatura del sistema, contribuyendo a prevenir condiciones de riesgo como sobrecargas, descarga profunda exceso corrientes y desbalances entre celdas.

Para la correcta conexión del módulo de gestión, se tomó como referencia el diagrama técnico (véase la Fig 11) y el esquema de conexionado proporcionado por el fabricante del BMS. Siguiendo rigurosamente dichas especificaciones, se realizó la soldadura de cada uno de los conductores de balanceo en los puntos correspondientes del arreglo serie–paralelo, asegurando que cada terminal estuviera conectado a la celda o grupo de celdas indicado en el manual técnico. Este procedimiento es esencial para que el sistema pueda efectuar el balanceo pasivo o activo de las celdas, evitando desbalances de tensión que puedan comprometer el rendimiento o la vida útil del paquete.

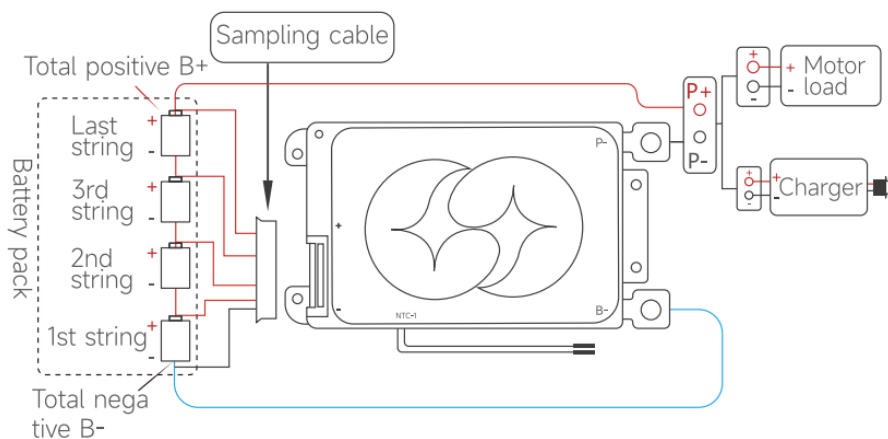


Fig 11: Esquema de conexión de la BMS

Fuente: Dongguan DALY Electronics, 2026

Finalmente, los terminales principales de potencia del BMS se conectaron a los bornes negativo (B-) y positivo (B+) del paquete de baterías, estableciendo así la interfaz principal para la carga y descarga controlada del sistema. Con esta configuración, el BMS queda habilitado para intervenir ante condiciones de sobrecarga, descarga profunda, exceso de corriente o cortocircuito, proporcionando una capa adicional de seguridad y confiabilidad operativa al conjunto de almacenamiento energético.

Una vez ensamblado el paquete de baterías e integrado el módulo de gestión de baterías (BMS), se procedió a la colocación del recubrimiento termo contraíble externo (véase en Fig 12). Para su correcta fijación previa al proceso de contracción térmica se empleó cinta adhesiva de doble cara, asegurando la estabilidad del recubrimiento durante el montaje. En esta etapa, se dispusieron en el interior del material termo contraíble tanto los conductores correspondientes a cada una de las

derivaciones de las líneas en serie como los terminales principales positivo y negativo del paquete. Esta configuración permite mantener el cableado completamente confinado dentro del encapsulado, favoreciendo el aislamiento eléctrico del conjunto, reduciendo el riesgo de contactos accidentales y proporcionando una barrera adicional frente a agentes externos. Asimismo, el recubrimiento termo contraíble contribuye a la protección mecánica superficial de las celdas frente a abrasión, vibraciones y manipulaciones durante la operación.



*Fig 12: Batería con el material termo contraíble*

Fuente: Elaboración propia

Como etapa final del proceso constructivo, el paquete de baterías fue reforzado mediante la aplicación perimetral de cinta de fibra de vidrio sobre toda su superficie externa (véase en Fig 13). Durante este procedimiento se recubrieron también los conductores asociados al sistema de gestión de baterías (BMS), así como los terminales principales positivo y negativo del paquete, de modo que el cableado quedó firmemente integrado al encapsulado exterior. Esta disposición permite inmovilizar los conductores, reducir el riesgo de desplazamientos por vibración o manipulación y minimizar la posibilidad de contactos accidentales con elementos conductores externos. Adicionalmente, el recubrimiento con cinta de fibra de vidrio incrementa la integridad estructural del conjunto y mejora simultáneamente sus condiciones de aislamiento eléctrico y resistencia térmica. De esta manera, se proporciona una protección complementaria a las celdas de ion-litio frente a esfuerzos mecánicos, posibles desplazamientos internos, cortocircuitos accidentales y concentraciones localizadas de temperatura, contribuyendo a preservar la seguridad operativa, la estabilidad del paquete y la confiabilidad del sistema durante su funcionamiento.



*Fig 13: Aislamiento eléctrico de la batería*

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de evaluar experimentalmente el desempeño del paquete de baterías desarrollado, la etapa de pruebas se estructuró a partir de una metodología de validación orientada a reproducir condiciones reales de operación del sistema de propulsión. Si bien la validación estaba prevista inicialmente sobre el prototipo completo, no fue posible concluir el ensamblaje integral del vehículo dentro del cronograma establecido, debido a que el desarrollo del subsistema de carrocería formaba parte de las actividades asignadas a otros integrantes del equipo y no alcanzó a completarse en el tiempo previsto. En consecuencia, se adoptó una metodología de validación alternativa basada en ensayos con motores eléctricos de características equivalentes a las del motor seleccionado para la competencia. En la universidad se disponía de varios motores con las mismas especificaciones técnicas, algunos montados en un banco experimental y otros integrados en bicicletas eléctricas, lo que permitió desarrollar pruebas en ambas configuraciones. Esta disposición experimental hizo posible evaluar el comportamiento del paquete de baterías tanto en condiciones controladas de laboratorio como en condiciones de carga más representativas de operación. A partir de esta metodología se realizaron los ensayos orientados a verificar la capacidad de suministro energético, la estabilidad operativa del sistema y la interacción funcional entre el paquete de baterías, la BMS y el sistema de propulsión.

La primera etapa de validación se llevó a cabo utilizando un motor eléctrico desmontado de una bicicleta, el cual se encontraba instalado sobre una bancada experimental de pequeñas dimensiones que permitía simular condiciones básicas de accionamiento. Para la puesta en marcha del sistema, se realizó inicialmente la conexión del controlador a las fases del motor y, posteriormente, la conexión de los terminales principales positivo y negativo del paquete de baterías al controlador (véase en Fig 14). Una vez efectuado el conexionado, el sistema se energizó

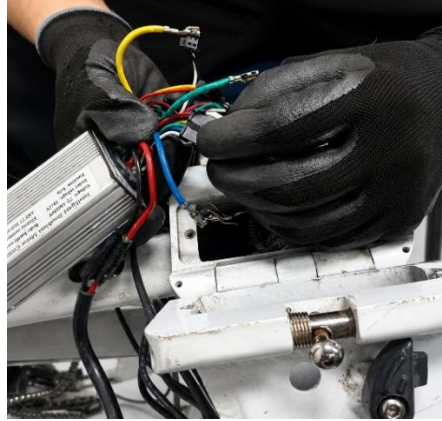
correctamente y el display del conjunto se activó; sin embargo, el motor no respondió al comando de accionamiento. Ante esta condición, se efectuó una verificación detallada de las conexiones eléctricas con el fin de descartar errores de montaje, comprobándose que el conexionado era adecuado. Posteriormente, mediante la inspección del display se identificó la presencia del código de error 007, el cual corresponde a una falla de comunicación entre el controlador y el motor, impidiendo el funcionamiento normal del sistema de propulsión (Nanjing Bigstone, 2025).



*Fig 14: Conexión batería al motor en la bancada*

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realizaron pruebas en bicicletas eléctricas disponibles en la universidad, equipadas con motores de las mismas especificaciones técnicas que el seleccionado para la competencia, con el objetivo de descartar que la anomalía detectada estuviera asociada al paquete de baterías. En la primera unidad ensayada, una vez efectuadas las conexiones de los terminales principales positivo y negativo del paquete y energizado el sistema, el display presentó nuevamente el código de error 007. Tras realizar una verificación del conexionado eléctrico y confirmar que las conexiones se encontraban correctamente establecidas (véase en Fig 15), se decidió repetir el ensayo en una segunda bicicleta con características equivalentes. En esta última, al efectuar el mismo procedimiento de conexión, el sistema se energizó y operó con normalidad, sin presentar fallas de comunicación. Este resultado permitió descartar al paquete de baterías como origen de la anomalía y evidenció que la falla se encontraba asociada a los controladores empleados en los dos ensayos anteriores. Una vez verificado el funcionamiento adecuado del sistema de propulsión en esta segunda bicicleta, se procedió a adaptar un alojamiento estructural destinado al montaje seguro del paquete de baterías, con el fin de continuar con las pruebas bajo condiciones operativas estables y representativas.



*Fig 15: Conexión del sistema eléctrico primera bicicleta*

Fuente: Elaboración propia

Para la adecuación del alojamiento del paquete de baterías se diseñó y fabricó un soporte rígido de madera, dimensionado en función de las dimensiones geométricas del conjunto, con el propósito de garantizar su fijación segura y restringir desplazamientos relativos, vibraciones y sollicitaciones mecánicas que pudieran comprometer la integridad estructural y funcional del sistema durante los ensayos. Posteriormente, dicho soporte fue integrado al cuadro de la bicicleta en una ubicación estratégicamente seleccionada para no interferir con la operación ni con la ejecución de las pruebas, asegurando al mismo tiempo accesibilidad para las conexiones eléctricas, estabilidad mecánica del montaje y una distribución adecuada de la masa del conjunto.



*Fig 16: Alojamiento de la batería en la bicicleta*

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que, en el interior del alojamiento destinado al paquete de baterías, se incorporó un recubrimiento amortiguante sobre la base y las paredes laterales de la caja (véase Fig 17). Este material cumple la función de inmovilizar el paquete durante los ensayos, mejorando su estabilidad posicional dentro del compartimiento. De esta manera, se atenúan los

efectos asociados a vibraciones, desplazamientos relativos y posibles impactos contra las superficies internas del alojamiento, reduciendo las sollicitaciones mecánicas transmitidas al conjunto durante el desarrollo de las pruebas.



*Fig 17: Recubrimiento base de la batería*

Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizada la adecuación del soporte destinado al paquete de baterías, se procedió a realizar la interconexión eléctrica entre la batería y el controlador del motor, tal como se muestra en la Fig 18. Dado que esta unión constituye el vínculo directo entre la fuente de energía y el sistema de propulsión, resulta indispensable efectuar una inspección rigurosa del conexionado antes de la energización, verificando la correcta correspondencia de polaridades, la continuidad eléctrica, el adecuado aislamiento de los conductores y la firmeza mecánica de los terminales, con el fin de prevenir cortocircuitos, exceso de corrientes o fallas operativas que puedan comprometer la integridad del sistema.



*Fig 18: Batería montada en el alojamiento en la bicicleta*

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, para que los ensayos de validación presenten condiciones representativas de operación, es fundamental que la carga aplicada durante las pruebas se aproxime lo más posible a la masa total prevista para el prototipo en condiciones reales de funcionamiento. En este sentido, se consideró el peso estimado correspondiente a los diferentes subsistemas que conformarán el conjunto final. Los valores de masa empleados como referencia fueron proporcionados por los integrantes del equipo responsables del diseño integral del prototipo, quienes desarrollaron el modelado geométrico y la estimación de masas de los componentes mediante software de diseño asistido por computadora (CAD). Por tanto, los pesos consignados para cada subsistema corresponden a las estimaciones obtenidas durante la fase de diseño del proyecto y constituyen una base técnica coherente para aproximar la carga global que tendrá el conjunto una vez completado. Como se presenta en la Tabla 2, se establecen los valores de masa asociados a cada subsistema, así como la masa total proyectada del prototipo, parámetros que resultan esenciales para reproducir condiciones de carga comparables a las que experimentará el sistema de propulsión durante la competencia.

Tabla 2: Pesos del vehículo

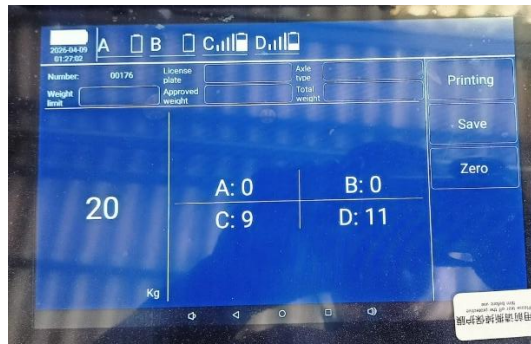
Componentes del vehículo de Shell	Peso [kg]
Carrocería	50
Dirección	7.177
Soporte zona trasera	0.513
Frenos	0.567
Soporte de pantalla	0.0848
Cinturón	1.1262
Batería	1.4285
Módulos	1
Conductor	50
<b>Peso total</b>	<b>111.8965</b>

Con el propósito de aproximar la masa de ensayo a la carga total estimada para el prototipo de la Shell Eco-Marathon, se realizó la determinación experimental de la masa de la bicicleta empleada en las pruebas. Para ello, se utilizó el sistema de balanzas para vehículos disponible en la universidad (véase en Fig 19), mediante el cual se efectuó la medición individual de la carga soportada por cada rueda, posicionando cada neumático sobre una balanza independiente. A partir de los valores registrados en ambos puntos de apoyo, se obtuvo la distribución de carga por eje y, mediante la suma de dichas mediciones, se determinó la masa total de la bicicleta (véase en Fig 20), parámetro necesario para ajustar el peso total que se debe tener para aproximar los pesos.



Fig 19: Medición del peso de la bicicleta

Fuente: Elaboración propia



*Fig 20: Peso de la Bicicleta*

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de aproximar las condiciones de carga de los ensayos a la masa total estimada para el prototipo de la Shell Eco-Marathon, se determinó adicionalmente la masa de 83kg que tiene el operador encargado de la conducción de la bicicleta durante las pruebas experimentales (véase Fig 21).



*Fig 21: Peso del operador de la bicicleta*

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinados experimentalmente los valores de masa correspondientes a la bicicleta, al operador y al paquete de baterías, se procedió a realizar el balance de masas respecto de la masa total estimada para el prototipo de la Shell Eco-Marathon. Para ello, se efectuó la diferencia entre la masa objetivo del prototipo y la suma de las masas ya medidas, con el propósito de determinar la carga adicional requerida para reproducir de manera más representativa las

condiciones reales de ensayo. El procedimiento de cálculo empleado para obtener la masa faltante se presenta a continuación:

### Datos

- Peso total vehiculo Shell Eco-Marathon: 111.8965 kg
- Peso del conductor de la bicicleta: 83 kg
- Peso de la batería de litio-ion: 1.4285 kg
- Peso de la bicicleta: 20 kg

$$Peso\ faltante = P_{vehiculo} - P_{conductor} - P_{batería} - P_{bicicleta}$$

$$Peso\ faltante = 111.8965 - 83 - 1.4285 - 20$$

$$Peso\ faltante = 7.468\ kg$$

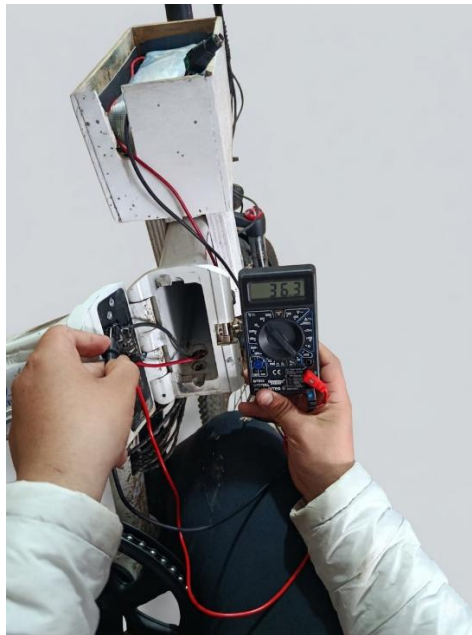
La masa adicional requerida para aproximar la carga total del prototipo se incorporó mediante una mochila lastrada con diversos objetos, seleccionados y distribuidos de manera que permitieran alcanzar una condición de masa equivalente a la estimada para el vehículo de la Shell Eco-Marathon, es importante mencionar que la masa adicional fue un 62.23% más de la calculada siendo esta de 12 kg como se observa en la Fig 22. Esta disposición permitió reproducir de forma más representativa la carga que deberá soportar el sistema de propulsión durante los ensayos.



Fig 22: Peso adicional

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se procedió a realizar la carga completa del paquete de baterías, con el propósito de iniciar las pruebas bajo una condición energética de referencia y con el máximo nivel de energía disponible. Previo al inicio de los ensayos, se verificó el voltaje en circuito abierto del paquete, registrándose un valor inicial de 36,3 V (véase en Fig 23), correspondiente al estado de carga desde el cual se efectuó la evaluación experimental.



*Fig 23: Voltaje inicial de la batería*

Fuente: Elaboración propia

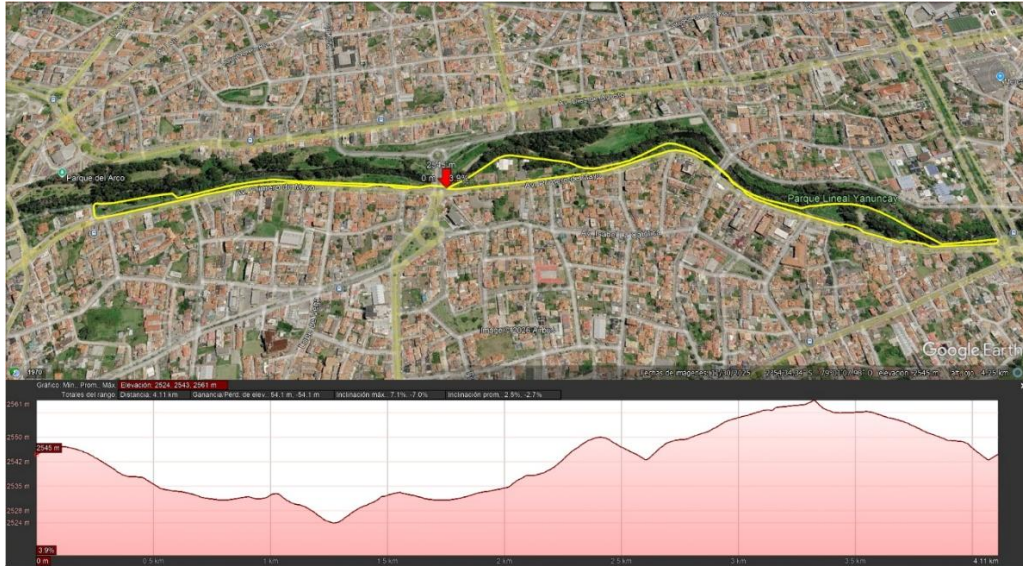
El recorrido oficial que debe completarse en la competencia Shell Eco-Marathon corresponde a 15,33 km (véase en Fig 24), los cuales equivalen a cuatro vueltas del trazado específico establecido por la organización dentro de la pista del Indianapolis Motor Speedway, y no necesariamente al recorrido completo del circuito. Este trazado presenta una geometría de baja exigencia altimétrica, con pendientes longitudinales máximas del orden del 4,5 %, una inclinación promedio cercana al 0,4 % y tramos con gradientes negativos de hasta  $-3$  %. Adicionalmente, en las curvas se registran peraltes característicos del circuito, con un valor máximo aproximado de  $9,2^\circ$  en los cuatro virajes y rectas prácticamente horizontales.



*Fig 24: Recorrido a realizar en la competencia*

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de reproducir experimentalmente condiciones comparables de operación, se seleccionó como trayectoria de ensayo la ciclovía de la Avenida 1 de Mayo, siguiendo el recorrido mostrado en la Fig 25, cuya longitud fue de 4,1 km. Para mantener la consistencia metodológica, todas las pruebas se realizaron sobre este mismo trayecto. Es importante mencionar que las pendientes máximas en este recorrido fueron de 7.1% y las mínimas de -7% respectivamente. Estas variaciones altimétricas representan condiciones más exigentes que las presentes en el circuito de Indianapolis Motor Speedway utilizado en la competencia Shell Eco-Marathon, mencionado anteriormente. En consecuencia, el sistema de almacenamiento energético fue sometido a una mayor demanda de potencia durante los tramos con mayor inclinación, debido al incremento de la componente gravitacional que debe ser vencida para mantener la velocidad de desplazamiento, generando así condiciones de operación energéticamente más severas para el paquete de baterías.



*Fig 25: Recorrido realizado durante las pruebas*

Fuente: Elaboración propia

Todas estas pruebas realizadas se plantearon como parte de la metodología experimental para la validación del paquete de baterías bajo condiciones de operación controladas y repetibles. La metodología consistió en ejecutar sucesivos ciclos de carga y descarga mediante la repetición de un mismo recorrido, manteniendo parámetros de ensayo comparables y registrando en cada ciclo el voltaje inicial antes de la partida y el voltaje final al concluir el recorrido. De manera complementaria, después de cada ensayo se efectuó el proceso de recarga del paquete con el fin de supervisar su comportamiento durante la etapa de carga. Este procedimiento metodológico fue definido con el propósito de analizar la respuesta electro energética del sistema frente a demandas sucesivas de potencia, así como de verificar la estabilidad operativa del paquete y detectar posibles anomalías asociadas al proceso de carga y descarga, tales como desbalances entre celdas, variaciones térmicas o eventuales fallas en la actuación del sistema de gestión de baterías (BMS).

## Resultados

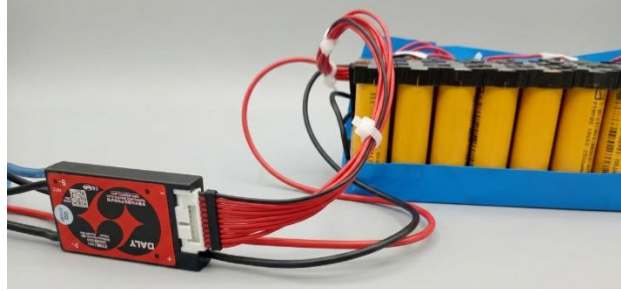
Como resultado del análisis de las configuraciones eléctricas en serie y en paralelo, se determinó la disposición óptima de las celdas de ion-litio para satisfacer los requerimientos energéticos del motor proporcionado por la universidad, cuyas especificaciones nominales corresponden a 36 V y 250 W. A partir de este análisis, se definió una configuración de 10 celdas en serie y 3 celdas en paralelo (10S3P), empleando un total de 30 celdas de ion-litio. Esta arquitectura permitió obtener un paquete de baterías con un voltaje nominal de aproximadamente 37 V y una capacidad total de 7,5 Ah, parámetros adecuados para garantizar el suministro energético requerido por el sistema de propulsión seleccionado. Con base en esta configuración eléctrica, se desarrolló el diseño estructural del paquete, obteniéndose un sistema compacto, de baja masa (véase en Fig 26). El diseño implementado proporcionó además protección física frente a vibraciones, desplazamientos e impactos, así como condiciones favorables para la disipación térmica generada durante los procesos de carga y descarga, cumpliendo con los requerimientos técnicos y de seguridad establecidos en el reglamento de la competencia.



*Fig 26: Paquete de baterías*

Fuente: Elaboración propia

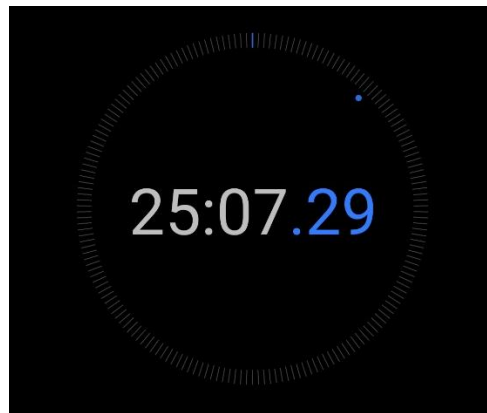
De igual manera se realizó la selección e integración de un sistema de gestión de baterías (Battery Management System, BMS) compatible con la configuración 10S3P desarrollada. Este sistema permitió la supervisión continua de variables críticas de operación, tales como el voltaje individual de cada grupo de celdas, el estado de carga, la corriente de operación y la temperatura del conjunto. Asimismo, la BMS incorporó funciones de balanceo y protección frente a sobrecargas, descargas profundas, cortocircuitos y elevadas temperaturas, contribuyendo de manera directa a la confiabilidad operativa, la seguridad y la durabilidad del paquete de baterías.



*Fig 27: BMS integrado al paquete de baterías*

Fuente: Elaboración propia

En las tres pruebas experimentales que se realizaron se obtuvieron varios resultados, tanto en la primera como en la tercera se partió con un voltaje inicial de 36,3 V, el sistema permitió recorrer 6 km a una velocidad aproximadamente constante de 25 km/h, valor seleccionado por corresponder a la velocidad máxima estimada de operación que se prevé alcanzar en pista durante la competencia. Bajo esta condición de ensayo, se obtuvo un tiempo útil de operación de 25 min 07 s, medido mediante un cronómetro activado desde el instante de partida (véase en Fig 28) hasta que el paquete de baterías se descargue por completo.



*Fig 28: Tiempo de carga útil de la batería*

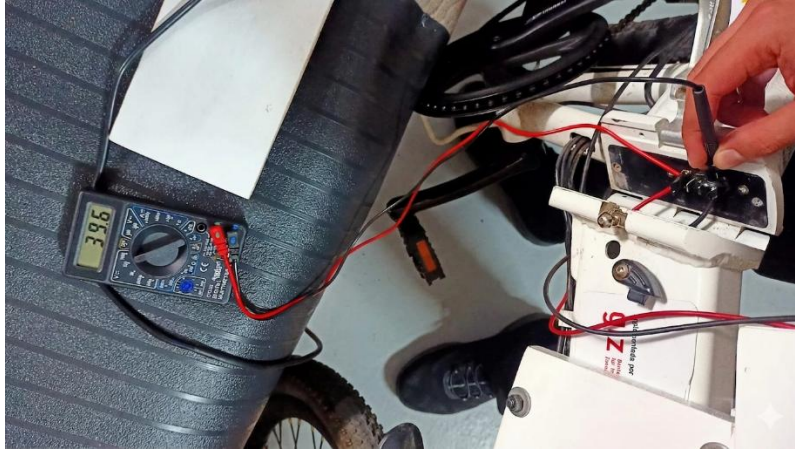
Fuente: Elaboración propia

A partir de estos resultados, se observa que, bajo las condiciones establecidas en el ensayo, la autonomía alcanzada corresponde aproximadamente al 39,1 % de la distancia exigida en la Shell Eco-marathon. Esto indica que, partiendo de un voltaje inicial de 36,3 V, correspondiente a un estado de carga elevado, aunque no máximo, la energía disponible en el paquete fue suficiente para sostener una operación parcial del recorrido objetivo, pero aún insuficiente para completar los 15,33 km requeridos por la competencia.

Este comportamiento sugiere que la energía utilizable del paquete, las condiciones de descarga y la estrategia global de operación del sistema constituyen variables que deben optimizarse para alcanzar la autonomía demandada. Cabe señalar que la competencia Shell Eco-marathon se desarrolla en el Indianapolis Motor Speedway; sin embargo, el recorrido oficial establecido para la evaluación energética no corresponde a la totalidad del circuito, sino a un trazado específico definido por la organización para la competencia. Dicho trazado posee pendientes no muy pronunciadas, pero es importante considerar que el recorrido empleado durante los ensayos presentó pendientes longitudinales superiores a las máximas presentes en dicho trazado oficial, por lo que las sollicitaciones mecánicas y la demanda energética impuestas al sistema de propulsión fueron más severas que las previstas en condiciones reales de carrera. Este aspecto debe ser tomado en cuenta al analizar la proyección de autonomía del paquete de baterías.

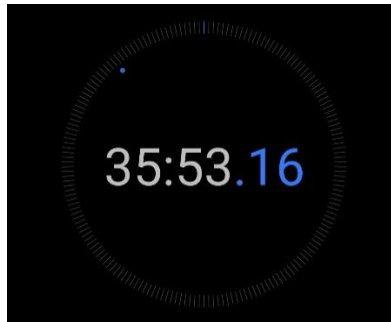
Posteriormente, con el fin de evaluar la influencia del estado de carga inicial del paquete de baterías sobre su desempeño electro energético, se realizaron dos ensayos experimentales adicionales bajo condiciones de operación equivalentes a las empleadas en la prueba inicial, manteniendo constante el recorrido de ensayo y el régimen de funcionamiento de la bicicleta.

En el primero de estos ensayos, el paquete de baterías se mantuvo con un voltaje inicial de 36,3 V, con el propósito de verificar la repetibilidad de los resultados previamente obtenidos y analizar la estabilidad del comportamiento de descarga bajo un mismo nivel de carga inicial. En el segundo ensayo, se efectuó una recarga completa del paquete, alcanzando su máximo nivel de carga operativa, registrándose un voltaje en circuito abierto de 39,6 V, como se observa en la Fig 29. Estos recorridos se realizaron a la misma velocidad constante de 25km/h. Con estos parámetros la primera prueba tuvo un tiempo de operación similar siendo esta de 26:03 min y con el voltaje máximo teniendo un tiempo de operación de 35:53 min (véase en la Fig 30). Es importante señalar que, al finalizar los diferentes ensayos, el voltaje terminal del paquete se mantuvo dentro de un intervalo comprendido entre 33,2 V y 33,7 V. Este comportamiento evidencia que dicho rango corresponde al umbral práctico de descarga del sistema, condición a partir de la cual el paquete ya no es capaz de suministrar la potencia requerida para mantener el funcionamiento adecuado del motor.



*Fig 29: Carga máxima de la batería*

Fuente: Elaboración propia



*Fig 30: Tiempo de carga útil de la batería en la última prueba*

Fuente: Elaboración propia

En dicha prueba se inició con el odómetro de la bicicleta registrando un kilometraje de 1143 km (véase en Fig 31). Tras un tiempo de operación de 35 min 53 s, correspondiente al periodo en el que el paquete de baterías suministró energía suficiente para el funcionamiento del motor, el odómetro indicó un valor final de 1155 km, lo que representa una distancia recorrida de 12 km. En relación con la distancia total exigida en el circuito de la Shell Eco-marathon, establecida en 15,33 km, la autonomía alcanzada equivale aproximadamente al 78,3 % del recorrido requerido, evidenciando un desempeño significativamente más cercano a las condiciones objetivo de la competencia bajo una condición de carga máxima del paquete de baterías.



*Fig 31: Kilometraje antes de la prueba*

Fuente: Elaboración propia



*Fig 32: Kilometraje al final de la prueba*

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, resulta fundamental considerar el valor de voltaje mínimo registrado al final de los ensayos, el cual corresponde al umbral operativo de descarga del paquete de baterías. Este valor se define como la condición a partir de la cual el sistema deja de suministrar la potencia necesaria para mantener el funcionamiento adecuado del motor eléctrico. En todas las pruebas realizadas, el voltaje terminal al momento de la desconexión efectiva del sistema se mantuvo dentro de un intervalo comprendido entre 33,1 V y 33,7 V, como se observa en la Fig 33.



*Fig 33: Voltaje mínimo del paquete luego de la prueba*

Fuente: Elaboración propia

A partir de los ensayos experimentales realizados, se pudo verificar el adecuado desempeño funcional del paquete de baterías bajo múltiples ciclos de carga y descarga, evidenciando un comportamiento estable y sin presencia de eventos de sobrecarga o fallas operativas durante su funcionamiento. Asimismo, se constató que, bajo condiciones de carga completa, el sistema es capaz de proporcionar una autonomía cercana al kilometraje requerido en la competencia, lo que confirma la viabilidad del diseño desde el punto de vista energético.

No obstante, es fundamental contextualizar estos resultados considerando las condiciones bajo las cuales se desarrollaron las pruebas. El recorrido experimental presenta pendientes significativamente superiores a las máximas establecidas en el trazado oficial de la competencia, lo que implica una mayor demanda de potencia y, por ende, un incremento en el consumo energético del sistema. Adicionalmente, en un escenario real de competición, la velocidad de operación no se mantiene estrictamente constante, sino que responde a estrategias de conducción orientadas a la optimización del consumo energético. Este tipo de estrategias permite reducir la potencia requerida en determinados tramos, favoreciendo una utilización más eficiente de la energía disponible y, potencialmente, incrementando la autonomía efectiva del sistema en condiciones reales de carrera.

## Conclusiones y Recomendaciones

- El análisis de la configuración serie–paralelo de las celdas de ion-litio permitió definir una configuración 10S3P utilizando celdas cilíndricas 18650 de 3,7 V y 2500 mAh, obteniéndose un paquete de baterías con un voltaje nominal aproximado de 37 V y una capacidad de 7,5 Ah, adecuados para satisfacer los requerimientos energéticos del motor eléctrico de 250 W seleccionado para el prototipo de Shell Eco-Marathon. Esta configuración aseguró la compatibilidad eléctrica entre el sistema de almacenamiento energético y el sistema de propulsión, permitiendo un funcionamiento adecuado del conjunto durante las pruebas realizadas. No obstante, debido a que la configuración del paquete depende directamente de las características eléctricas y energéticas del motor y de las especificaciones técnicas de las celdas empleadas, se recomienda recalcular el dimensionamiento y la disposición serie–paralelo del sistema de almacenamiento energético una vez seleccionado el motor definitivo para la competencia, con el fin de garantizar niveles adecuados de tensión, capacidad y corriente para el correcto funcionamiento del prototipo.
- Se desarrolló un paquete de baterías de ion-litio con configuración 10S3P, capaz de proporcionar los niveles de voltaje y capacidad requeridos para el funcionamiento del motor eléctrico del prototipo. El diseño consideró las restricciones de espacio y disposición establecidas para su integración dentro del vehículo, obteniéndose una estructura compacta y funcional que garantiza el suministro energético necesario y contribuye al desempeño energético requerido en la competencia Shell Eco-Marathon.
- La selección e integración del Sistema de Gestión de Baterías (BMS) se realizó en función de la configuración 10S3P del paquete de baterías, considerando además los niveles de voltaje y amperaje requeridos por el sistema de propulsión. El BMS implementado permitió la supervisión individual de las celdas conectadas en serie, el balanceo de carga y la protección frente a sobretensión, subtensión y sobre corriente, garantizando la estabilidad y confiabilidad operativa del sistema de almacenamiento energético. No obstante, debido a que el prototipo final empleará un motor eléctrico diferente, se recomienda recalcular la configuración serie–paralelo del paquete de baterías en función de los nuevos requerimientos de voltaje, corriente y potencia, para posteriormente seleccionar una BMS compatible con la nueva arquitectura eléctrica del sistema.

- La implementación y validación experimental del paquete de baterías no pudo realizarse sobre el prototipo final de Shell Eco-Marathon debido a que el subsistema de carrocería, desarrollado por otro grupo de trabajo, no se encontraba concluido al momento de los ensayos. Como alternativa, se utilizaron bicicletas eléctricas equipadas con el mismo motor seleccionado para la competencia, incorporando una simulación de carga equivalente a la masa estimada del vehículo final. Bajo estas condiciones, el paquete de baterías fue integrado considerando criterios de seguridad eléctrica y estabilidad mecánica, obteniéndose una autonomía promedio de 11,8 km, valor cercano al recorrido exigido en la pista de la competencia. Asimismo, durante las pruebas de carga y descarga no se registraron anomalías operativas, sobrecargas, caídas bruscas de tensión ni fallas asociadas al funcionamiento de la batería o de la BMS. En este sentido, se recomienda que, una vez concluida la carrocería del prototipo, el paquete de baterías sea implementado en un alojamiento estructural diseñado específicamente para minimizar vibraciones, desplazamientos y riesgos eléctricos durante la operación del vehículo.
- La validación experimental del paquete de baterías se realizó mediante pruebas de carga y descarga utilizando una plataforma experimental alternativa, debido a que el subsistema de carrocería del prototipo de Shell Eco-Marathon no se encontraba concluido al momento de los ensayos. Para ello, se emplearon bicicletas eléctricas equipadas con el mismo motor seleccionado para la competencia, incorporando además una simulación de carga equivalente a la masa estimada del vehículo final. Bajo estas condiciones, el paquete de baterías alcanzó una autonomía promedio de 11,8 km, valor cercano al recorrido oficial exigido en la competencia, aun cuando las pruebas fueron realizadas en trayectos con pendientes superiores a las del circuito oficial de Indianápolis. Asimismo, durante los ciclos de carga y descarga no se registraron sobrecargas, caídas bruscas de tensión, anomalías operativas ni fallas asociadas al funcionamiento de la batería o de la BMS, evidenciando un comportamiento electroenergético adecuado bajo condiciones reales de operación. En este sentido, se recomienda realizar futuras pruebas directamente sobre el prototipo final y en circuitos con características geométricas similares a las de la competencia, con el fin de obtener resultados más representativos del comportamiento operativo y energético del paquete de baterías.

## Referencias

- Accio. (2026). *801D Lithium Battery Spot Welder 12 KW 238J Capacitor Inverter Energy Storage Pulse Handheld Welding Machine Spot Weld Equipment*.  
<https://www.accio.com/d/1600791296040?dataSource=Alibaba.com>
- Chen, R. (2022). *Battery Pack Design of Cylindrical Lithium-Ion Cells and Modelling of Prismatic Lithium-Ion Battery Based on Characterization Tests*.
- COMPEL SA. (2026). *Multímetro de Mano Uni-Trend UT33A+*.  
<https://www.compelectronica.com/productos/multimetro-de-mano-uni-trend-ut-33-a>
- De Jesús Lozoya-Santos, J., Díaz, G., León Aldaco, D., Alquicira, A., Silva, P., Contreras, P., Vargas, S., Thermal, O., Yadira Gómez Díaz, K., Estefany De León Aldaco, S., Aguayo Alquicira, J., Ponce Silva, M., Portillo Contreras, S., & Sánchez Vargas, O. (2025). Thermal Management Systems for Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: A Review. *World Electric Vehicle Journal 2025, Vol. 16, Page 346, 16(7)*, 346.  
<https://doi.org/10.3390/WEVJ16070346>
- Dongguan DALY Electronics. (2026). *Mini-red Hardware BMS Instruction Manual*.  
<https://m.media-amazon.com/images/I/C1LCMO3obpL.pdf>
- Fraunhofer ISI. (2022). *Development perspectives for lithium-ion battery cell formats*.  
<https://doi.org/10.24406/PUBLICA-1321>
- Ghabech, C., Yadav, A. K., Khaligh, A., Singhabahu, C., & Roehsler, R. (2021). Systematic Modelling and Design of a Battery Pack for Formula Electric Vehicles. *SAE Technical Papers*, (2021). <https://doi.org/10.4271/2021-01-0762>
- GIROPES. (2026). *Plataforma pesarruedas para vehículos - PMU*.  
[https://www.directindustry.es/prod/giropes/product-115951-2474323.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.directindustry.es/prod/giropes/product-115951-2474323.html?utm_source=chatgpt.com)
- Guanoluisa, E. B. F. (2022). *IMPLEMENTACIÓN DE UN PACK DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION-LITIO EN UNA MOTONETA ELÉCTRICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ*. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/4317fe05-2925-4d81-8bbd-b365b8a39453/content>
- Jarrett, A. (2011). *Multi-Objective Design Optimization of Electric Vehicle Battery Cooling Plates Considering Thermal and Pressure Objective Functions*.
- Koeh, A. K., Mwandila, G., Mulolani, F., & Mwaanga, P. (2024). Lithium-ion battery fundamentals and exploration of cathode materials: A review. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50, 321–339. <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2024.09.008>
- Leeftink, M. (2026). *Cableado sin límites ESPAÑOL*.

- Li, Z., Vaz, F., Vasconcelos Silva, J., Monteiro, V., & Brito, F. P. (2025). CFD-Driven Design of an Air-Cooling System for Lithium-Ion Battery Packs in a Formula Student Car. *Energies* 2025, Vol. 18, Page 5436, 18(20), 5436. <https://doi.org/10.3390/EN18205436>
- Ling, Z., Zhang, Z., Shi, G., Fang, X., Wang, L., Gao, X., Fang, Y., Xu, T., Wang, S., & Liu, X. (2014). Review on thermal management systems using phase change materials for electronic components, Li-ion batteries and photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 427–438. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.12.017>
- Liu, Y., Zhang, R., Wang, J., & Wang, Y. (2021). Current and future lithium-ion battery manufacturing. *iScience*, 24(4), 102332. <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2021.102332>
- Manuals+. (2026). *60W Adjustable Temperature Soldering Iron User Manual*. <https://manuals.plus/m/43359e525f7502b2e2e7c87454bbde088e40e957462a51489763c803a841252b>
- McMaster-Carr. (2026). *High-Strength Fiberglass Electrical Tape*. <https://www.mcmaster.com/products/fiberglass-tape/electrical-tape-1~/?s=fiberglass-tape>
- Nanjing Bigstone. (2025). *C500B-LCD Instructions*. [www.bigstone-nj.com](http://www.bigstone-nj.com)
- Pesaran, A. A. (2002). Battery thermal models for hybrid vehicle simulations. *Journal of Power Sources*, 110(2), 377–382. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00200-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00200-8)
- Plett, G. L. (2015). Battery management systems. Volume 1 : battery modeling. *Battery management systems. Volume 1 : battery modeling*, 1–28.
- Quartz Components. (2026a). *3S 10A Lithium Battery Protection BMS Module with Nickel Strip for 3.7V*. <https://quartzcomponents.com/products/3s-10a-lithium-battery-protection-bms-module-with-nickel-strip-for-3-7v-nmc-cells>
- Quartz Components. (2026b). *75mm PVC Heat Shrink Sleeve for Lithium Battery Pack - 1 Meter (Blue)*. [https://quartzcomponents.com/products/75mm-pvc-heat-shrink-sleeve-for-lithium-battery-pack-1-meter?utm\\_source=chatgpt.com](https://quartzcomponents.com/products/75mm-pvc-heat-shrink-sleeve-for-lithium-battery-pack-1-meter?utm_source=chatgpt.com)
- Rahmani, A., Dibaj, M., & Akrami, M. (2024). Recent Advancements in Battery Thermal Management Systems for Enhanced Performance of Li-Ion Batteries: A Comprehensive Review. *Batteries* 2024, Vol. 10, Page 265, 10(8), 265. <https://doi.org/10.3390/BATTERIES10080265>
- Shell Eco-Marathon. (2026). *Shell Eco-marathon 2026 Official Rules, Chapter I*.
- Sun, Y., Bai, R., & Ma, J. (2022). Development and Analysis of a New Cylindrical Lithium-Ion Battery Thermal Management System. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35, 100. <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00771-8>

Wang, Z., Xu, S., Zhu, X., Wang, H., Huang, L., Yuan, J., & Yang, W. (2021). Effects of short-term over-discharge cycling on the performance of commercial 21,700 lithium-ion cells and the identification of degradation modes. *Journal of Energy Storage*, 35, 102257. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2021.102257>

WinAck. (2026). *0.08~0.2mm Nickel strip spot welder for 18650 lithium-ion battery pack*. <https://www.winackbattery.com/products/18650-lithium-ion-battery-pack-spot-welder>

## Anexos

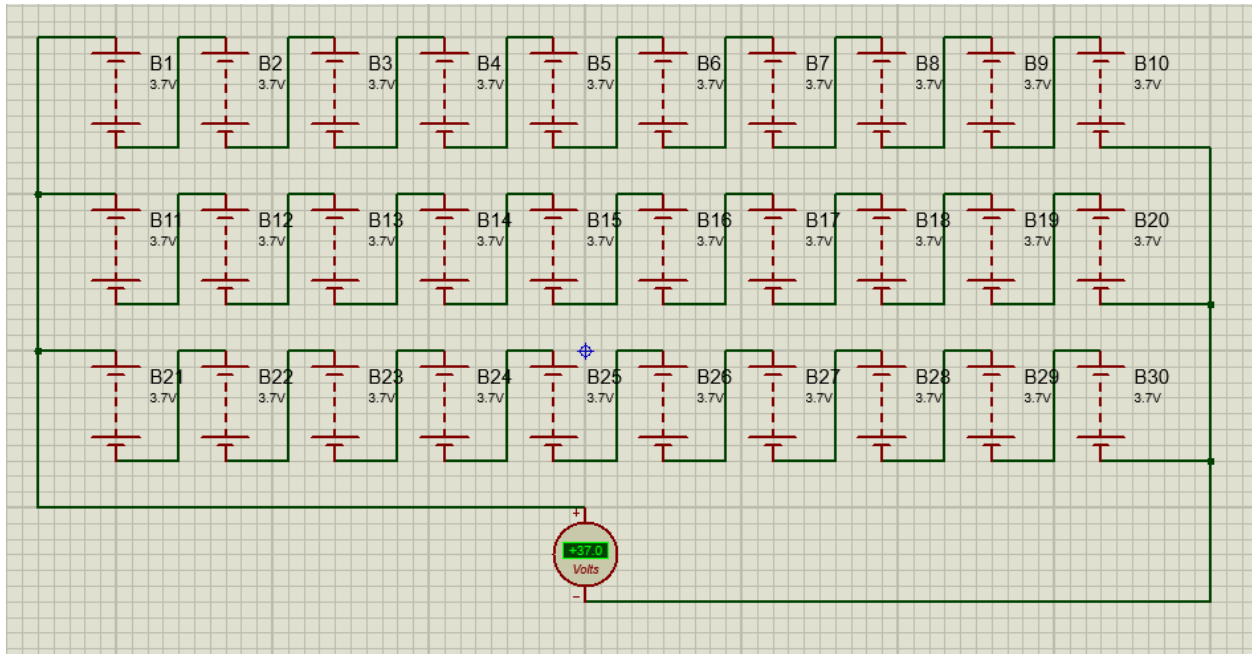


Fig 34: Diseño Batería en Proteus

Fuente: Elaboración propia

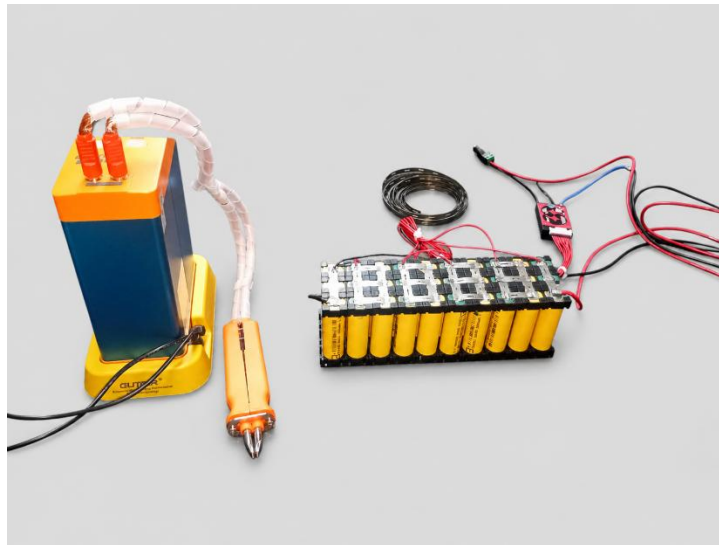


Fig 35: Principales materiales para la construcción de la batería

Fuente: Elaboración propia

