



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Automotriz

Diseño y fabricación aditiva de carcasas para la formación de unidades de almacenamiento de electricidad a partir de baterías de ion-litio de segunda vida.

Trabajo previo a la obtención del grado de:

Ingeniero Automotriz

Autores:

Fernando Martin Rodas Larrea

Daniel Nicolas Orellana Calle

Director:

Ing. Efrén Esteban Fernández Palomeque PhD.

Cuenca – Ecuador

2024

DEDICATORIA

Este documento representa toda una trayectoria recorrida durante esta tan importante etapa de mi vida y se lo dedico a mi padre, mi pilar fundamental quien me apoyó durante todo el camino hasta llegar a la meta, se lo dedico a mi abuela quien me dio fuerza para seguir siempre hacia adelante, se lo dedico a mis tíos quienes me guiaron y apoyaron en todo momento, a toda mi familia, un conjunto, un todo que sin duda es lo máspreciado que tengo y se lo dedico a mi mejor amigo junto con quien ahora avanzamos un paso más en nuestras vidas, quedando todavía mucho más camino por descubrir.

Martin Rodas

Este trabajo está dedicado con profundo cariño y gratitud a todas las personas que me acompañaron en mi camino universitario. A mi familia, que siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo. En especial, a mi madre, por su amor y cuidado. A mi padre, por ser un apoyo incondicional y por ayudarme a superar mis límites. También dedico este logro a mis queridos hermanos, cuya compañía me ayudó muchísimo. De manera muy especial, quiero expresar mi agradecimiento a mi mejor amigo, Martín Rodas, quien ha compartido conmigo una amistad invaluable desde la escuela.

Nicolas Orellana

AGRADECIMIENTO

Este proyecto se pudo llevar a cabo gracias al apoyo de varias personas especiales quienes están comprometidas para formar profesionales que puedan hacer el mundo un lugar cada vez mejor. Agradezco a mi profesor Ing. Gustavo Álvarez con quien iniciamos este recorrido y que con su conocimiento y experiencia me ayudó a descubrir y construir muchas ideas aquí plasmadas, agradezco a mi director de tesis Ing. Efrén Fernández con quien gracias a su amplia experiencia en la materia se pudieron resolver muchas dudas y dificultades que se presentaron en el camino, agradezco a la Universidad del Azuay y a todos los miembros que conforman esta comunidad académica en donde nos hemos formado profesionalmente para estar a la altura del mundo.

Martin Rodas

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Efrén Fernández, director de esta tesis, por su valiosa guía y apoyo a lo largo de este proyecto. Así mismo, al Ing. Gustavo Álvarez, por ser un gran maestro en el aula y por brindarnos el respaldo que cada estudiante necesitaba para culminar con éxito este trabajo de titulación. Quiero agradecer profundamente a mi padre, el Ing. Marcos Orellana, por sus consejos y constante apoyo durante todo este proceso. De igual manera, extendiendo mi gratitud a toda mi familia por su incondicional apoyo, ánimo y confianza. Finalmente, agradezco a mis amigos y compañeros, tanto dentro como fuera de la Universidad del Azuay, por ser parte de esta etapa tan importante de mi vida.

Nicolas Orellana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Índice de Contenidos	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	vi
Índice de Anexos	vii
Resumen	1
Abstract	1
I. INTRODUCCIÓN	1
A. Problemática	1
1. Enfoque Ambiental	1
2. Enfoque Tecnológico-Económico	1
B. Movilidad eléctrica	2
C. Baterías de litio	2
D. Módulo BMS (Battery Management System)	3
1. Monitoreo	3
2. Protección	3
3. Control carga/descarga	3
4. Diagnóstico	3
E. Software de diseño CAD y Laminador	3
F. Fabricación aditiva	4
G. Second Life	4
II. METODOLOGÍA	4
A. Metodología del proceso de “Second Life” de baterías de ion-litio	4
1. Desmontaje de la batería averiada	5
2. Limpieza de las celdas	5
3. Pruebas de retención de electricidad	5
4. Armado del bloque de celdas	5
5. Incorporación del módulo BMS.	5
B. Metodología del proceso de fabricación de una unidad de almacenamiento de electricidad.	5
1. Identificación del uso para la unidad de almacenamiento	6
2. Diseño CAD	6
3. Prototipado rápido y pruebas de diseño	6
4. Selección de acabados	6
5. Ensamblaje	6
6. Producto final	6
III. DESARROLLO	6

A.	Características técnicas de la batería de ion-litio	6
B.	Proceso de segunda vida	7
C.	Estado de salud de las celdas de ion-litio	7
D.	Aplicación para la unidad de almacenamiento de electricidad	8
E.	Diseño 3D	8
F.	Prototipado rápido	8
G.	Selección de parámetros y acabados	9
H.	Ensamblaje	10
I.	Producto final	10
IV.	ANALISIS DE RESULTADOS	10
V.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	11
VI.	BIBLIOGRAFIA	12
VII.	ANEXOS	13

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bicicleta eléctrica Mountain.	2
Figura 2. Bicicleta eléctrica Road.	2
Figura 3. Bicicleta eléctrica Active.	2
Figura 4. Batería de litio INR 18650.	3
Figura 5. Módulo de control BMS.	3
Figura 6. Software de modelado CAD.	3
Figura 7. Fabricación aditiva FDM.	4
Figura 8. Proceso de Second Life.	4
Figura 9. Metodología para la aplicación del proceso de segunda vida baterías de Litio.	5
Figura 10. Metodología para la fabricación de una unidad de almacenamiento de electricidad.	6
Figura 11. Batería completamente armada.	7
Figura 12. Bloque de celdas.	7
Figura 13. Bloque de celdas (Daño por corrosión).	7
Figura 14. Celdas desmontadas.	7
Figura 15. Medición del voltaje por celda.	7
Figura 16. Bicicleta Cube Stereo Hybrid 140 HPC de 250W.	8
Figura 17. Primer prototipo del Battery Extender.	9
Figura 18. Segundo prototipo del Battery Extender.	9
Figura 19. Tercer prototipo del Battery Extender.	9
Figura 20. Diseño final del Battery Extender.	9
Figura 21. Bloque de celdas armado con el módulo BMS.	10
Figura 22. Battery Extender instalado en bicicleta Cube Stereo Hybrid 140.	10
Figura 23. Comparación de autónoma con y sin Battery Extender. (Diferentes modos de manejo).	11
Figura 24. Modulo XH-M240	13
Figura 25. Descarga de celdas (mAh).	14
Figura 26. Descarga de celdas (Voltios).	14
Figura 27. Planos acotados del Battery Extender	15
Figura 28. Captura de pantalla del programa laminador con los parámetros finales de impresión.	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas de la batería.	6
Tabla 2. Configuración del bloque de celdas de la batería de ion-litio.	6
Tabla 3. Voltajes de la batería de ion-litio.	7
Tabla 4. Voltajes obtenidos de cada celda (Fila A, B y C).	8
Tabla 5. Características del módulo BMS Hiletgo TP4057.	8
Tabla 6. Características de la bicicleta Cube Stereo Hybrid 140 HPC de 250W.	8
Tabla 7. Características del Battery Extender fabricado.	8
Tabla 8. Parámetros finales de impresión.	10
Tabla 9. Características del PETG.	10
Tabla 10. Autonomía aproximada promedio del Battery Extender.	10

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Módulo XH-M240	13
Anexo 2. Graficas de descarga de cada celda en mAh y en Voltios.	13
Anexo 3. Datos de descarga de cada una de las celdas.	14
Anexo 4. Planos Acotados del Battery Extender.	15
Anexo 5. Parámetros finales de impresión en el programa laminador.	15

DISEÑO Y FABRICACIÓN ADITIVA DE CARCASAS PARA LA FORMACIÓN DE UNIDADES DE ALMACENAMIENTO DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BATERÍAS DE ION-LITIO DE SEGUNDA VIDA.

Martin Rodas-Larrea, Nicolas Orellana-Calle, Efrén Fernández-Palomeque

Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador
martintin@es.uazuay.edu.ec, nikolazon@es.uazuay.edu.ec

RESUMEN – Este proyecto se enfoca en diseñar y fabricar de forma aditiva carcasas para la formación de unidades de almacenamiento de electricidad para uso destinadas al ciclismo a partir de baterías de ion-litio de segunda vida de bicicletas eléctricas; con la utilización de programas de diseño asistido por computadora (CAD), con módulos de carga y descarga para trabajar con celdas de ion-litio 18650 e impresoras 3D. Estas unidades de almacenamiento de electricidad son el resultado de un proceso de economía circular y cuidado del medio ambiente, colaborando con el correcto manejo de desechos de productos que contienen baterías de ion-litio los cuales en la actualidad a nivel local no son desechados de manera apropiada generando así huellas de contaminación permanentes. Así mismo, este proyecto fomenta a utilizar un sistema de movilización sostenible ofreciendo productos que facilitan y mejoran la experiencia de movilizarse en bicicleta como los denominados “battery extender” los cuales proporcionan una extensión de autonomía para cubrir rutas más extensas.

Palabras clave: Fabricación aditiva, baterías de ion-litio, segunda vida, software CAD, impresión 3D, economía circular, medio ambiente, ciclismo.

ABSTRACT – This project focuses on designing and additively manufacturing enclosures for the assembly of electricity storage units for cycling purposes, using second-life lithium-ion batteries from electric bicycles. It employs computer-aided design (CAD) software, charging and discharging modules for working with 18650 lithium-ion cells, and 3D printers. These electricity storage units are the result of a circular economy process and environmental care, contributing to the proper management of waste from products containing lithium-ion batteries, which are currently not disposed of appropriately at the local level, thus creating permanent pollution footprints. Furthermore, this project promotes the use of sustainable mobility systems by offering products that enhance and improve the cycling experience, such as “battery extenders,” which provide extended autonomy for covering longer routes.

Keywords: Additive manufacturing, second-life lithium batteries, CAD software, 3D printing, circular economy, environment, cycling.

I. INTRODUCCIÓN

A. Problemática

La problemática que aborda en este documento se relaciona principalmente con dos aspectos, enfoque ambiental y tecnológico-económico. Con la creciente demanda de movilidad eléctrica, la cantidad de desechos de baterías se ha incrementado, generando a nivel local problemas medioambientales al no contar con procesos adecuados de tratamiento de baterías de ion-litio. Asimismo, el mercado de productos enfocados para la movilidad eléctrica como baterías para bicicletas, linternas y bancos de almacenamiento tiene una limitación según cada marca o modelo obligando al usuario a adquirir productos específicos para cada marca con precios elevados.

1. Enfoque Ambiental

La creciente demanda de baterías de ion-litio debido a las nuevas normativas que promueven la movilidad eléctrica puede llegar a afectar principalmente a países en desarrollo los cuales no cuentan con la infraestructura apropiada para manejar desechos electrónicos. Específicamente, en Ecuador actualmente no existen procesos adecuados de tratamiento para la denominada *e-waste* (basura electrónica) que contenga baterías de ion-litio. Se encontró una empresa local la cual se encarga de recolectar baterías y proporciona servicios de recolección a concesionarias automotrices que realizan mantenimiento de vehículos híbridos y eléctricos. Sin embargo, la información que proporciona no explica específicamente como tratan posteriormente con esas baterías [1], [2].

2. Enfoque Tecnológico-Económico

Localmente, debido a la infraestructura y topología de la ciudad, la demanda de bicicletas eléctricas ha tenido un crecimiento significativo en los últimos años y en la actualidad los casos de baterías dañadas o que han finalizado su vida útil han aumentado. Esta problemática representa una oportunidad de negocio debido a que con procesos adecuados las baterías de bicicletas eléctricas pueden ser utilizadas para una segunda vida [3].

B. Movilidad eléctrica

La movilidad eléctrica es considerada una de las formas de ayudar a transformar la movilidad en apoyo a los objetivos de desarrollo sostenible y las metas de descarbonización, [4] ,ya que no produce emisiones de escape, mejorando considerablemente la calidad del aire en las ciudades [5]. La movilidad eléctrica se puede definir como “los sistemas, servicios y equipos que apoyan el traslado de pasajeros y carga por medios de transporte eléctricos que incluyen todo tipo de transporte impulsado directamente por la electricidad, desde la micro movilidad, como scooters eléctricos y bicicletas eléctricas de pedaleo asistido, vehículos de 2 y 3 ruedas totalmente motorizados, como calesas eléctricas y bicicletas de carga eléctricas, y también vehículos de 4 ruedas ultralivianos, como automóviles y furgonetas, hasta camiones, autobuses, trolebuses, tranvías, trenes, aviones y transbordadores” [6].

Este trabajo se enfoca en la movilidad a través de bicicletas eléctricas y se realizó una caracterización de potencias existentes en el mercado para diferentes segmentos de acuerdo con su uso; como referencia se tomaron los siguientes datos técnicos de la marca de bicicletas *Specialized*.

Mountain: También denominadas e-MTB (bicicletas eléctricas de montaña) tiene un enfoque deportivo y de recreación (*Figura 1*). Está conformada por partes y piezas de alto desempeño como en el motor y suspensión. La potencia del motor es de 565 W y la capacidad de la batería de 700 Wh.



Figura 1. Bicicleta eléctrica Mountain.
Fuente: [7]

Road: Diseñadas especialmente para rutas asfaltadas, con un enfoque deportivo. Esta bicicleta utiliza materiales como fibra de carbono para reducir al máximo su peso (*Figura 2*), con una potencia del motor de 320 W y capacidad de la batería de 360Wh.



Figura 2. Bicicleta eléctrica Road.
Fuente: [7]

Active: Diseñadas para el uso diario en ciudad, con características como guardabarros, portaequipajes y luces (*Figura 3*). La potencia del motor es de 250 W y la capacidad de la batería es de 530 Wh [7].



Figura 3. Bicicleta eléctrica Active.
Fuente: [7]

C. Baterías de litio

Una batería es un sistema de almacenamiento de electricidad que puede acumular una considerable cantidad de energía por largo tiempo [8]. Las baterías de litio están compuestas por dos electrodos llamados ánodo y cátodo, y un medio entre ellos llamado electrolito. A través de este medio, los iones de litio se mueven de un lado a otro mientras la batería se carga y descarga. Las baterías de iones de litio comprenden una familia de electroquímicos que mediante la combinaciones de diversos materiales para el cátodo y el ánodo, ofrece una amplia gama de propiedades electroquímicas. Estas variaciones permiten optimizar la batería para aplicaciones que demandan alta potencia, elevada densidad energética, y una mayor estabilidad. Las baterías de litio-níquel-manganeso-cobalto (NCM), litio-níquel-cobalto-aluminio (NCA) y óxido de manganeso-litio (LMO) son las más utilizadas en las bicicletas eléctricas. Las celdas de las baterías se caracterizan de acuerdo con sus dimensiones y capacidad de almacenamiento [9]. Las baterías de litio 18650 son celdas cilíndricas de 18 mm de diámetro y 65 mm de altura con capacidad de almacenamiento de 2,000 a 4,000 mAh (*Figura 4*). Las unidades de almacenamiento están conformadas por celdas conectadas en serie y paralelo para obtener el voltaje y potencia requerida por el sistema. Según la ley de Ohm en un circuito conectado en paralelo la intensidad

se suma y el voltaje se mantiene constante mientras que en un circuito en serie la intensidad se mantiene constante y el voltaje se suma [10].



Figura 4. Batería de litio INR 18650.
Fuente: Autores.

D. Módulo BMS (Battery Management System)

El módulo BMS se refiere a un esquema de manejo que monitorea, controla y optimiza de forma individual o grupal las celdas que conforman el sistema de almacenamiento de electricidad. El BMS puede controlar la desconexión del sistema en casos de condiciones anormales. Se utiliza para mejorar el rendimiento de la batería con medidas apropiadas de seguridad siguiendo las siguientes capacidades y funciones: control de carga/descarga, protección, monitoreo y diagnóstico [8].

1. Monitoreo

El BMS monitorea el voltaje y amperaje global del sistema, voltaje de cada celda, temperatura, aislamiento e interferencias. Un sistema de carga o regulador de voltaje defectuoso podría causar una sobrecarga en la batería, y una sobrecarga o sobre corriente, causando daños permanentes al sistema de la batería. Además, la batería puede emanar gases que son altamente tóxicos e inflamables generando preocupaciones en la seguridad ocupacional. Por este motivo, el módulo BMS controla la temperatura de las celdas en todo momento.

2. Protección

El BMS debe asegurar la protección de la batería, empleando diversas estrategias como y una de las principales barreras que utiliza son: detectar el modo de operación del sistema, establecer criterios de error, autenticación, predecir sobrecarga de las celdas, predecir problemas de aislamiento y detectar temperaturas muy altas o bajas que, por consecuencia de eventos externos como golpes, caídas, condiciones climáticas, entre otros.

3. Control carga/descarga

El estado de carga SOC (State Of Charge) tiene un impacto significativo en la vida de la batería. Cada batería tiene un número específico de ciclos de carga y descarga, y la vida de la batería se reduce conforme el incremento de ciclos efectuados. El BMS se encarga de mantener un apropiado SOC, así se maximiza vida de la batería, y para conseguirlo se maneja los siguientes parámetros: control del voltaje e intensidad de carga

y descarga, correr una secuencia de precarga, configurar límites dinámicos de potencia y balanceo activo y pasivo de las celdas.

4. Diagnóstico

El BMS estima y predice el estado de descarga profunda DOD (Depth Of Discharge) y el estado de carga SOC, capacidad de la batería, temperatura de las celdas, estado de salud SOF (State Of Fitness), energía disponible, tiempo de carga y el remanente de vida útil. Además, BMS es el responsable de detectar fallas, sobrecalentamiento, explosiones, y minimiza así las consecuencias de los efectos de estas fallas (Figura 5). El cálculo del DOD es esencial para estimar un ciclo efectivo de la batería donde un DOD alto puede reducir la vida de la batería. El BMS mide la capacidad de la batería que es la cantidad de energía que puede ser extraída y se mide en Ah (amperios-hora). La capacidad de almacenamiento de las baterías se ve significativamente afectada por la temperatura. Estas alcanzan su máximo rendimiento en condiciones ambientales moderadas. Tanto las temperaturas extremadamente bajas como las elevadas reducen la capacidad de la batería [8].



Figura 5. Módulo de control BMS.
Fuente: Autores.

E. Software de diseño CAD y Laminador

El diseño asistido por computadora (CAD), es una herramienta que ayuda con la creación, revisión, análisis y documentación de proyectos (Figura 6). Con estos programas CAD se tiene una conexión directa entre el diseño y la manufactura, añadiendo una facilidad al momento de interactuar con los modelos en 3D [11], [12].

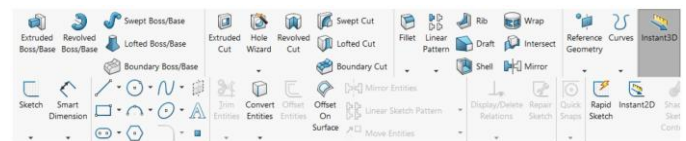


Figura 6. Software de modelado CAD.
Fuente: Autores.

El laminador es una aplicación de software que convierte los modelos digitales 3D en código G, o lenguaje de control, que indica a la impresora cómo formar el modelo en el espacio tridimensional [13].

F. Fabricación aditiva

La fabricación aditiva o impresión 3D es una tecnología que permite la fabricación de piezas complejas, que con los procesos de manufactura convencionales no sería posible o resultaría muy costoso. El tipo de impresión FDM (Fused Deposition Modeling) es un sistema que aplica capa a capa material fundido, generalmente polímeros mediante un control CNC (Computer Numerical Control) (Figura 7). Esto revoluciona la fabricación de estructuras complejas utilizando diferentes tipos de materiales, lo que facilita la producción de prototipos rápidos y la fabricación personalizada en industrias como la eléctrica, electrónica, aeroespacial, automotriz y biomédica. Estas aplicaciones requieren de materiales termoestables y con desempeño mecánico [14].

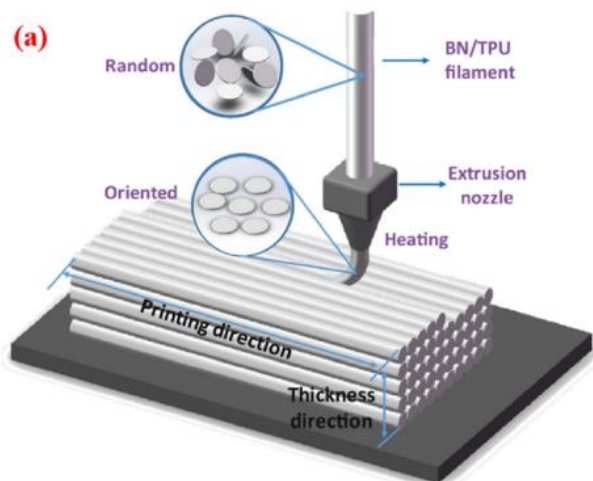


Figura 7. Fabricación aditiva FDM.
Fuente: [14]

G. Second Life

El proceso de reciclaje de baterías de ion-litio actualmente es muy poco eficiente y costoso. Las celdas contienen materiales que no tienen valor después del reciclaje (como el grafito), y algunos materiales que para su reciclaje se requiere de grandes cantidades de energía que obtenerlos directamente de fuentes naturales (como el litio, níquel, aluminio y cobalto). Las baterías solo contienen del 2-7% de litio de su peso total y obtenerlo a través del reciclaje es cinco veces más costoso que obtener litio de fuentes naturales [15].

Con el antecedente del complejo proceso de reciclaje de las baterías de ion-litio se ha buscado otras formas de reducir la cantidad de desechos de baterías y una de ellas es el proceso de Second Life. Este, se puede definir como el resultado de un proceso de economía circular que trata de reducir el consumo de recursos, promover prácticas de regeneración enfocándose en la circulación de materia prima en un ciclo cerrado con la reutilización de desechos que normalmente acabarían en un depósito de basura (Figura 8). Además, los principios de economía circular incluyen la extensión de la vida de los productos, utilización de recursos renovables y maximizar la eficiencia de los recursos [16], [17].

Second Life debe ser sustentable en el tiempo y para esto es necesario que el modelo de negocio a implementar sea redituable, el cual cree, entregue y capture valor para los “stakeholders” o partes de la cadena de negocio, mientras se minimizan los impactos negativos medioambientales, sociales y económicos [18].

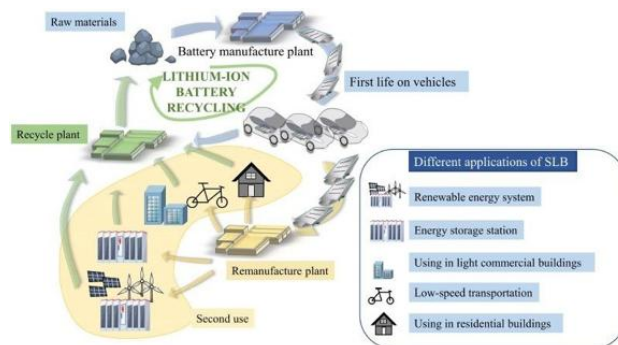


Figura 8. Proceso de Second Life.
Fuente: [15]

II. METODOLOGÍA

A. Metodología del proceso de “Second Life” de baterías de ion-litio

El proceso metodológico se centra en un proceso de segunda vida para baterías de ion-litio de bicicletas eléctricas, comenzando con la detección de la posible falla que se registra con el objetivo de tener un primer conocimiento del posible estado de la batería. Para esto es necesario conocer el tipo de bicicleta a la cual pertenecía la batería, tiempo de vida, las condiciones de uso que estuvo sometida y presencia de agentes externos como golpes, agua o barro.

Este primer paso permite elegir una batería potencialmente reutilizable; como el caso de una batería que sufrió daños por humedad es muy probable que las celdas todavía estén en condiciones de funcionamiento. También se presentan casos en donde la bicicleta no fue utilizada por periodos prolongados superando los cuatro meses, entrando en un estado de descarga profunda; lo que genera daños en el módulo BMS, pero con una probabilidad alta que las celdas estén en condiciones de funcionamiento.

Esta metodología permite estandarizar el proceso de segunda vida definiendo pasos a seguir con el objetivo de disminuir el tiempo de selección y utilización de las celdas en futuras aplicaciones personalizadas, es este caso con enfoque al ciclismo (Figura 9).

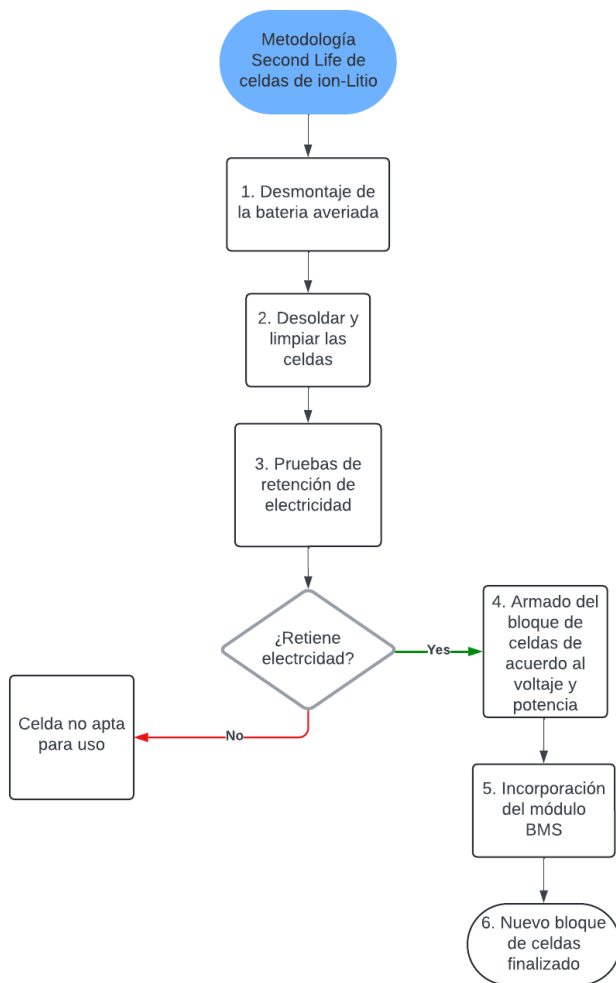


Figura 9. Metodología para la aplicación del proceso de segunda vida baterías de Litio.
Fuente: Autores.

1. Desmontaje de la batería averiada

Se realiza el desmontaje de la batería retirando la carcasa original y desconectando todos los cables para evitar riesgos de corto circuito. Posteriormente se separa las celdas de sus conexiones originales para realizar pruebas de voltaje individualmente.

2. Limpieza de las celdas

Se debe retirar todas las placas de níquel con las soldaduras originales de las baterías para que estén nuevamente en su formato original. Asimismo, se inspecciona físicamente el estado de cada una de las celdas verificando que no tengan ningún tipo de defecto externo como golpes, cortes o perforaciones que podría resultar en un potencial peligro al ser utilizadas nuevamente.

3. Pruebas de retención de electricidad

Para realizar las pruebas de retención de electricidad se debe medir los valores iniciales de voltaje con el objetivo de identificar el estado de cada celda, posteriormente se realiza el

proceso de cargar cada una a su 100% de capacidad a través de un módulo BMS para proteger la batería de un sobrevoltaje. Finalmente, se realiza una evaluación de retención de electricidad sometiendo las celdas a descarga a través de un instrumento que actúa como un consumidor midiendo la intensidad que se consume hasta que llegue a su voltaje mínimo seguro equivalente al 0% de carga. De esta forma, se puede caracterizar las celdas de acuerdo con su estado de salud para darles un segundo uso.

4. Armado del bloque de celdas

Las celdas del nuevo conjunto que alimentará a la unidad de almacenamiento de electricidad deberán ser conectadas en serie y paralelo formando un nuevo bloque el cual cumpla con el voltaje, intensidad y potencia requerido por el motor de la bicicleta.

5. Incorporación del módulo BMS.

La incorporación del BMS es indispensable para un funcionamiento correcto y seguro de la nueva unidad de almacenamiento ya que controla el voltaje de carga y descarga manteniendo un rango apropiado de voltaje para prolongar aún más la vida útil de la batería.

B. Metodología del proceso de fabricación de una unidad de almacenamiento de electricidad.

Este proceso metodológico consta de pasos estandarizados para fabricar una nueva unidad de almacenamiento de electricidad a partir de celdas de ion-litio de segunda vida. Para fabricar la unidad de almacenamiento se requiere de herramientas especializadas de medición como un calibrador que permite tomar dimensiones lineales como largo, ancho, profundidad y diámetro, softwares de diseño CAD para el diseño digital, máquinas de impresión 3D, softwares de laminación para la impresión en 3D, polímeros para la fabricación que serán seleccionados de acuerdo a sus propiedades mecánicas para que sean aptos en las distintas condiciones de funcionamiento, cables, puertos de carga, interruptores, etc. (Figura 10).

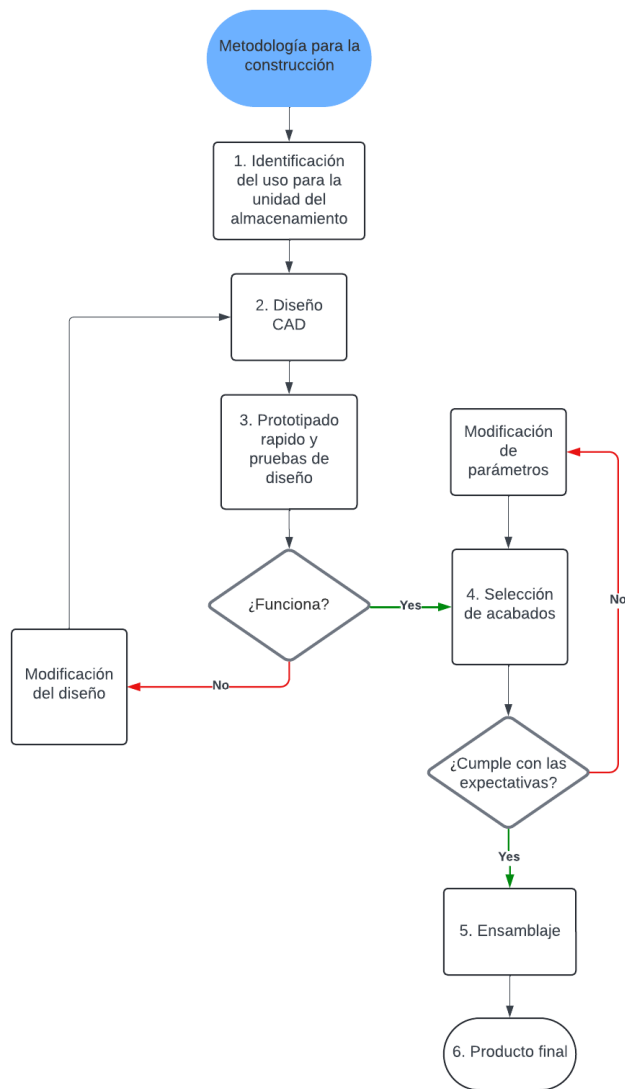


Figura 10. Metodología para la fabricación de una unidad de almacenamiento de electricidad.
Fuente: Autores.

1. Identificación del uso para la unidad de almacenamiento

El dimensionamiento de la unidad de almacenamiento irá en función de la potencia que se necesita.

2. Diseño CAD

El diseño CAD permite crear un modelo en 3D de la carcasa basado en medidas reales tomadas en la bicicleta con el objetivo de acoplar la unidad de almacenamiento de electricidad al cuadro, utilizando la base original del soporte para la porta botellas.

3. Prototipado rápido y pruebas de diseño

Al existir diferentes tipos y configuraciones de cuadros de las bicicletas de acuerdo con la marca es necesario realizar un prototipado rápido de la carcasa con el objetivo de verificar que

no exista interferencia con otros mecanismos acoplados como cables, cañerías o recorrido del amortiguador posterior.

4. Selección de acabados

Una vez el diseño de la carcasa esté completo se debe configurar los parámetros de impresión en el laminador para obtener un producto con un acabado estético y con óptima resistencia.

5. Ensamblaje

Con la carcasa finalizada se realiza el proceso de ensamblaje acoplando el bloque de baterías configurado. Asimismo, se conecta la batería a los puertos de carga, descarga, interruptor de encendido y el indicador de voltaje y porcentaje de carga.

6. Producto final

El conjunto final con todas las conexiones realizadas debe ser sellado con un pegamento aislante para prevenir movimientos internos y el ingreso de agua y polvo durante su uso.

III. DESARROLLO

A. Características técnicas de la batería de ion-litio

Los datos técnicos de la batería que se utilizó en este trabajo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas de la batería.
Fuente: Autores.

Definición	Valor	Unidad
Marca	Lithium-JHK	
Modelo	JHK18650	
Masa	1.6	[kg]
Temperatura de funcionamiento	5-70	[°C]
Capacidad	316.8	[Wh]
Voltaje nominal	36	[V]
Amperaje	8.8	[Ah]
Número de celdas	30	[u]

Para obtener el voltaje de salida de la batería de litio, se emplea la configuración del bloque de celdas que se muestra en la Tabla 2. Los valores de voltaje mínimo, nomina, y máximo se encuentran detallados en la Tabla 3.

Tabla 2. Configuración del bloque de celdas de la batería de ion-litio.
Fuente: Autores

Definición	Valor
Configuración	10s3p
Numero de celdas	30

Tabla 3. Voltajes de la batería de ion-litio.

Fuente: Autores

Definición	Valor	Unidad
Voltaje Mínimo (0%)	26	[V]
Voltaje Nominal	36	[V]
Voltaje Máximo (100%)	42	[V]

B. Proceso de segunda vida

El proceso de segunda vida que se desarrolla en este trabajo parte de una batería de una bicicleta eléctrica que presenta un daño causado por la corrosión. La batería no se podía cargar y el voltaje de salida era de 0V, esta medición puede representar un fallo interno y por consecuencia el módulo BMS por seguridad corta por completo la salida de voltaje.

El primer paso es desensamblar la batería para poder identificar el daño, primero se retiran los componentes externos como tapas y carcasa para poder visualizar el bloque de celdas (Figura 11).



Figura 11. Batería completamente armada.

Fuente: Autores.

A primera vista se puede observar una mancha localizada en el papel protector del bloque de celdas, esto indica un posible fallo localizado en una celda y por esto el desbalanceo en el sistema (Figura 12).



Figura 12. Bloque de celdas.

Fuente: Autores.

Al retirar los elementos de protección de la batería se puede visualizar que una celda sufrió un daño posiblemente por sobrecalentamiento y tiene pérdidas del electrolito interno lo que generó corrosión en las tiras de níquel que conectan las celdas (Figura 13).



Figura 13. Bloque de celdas (Daño por corrosión).

Fuente: Autores.

Posteriormente se desensambla todas las celdas retirando de cada una las tiras de níquel eliminando todos los rastros de soldaduras originales para poder utilizarlas más adelante. Se caracterizó cada celda con un código de acuerdo con su posición dividiendo el sistema en columna A, B y C y numerando cada celda en filas del 1 al 10 (Figura 14).



Figura 14. Celdas desmontadas.

Fuente: Autores.

C. Estado de salud de las celdas de ion-litio

Para saber el estado de salud de las baterías se debe medir el voltaje (V) de cada celda para evaluar el nivel de desbalanceo en el sistema (Figura 15).



Figura 15. Medición del voltaje por celda.

Fuente: Autores.

Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Voltajes obtenidos de cada celda (Fila A, B y C).

Fuente: Autores

Fila	A	B	C	
Numero de Celda	Valor	Valor	Valor	Unidad
Celda 1	3.45	3.45	3.45	[V]
Celda 2	3.46	3.46	3.46	[V]
Celda 3	3.44	3.44	3.44	[V]
Celda 4	3.24	3.24	3.24	[V]
Celda 5	0	0	0	[V]
Celda 6	3.44	3.44	3.44	[V]
Celda 7	3.37	3.37	3.37	[V]
Celda 8	0.5	0.5	0.5	[V]
Celda 9	1.16	1.16	1.16	[V]
Celda 10	3.44	3.44	3.44	[V]

Como se puede observar en la [Tabla 4](#), las filas 5 y 8 presentan un estado de descarga profunda, por ende, el desbalanceo y falla del sistema.

El proceso de carga de las celdas se realiza de forma individual con un módulo BMS para celdas de litio 18650-3.7V de marca Hiletgo modelo TP4057 con las siguientes características presentadas en la [Tabla 5](#).

Tabla 5. Características del módulo BMS Hiletgo TP4057.

Fuente: Autores

Definición	Valor	Unidad
Corte de voltaje de carga DC (100%)	4.2	[V]
Intensidad de carga	1.2	[A]
Voltaje de entrada DC (Puerto tipo C)	5	[V]

Con el objetivo de realizar una caracterización para la medición de valores de las celdas se procede a evaluar una celda de cada fila, con esto podemos saber el estado de vida aproximado de todas las celdas. Para las filas 5 y 8 las cuales se encuentran en un estado de descarga profunda se evalúan todas las celdas con el objetivo de identificar la celda averiada que generó el desbalanceo.

Una vez las celdas pasaron por el proceso de carga se inicia un proceso de descarga controlada a través de un módulo XH-M240 el cual, a través de una resistencia cerámica de 10W y 8Ω (Ohm) que actúa como un consumidor de energía que transforma la electricidad en calor, descargando la batería hasta un voltaje seguro de 2.7V equivalente al 0% de carga ([Anexo 1](#)).

Los valores de descarga obtenidos se midieron en voltaje (V) en función el tiempo y miliamperios hora (mAh) en función del tiempo y se presenta en las gráficas del [Anexo 2](#). Los datos de cada una de las baterías se encuentra en el [Anexo 3](#)

D. Aplicación para la unidad de almacenamiento de electricidad

En este trabajo se presenta una aplicación enfocada al ciclismo específicamente a una E-Bike. El battery extender es

una unidad del almacenamiento de electricidad que está conformada de celdas de ion-litio, sirve para complementar a la batería principal de la bicicleta, proporcionando así una autonomía extra de conducción. En este caso el battery extender será para una bicicleta “Cube” de modelo Stereo Hybrid 140 HPC ([Figura 16](#)) con un motor de 250W de potencia y una batería principal con las características que se muestran en la [Tabla 6](#).

Tabla 6. Características de la bicicleta Cube Stereo Hybrid 140 HPC de 250W.

Fuente: Autores

Definición	Valor	Unidad
Voltaje nominal	36	[V]
Amperaje	17.4	[Ah]
Capacidad	625	[Wh]

Para complementar a la batería principal de la E-Bike se fabrica un bloque de celdas para el Battery Extender que tiene las siguientes características ([Tabla 7](#)).

Tabla 7. Características del Battery Extender fabricado.

Fuente: Autores

Definición	Valor	Unidad
Voltaje nominal	36	[V]
Amperaje	7	[Ah]
Capacidad	250	[Wh]



Figura 16. Bicicleta Cube Stereo Hybrid 140 HPC de 250W.

Fuente: [19]

E. Diseño 3D

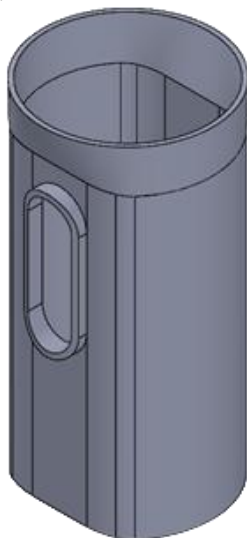
Para realizar los diseños en 3D se utilizó el software SolidWorks 2023. El modelo en 3D se realizó a partir de medidas reales del cuadro de la bicicleta, con un calibrador que es una herramienta precisa de medición que permite tomar dimensiones lineales como largo, ancho, profundidad y diámetro. Se consideran principalmente espacios volumétricos dentro del cuadro y las distancias de los agujeros para el soporte de la porta botellas para dimensionar la carcasa de la unidad de almacenamiento.

F. Prototipado rápido

Para obtener el diseño final se realizaron cuatro prototipos, buscando obtener una carcasa que sea lo más compacta posible. Las carcasas se imprimieron en 3D con parámetros de baja

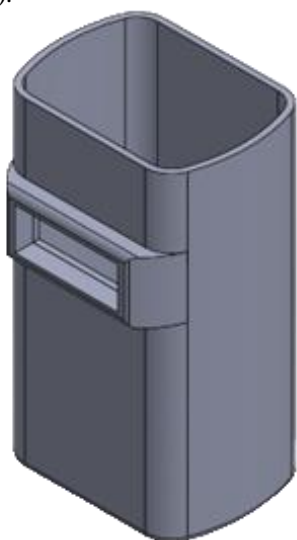
calidad para disminuir el tiempo de impresión y consumo de material. Estos prototipos sirvieron para verificar si el espacio era suficiente, que no presente interferencias mecánicas con otros elementos que componen la bicicleta y para comprobar las tolerancias de agujeros para los pernos, interruptores, puertos de carga y descarga y el indicador de voltaje y porcentaje de carga de la batería.

El primer prototipo no contemplaba una distribución compacta de las celdas resultando un cilindro grande que resultaba poco práctico para montarlo en el cuadro de la bicicleta ([Figura 17](#)).



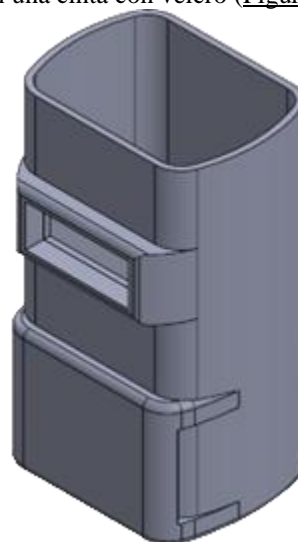
*Figura 17. Primer prototipo del Battery Extender.
Fuente: Autores.*

El segundo prototipo contemplaba una figura más compacta con una reagrupación de celdas y del módulo BMS, así mismo, se incorporó un indicador de nivel de carga y voltaje de la batería ([Figura 18](#)).



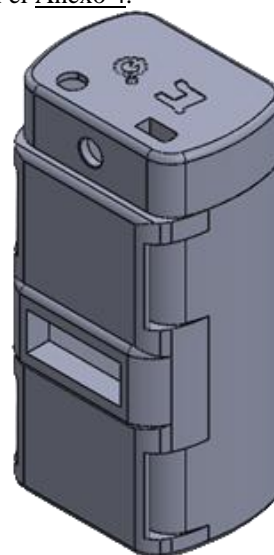
*Figura 18. Segundo prototipo del Battery Extender.
Fuente: Autores.*

Para lograr una sujeción segura se realizó un diseño que contempla un soporte para sujetar el Battery Extender al cuadro de la bicicleta con una cinta con velcro ([Figura 19](#)).



*Figura 19. Tercer prototipo del Battery Extender.
Fuente: Autores.*

En el diseño final se contempló dos soportes para sujetar el Battery Extender al cuadro de la bicicleta. Además, se realizó el diseño para la tapa en donde se colocaron todos los componentes anexos como puertos de carga y descarga e interruptor ([Figura 20](#)). Los planos con las respectivas cotas se pueden observar en el [Anexo 4](#).



*Figura 20. Diseño final del Battery Extender.
Fuente: Autores.*

G. Selección de parámetros y acabados

Los parámetros de impresión se configuran en el software laminador, en este caso se utilizó Orca Slicer. Después de realizar las correcciones necesarias en el diseño, se procede a imprimir la carcasa con parámetros apropiados de calidad y resistencia con los siguientes parámetros presentados en el [Anexo 5](#) y la ([Tabla 8](#)).

Tabla 8. Parámetros finales de impresión.
Fuente: Autores

Parámetro	Valor	Unidad
Numero de paredes	3	[u]
Número de capas superiores	3	[u]
Número de capas inferiores	3	[u]
Temperatura del extrusor	245	[°C]
Temperatura de la cama	65	[°C]
Velocidad de impresión	50	[mm/s]
Porcentaje de relleno	25	[%]
Altura de capa	0.36	[mm]
Diámetro de la boquilla	0.8	[mm]

La impresora 3D utilizada para la fabricación de esta carcasa es la Bambu Lab P1S.

El polímero utilizado para la fabricación aditiva de esta carcasa es PETG de la marca Bambu Lab con las siguientes características presentadas en la [Tabla 9](#).

Tabla 9. Características del PETG.
Fuente: [20]

Parámetro	Valor	Unidad
Dureza (resistencia al impacto - XY)	41,2	[kJ/m ²]
Resistencia (Resistencia a la flexión - XY)	70	[MPa]
Rigidez (Módulo de flexión - XY)	2910	[MPa]
Adhesión de capas (resistencia al impacto - Z)	10,7	[kJ/m ²]
Resistente al calor (HDT, 0,45 MPa)	74	[°C]

H. Ensamblaje

Una vez que la carcasa está fabricada, se procede con el ensamblaje de la unidad de almacenamiento incorporando el bloque nuevo de celdas con el módulo BMS incorporado y todos los componentes anexos como los puertos de carga y descarga, interruptor y el indicador de voltaje y porcentaje de carga. Después de comprobar que todas las conexiones están correctas se debe sellar la carcasa con un pegamento aislante para prevenir la entrada de agua y polvo ([Figura 21](#)).

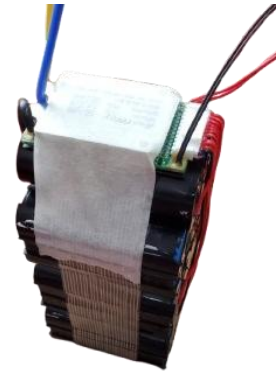


Figura 21. Bloque de celdas armado con el módulo BMS.
Fuente: Autores.

I. Producto final

La nueva unidad de almacenamiento está lista para ser instalada en la bicicleta ([Figura 22](#)).



Figura 22. Battery Extender instalado en bicicleta Cube Stereo Hybrid 140.
Fuente: Autores.

IV. ANALISIS DE RESULTADOS

Según la marca Cube la bicicleta Stereo Hybrid 140 con una batería de 625Wh tiene una autonomía aproximada promedio en modo Eco de 140 Km, en modo Normal de 90 Km y en modo Power de 50 Km. Es decir, 0.193 Km/Wh en modo Eco, 0.124 Km/Wh en modo Normal y 0.068 Km/Wh en modo Power [19].

El aumento de autonomía aproximada promedio con el Battery Extender de 250 Wh sería de 48.25 Km en modo Eco, 31 Km en modo Normal y 17 Km en modo Power. Los datos se presentan en la [Tabla 10](#).

Tabla 10. Autonomía aproximada promedio del Battery Extender.
Fuente: [19], autores

Modo de manejo	Batería Principal	Battery Extender	Unidad
ECO	36	48.25	[Km]
NORMAL	7	31	[Km]
POWER	250	17	[Km]

La autonomía aproximada promedio con el Battery Extender es de 188.28 Km en modo Eco, en modo Normal de 121 Km y en modo Power de 67 Km. En la [Figura 23](#) se muestra una comparativa la autonomía ganada en cada modo de manejo.

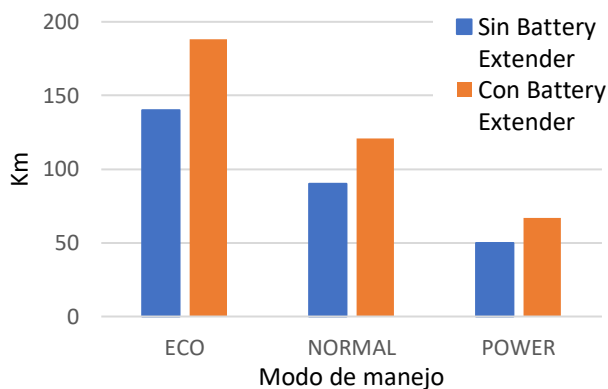


Figura 23. Comparación de autonomía con y sin Battery Extender. (Diferentes modos de manejo).

Fuente: Autores

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En conclusión, este trabajo presentó un modelo para el uso de baterías ion-Litio de bicicletas de segunda vida, creando una metodología paso a paso para la obtención y caracterización de cada celda para su posterior uso, y una metodología paso a paso para la aplicación y uso de estas celdas diseñando un Battery Extender para aumentar la autonomía de una bicicleta eléctrica. Así como en esta aplicación, las baterías de segunda vida se pueden utilizar en muchos otros casos, como para alimentar una linterna o un enrutador WIFI de Internet o para formar bancos de almacenamiento para cargar celulares o computadoras. Con este trabajo se busca así, resaltar la importancia de considerar el uso de baterías de segunda vida ya que se trata de una práctica sostenible que puede ser industrializada a gran escala creando un proceso de economía circular y que es amigable con el medio ambiente, buscando siempre un beneficio de la sociedad.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] IPCC, “Climate change widespread, rapid, and intensifying,” Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed., Geneva, Aug. 2021. Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_en.pdf
- [2] Y. Zhao *et al.*, “A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling,” 2021. doi: 10.3390/suschem2010011.
- [3] M. Hardinghaus and J. Weschke, “Transforming bicycle market: Assessing cyclists route preferences on different bike types in a choice experiment,” *Transp Res Interdiscip Perspect*, vol. 22, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.trip.2023.100921.
- [4] UNDP, “Destination 2030.” Accessed: Nov. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.undp.org/destination-2030-accelerating-progress-sustainable-development-goals>
- [5] A. Pražanová, V. Knap, and D. I. Stroe, “Literature Review, Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles, Part I: Recycling Technology,” 2022. doi: 10.3390/en15031086.
- [6] D. Moser, P. Turner, M. Stolz, M. Major, and S. Sohm, “Movilidad eléctrica sostenible: Componentes esenciales y recomendaciones de políticas SERIE GRA EN ACCIÓN,” Washington D.C, Mar. 2021. [Online]. Available: <http://www.sum4all.org>
- [7] Mike Sinyard, “SPECIALIZED.” Accessed: Aug. 05, 2024. [Online]. Available: <https://specialized.com.ec/>
- [8] H. A. Gabbar, A. M. Othman, and M. R. Abdussami, “Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards,” Jun. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/technologies9020028.
- [9] A. Condon *et al.*, “A dataset of over one thousand computed tomography scans of battery cells,” *All scans were acquired and processed at Glimpse’s facility in Somerville, MA, USA.*, Aug. 2024, doi: 10.25452/figshare.plus.25330501.
- [10] N. Khan, C. A. Ooi, A. Alturki, M. Amir, Shreasth, and T. Alharbi, “A critical review of battery cell balancing techniques, optimal design, converter topologies, and performance evaluation for optimizing storage system in electric vehicles,” Jun. 01, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.egy.2024.04.041.
- [11] B. Regassa Hunde and A. Debebe Woldeyohannes, “Future prospects of computer-aided design (CAD) – A review from the perspective of artificial intelligence (AI), extended reality, and 3D printing,” Jun. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.rineng.2022.100478.
- [12] O. M. Zaika, V. D. Rud, L. M. Samchuk, Y. S. Povstiana, and N. T. Rud, “Implementation of 3D printing technology in the conditions of series production,” 2024. doi: 10.1016/j.prostr.2024.04.112.
- [13] Markforged, “El futuro del software de laminado.” Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: <https://markforged.com/es/resources/blog/the-future-of-slicing-software>
- [14] V. Shanmugam, K. Babu, G. Kannan, R. A. Mensah, S. K. Samantaray, and O. Das, “The thermal properties of FDM printed polymeric materials: A review,” 2024. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2024.110902.
- [15] E. Hossain, D. Murtaugh, J. Mody, H. M. R. Faruque, M. S. H. Sunny, and N. Mohammad, “A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers Potential Solutions, Business Strategies, and Policies,” 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2917859.
- [16] X. Cui, M. A. Khan, G. Pozzato, S. Singh, R. Sharma, and S. Onori, “Taking second-life batteries from exhausted to empowered using experiments, data analysis, and health estimation,” *Cell Rep Phys Sci*, vol. 5, no. 5, May 2024, doi: 10.1016/j.xcrp.2024.101941.
- [17] E. Martinez-Laserna *et al.*, “Battery second life: Hype, hope or reality? A critical review of the state of the art,” 2018. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.035.
- [18] I. Kulkov, K. Chirumalla, and F. Antonsson, “Developing business model framework for companies operating in the second life batteries market,” in *Transportation Research Procedia*, Elsevier B.V., 2023. doi: 10.1016/j.trpro.2023.11.034.
- [19] CUBE, “STEREO HYBRID 140 HPC.” Accessed: Dec. 07, 2024. [Online]. Available: <https://archiv.cube.eu/es/2022/536253>
- [20] Bambu Lab, “Bambu PETG-CF,” 2024. Accessed: Dec. 07, 2024. [Online]. Available: <https://us.store.bambulab.com/collections/petg/products/petg-cf>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Módulo XH-M240

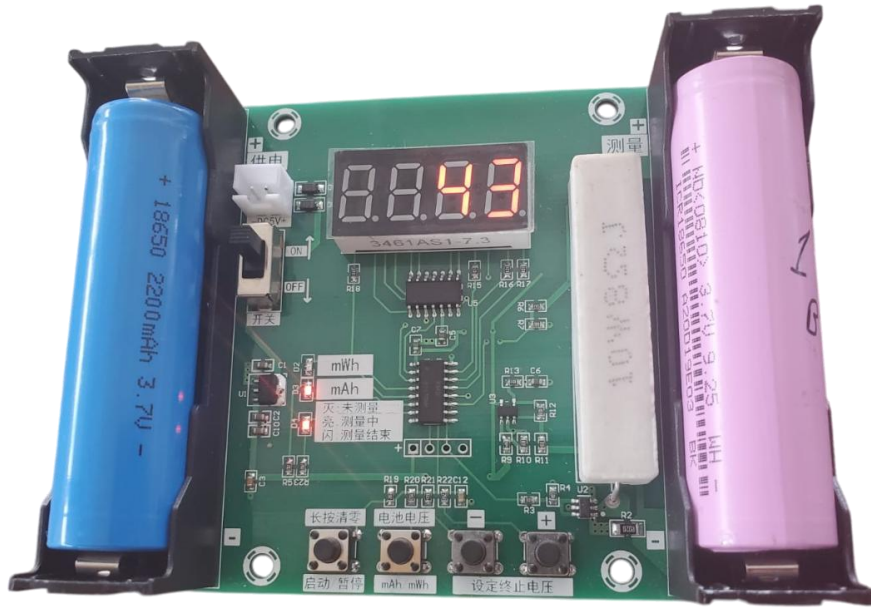


Figura 24. Modulo XH-M240
Fuente: Autores.

Anexo 2. Graficas de descarga de cada celda en mAh y en Voltios.

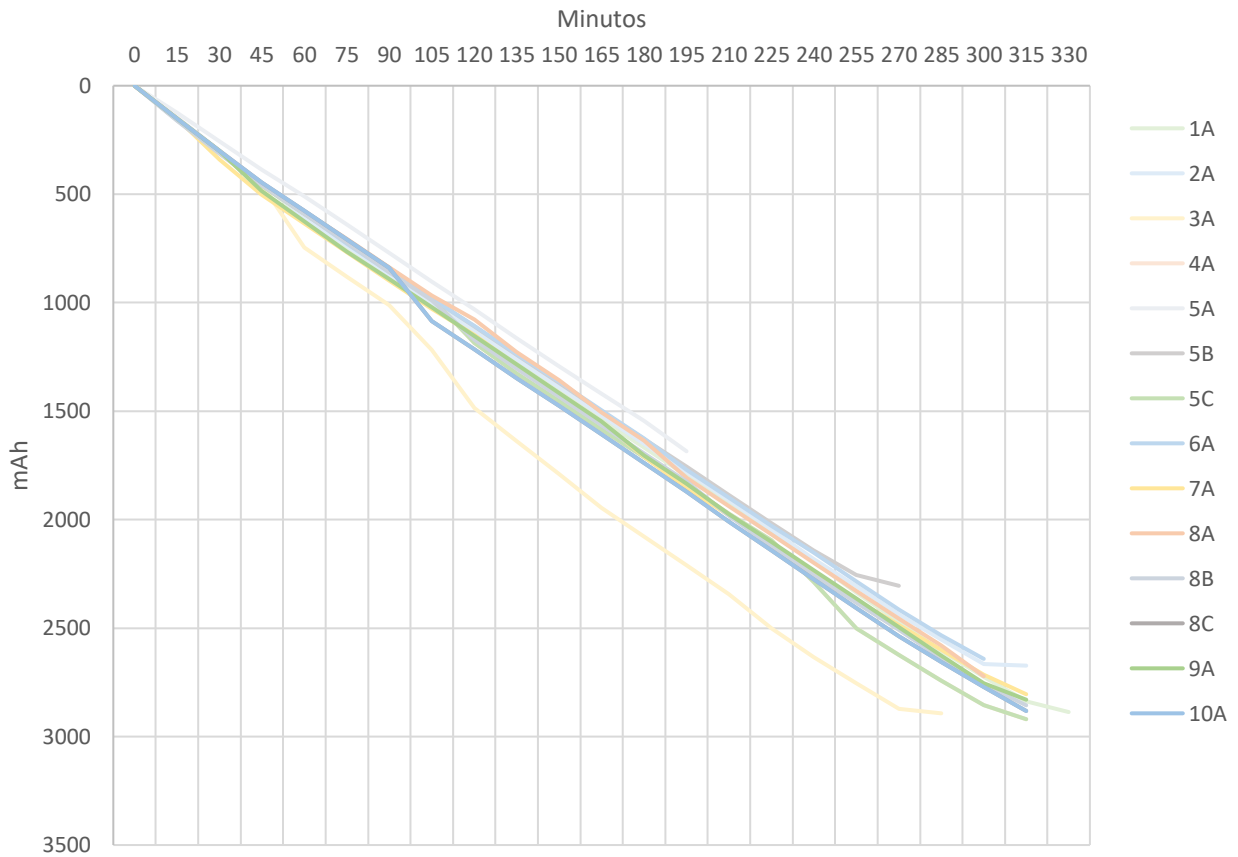


Figura 25. Descarga de celdas (mAh).
Fuente: Autores.

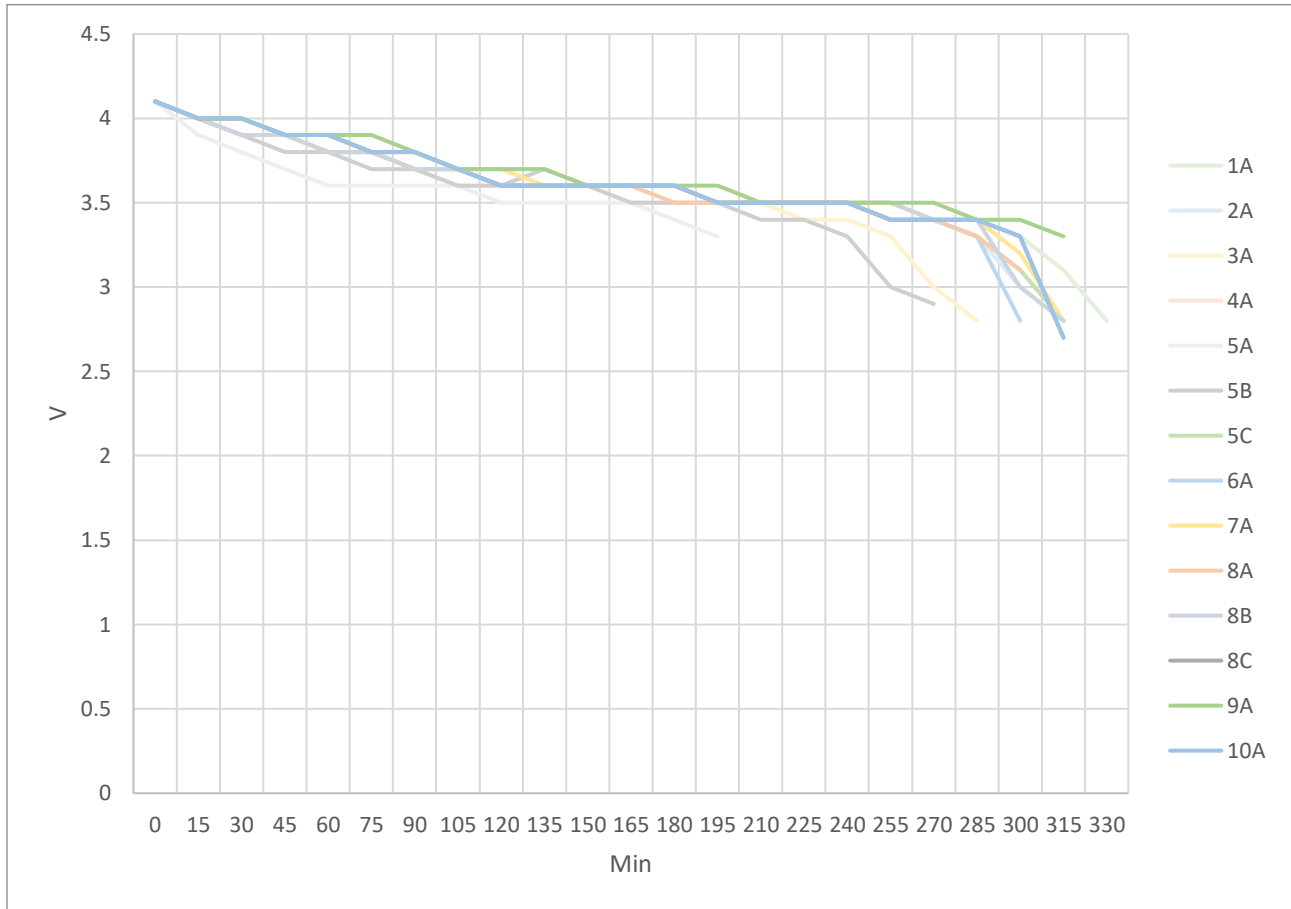


Figura 26. Descarga de celdas (Voltios).
Fuente: Autores

Anexo 3. Datos de descarga de cada una de las celdas.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1xtqJI43969_gKXamOd-5aTaKMpJPZvi_/edit?usp=sharing&oid=114700875320270662006&rtpof=true&sd=true

Anexo 4. Planos Acotados del Battery Extender.

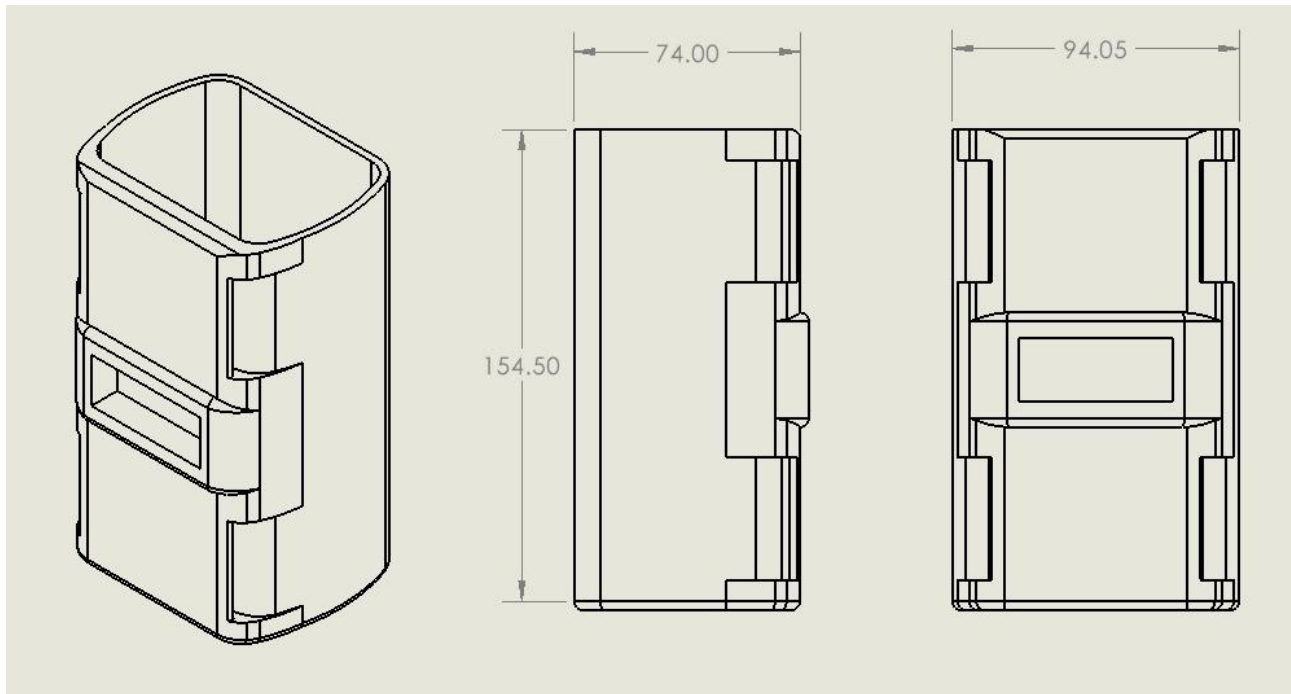


Figura 27. Planos acotados del Battery Extender
Fuente: Autores.

Anexo 5. Parámetros finales de impresión en el programa laminador.

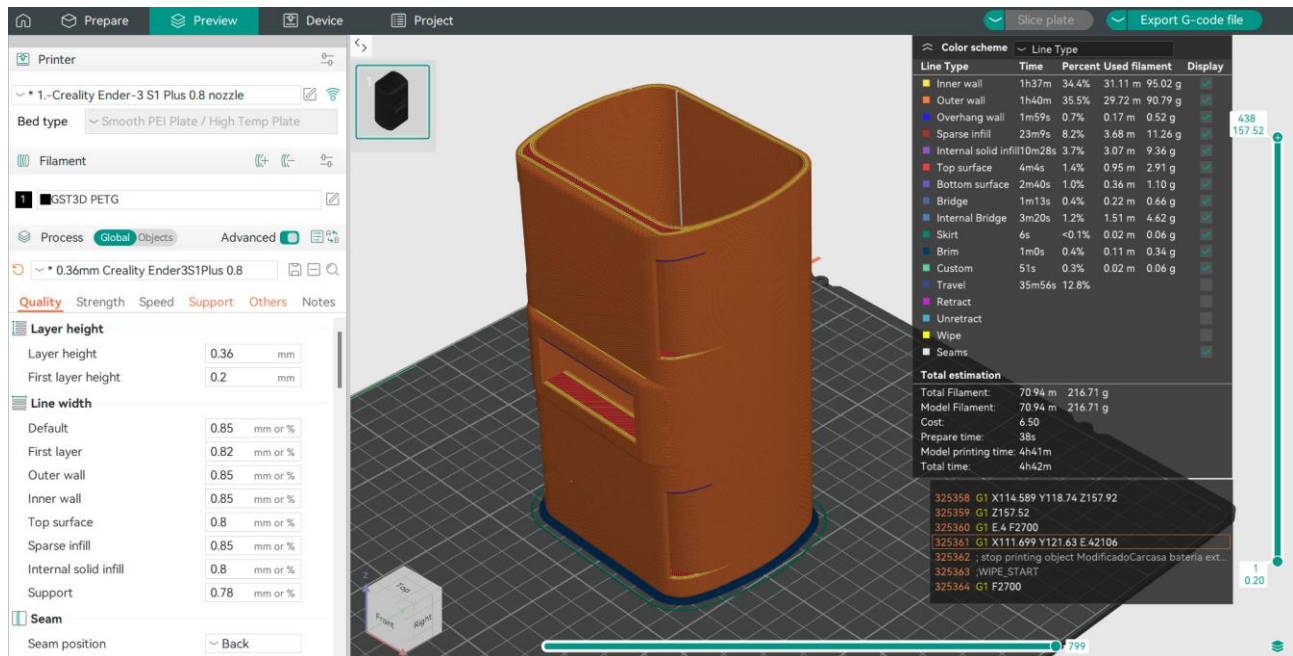


Figura 28. Captura de pantalla del programa laminador con los parámetros finales de impresión.
Fuente: Autores.