

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Culiacán



OPCIÓN:
TITULACIÓN INTEGRAL

OPCIÓN DE TITULACIÓN:
TESIS

NOMBRE DEL PROYECTO:
SISTEMA MODULAR DE GESTIÓN Y BALANCEO PASIVO DE CELDAS DE
ION-LITIO MEDIANTE CONTROL ELECTRÓNICO PROGRAMABLE Y
EXPANDIBLE CON MICROCONTROLADORES

ALUMNO:
MANUEL OSWALDO TORRES OLIVEROS

CARRERA:
INGENIERÍA MECATRÓNICA

No. DE CONTROL:
18170783



Instituto Tecnológico de Culiacán

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ASUNTO: **Autorización de Impresión**

Culiacán, Sinaloa, 13/04/2026 12:44

C. MANUEL OSWALDO TORRES OLIVEROS
PASANTE(S) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
P R E S E N T E.

De acuerdo con fallo emitido por la Comisión Revisora Integrada por:

Cédula Profesional

Presidente:	Doctor en Ingeniería de Materiales Ismael Díaz Peña	9798300
Secretario:	Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos Jennifer Vianey Félix Medina	12558860
Vocal:	Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Ana Luisa Félix Sámano	10341523

Y considerando que reúne los requisitos establecidos en la Opción: **TITULACIÓN INTEGRAL: TESIS PROFESIONAL "SISTEMA MODULAR DE GESTIÓN Y BALANCEO PASIVO DE CELDAS DE ION-LITIO MEDIANTE CONTROL ELECTRÓNICO PROGRAMABLE Y EXPANDIBLE CON MICROCONTROLADORES"**, damos a usted nuestra autorización para que proceda a imprimir su trabajo profesional.

Sin otro particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®


LIC. CONCEPCIÓN MENDOZA ROSALES
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

 **Educación** | SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CULIACÁN
DEPARTAMENTO DE
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



2026
año de
Margarita
Maza



RESUMEN

Sistema modular de gestión y balanceo pasivo de celdas de ion-litio mediante control electrónico programable y expandible con microcontroladores.

Julio del 2024

Manuel Oswaldo Torres Oliveros

Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica

Tecnológico Nacional de México Campus Culiacán

Dirigida por el Doctor Ismael Díaz Peña

El proyecto que a continuación se redacta surge de la necesidad latente de ofertar tecnología para el desarrollo e investigación del almacenamiento de energías renovables, así como de la mejora de soluciones ya existentes para la administración de la energía eléctrica con uso en cualquier ámbito. La correcta gestión de energía, específicamente de baterías es indispensable para garantizar una mayor autonomía, seguridad y vida útil de las mismas.

La encomienda del proyecto es ofertar un sistema de control para almacenamiento de energía electroquímico modular y adaptable a diferentes químicas de celdas de litio para su uso como fuente de energía principal en dispositivos y vehículos propulsados eléctricamente. Dicho sistema busca emplear una arquitectura modular en configuración maestro esclavo donde se permita visualizar en todo momento los parámetros relevantes como el estado de carga, voltajes, corrientes y características internas de seguridad.

Entre los beneficios de este sistema se incluye la mejora de la durabilidad y seguridad de las baterías, lo cual permite un uso más confiable y económico a largo plazo, impulsando así la demanda del consumo de baterías en sistemas de almacenamiento en cualquier ámbito, desde el industrial para sistemas de alimentación ininterrumpida hasta el uso de particulares en sistemas de domótica para reserva de energía independientes de la red eléctrica.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo, en primera instancia, a mi familia. Mamá y Papá, gracias por su cariño, atención y constante motivación. Ambos me guiaron hasta este momento y han sido pilares fundamentales en la formación de la persona que soy hoy.

Dedico también este logro a mi hermano menor, con quien he tenido la alegría de compartir el conocimiento adquirido y ponerlo en práctica en nuestros ocurrentes, pero siempre divertidos, experimentos, así como en las múltiples anécdotas vividas a lo largo de mi formación universitaria y etapa estudiantil.

En segunda instancia, extendiendo esta dedicatoria a mis compañeros de universidad: a todos aquellos con quienes realicé trabajos en equipo, compartí horas de estudio, conversaciones, celebraciones y aprendizajes. También a quienes, lamentablemente, ya no están a mi lado, pero dejaron huella en esta etapa de mi vida.

Finalmente, dedico este documento a mi círculo cercano de amigos: Armando, Camilo, Ricardo, Isaac y César. Les agradezco profundamente su lealtad, honestidad y calidez humana. Este logro también es reflejo del apoyo que siempre me brindaron. ¡Lo logramos, muchachos! Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Expreso toda mi gratitud a mi director de tesis, Dr. Ismael Diaz Peña, por su orientación, paciencia y valioso liderazgo durante el desarrollo de este proyecto. Su vasta experiencia en proyectos científicos, observaciones y compromiso académico fueron fundamentales para la ejecución de esta investigación.

Agradezco, también mis maestros, coordinadores y todo personal académico en general, quienes a lo largo de mi formación profesional contribuyeron con su responsabilidad, exigencia, dedicación a mi crecimiento académico, personal e incluso laboral.

Finalmente, extendiendo mi reconocimiento al Instituto Tecnológico de Culiacán, por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista en sus aulas y proporcionarme las herramientas necesarias para alcanzar esta meta.

ÍNDICE

1	GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	10
1.1	Antecedentes.....	10
1.2	Descripción del problema	11
1.3	Hipótesis.....	12
1.4	Objetivo general	12
1.5	Objetivos específicos.....	12
1.6	Justificación	12
1.7	Alcance del proyecto	13
2	MARCO TEÓRICO.....	14
2.1	Carga de baterías.....	14
2.2	Sistema Administrador de Baterías (BMS).....	16
2.3	Estimaciones de estado	17
2.4	Tipos de BMS	18
2.5	Microcontroladores	20
3	DESARROLLO	22
3.1	Características necesarias de la tarjeta balanceadora	22
3.2	Proyecto de código abierto DIYBMS – Stuart Pittaway	24
3.2.1	Hardware.....	25
3.2.2	Descripción del diseño electrónico	26
3.3	Fabricación de tarjetas BMS	30
3.4	Programación de tarjetas	41
3.4.1	Programación de módulos balanceadores	42

3.4.2	Programación de Wemos D1 mini	47
3.5	Interfaz web	49
4	RESULTADOS	55
4.1	Sección de Ajuste Individual de Módulos.....	57
4.2	Sección de Ajustes Generales	57
4.3	Sección de Reglas.....	58
4.4	Pestaña de Integración.....	59
5	CONCLUSIONES.....	61
6	COMPETENCIAS DESARROLLADAS	62
6.1	Competencias Actitudinales adquiridas	62
6.2	Competencias Procedimentales adquiridas	62
6.3	Competencias Conceptuales adquiridas	63
7	FUENTES DE INFORMACIÓN	64

ÍNDICE DE GRÁFICAS, FIGURAS Y TABLAS

<i>Figura 2-1: Etapas de la carga de una batería de LCO</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2-2: Circuito ideal de un administrador de baterías pasivo.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2-3: Modelo en Matlab de un balanceador de celdas activo empleando una técnica llamada condensador conmutado.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2-4: Funciones de un microcontrolador en una BMS.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3-1: Diagrama esquemático electrónico del sistema balanceador incluyendo características de seguridad</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3-2: Perfil de Stuart Pittaway en la plataforma GitHub</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3-3: Documentación del proyecto DIYBMS de Stuart Pittaway</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3-4: Tarjeta de desarrollo Wemos D1 mini.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3-5: Chip con empaquetado SOIC-14 utilizado para fabricar los microcontroladores ATTINY 841 y 1624.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3-6: Esquemático del módulo balanceador - Conexiones y etiquetas microcontrolador</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3-7: Esquemático de modulo balanceador - Sección de balanceo.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3-8: Esquemático de modulo balanceador - Sección de censado de temperatura, (circuito para medir temperatura de la tarjeta a la izquierda y puerto para medir la temperatura de la batería a la derecha)</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3-9: Esquemático de modulo balanceador - Puertos de conexión (Alimentación del circuito, o conexión de batería, en la figura izquierda, puerto receptor en el centro y transmisor a la derecha)</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3-10: Capas de pistas de cobre frontal (roja), capa en la cual se colocan los componentes de montaje superficial, y trasera (azul) del PCB del módulo balanceador.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3-11: Renderizado en 3D del PCB con componentes del módulo balanceador.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3-12: Visualización del Módulo Balanceador 4.21 desde el software de diseño de tarjetas electrónicas KiCAD</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3-13: Página web del fabricante de tarjetas electrónicas JLCPCB</i>	<i>32</i>

<i>Figura 3-14: Cotización rápida del costo de manufactura de 5 tarjetas de circuito impreso de la tarjeta principal controladora sin componentes.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3-15: Cotización rápida del costo de fabricación de 10 tarjetas de circuito impreso sin componentes de la tarjeta modular balanceadora.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3-16: Especificaciones generales del PCB</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3-17: Opciones específicas de fabricación</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3-18: Opciones de fabricación referentes al montaje de componentes.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3-19: Opciones avanzadas del montaje de componentes</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3-20: Página de compra de Mouser Electronics mostrando disponibilidad del chip ATTINY841</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3-21: Tarjetas balanceadoras prefabricadas recién extraídas de su embalaje, sin microcontrolador ni puertos de conexión, y chips ATTINY841 almacenados en un recipiente de plástico, ambos listos para soldar.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3-22: Tarjeta balanceadora con microcontrolador soldado y con puertos de conexión faltantes por soldar</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3-23: Tarjeta balanceadora terminada con todos sus componentes soldados</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3-24: Comparación de render (izquierda) y diseño final (derecha)</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3-25: Tarjeta controladora sin puertos</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3-26: Tarjeta controladora con puertos soldados</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3-27: Tarjeta controladora terminada con placa Wemos D1 Mini.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3-28: Fabricación de puentes con conectores JST.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3-29: Puentes con conectores JST terminados</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3-30: Puerto de programación ISP.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3-31: Vista trasera del programador USBASP configurado para un voltaje de programación en 3.3V</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3-32: Software con interfaz visual AVRDUDESS</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3-33: Correcta conexión entre el programador y la tarjeta</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3-34: Programador y tarjeta balanceadora listos para ser programados</i>	<i>44</i>

<i>Figura 3-35: Parámetros para la detección del microcontrolador</i>	45
<i>Figura 3-36: Consola indicando la detección del microcontrolador</i>	45
<i>Figura 3-37: Carpeta descomprimida del firmware para las diferentes versiones de la tarjeta balanceadora y su controlador</i>	46
<i>Figura 3-38: Parámetros de la ruta del firmware</i>	46
<i>Figura 3-39: Consola mostrando información del progreso del flasheo del chip</i>	47
<i>Figura 3-40: Interfaz del software de programación Esphome</i>	48
<i>Figura 3-41: Administrador de dispositivos indicando el puerto de a la tarjeta Wemos D1</i>	48
<i>Figura 3-42: Parámetros de programación para flasheo de Wemos D1</i>	49
<i>Figura 3-43: Consola de programación del software Esphome</i>	49
<i>Figura 3-44: Lista de redes WIFI cercanas</i>	50
<i>Figura 3-45: Conexión a red sin internet</i>	50
<i>Figura 3-46: Página web generada por el firmware instalado en la tarjeta controladora solicitando acceso a una red con acceso a internet</i>	51
<i>Figura 3-47: Dirección IP asignada a la tarjeta controladora</i>	52
<i>Figura 3-48: Interfaz del servidor web ejecutado desde la tarjeta controladora</i>	52
<i>Figura 3-49: Interfaz web mostrando el valor de voltaje y la temperatura de la tarjeta balanceadora alimentada con una pila</i>	53
<i>Figura 3-50: Sistema balanceador de una sola celda mostrando valores en su interfaz web visualizada desde un dispositivo móvil.</i>	54
<i>Figura 4-1: Interfaz web de control principal</i>	56
<i>Figura 4-2: Interfaz web con visualización en 3D de voltajes de cada celda.....</i>	56
<i>Figura 4-3: Interfaz web: Opciones individuales de módulos (identificación y configuración) ..</i>	57
<i>Figura 4-4: Interfaz web: Opciones relacionadas a la distribución, reseteo y ajuste de protocolo del horario de red del controlador</i>	58
<i>Figura 4-5: Interfaz web: Opciones de seguridad adicionales a la integración de una tarjeta de relays</i>	59
<i>Figura 4-6: Interfaz Web: Opciones de integración con bases de datos externas</i>	60

1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

En las últimas décadas, la tecnología de baterías de iones de litio se ha considerado como una de las principales tecnologías de almacenamiento electroquímico de energía debido a su alta densidad energética, gran eficiencia y larga vida útil. Estas características han favorecido su integración en una amplia variedad de sistemas como dispositivos electrónicos portables, gadgets, sistemas de respaldo para energía ininterrumpida, almacenamiento de energía renovable y, más popularmente en la década, automóviles, motos y dispositivos de desplazamiento híbridos o totalmente eléctricos.

El funcionamiento seguro de las celdas de ion-litio requiere de supervisar variables críticas como voltaje, corriente y temperatura. Otro aspecto es que, al elaborar arreglos de celdas para sistemas robustos, pequeñas variaciones en la capacidad interna, resistencia o estado de carga pueden provocar desbalances que perjudican la capacidad y vida útil de las celdas a largo plazo. Esto se traduce en celdas alcanzando límites de carga o descargas antes que otras, degradación acelerada, disminución de la capacidad utilizable y riesgos operativos

Para mitigar estos problemas recurrentes, se emplean Sistemas de Gestión de Baterías (BMS – Battery Management Systems), cuya función principal es monitorear, proteger y optimizar el rendimiento de la batería. Entre las funciones principales se encuentra la medición de voltajes, prevención contra sobre corriente o temperaturas excesivas en cada celda, además de una estimación de la capacidad y algoritmos o estrategias de balanceo variadas en sistemas de mayor complejidad o escala.

En la actualidad existen ya en el mercado soluciones que proponen solución a aplicaciones específicas; sin embargo, muchos de estos sistemas no cuentan con modularidad, escalabilidad ni una configuración o topología programable. Dichas restricciones dificultan adaptación a configuraciones experimentales o sistemas de expansión gradual-eventual, así como el análisis detallado del comportamiento individual de cada celda durante ciclos controlados de carga-descarga.

1.2 Descripción del problema

En la actualidad, la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles y eficientes ha generado un creciente interés en el desarrollo de tecnologías que optimicen el uso y la gestión de la energía almacenada. En este contexto, y como es mencionado en los antecedentes, los dispositivos de almacenamiento electroquímico basados en celdas de ion-litio se han consolidado como una de las principales alternativas gracias a su alta densidad energética, larga vida útil y eficiencia en procesos de carga y descarga. No obstante, uno de los principales retos asociados a estas tecnologías es la administración adecuada de las celdas que conforman un paquete de baterías, especialmente en lo que respecta al equilibrio de carga entre ellas y al monitoreo de su comportamiento individual.

Además, muchos de los sistemas disponibles en el mercado operan como cajas negras, sin ofrecer al usuario información visual detallada sobre el comportamiento individual de cada celda, lo que dificulta la detección temprana de fallos y limita las posibilidades de mantenimiento preventivo o correctivo. Esto representa un riesgo técnico y económico, especialmente en aplicaciones de mediana o gran escala, donde el mal funcionamiento de una celda puede comprometer todo el sistema de almacenamiento.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de control de carga y descarga para dispositivos de almacenamiento de ion-litio, mediante el desarrollo de un sistema administrador de baterías (BMS) pasivo y modular. Este sistema se basa en el uso de microcontroladores e interfaces visuales programables que permiten una supervisión precisa y una gestión energética más eficiente. A diferencia de los sistemas convencionales, el BMS propuesto busca ofrecer una solución económica y con alto desempeño en cuanto a estabilidad operativa y extensión de la vida útil de las celdas.

El diseño de un sistema administrador de baterías con capacidad de monitoreo individualizado, balanceo pasivo, y visualización gráfica mediante microcontroladores e interfaces programables, representa una propuesta innovadora y viable para optimizar la gestión energética y extender la vida útil de estos dispositivos. Resolver esta problemática contribuirá significativamente a la investigación y

desarrollo de sistemas de almacenamiento más confiables y adecuados para su integración en entornos de energías renovables y tecnologías limpias.

1.3 Hipótesis

Al implementar un sistema modular de gestión y balanceo pasivo controlado mediante microcontroladores programables, se reducirá el desbalance de voltaje entre celdas en arreglos en serie, mejorando la estabilidad operativa y prolongando la vida útil.

1.4 Objetivo general

Elaborar un sistema administrador de baterías que permita administrar la carga y monitorear celdas de litio mediante un sistema balanceador de tipo pasivo y modular elaborado mediante el uso de microcontroladores e interfaces visuales programables.

1.5 Objetivos específicos

- Seleccionar el hardware adecuado en función de los requerimientos de conectividad, potencia y capacidades de la carga a suministrar energía.
- Elaborar la documentación necesaria para la fabricación de tarjetas electrónicas balanceadoras
- Cotizar hardware con un fabricante de tarjetas electrónicas exportando archivos de manufactura.
- Montar las tarjetas balanceadoras en conjunto con las celdas de litio en una configuración modular expandible en función de las características eléctricas requeridas
- Levantar interfaz de monitoreo y configurar ajustes de tarjetas balanceadoras

1.6 Justificación

El proyecto es de suma importancia debido que se oferta una solución innovadora y eficiente para la gestión de la energía, que con el tiempo ganan más popularidad en ámbitos como las energías renovables, la electrónica de consumo y la movilidad urbana sostenible.

La correcta gestión de las baterías es indispensable para garantizar una mayor autonomía, seguridad y vida útil de las mismas. Los resultados de este proyecto pueden tener implicaciones significativas, no solo en términos de eficiencia energética, sino también en la reducción de costos

operativos y el impacto ambiental de este tipo de tecnología, al optimizar consumos de energía y minimizar el desperdicio.

1.7 Alcance del proyecto

La elaboración del sistema balanceador a desarrollar necesita de varias características las cuales se definen en los siguientes puntos:

- Química: Únicamente se trabajará con baterías de iones de litio, dejando de lado las baterías de Litio Ferro-Fosfato (LiFePo₄) y polímero de iones de litio (LiPo).
- Modularidad: Se planea utilizar una arquitectura de tarjetas balanceadoras modular para facilitar la instalación.
- Conectividad: Para monitorear el estado de las celdas se empleará una interfaz que requiere de una conexión wifi.
- Electromovilidad: El uso de este sistema de almacenamiento de energía a elaborar queda limitado a vehículos ligeros como bicicletas eléctricas, scooter y monopatín.
- Tipo de balanceo: La tecnología de tarjetas con la que se trabajará serán tarjetas balanceadoras de tipo pasivo empleando resistencias de sangrado.

Finalmente, el proyecto se delimita a trabajar únicamente con baterías de litio, no se aceptan otras químicas como el ácido-plomo, gel ni níquel-cadmio (o cualquier otro compuesto de electrodo activo aleado el níquel).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Carga de baterías

Ejercer la carga de en celdas de iones de litio, baterías recargables, dicho de otra manera, es necesario de un dispositivo que proporcione un suministro preciso de corriente y voltaje de celda conformada en un arreglo o conjunto de baterías. A diferencia de otros sistemas electroquímicos, las baterías de iones de litio poseen una baja tolerancia a condiciones de sobrecarga, por lo que la carga debe de cumplir estrictas características para evitar degradación acelerada, fuga térmica o incluso eventos catastróficos (Edge et al., 2021; Y. Liu et al., 2019).

Los sistemas de iones de litio con el electrodo tradicional hecho a base de cobalto, níquel, manganeso o aluminio cargan a típicamente a un voltaje de 4.2V por celda y la tolerancia es de más o menos 50mV por celda. Algunas variedades de celdas basadas en níquel cargan a 4.1V por celda; Algunas tecnologías de alta capacidad pueden ir hasta los 4.3V o más por celda. (Reddy & Linden, 2011), pero de manera regular asumimos que el voltaje de carga siempre será de 4.2V de manera nominal (Schmuck et al., 2018).

En la figura 2–1 se observa el comportamiento por etapas de una batería, en la línea continua se aprecia el voltaje de la batería, y con la línea punteada, la corriente aplicada para recargar la batería. A continuación, se describe cada etapa:

- ***Etapas 1 – Corriente constante:*** El voltaje se incrementa conforme se aplica corriente constante
- ***Etapas 2 – Saturación de carga:*** El voltaje alcanza su pico máximo y la corriente disminuye
- ***Etapas 3 – Cese de corriente:*** La recarga termina cuando la corriente disminuye del 3% de la corriente medida
- ***Etapas 4 – Modo de espera (Opcional):*** Se vuelve a recargar otro poco aplicando una pequeña corriente para considerar pérdidas por autodescarga en caso de almacenar baterías.

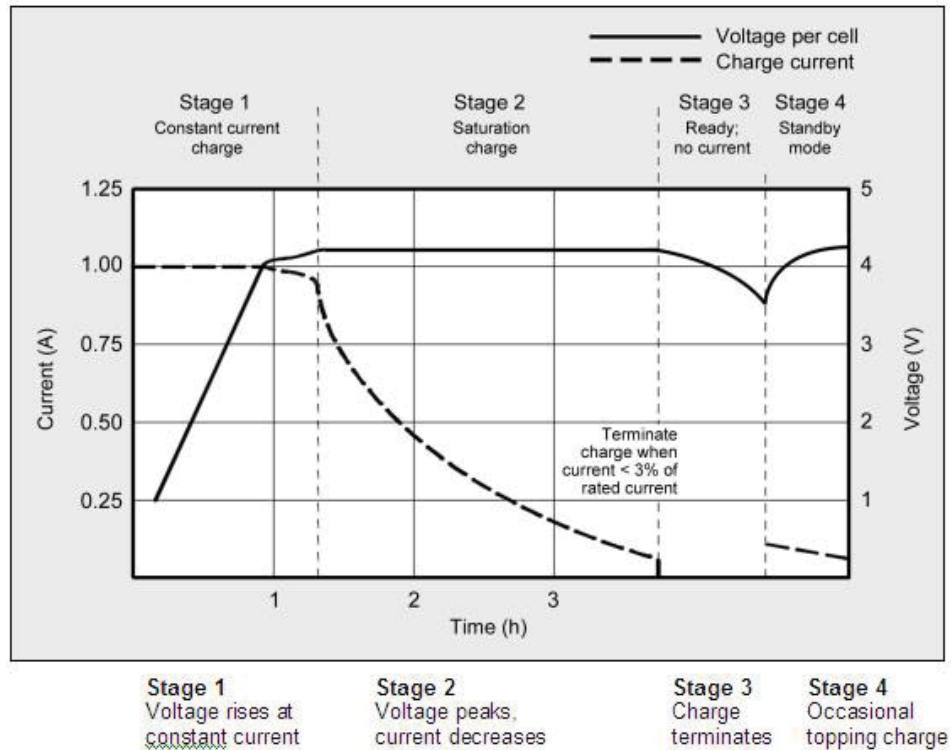


Figura 2-1: Etapas de la carga de una batería de LCO

Al describir la rapidez con la que una batería se carga o descarga se suele hablar de una constante llamada C , también conocida como *c-rate* en inglés, esta se calcula a partir de dos parámetros: la corriente consumida o suministrada a la batería, expresada en amperes-hora, dividida entre la capacidad de la batería, expresada en amperios o miliamperios. De resumida podemos decir que si una batería proporciona toda su corriente en una hora C es igual a 1. Otro ejemplo es que si una batería posee una capacidad de 3000mAh y esta se carga a una velocidad de $0.5C$ quiere decir que estará completamente cargada a las dos horas, aplicando una corriente de carga de 1.5 amperes .

En los últimos años diversos estudios indican que las tasas de carga recomendadas para maximizar la vida útil se encuentran entre los $0.5C$ y $1C$, aunque tasas superiores pueden emplearse bajo condiciones térmicas controladas. Sin embargo, el incremento de la corriente proporcionada, tanto en carga como descarga, acelera la degradación y disminuye la vida útil de la batería (Edge et al., 2021).

La carga completa se produce cuando la batería alcanza el umbral de voltaje y la corriente cae al 3% de la corriente nominal. También se considera que una batería está completamente cargada si la corriente se apaga y no puede bajar más. La autodescarga elevada podría ser la causa de esta afección.

Para ejemplificar todo lo visto en este capítulo, tomemos como ejemplo una batería de 1,000 mAh, la cual se requiere cargar lo más rápido sin comprometer su vida útil, como tal tomaríamos un 0.8C para cargarla. Su la corriente de carga tendría que ser de 800 miliamperios y el tiempo de carga que tomaría en alcanzar la etapa de saturación sería de poco más de 1 hora y 10 minutos. Pasado ese tiempo y para lograr la carga completa se necesita esperar otro pequeño periodo para esperar a que la corriente cese. Por lo que la carga tomaría alrededor de 2 horas y no comprometería en lo absoluto el futuro desempeño de la celda.

2.2 Sistema Administrador de Baterías (BMS)

Un Sistema de Administrador, o Gestionador, de Baterías (Battery Management System) es un sistema electrónico encargado de supervisar, proteger y optimizar el funcionamiento de un paquete de baterías compuesto por múltiples celdas. Su función principal es garantizar la operación segura, maximizar la vida útil y asegurar el aprovechamiento eficiente de la energía almacenada (Yao & Kowal, 2025). Entre sus principales funciones se encuentran:

Prevención de carga y sobredescarga: Se garantiza que cada una de las celdas de un paquete de baterías se mantenga dentro de los límites de voltaje seguros, lo que evita fugas térmicas o degradación prematura.

Monitorización de voltaje y temperatura: El sistema supervisa continuamente el voltaje y la temperatura de las celdas de baterías, lo cual ofrece respuesta inmediata ante posibles problemas de seguridad.

Optimización de condiciones de funcionamiento: Dado que supervisa y ajusta parámetros de temperatura y gestión de carga, un sistema de gestión de baterías puede garantizar que la batería funcione de manera eficiente y proporcionar el mejor rendimiento posible.

Balanceo de celdas: Conforme la batería adquiere antigüedad, sus celdas pueden desequilibrarse, es decir que unas tengan mayor voltaje y/o resistencia interna. Un BMS puede balancear las celdas asegurando que cada celda se cargue y descargue de manera uniforme.

Reducción de costes de mantenimiento: Dado que se prolonga la vida útil de la batería y se evitan daños a través de monitorización y gestos continuos, un BMS puede reducir costos de mantenimiento y reemplazo.

Máximo uso de la energía: A través de un balanceo de celdas eficiente, un BMS permite aprovechar la energía almacenada utilizable, lo cual aumenta la rentabilidad del sistema.

Integración con sistemas de energía renovable: Un sistema de administrador de baterías es esencial para integrar baterías con sistemas de energía renovable, paneles solares o turbinas eólicas, a través de la gestión del almacenamiento y la liberación de energía.

Conformidad con normativas: En muchos casos, contar con un sistema administrador de baterías es un requisito normativo de los estándares de seguridad y eficiencia, especialmente en vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de gran escala.

2.3 Estimaciones de estado

Una función importante de un sistema de gestión de baterías es la estimación del estado, la cual es la estimación del porcentaje disponible batería, salud o poder, con respecto a su capacidad total o inicial. De manera general se mide el desempeño y las condiciones de una batería en determinado momento, otorgando un porcentaje a cierto aspecto. En la estimación de estado se incluyen parámetros como el estado de carga (SoC), estado de salud (SoH), estado de energía (SoE) y estado de potencia (SoP).

El SOC es una cantidad porcentual que indica cuanta carga queda en la batería, definida como la relación entre la cantidad máxima de energía extraíble de la celda, en determinado momento, y la capacidad total. Los métodos para estimar pueden ser sencillos que van desde la integración de corrientes, también denominado conteo de Coulombs, y monitorización de voltaje, hasta sofisticados modelos matemáticos como lo son los filtros Kalman, redes neuronales y modelos basados en el

aprendizaje automático. Métodos más avanzados permiten mejorar la precisión bajo condiciones dinámicas (K. Liu et al., 2018; Yao & Kowal, 2025)

El SOH hace referencia al estado de salud general de la batería, normalmente midiendo parámetros como la resistencia interna y capacidad, en relación con su rendimiento al comienzo de su vida útil. Este término termina siendo una definición subjetiva ya que no existe una manera normada de medir la salud de una batería. Debido a que este parámetro se puede definir de la resistencia interna y capacidad de la batería, cada fabricante u organización puede tener su propio método específico para cuantificar el SOH en un sistema administrador de baterías. (Buchmann, 2015)

2.4 Tipos de BMS

Como es mencionado con anterioridad, con el paso del tiempo cada celda en un paquete de baterías puede mostrar diferentes niveles de carga debido a variaciones en la fabricación, uso o temperatura. Un BMS equilibra la recarga entre las celdas para lograr que todas las celdas tengan un mismo nivel de carga. Lo que optimiza la capacidad y vida útil de la batería (MATLAB, 2024). Existen dos tipos de sistemas BMS:

Balanceadores pasivos: Este tipo de sistema reduce el alto nivel de carga en aquellas celdas con alto SOC utilizando resistencias sangrado o disipación, conocidas en inglés como “*bleeding resistors*”. En este caso la energía sobrante se disipa al ambiente en forma de calor por las resistencias incorporadas mediante la incorporación de un interruptor o transistor que permita conmutar el exceso de carga de las baterías a las resistencias de sangrado.

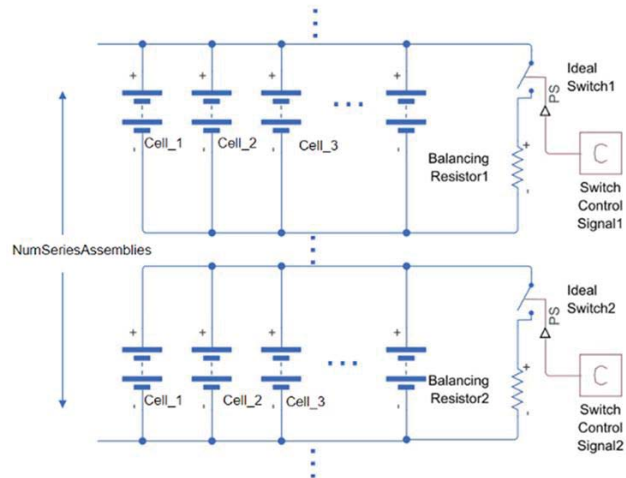


Figura 2-2: Circuito ideal de un administrador de baterías pasivo.

Balanceadores activos: Aquí el sistema toma energía de las celdas con un alto estado de carga para suministrar las que tienen un bajo estado de carga empleando condensadores e inductores. De manera sencilla podemos decir que la energía se traslada entre las celdas, por lo tanto la eficiencia en este sistema es más alta. En la figura 2-3 se observa un modelo en Matlab empleando Simscape Battery de Simulink.

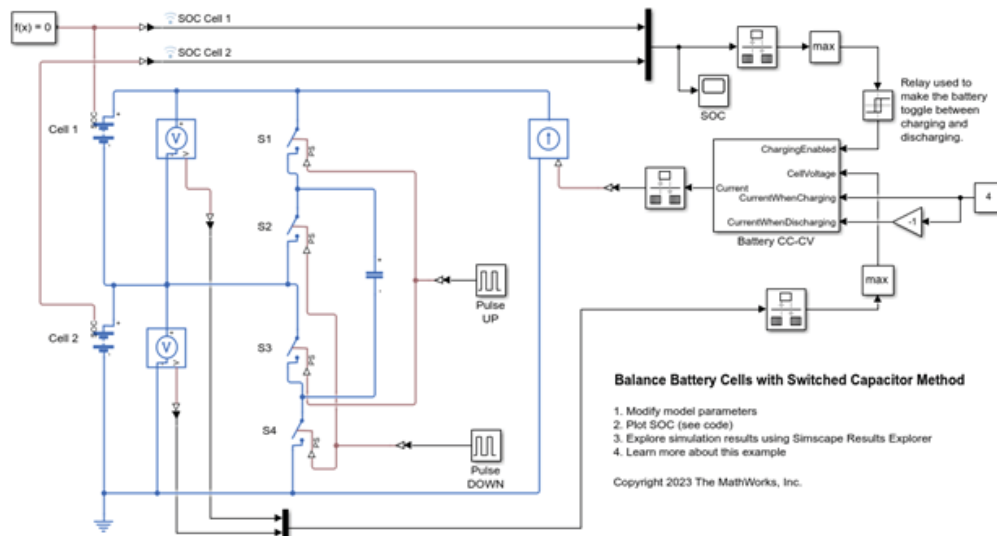


Figura 2-3: Modelo en Matlab de un balanceador de celdas activo empleando una técnica llamada condensador conmutado.

2.5 Microcontroladores

Un microcontrolador es un sistema embebido que incorpora una unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida. Estos dispositivos son útiles extremadamente útiles para ejecutar tareas sencillas y repetitivas en tiempo real con bajo consumo energético y alta confiabilidad, lo que los convierte en el sistema núcleo de muchos dispositivos y sistemas electrónicos actuales ideal para sistemas embebidos y aplicaciones de control ferroviario, automotriz, robótica e Internet de las cosas (Prabowo & Irwanto, 2023).

En el contexto de los Sistemas de Gestión de Baterías, el microcontrolador cumple una función indispensable al ejecutar todas las normas de supervisión, protección, control y monitoreo del paquete de baterías. Debido a que las variables internas de una batería, estado de carga o estado de salud, no pueden medir directamente; El microcontrolador procesa señales provenientes de sensores de voltaje, corriente y temperatura para estimar dichas magnitudes mediante ecuaciones y algoritmos de filtrado.

En la siguiente tabla, se describen algunas de las funciones que es capaz de cubrir un microcontrolador dentro de un BMS:

Figura 2-4: Funciones de un microcontrolador en una BMS

Función	Descripción
Adquisición de datos	Lectura periódica de voltajes, corriente y temperatura individual de cada celda medida mediante convertidores analógico-digitales
Cálculos de estimación	Ejecución de métodos como conteo de Coulombs, modelos eléctricos equivalentes o filtros Kalman para estimación de SoC y SoH
Gestión de protección	Activación de mecanismos de desconexión ante eventos de carga, descarga, corriente y/o temperatura excesiva
Control de balanceo de celdas	En BMS pasivos, el microcontrolador tiene el mando de conmutación para disipación pasiva o activa de las celdas con mayor voltaje
Comunicación externa	Trasmisión de datos a sistemas externos de monitoreo en tiempo real, interfaces de usuario o redes industriales.

En sistemas BMS de arquitectura pasiva, como el que está por desarrollarse en este trabajo, el microcontrolador desempeña un papel fundamental al coordinar el balanceo resistivo, supervisar límites de seguridad y garantizar la operación correcta dentro de los parámetros eléctricos debido a la química de las celdas. Dicho de tal modo, el microcontrolador actúa como el elemento de control que integra medición, análisis y acción correctiva en el sistema.

3 DESARROLLO

3.1 Características necesarias de la tarjeta balanceadora

Como se comenta en el marco teórico de este documento, una gestión de baterías influye directamente en la seguridad, eficiencia y longevidad de una batería, y por consiguiente, el rendimiento y la fiabilidad general de un sistema de almacenamiento de energía.

La primera característica del sistema a ofertar es que el dispositivo es propio de una química de Iones de Litio, debido a que solo soportará celdas de litio como electrolito y materiales activos en electrodos tales como óxido de cobalto o manganeso, litio-ferrofosfato, titanato de litio o polímero de litio. El segundo aspecto son voltajes fijos (mayor a dos y menor a cinco voltios de corriente continua), consiguiente de la química empleada; Las celdas de iones de litio oscilan entre valores de corte de voltaje de 2.5 VCD en celdas de LFP hasta los 4.2 VCD en celdas LCO

Dos últimos aspectos son la eficiencia energética y la modularidad. La alta eficiencia es reflejada en un bajo consumo de corriente, al realizar mediciones, por el circuito empleado para monitorear; La modularidad consta de emplear algún protocolo de comunicación como SPI, I2C, Serial o CAN para permitir disminuir o aumentar el número de celdas a monitorear con facilidad

Características de seguridad:

- Monitorización de voltaje y temperatura
- Prevención de sobrecarga y sobre descarga
- Prevención de condiciones de estrés

Características de gestión:

- Estimación de estado de carga
- Estimación de estado de salud
- Conteo de ciclos

El resultante de implementar todas las características descritas anteriormente se puede resumir visualmente en el siguiente diagrama eléctrico de la figura.

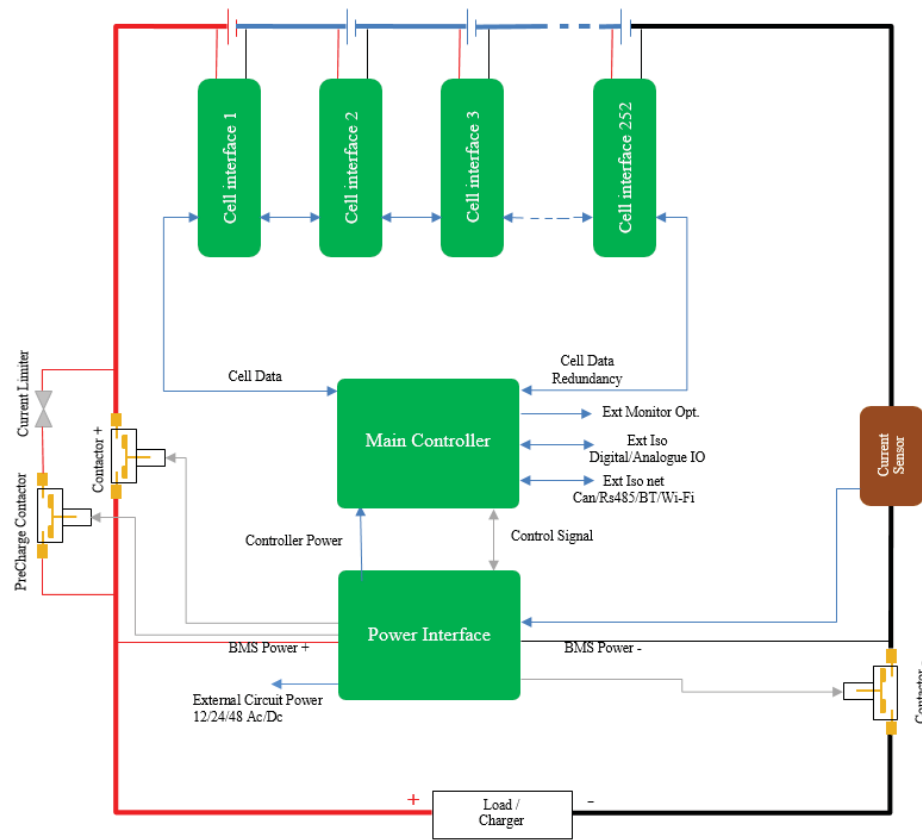


Figura 3-1: Diagrama esquemático electrónico del sistema balanceador incluyendo características de seguridad

3.2 Proyecto de código abierto DIYBMS – Stuart Pittaway

Buscando material bibliográfico para la redacción del marco teórico del proyecto, se encontró un proyecto de código abierto en la plataforma *GitHub* creado por Stuart Pittaway, ingeniero inglés en ciencias computacionales especializado en informática y electrónica, cumple con algunos criterios electrónicos y de seguridad anteriormente descritos.

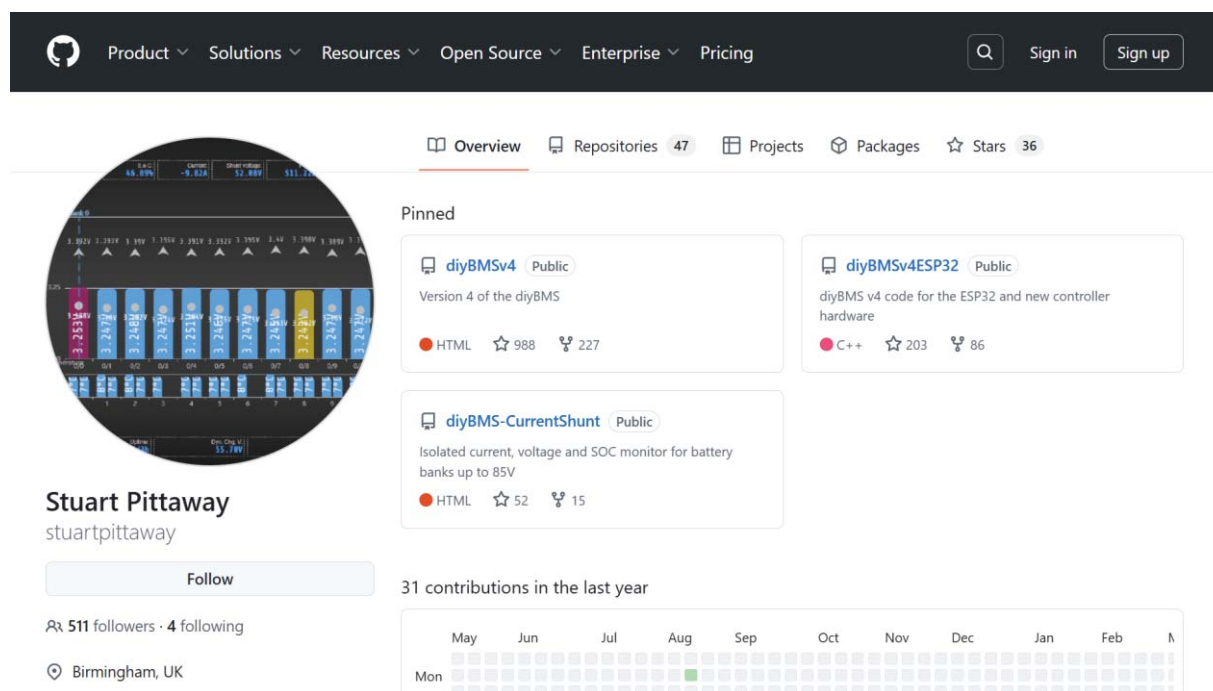


Figura 3-2: Perfil de Stuart Pittaway en la plataforma GitHub

En los últimos 8 años, Stuart ha desarrollado, documentado y distribuido, empleando software de código abierto, un catálogo de tarjetas balanceadoras tanto activas como pasivas, cada una con características especiales según sea la aplicación que se requiera.


stuartpittaway
Delete Module_16S-bom.csv

9afe427 · last week
339 Commits

 .github/workflows	Update pcb-artifacts-ControllerCurrentShuntAddOn.yaml	last week
 ControllerCircuit	Delete ControllerCircuit-bom.csv	last week
 ControllerCurrentShuntAddOn	CI: pcb-artifacts-ControllerCurrentShuntAddOn	last week
 ESP8266ControllerCircuit	U2 wrong orientation (#84)	4 years ago
 ModuleV400	New folder structure (#67)	4 years ago
 ModuleV421	New folder structure (#67)	4 years ago
 ModuleV440	CI: pcb-artifacts-module440	last week
 ModuleV450	CI: pcb-artifacts-module450	last week
 ModuleV490-AllInOne	Delete Module_16S-bom.csv	last week
 ModuleV490-PassiveBal	CI: pcb-artifacts-Module_16S_Passive	last week
 ProgrammingAdapter	Update README.md	4 years ago
 TemperaturePCB	CI: pcb-artifacts-temperaturepcb	last week
 TemperaturePCB_PANEL	Squashed commit of the following:	last week
 .gitignore	16S monitor "All in one" (#171)	2 years ago
 LICENSE	Update readme	6 years ago
 README.md	Update README.md	2 years ago

Figura 3-3: Documentación del proyecto DIYBMS de Stuart Pittaway

La arquitectura del sistema ofertado por Stuart es de tipo modular y requiere de una tarjeta maestra, o controlador principal, y módulos esclavos, en este caso las tarjetas balanceadoras, que administran individualmente cada celda del sistema.

3.2.1 Hardware

Como controlador principal existen dos versiones, una con la tarjeta de desarrollo Espressif ESP32 y otra con un controlador Wemos D1 mini, el cual emplea un chip ESP8266, también desarrollado por Espressif. Ambos permiten armar sistemas de gestión de baterías desde 1 hasta 192 celdas en serie de iones de litio, permitiendo monitorear, con ayuda de módulos, voltaje, temperatura y balancear pasivamente celdas, mediante una interfaz web programada y ejecutada desde el microcontrolador elegido.



Figura 3-4: Tarjeta de desarrollo Wemos D1 mini

Las tarjetas balanceadoras pasivas desarrolladas por Stuart emplean dos microcontroladores AVR de la familia Atmel, estos son el ATtiny841, usado en las primeras versiones (descontinuado por Microchip), y el ATtiny1624 en versiones recientes.

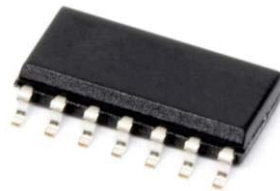


Figura 3-5: Chip con empaquetado SOIC-14 utilizado para fabricar los microcontroladores ATtiny 841 y 1624

Para el proyecto, por cuestiones de presupuesto, se eligió trabajar con las tarjetas que emplean como controlador principal al Wemos D1 mini, en conjunto con las tarjetas balanceadoras en su versión 4.21 con el microcontrolador ATtiny841.

3.2.2 Descripción del diseño electrónico

El esquemático del circuito electrónico de la tarjeta balanceadora, ver anexo (insertar diagrama de circuito balanceador), está dividido en 5 secciones, microcontrolador, resistencias de sangrado, censado de temperatura, puertos y leds indicadores.

El microcontrolador es alimentado directamente desde la batería sin necesidad de reguladores, lo cual ayuda a disminuir el consumo total del circuito.

[illegible]

Adicionalmente encontramos un resistor conectado desde VCC al pin PB3, pin de Reset para evitar el reinicio del microcontrolador y los capacitores C1, C2 son para filtrar pequeñas perturbaciones en el voltaje del circuito.

En la sección de balanceo, observe figura 3–7, encontramos el arreglo resistencias de sangrado ($R_6 - R_{13}$ y $R_{22} - R_{34}$) responsable de la disipación pasiva. Cada resistor es de 6.2 Ohms con una potencia de disipación de 0.25 Watts, y en la configuración mixta mostrada en el circuito generan una resistencia total equivalente de aproximadamente 5 Ohms y 5W de disipación.

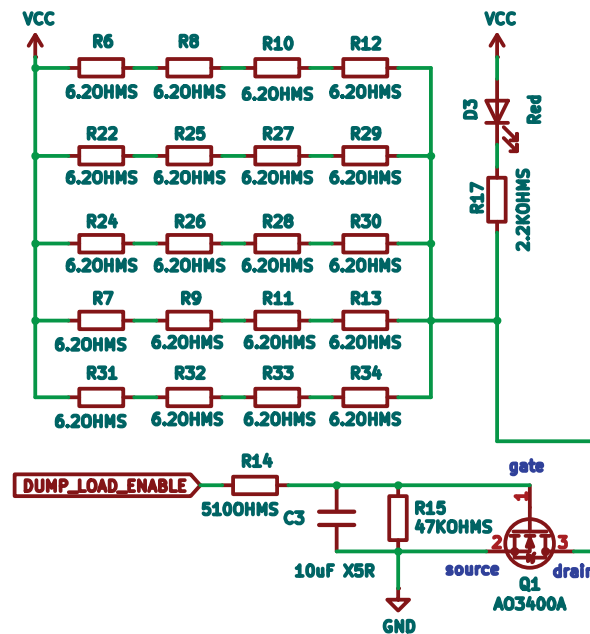


Figura 3-7: Esquemático de modulo balanceador - Sección de balanceo

La resistencia total equivalente en conjunto con los 4.2 volts (voltaje máximo de la celda de litio) proporcionan 0.84 Amperes disipando energía a 3.55 Watts.

Para realizar la conmutación del balanceo se utiliza un transistor tipo MOSFET en donde la base o compuerta es energizada por el PIN PA3 (Etiquetado con “DUMP_LOAD_ENABLE”), el pin de fuente es aterrizado a GND y el pin de drenaje conecta las resistencias de sangrado. Adicionalmente, se añade el LED D3 para indicar visualmente que el sangrado está activo.

La temperatura del módulo balanceador es medida desde un termistor de 47K Ohms tomando como alimentación los 2 voltios proporcionados por el divisor de voltaje del regulador D1, mostrado en la figura 3–6. Para medir la temperatura de las baterías se añade un puerto para poder conectar un termistor, replicando la misma configuración usada para medir la temperatura interna de la tarjeta. Ambas temperaturas son útiles para dotar de aspectos de seguridad al sistema. En la siguiente figura se muestra el esquemático.

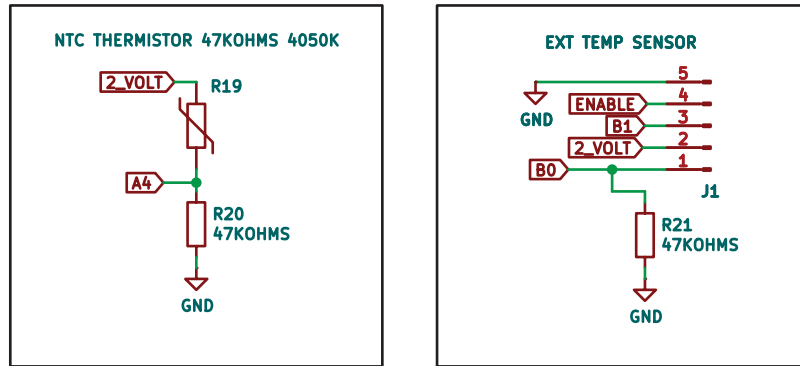


Figura 3-8: Esquemático de modulo balanceador - Sección de censado de temperatura, (circuito para medir temperatura de la tarjeta a la izquierda y puerto para medir la temperatura de la batería a la derecha)

Finalmente, para la conexión modular se cuenta con puertos usando la comunicación serial, transmisor y receptor. En el circuito del receptor se emplea R16 para limitar corriente así como señales parásitas y en el transmisor se observa un optoacoplador que sirve para aislar la señal de posibles interferencias o ruido eléctrico.

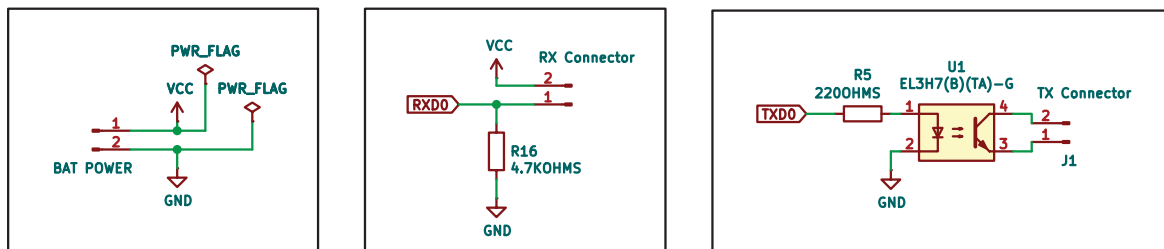


Figura 3-9: Esquemático de modulo balanceador - Puertos de conexión (Alimentación del circuito, o conexión de batería, en la figura izquierda, puerto receptor en el centro y transmisor a la derecha)

Algunos elementos que se incluye en el esquemático original pero no mostrados en las figuras anteriores son elementos como leds indicadores, el puerto de programación ISP que solo consta de pines y no lleva componentes adjuntos, además de algunas anotaciones de características eléctricas de componentes.

3.3 Fabricación de tarjetas BMS

Todo el hardware ofertado por Stuart es de código abierto por lo que se pueden hacer adaptaciones al mismo o usarse tal cual y como está desarrollado. En este caso, no modificaremos ningún parámetro.

Para fabricar las tarjetas electrónicas es necesario de 3 archivos. El primero es el archivo Gerber, el cual es un conjunto de archivos comprimidos en formato ZIP, los cuales tienen dentro de forma numérica en código G todas las capas que contiene una tarjeta de circuito impreso (serigrafía, pistas de cobre, máscara anti-soldante, cortes y perforaciones). En la figura 3-10, se observa una visualización de las capas del módulo balanceador 4.21.

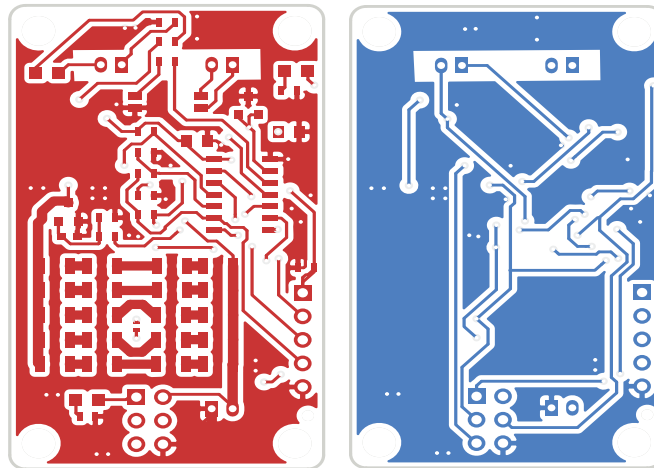


Figura 3-10: Capas de pistas de cobre frontal (roja), capa en la cual se colocan los componentes de montaje superficial, y trasera (azul) del PCB del módulo balanceador.

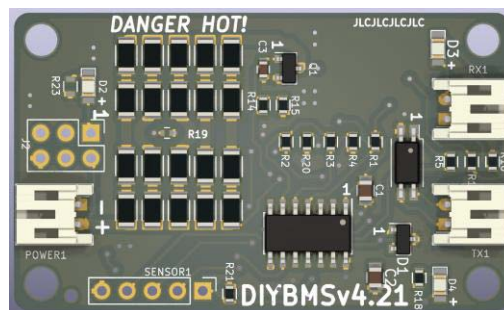


Figura 3-11: Renderizado en 3D del PCB con componentes del módulo balanceador

Los otros dos archivos necesarios son el listado de componentes – BOM (*Bill of Materials*) y el posicionamiento de componentes – CPL (*Component Placement List*), ambos pueden ser en formato de texto, pero para mayor practicidad en la lectura son redactados en Excel por lo que se genera un archivo de tipo CSV. Es importante aclarar que la lista de materiales está redactada en función del catálogo y suministro actual de componentes propio del fabricante de tarjetas electrónicas.

Los tres archivos se encuentran listos dentro del portafolio de Git-Hub, en la subcarpeta llamada “Export” dentro las carpetas “ESP8266ControllerCircuit” y “ModuleV421”, correspondientes al controlador y tarjeta balanceadora seleccionadas. En caso de futuras modificaciones, también se adjunta el archivo E-CAD en el software de diseño electrónico KiCAD para cada tarjeta.

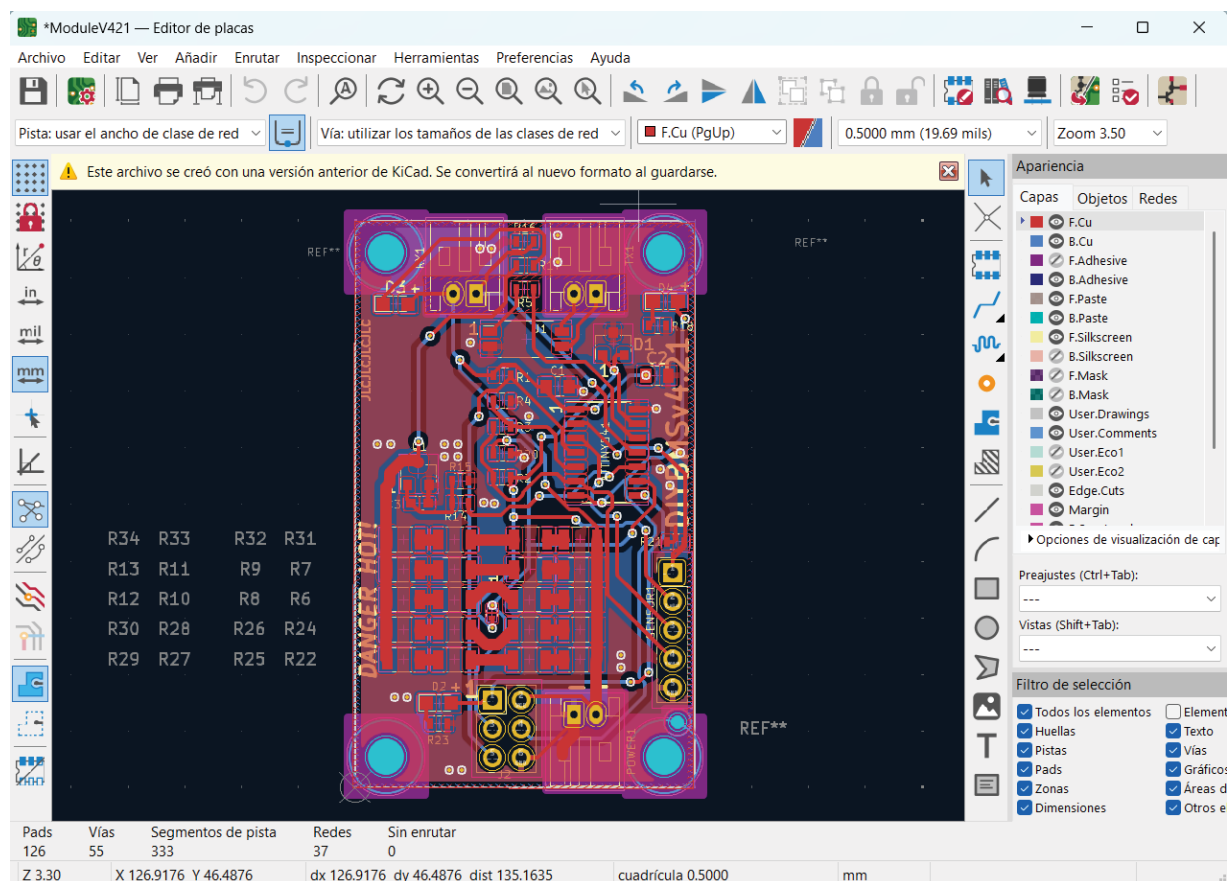


Figura 3-12: Visualización del Módulo Balanceador 4.21 desde el software de diseño de tarjetas electrónicas KiCAD

El fabricante elegido para la manufactura de las tarjetas electrónicas es JLCPCB, el cual constantemente apoya la comunidad “maker” y el desarrollo e innovación de proyectos electrónicos ofreciendo cupones de descuentos para la fabricación de PCB's, ensamblaje de componentes, mascarillas para soldadura SMD e impresión de piezas 3D.

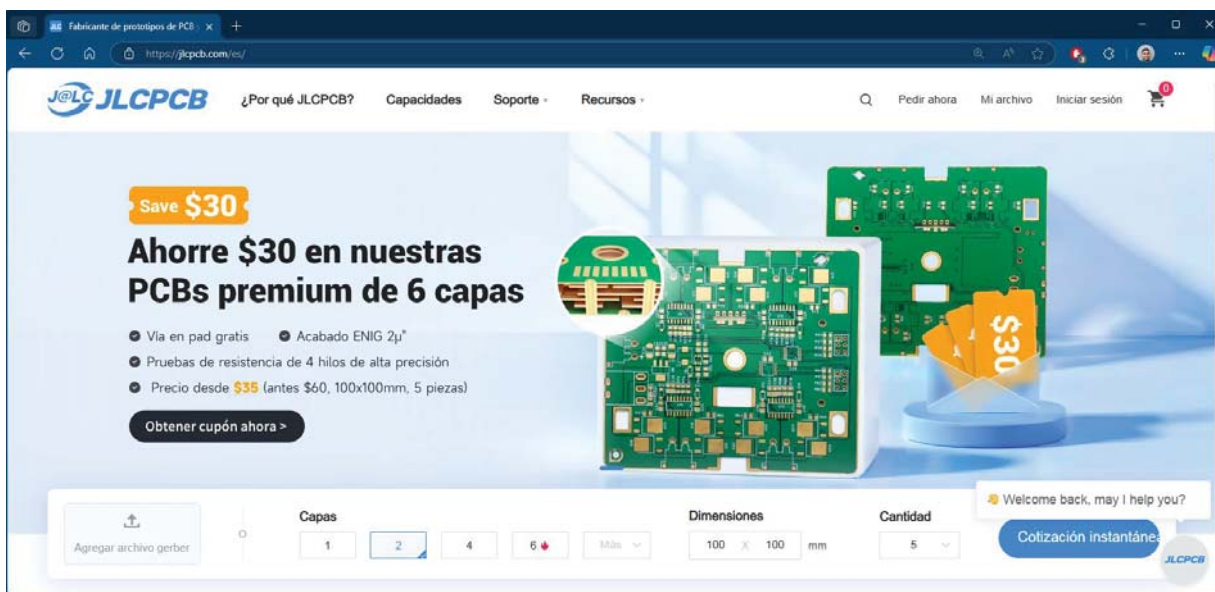


Figura 3-13: Página web del fabricante de tarjetas electrónicas JLCPCB

Al entrar a la página, es necesario subir los archivos de fabricación antes mencionados para obtener un aproximado del costo de manufactura de las tarjetas. Para ejecutar la herramienta de cotización de la página se da clic en la sección de cotización instantánea y se procede a primeramente subir el archivo Gerber en formato .ZIP. A continuación, se muestra una detallada explicación acompañada de figuras de cómo se realizó la orden de fabricación.

JLCPCB Fabricante de prototipos de PCB

URL: <https://cart.jlcpb.com/es/quote?orderType=1&stencilLayer=2&stencilWidth=100&stencilLength=100&stencilCounts=5&spm=jlcpb.Homepage.1010>

PCB estándar/PCBA | **PCB/PCBA avanzados** | **Plantilla SMT** | **Impresión 3D/CNC**

Detalles del cargo

Oferta especial	\$2.00
Via Cobertura	\$0.00
Acabado de la superficie	\$0.00
Desbarbado/redondeado de bordes	\$0.10

Tiempo de construcción

PCB: ☒ 2 días \$0.00
☐ 24 horas \$7.20
☐ 24 horas Solo PCBA \$0.00

Precio calculado **\$2.10**
 Se pueden aplicar cargos adicionales por [casos especiales](#)

GUARDAR EN EL CARRITO

Estimado de envío \$17.50
 DHL Express 3-5 business days

Peso Welcome back, may I help you?

Cupones Ver sus cupones

Especificaciones de PCB

Éxito: Se detectó una placa de capa 2 Tablero de 30 x 75 mm (1.18 x 2.95 pulgadas). [Visor Gerber](#)

Material de base: FR-4, Flexible, Aluminio, Base de cobre, Rogers, PTFE Teflón

Capas: 1, 2, 4, PCB de alta precisión 6, 8, 10, 12, 14, 16, More

Dimensiones: 75 x 30 mm

Cantidad de PCB: 5

tipo de producto: Electrónica industrial/de consumo, Aeroespacial, Médica

Figura 3-14: Cotización rápida del costo de manufactura de 5 tarjetas de circuito impreso de la tarjeta principal controladora sin componentes.

JLCPCB Fabricante de prototipos de PCB

URL: <https://cart.jlcpb.com/es/quote?orderType=1&stencilLayer=2&stencilWidth=100&stencilLength=100&stencilCounts=5&spm=jlcpb.Homepage.1010>

PCB estándar/PCBA | **PCB/PCBA avanzados** | **Plantilla SMT** | **Impresión 3D/CNC**

Detalles del cargo

Oferta especial	\$5.00
Via Cobertura	\$0.00
Acabado de la superficie	\$0.00
Desbarbado/redondeado de bordes	\$0.20

Tiempo de construcción

PCB: ☒ 2 días \$0.00
☐ 24 horas \$7.20
☐ 24 horas Solo PCBA \$0.00

Precio calculado **\$5.20**
 Se pueden aplicar cargos adicionales por [casos especiales](#)

GUARDAR EN EL CARRITO

Estimado de envío \$17.50
 DHL Express 3-5 business days

Peso Welcome back, may I help you?

Cupones Ver sus cupones

Especificaciones de PCB

Éxito: Se detectó una placa de capa 2 Tablero de 30 x 50 mm (1.97 x 1.18 pulgadas). [Visor Gerber](#)

Material de base: FR-4, Flexible, Aluminio, Base de cobre, Rogers, PTFE Teflón

Capas: 1, 2, 4, PCB de alta precisión 6, 8, 10, 12, 14, 16, More

Dimensiones: 30 x 50 mm

Cantidad de PCB: 10

tipo de producto: Electrónica industrial/de consumo, Aeroespacial, Médica

Figura 3-15: Cotización rápida del costo de fabricación de 10 tarjetas de circuito impreso sin componentes de la tarjeta modular balanceadora.

Especificaciones de PCB

Desbarbado/redondeado de bordes

Diseño diferente

formato de entrega

Espesor de la tarjeta de circuito impreso

Color de PCB

Serigrafía

Acabado de la superficie

Figura 3-16: Especificaciones generales del PCB

Opciones de alta especificación

Peso exterior de cobre

Vía Cobertura

Tamaño/diámetro mínimo del orificio

Tolerancia del contorno del tablero

Confirmar archivo de producción

Marcar en PCB

Prueba eléctrica

Dedos de oro

Agujeros almenados

Revestimiento de bordes

Figura 3-17: Opciones específicas de fabricación

La mayoría de los parámetros de fabricación se dejan por defecto como se muestra en las figuras anteriores; no es necesario modificarlos puesto que las tarjetas constan de un diseño sencillo, que solo requieren de dos capas de cobre, situar los componentes en una capa y solo un cambio de color para dar mayor estética al prototipo. Lo demás como el grosor, tipo de polímero, composición de las pistas y tolerancias en la tarjeta son irrelevantes para su funcionamiento.

Ensamblaje del PCB

Coste de ensamblaje desde \$0 con cupón
 ☒

☒ Montar la parte superior
 ☐ Montar la parte inferior

Tipo PCBA

[¿Cual es la diferencia?](#)

Lado de montaje

Agujeros de herramientas

Confirmar la colocación de piezas

Selección de Componentes

Figura 3-18: Opciones de fabricación referentes al montaje de componentes

Opciones avanzadas

Photo Confirmation	No	Board Cleaning	No
Conformal Coating (cleaning included)	No	Bake Components	No
Packaging	Antistatic bubble film	Depanel boards & edge rail before delivery	No
Solder Paste	Sn96.5%, Ag3.0%, C	Flying Probe Test	No
Add paste for unpopulated pad & step stencil opening	No	Nitrogen reflow soldering	No
Others	No		

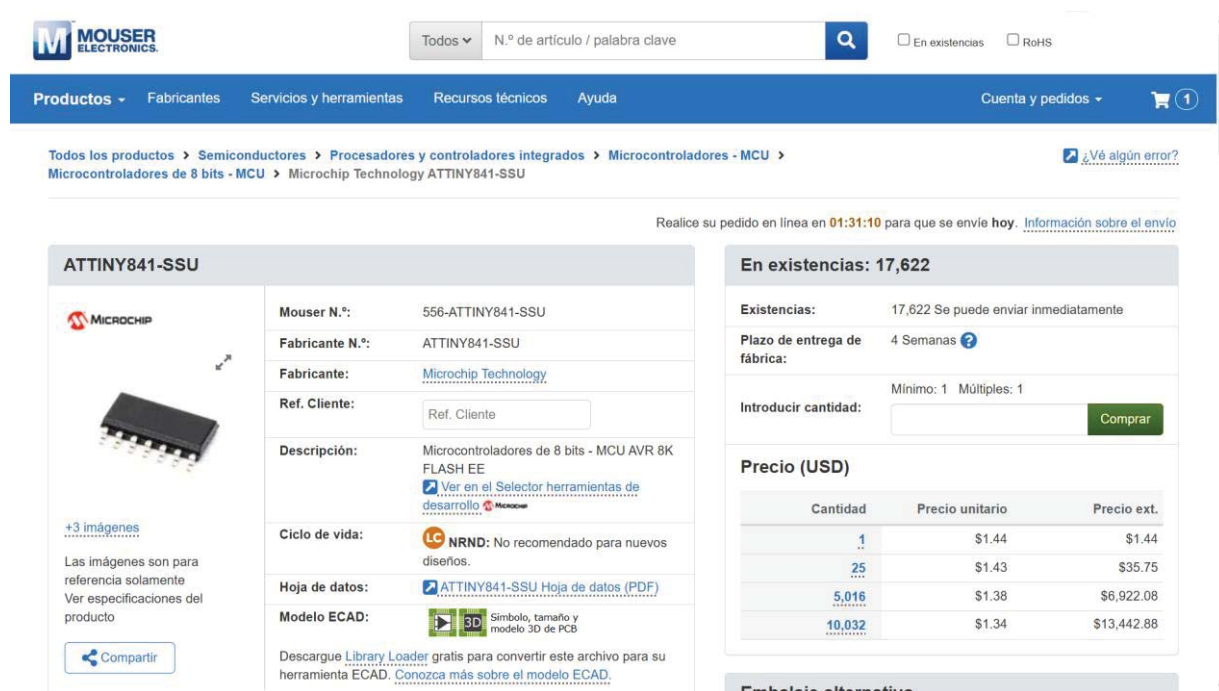
☒ Acepto [Términos y condiciones del servicio de ensamblaje de JLCPCB](#)

Figura 3-19: Opciones avanzadas del montaje de componentes

Una vez configurados los parámetros de la tarjeta se procede a entregar los archivos BOM y CPL, para después confirmar los componentes a instalar, el abastecimiento del fabricante y una visualización de los componentes situados para ajustarlos en caso de ser requerido. Ambas tarjetas, controlador y módulos, emplean en su mayoría de componentes de montaje superficial (SMD), sin embargo, no prescinden de componentes de agujero pasante (THT), por lo que fue necesario adquirir los

componentes TH faltantes en otro sitio debido a que el catálogo de componentes de JLCPCB solo maneja componentes SMD.

Los componentes TH son los pines de conexión, de formato 2.54mm, para programación por ISP del microcontrolador y sensores externos de temperatura y los conectores, de tipo JST PH 2.0mm en dos polos, para conectar la batería y los puentes de conexión serial. Además de los conectores TH, otro componente que fue necesario adquirir es el chip ATTINY841, debido a que JLCPCB no tenía en existencia, por lo tanto, fue necesario surtir el componente desde otro proveedor de componentes electrónicos y para ello se eligió a Mouser Electronics.



ATTINY841-SSU

En existencias: 17,622

Existencias: 17,622 Se puede enviar inmediatamente

Plazo de entrega de fábrica: 4 Semanas

Introducir cantidad: Mínimo: 1 Múltiples: 1

Precio (USD)

Cantidad	Precio unitario	Precio ext.
1	\$1.44	\$1.44
25	\$1.43	\$35.75
5,016	\$1.38	\$6,922.08
10,032	\$1.34	\$13,442.88

Embalaje alternativo

Figura 3-20: Página de compra de Mouser Electronics mostrando disponibilidad del chip ATTINY841

Al tener todos los componentes reunidos, el primer paso fue soldar el chip Attiny841, en el menor tiempo posible desde abierto y retirado de su bolsa antiestática tratando de exponer los componentes el menor tiempo posible a la humedad ambiental, con de soldadura líquida y una pistola de aire caliente mediante la técnica de “reflow”, después soldar con cautín los puertos de conexión.

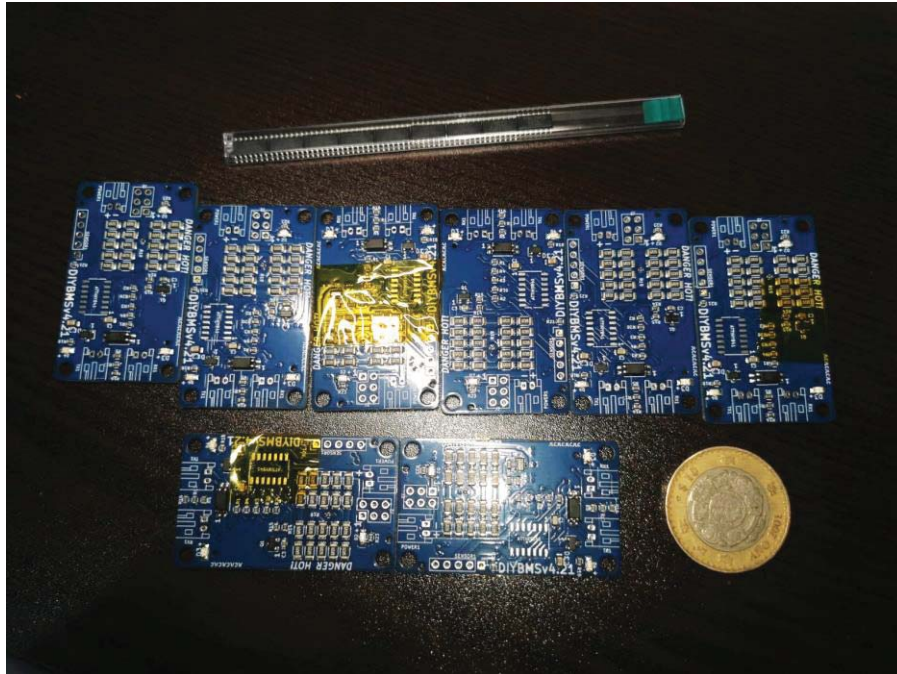


Figura 3-21: Tarjetas balanceadoras prefabricadas recién extraídas de su embalaje, sin microcontrolador ni puertos de conexión, y chips ATTINY841 almacenados en un recipiente de plástico, ambos listos para soldar.

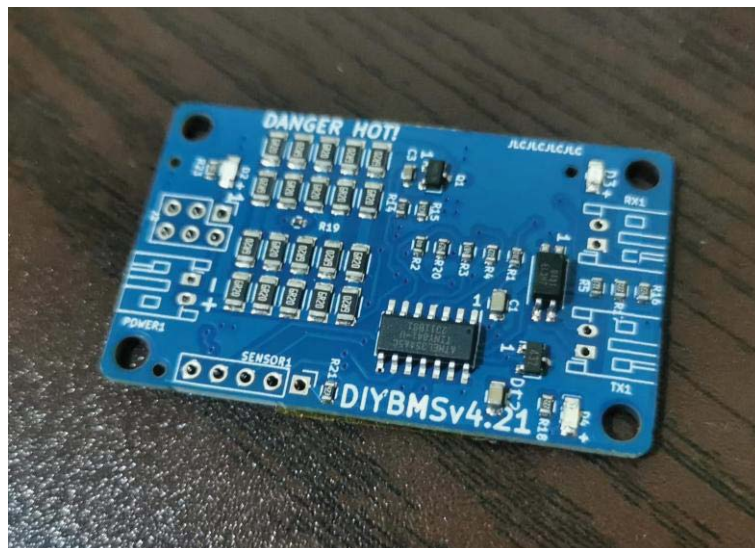


Figura 3-22: Tarjeta balanceadora con microcontrolador soldado y con puertos de conexión faltantes por soldar



Figura 3-23: Tarjeta balanceadora terminada con todos sus componentes soldados

En el render de la tarjeta mostrado en la figura 3-24, se logra apreciar puertos de conexión horizontales que fueron sustituidos por conectores horizontales. Esta configuración de conector fue seleccionada por temas de escases, pero cabe recalcar que no modifican en lo absoluto el funcionamiento del sistema y lo único que podrían provocar es dificultar un poco la instalación mecánica en una configuración tipo rack de tarjetas apiladas.

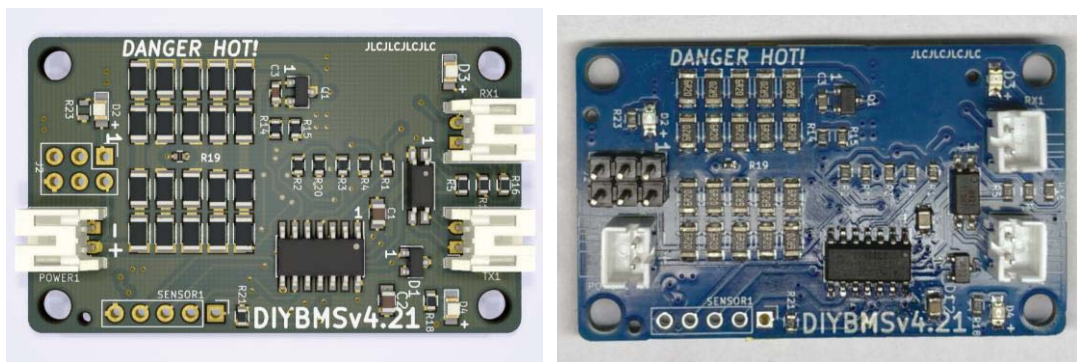


Figura 3-24: Comparación de render (izquierda) y diseño final (derecha)

Para ensamblar la tarjeta controladora solo fue necesario soldar dos tiras de conectores de tipo hembra de 8 pines, para situar la tarjeta Wemos D1 mini, y los puertos de conexión serial, transmisor y receptor, para los módulos balanceadores. En la siguiente figura se observa la tarjeta controladora antes y después de soldar los componentes faltantes.

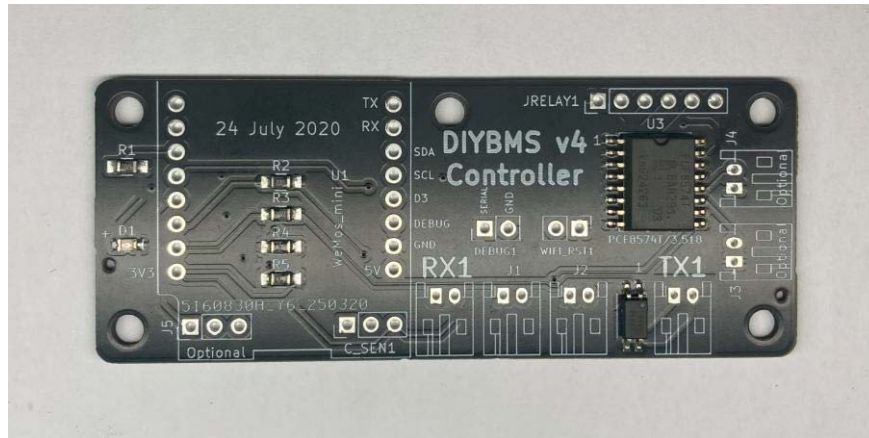


Figura 3-25: Tarjeta controladora sin puertos

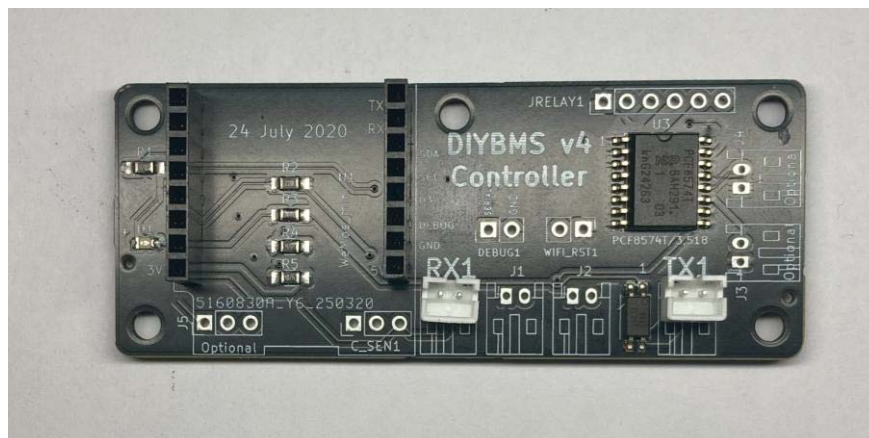


Figura 3-26: Tarjeta controladora con puertos soldados

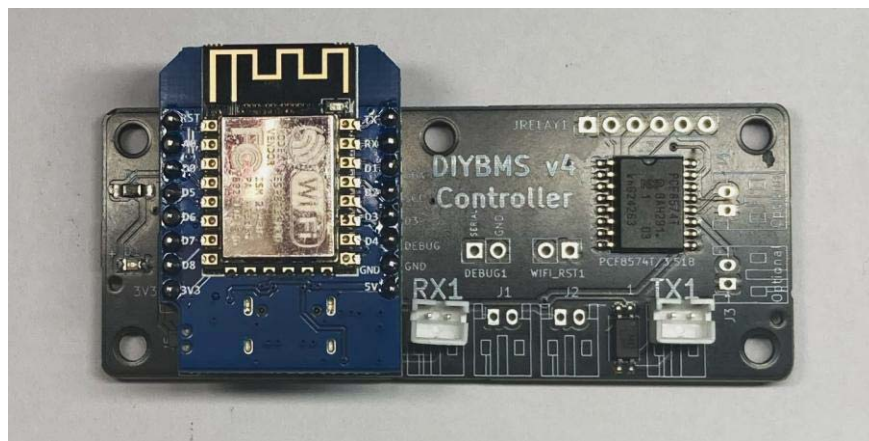


Figura 3-27: Tarjeta controladora terminada con placa Wemos D1 Mini

Después de terminar el ensamble de las tarjetas, es necesario fabricar puentes de conexión con conectores macho JST PH 2.0 mm de dos polos, en ambos extremos. Para esto se emplea una pinza para crimpado de conectores de 2.0 mm (también usada para conectores Dupont), los cabezales macho con sus terminales correspondientes y cable multihilo calibre 20 AWG (o de menor diámetro).



Figura 3-28: Fabricación de puentes con conectores JST



Figura 3-29: Puentes con conectores JST terminados

Para la conexión de las baterías se utilizaron porta baterías que facilitan la instalación permitiendo realizar configuraciones sin necesidad de soldar las baterías a placas de latón como usualmente se hace en instalaciones de gran tamaño; solo es necesario crimpar los conectores en los extremos de los cables del porta pilas, como se muestra en la siguiente figura.

3.4 Programación de tarjetas

La programación de ambas tarjetas es mediante dos programas, AVRDUDES para la tarjeta balanceadora y Esphome para la tarjeta controladora. No es necesario compilar el código antes de subir el firmware, solo se requiere el firmware en formato .BIN para la tarjeta Wemos y .HEX para el microcontrolador ATTINY. Ambos archivos son proporcionados por Stuart su repositorio de GitHub.

Además de la instalación de ambos programas, es necesario de un módulo programador USBASP, el cual es necesario para flashear, mediante los pines ISP (*In-System Programming*), cualquier controlador de la familia AVR.



La conexión para programar mediante ISP se realiza a través de 6 pines, con una disposición de 2 filas como se muestra en la siguiente figura. Dos de los pines son para alimentación (la cual puede ser a 3.3 o 5 volts) y 4 pines de transmisión de datos: MISO, MOSI, SCK y RST.

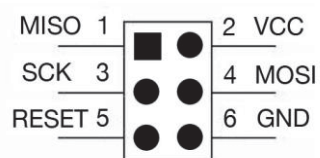


Figura 3-30: Puerto de programación ISP

El microcontrolador de la tarjeta balanceadora tiene un voltaje de operación que va desde los 2 a los 5.5 volts, no obstante, por recomendación de Stuart, es necesario configurar el programador para que el voltaje de alimentación para programar el microcontrolador ATTINY sea de 3.3 voltios. Por lo tanto, es necesario mover de lugar el puente para seleccionar el voltaje adecuado, observe la figura 3 – 31.

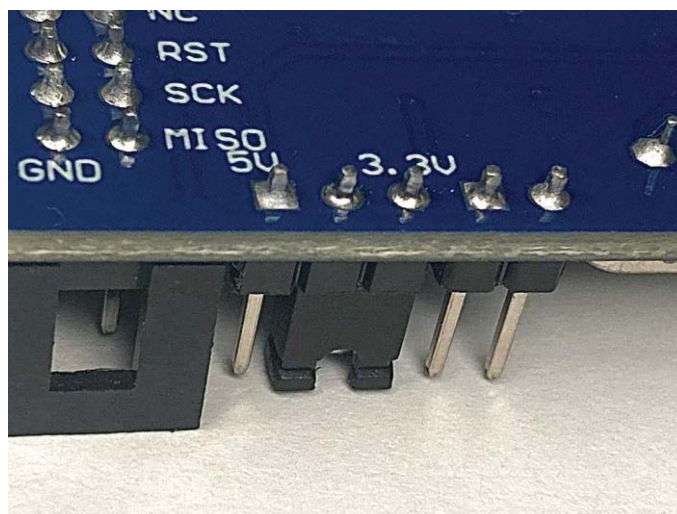


Figura 3-31: Vista trasera del programador USBASP configurado para un voltaje de programación en 3.3V

3.4.1 Programación de módulos balanceadores

Como se menciona anteriormente, es necesario bajar el software “AVRDUDES”, el cual es un programa sin interfaz visual que se manipula desde la consola de Windows (Acción que puede resultar peligrosa si no se conocen los comandos a trabajar), o en su defecto la versión con interfaz visual “AVRDUDESS”.

Al abrir el software nos encontramos con una capa de abstracción con varias secciones que nos permiten configurar gráficamente una línea de código, en donde se incluyen parámetros como el tipo de programador, su puerto de programación, baudios, frecuencia, fuses del microcontrolador a programar.

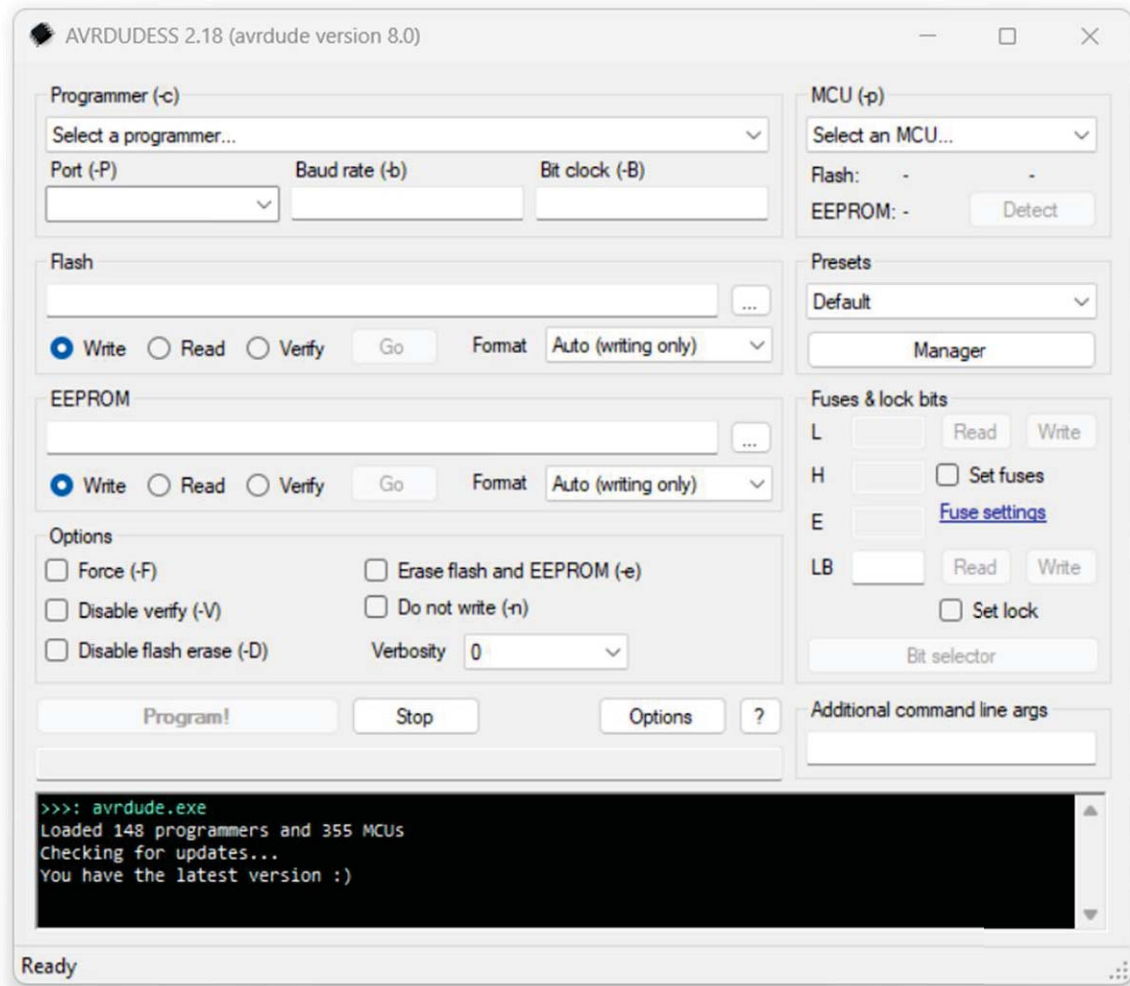


Figura 3-32: Software con interfaz visual AVRDUDESS

Antes de programar es necesario conectar, por lo que se procede a realizar la conexión del programador con la tarjeta, asegurando que los pines de programación del puerto de programación coincidan con los del extensor del microcontrolador. Para lograr esto es necesario asegurarse de que el pin indicado como MISO coincida con el pin marcado como 1 en la tarjeta

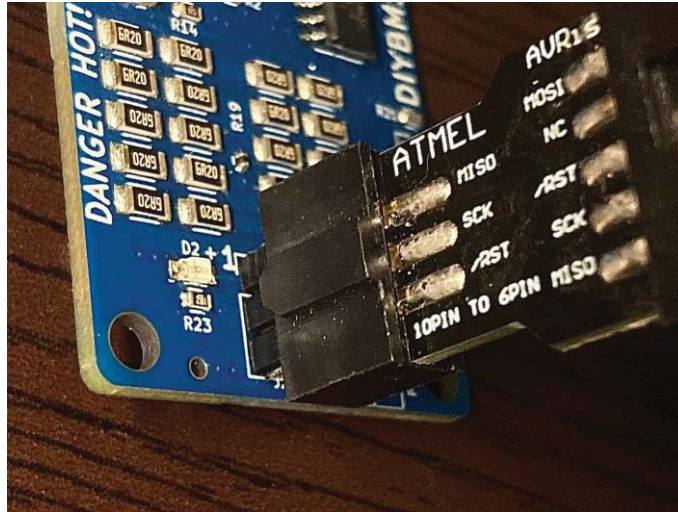


Figura 3-33: Correcta conexión entre el programador y la tarjeta

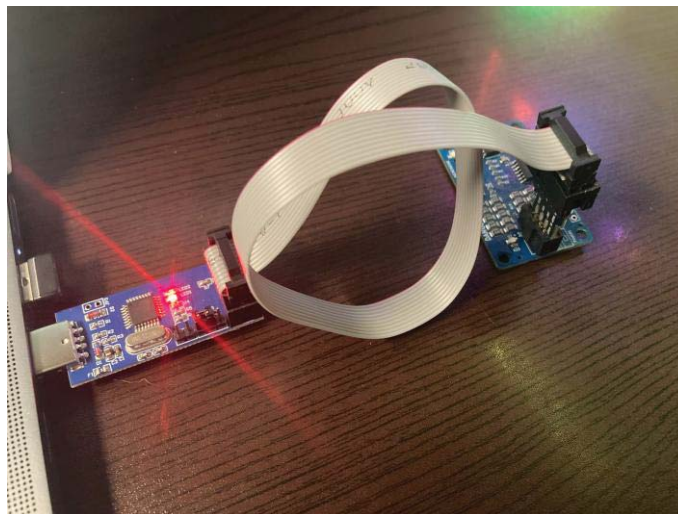


Figura 3-34: Programador y tarjeta balanceadora listos para ser programados

Seguidamente, se procede a hacer la detección del microcontrolador de la tarjeta en el software AVRDUDESS, por lo que se necesita indicar en la sección de “*Programmer (c-)*” el tipo de programador, el su puerto (-P), baudios (-b) y reloj (-B), y en la sección de “*MCU (-p)*” el microcontrolador a ser programado. En la siguiente figura se observan indicados los parámetros a seleccionar.

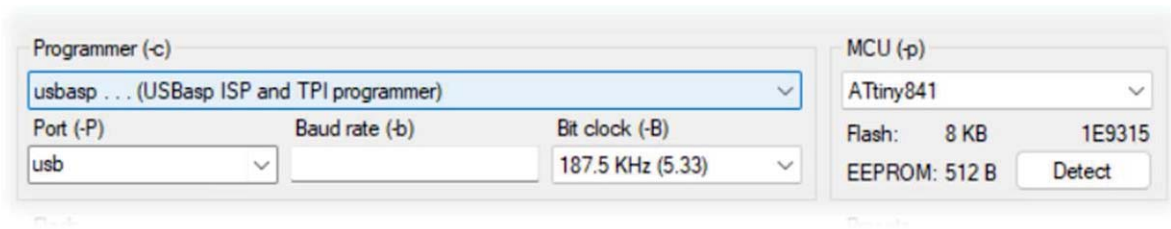


Figura 3-35: Parámetros para la detección del microcontrolador

Al indicar los parámetros, se da clic en la opción “Detect” y debe aparecer en la consola el siguiente texto, indicando que se pudo indicar, mediante la firma del chip, que el controlador detectado en efecto es el chip ATTINY841.

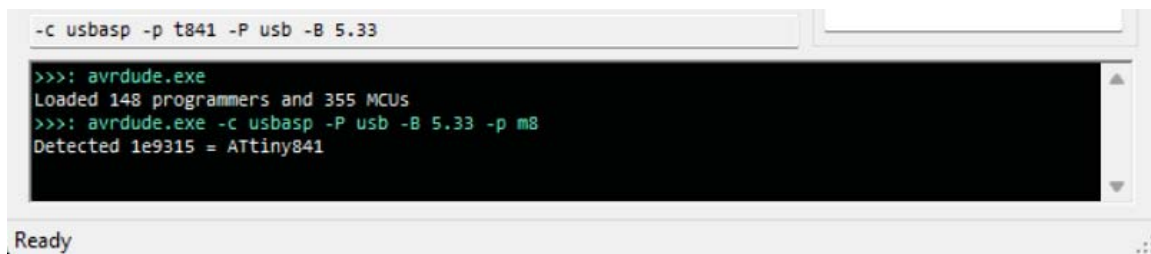


Figura 3-36: Consola indicando la detección del microcontrolador

Después de los pasos anteriores, se puede afirmar que tanto el programador y la tarjeta BMS están funcionando adecuadamente y se puede proceder con el flasheo del chip de la tarjeta balanceadora.

El firmware a instalar se encuentra en el repositorio de GitHub en un archivo de tipo .ZIP llamado “Compiled_Firmware_YYYY-MM-DD”, donde al descomprimir encontramos 9 archivos; 2 archivos correspondientes a la tarjeta controladora y 7 son para diferentes versiones de la tarjeta balanceadora. El archivo necesario para programar la tarjeta balanceadora, elegida en este proyecto, es el archivo llamado “module_fw_V421_attiny841_421_eF4_hD6_l62.hex”.

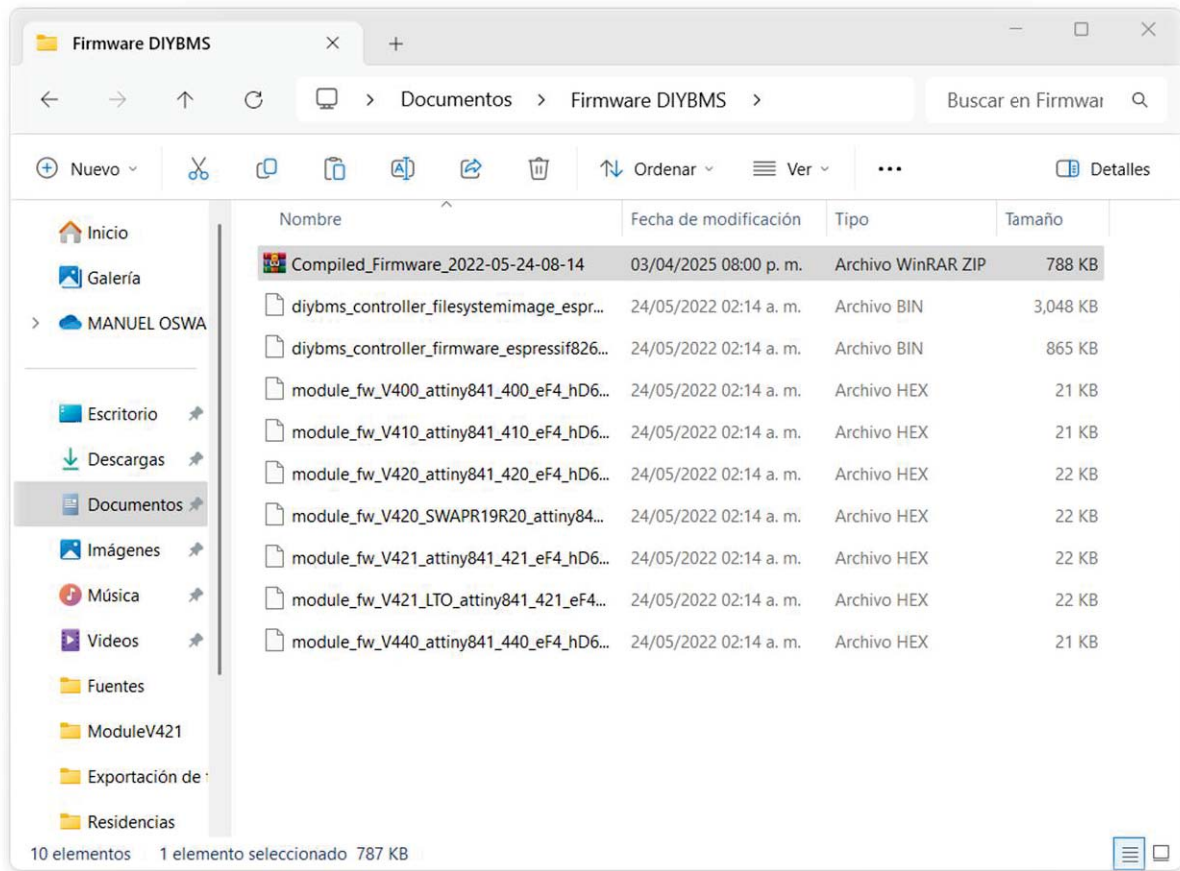


Figura 3-37: Carpeta descomprimida del firmware para las diferentes versiones de la tarjeta balanceadora y su controlador

Después de descargar el firmware, se copia la ruta de la carpeta con el firmware y se indica en la sección de “Flash” del software AVRDUDES añadiendo el nombre del archivo de firmware con la extensión .HEX al final de la ruta, dejando seleccionada la opción de “Write”.

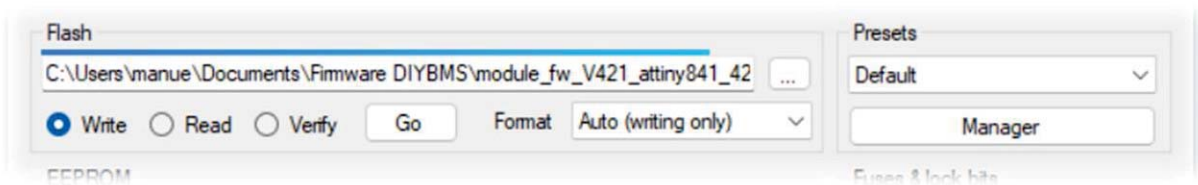


Figura 3-38: Parámetros de la ruta del firmware

Finalmente, se da clic en el botón de “Program” para comenzar al flashear el chip. Debe tomar alrededor de 15 segundos y al final se debe mostrar al final de la consola “Avrdude done. Thank you.” Indicando que el chip ya tiene el código escrito. No es necesario configurar fuses ningún otro parámetro.

```
-c usbasp -p t841 -P usb -B 5.33 -U flash:w:"C:\Users\manue\Documents\Firmware DIY"

>>>: avrdude.exe -c usbasp -p t841 -P usb -B 5.33 -U flash:w:"C:\Users\manue\Documents\Firmware DIY"
Set SCK frequency to 187500 Hz
Set SCK frequency to 187500 Hz
Reading 7682 bytes for flash from input file module_fw_V421_attiny841_421_eF4_hD6_162.hex
Writing 7682 bytes to flash
Writing | ##### | 100% 8.72s
Reading | ##### | 100% 7.21s
7682 bytes of flash verified

Avrdude done. Thank you.
```

Figura 3-39: Consola mostrando información del progreso del flasheo del chip

3.4.2 Programación de Wemos D1 mini

La programación de la tarjeta Wemos D1 mini instalada en la tarjeta controladora, se realiza con el software *Esphome*. Este software sí cuenta con una interfaz visual nativa y por lo que se facilita en mayor grado la carga del firmware. No será necesario un programador, a diferencia de la tarjeta balanceadora, ya que el Wemos D1 ya trae incluido un convertidor serial, así que solo será necesario añadir un cable USB.

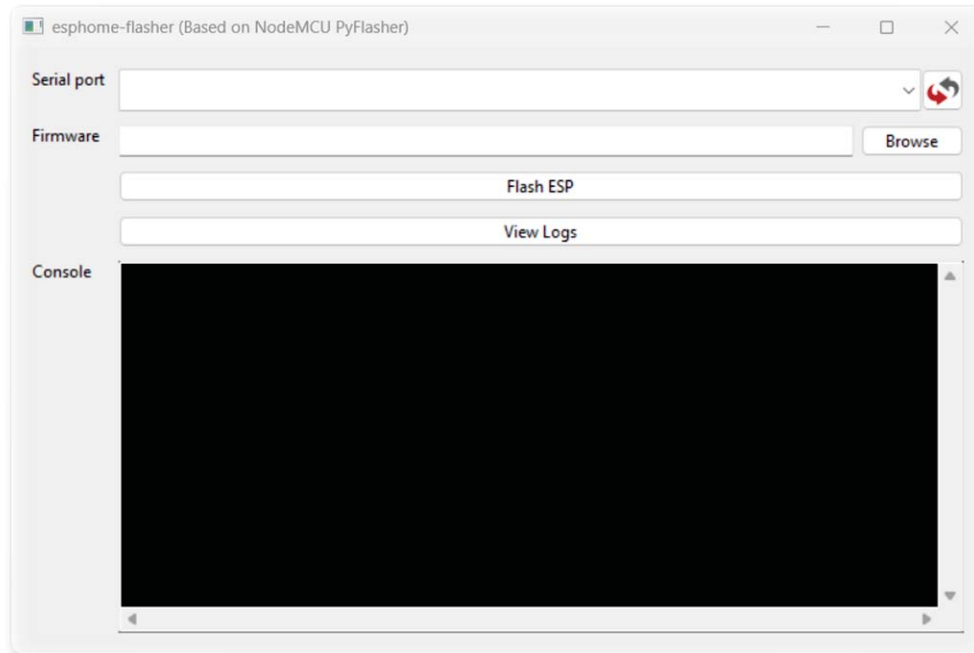


Figura 3-40: Interfaz del software de programación Esphome

A través del administrador de dispositivos de Windows, en el apartado de “Puertos” podemos ver que puerto se encuentra asignado para la comunicación con la tarjeta, usualmente se observa el nombre del controlador “ESP8266”, en caso de ser original, o el nombre del chip encargado de la comunicación serial con la tarjeta, en caso de tener una tarjeta genérica. La tarjeta adquirida es genérica por lo que se muestra como “USB-SERIAL CH340” y el puerto asignado es el COM5.

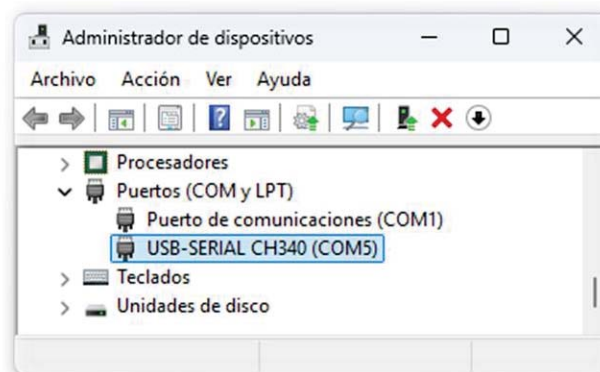


Figura 3-41: Administrador de dispositivos indicando el puerto de a la tarjeta Wemos D1

Una vez conocido el puerto asignado a la tarjeta Wemos, se indica en la opción “Serial port”. Seguidamente especificamos la ruta del firmware indicando, en la carpeta con los archivos mostrada en la figura 3–37, el acceso al archivo "diybms_controller_firmware_espressif8266_esp8266_d1mini.bin".

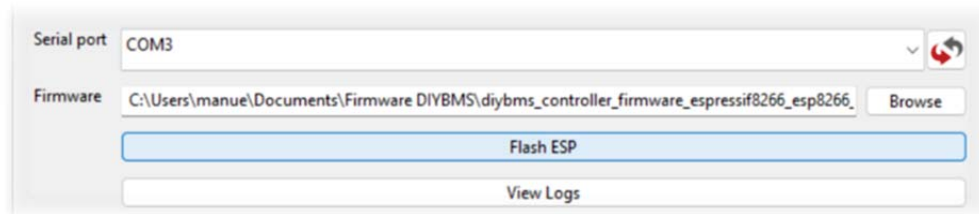


Figura 3-42: Parámetros de programación para flasheo de Wemos D1

Finalmente, en la consola se debe de mostrar el texto “Done! Flashing is complete!” indicando que el firmware se ha cargado exitosamente en la tarjeta.

```
Using 'COM3' as serial port. Writing at 0x000d236e... (100 %) Wrote 885136 bytes (736486 c
Hash of data verified.

Leaving...
Hard Resetting...
Hard resetting via RTS pin...
Done! Flashing is complete!

Showing logs:
[23:38:41]
[23:38:41]
[23:38:41]
[23:38:44] Press SPACE BAR to enter terminal based configuration.....skipped
```

Figura 3-43: Consola de programación del software Esphome

3.5 Interfaz web

Dentro del firmware de la tarjeta controladora se encuentra programada una interfaz web creada para desplegar el estado actual de las celdas. Esta interfaz es una página web que se ejecuta desde el chip ESP8266, el cual tiene incorporado por defecto una antena de WIFI. Para lograr visualizar la página web es necesario de proveer al Wemos D1 Mini de una red de WIFI.

El primer paso para lograr acceder a la página es energizar la tarjeta controladora, desde el puerto USB del Wemos D1, para que se genere una red local y consecuentemente poder otorgarle los datos de la red para su acceso a internet.

En la siguiente imagen, se observa la lista de redes cercanas de un celular, donde la segunda es la red generada por la tarjeta controladora, su nombre es “DIY_BMS_CONTROLLER”, es una red local sin acceso a internet por lo que al conectar el celular a la red se notificará que no hay internet.



Figura 3-44: Lista de redes WIFI cercanas

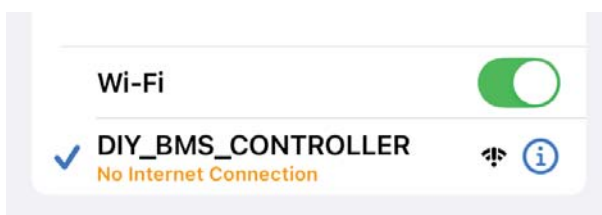


Figura 3-45: Conexión a red sin internet

Después de conectar el dispositivo a la red “DIY_BMS_CONTROLLER”, se abre una ventana del navegador y se introduce la dirección IP 192.168.4.1. Seguidamente, aparecerá una página web en

la cual, y mediante el firmware instalado en la tarjeta controladora, solicita seleccionar una red con acceso a internet y proporcionar su contraseña.

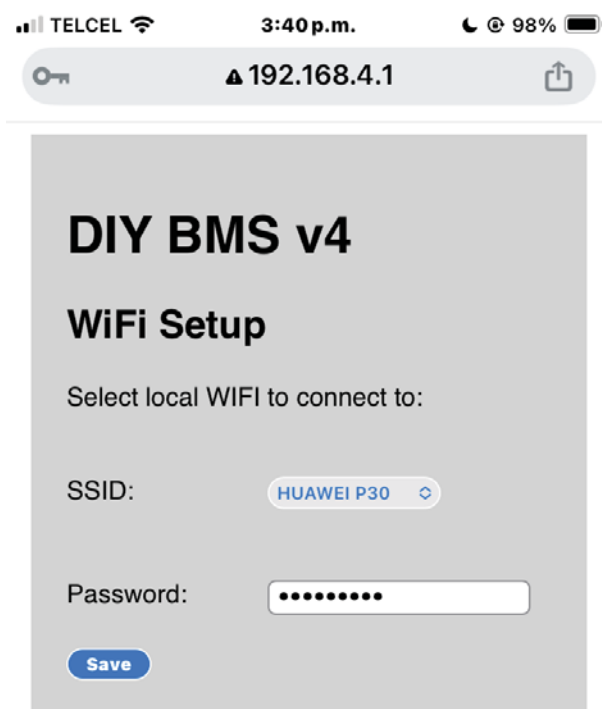


Figura 3-46: Página web generada por el firmware instalado en la tarjeta controladora solicitando acceso a una red con acceso a internet

Momentos después de proveer la red con acceso a internet, es necesario buscar dentro de la red proporcionada la dirección IP asignada a la tarjeta controladora. Este último paso se puede hacer de varias maneras como consultar en los ajustes del Rúter o hacer uso de aplicaciones de terceros para escanear los dispositivos conectados a la red.

Para la explicación redactada en esta sección, se utilizó Hotspot generado por celular, por lo tanto, resultó bastante sencillo consultar los dispositivos conectados al celular y ver la dirección IP asignada a cada uno de ellos desde los ajustes de configuración del Hotspot.

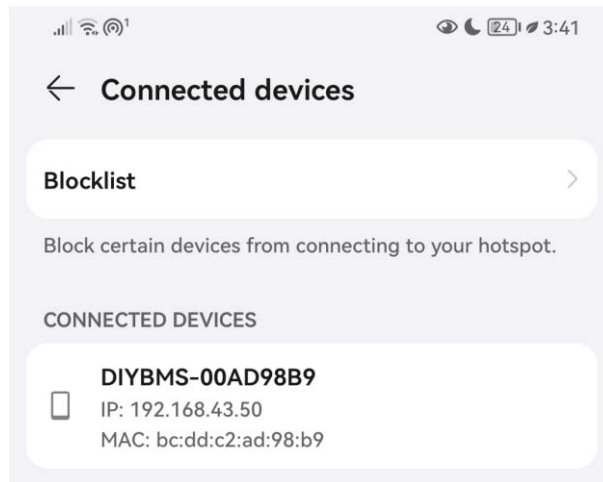


Figura 3-47: Dirección IP asignada a la tarjeta controladora

Finalmente, desde el dispositivo que se quiera acceder a la página web se debe conectar a la misma red a la que está conectada la tarjeta controladora, después teclear la dirección IP del controlador en un navegador y la página se desplegará. En la siguiente figura se muestra interfaz.

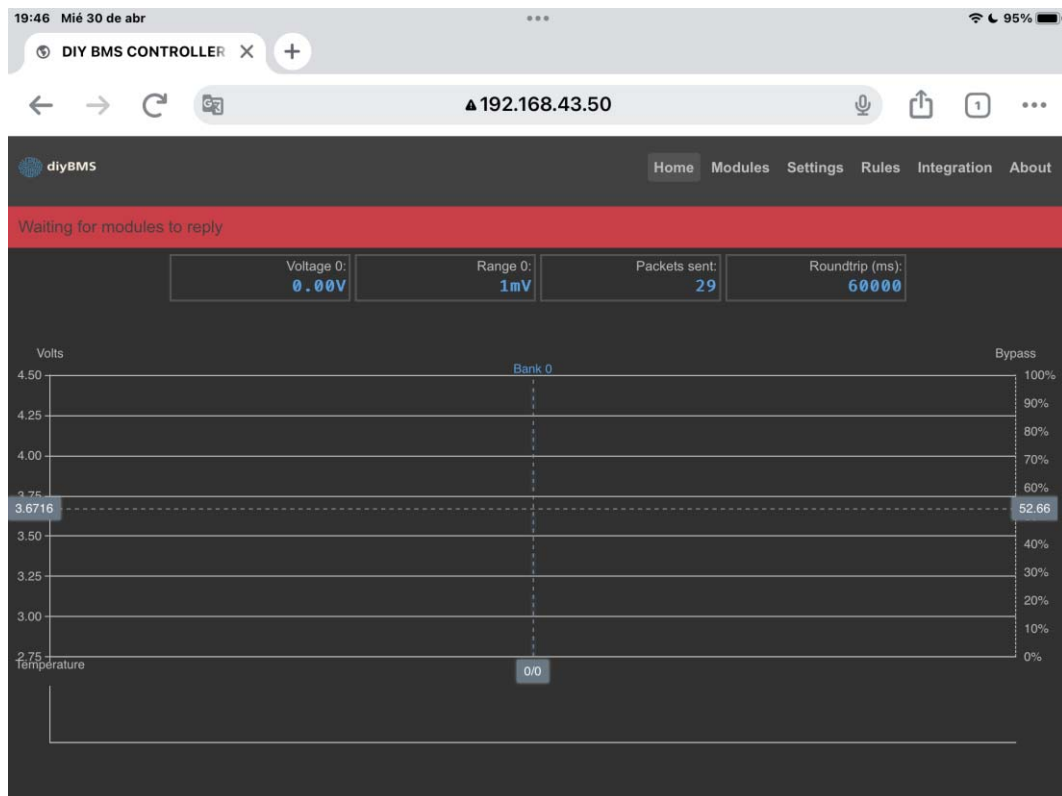


Figura 3-48: Interfaz del servidor web ejecutado desde la tarjeta controladora

Para lograr visualizar datos es necesario conectar al menos un módulo balanceador energizado por una pila, o en su defecto suministrar alimentación de entre 2.5 a 4.1 voltios. Un voltaje mayor activará las resistencias de carga, calentará el módulo y por consiguiente se consumirá mayor energía (lo cual podría dañar la fuente de poder a utilizar).

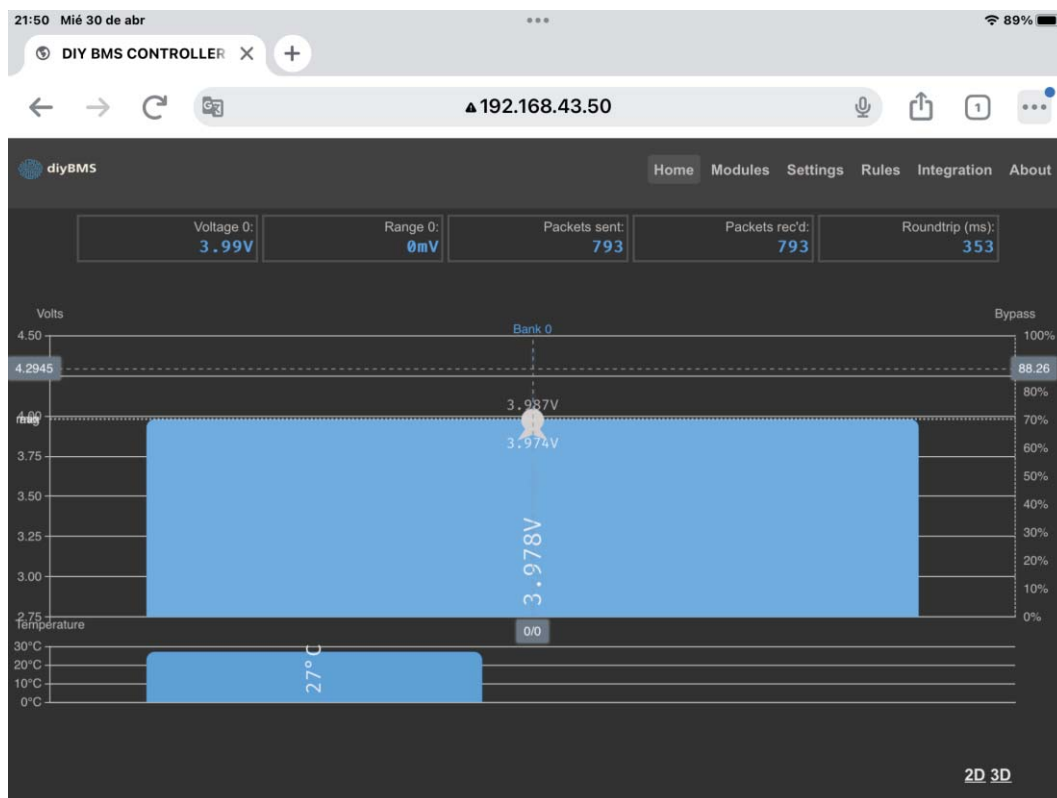


Figura 3-49: Interfaz web mostrando el valor de voltaje y la temperatura de la tarjeta balanceadora alimentada con una pila

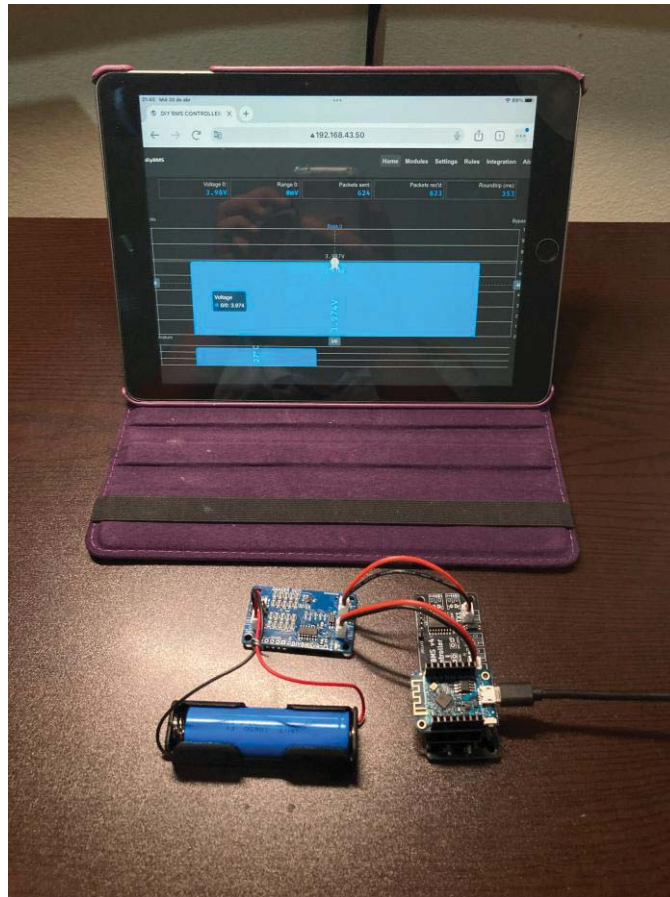


Figura 3-50: Sistema balanceador de una sola celda mostrando valores en su interfaz web visualizada desde un dispositivo móvil.

4 RESULTADOS

En la sección previa de este documento, se describió con detalle todos los pasos desarrollados para construir el sistema pasando desde diseño, hasta la exportación, programación y configuración del sistema. Desde este capítulo en adelante se detallan los resultados obtenidos tangibles (sistema en general, tarjetas electrónicas, software, etc.) como intangibles (metas logradas, comprobación del alcance, aptitudes, etc.)

Al principio del capítulo anterior, se menciona que se toma como base un proyecto de código abierto, las ventajas de trabajar con proyectos libres es que se obtiene un lienzo de la cual partir y facilita una gran parte del trabajo. Finalmente, después de explicar el diseño, fabricar y programar las tarjetas balanceadoras, se obtiene un sistema completo que permite ser manipulado desde wifi a través de una página web.

El uso que se pretenda dar es variado (sistemas de almacenamiento, electrónica de consumo, electromovilidad, energías sustentables) y como tal el sistema replicado tiene una gran configuración, entre distribución del sistema de celdas, ajustes a diferentes voltajes, reglas de seguridad, etc., lo cual provee de practicidad para cualquier aplicación.

En la página de inicio de la interfaz web, observar figura 4-1, tenemos 3 secciones generales, la primera son las ventanas de navegación en la parte derecha superior, donde podemos establecer ajustes específicos del sistema.

La segunda sección podemos encontrar valores actuales relacionados a la medición de valores de las baterías como la comunicación de los módulos con la tarjeta principal. La tercera sección son las dos gráficas que se observan donde la gráfica que ocupa mayor espacio de la pantalla es el valor de voltaje individual de las celdas. En la segunda gráfica encontrada en la parte posterior se grafica la temperatura de las resistencias de sangrado de cada módulo.

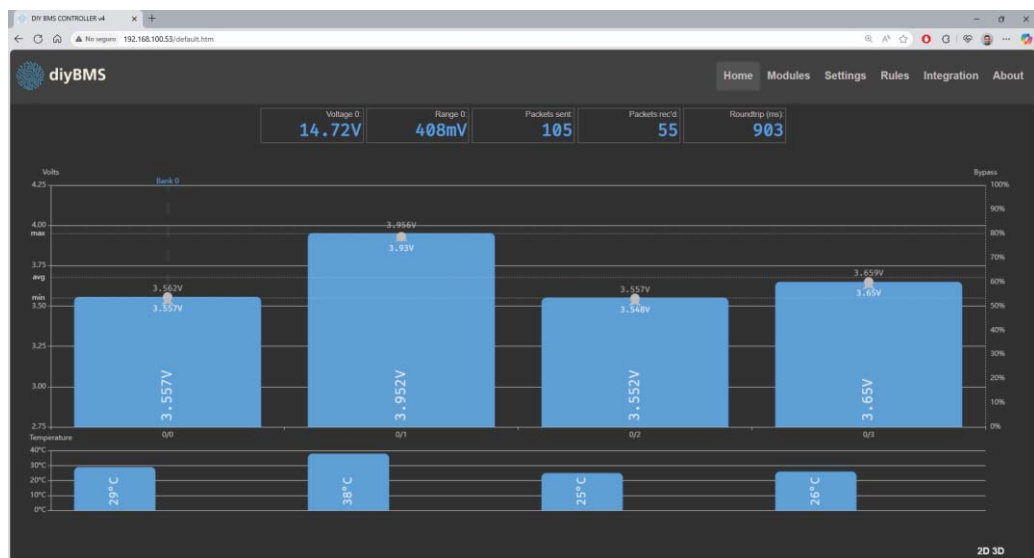


Figura 4-1: Interfaz web de control principal

La página principal puede ser visualizada de dos maneras, mediante gráficos convencionales de barra o mediante barras en tres dimensiones, observe figura 4-2, lo cual resulta útil para visualizar rápidamente anomalías en grandes conjuntos de celdas. La opción de las barras convencionales resulta práctica cuando se posee un pack de pocas celdas (menor a 8) para poder visualizar a detalle las estadísticas de cada una, como lo es el rango de voltaje y la temperatura (la cual no es mostrada en la opción del gráfico 3D).

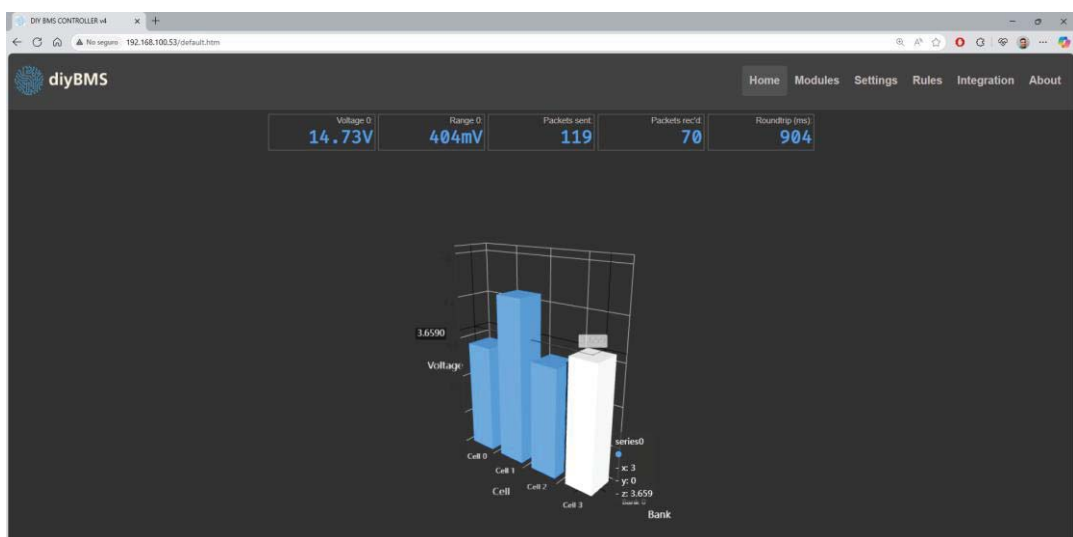


Figura 4-2: Interfaz web con visualización en 3D de voltajes de cada celda

4.1 Sección de Ajuste Individual de Módulos

Navegando entre las secciones de la interfaz web encontramos la primera ventana llamada Módulos (por su traducción en inglés), donde en la figura 4-3 se observan 4 módulos conectados y solo un banco de baterías.

La opción rápida para cada módulo es identificar o ajustar. Identificar nos permite observar de manera visual el destello de un LED en cual sea el módulo que queramos indicar, lo cual resulta útil si se cuentan con varios módulos ensamblados y se requiere hacer orden de la distribución física de cada tarjeta. La segunda opción de configurar permite alterar el voltaje preestablecido de voltaje y temperatura de bypass.

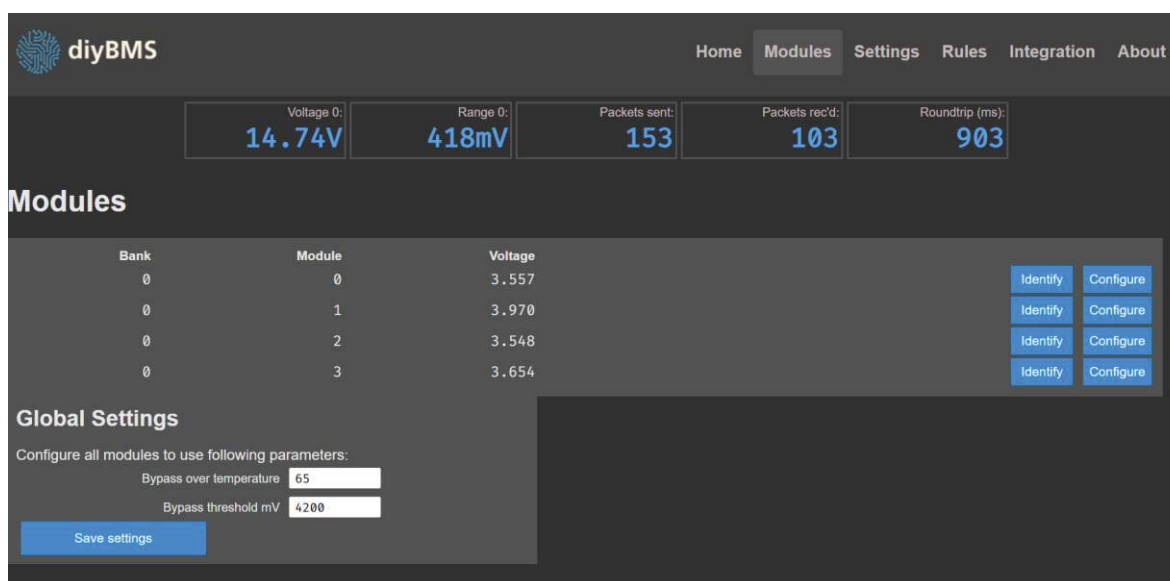


Figura 4-3: Interfaz web: Opciones individuales de módulos (identificación y configuración)

4.2 Sección de Ajustes Generales

En la siguiente pestaña, llamada ajustes (por su traducción en inglés) se muestran una variedad de parámetros. En la sección superior izquierda se encuentra el apartado módulos y bancos, la cual se manipula cada vez que se realiza un cambio en la topología del banco de baterías. Incluso la primera vez que los módulos se conectan a la tarjeta maestra justo después de ser programada es necesario

configurar esta opción debido a que por defecto solo se detecta una batería en serie con un banco en paralelo (1S1P).

En la sección de ajuste de display se acotan las gráficas de voltaje de las celdas. Por defecto se muestran valores correspondientes a celdas de LCO (óxido de cobalto) o litio-polímero, que oscilan entre los 3.0V a los 4.2V.

En la sección que se encuentra en la parte izquierda de la pantalla se muestra el ajuste del protocolo de hora de red. Aquí no se debe mover nada. Solo es para la comunicación interna en caso de integrar alguna base de datos externa.

The screenshot displays the 'Controller Settings' page of the DIYBMS web interface. At the top, a status bar shows: Voltage 0: 14.73V, Range 0: 413mV, Packets sent: 167, Packets rec'd: 118, and Roundtrip (ms): 904. The main content area is divided into several sections:

- Modules & Banks:** Explains that DIYBMS supports up to 100 modules. It provides an example: 'You have 16 cells configured as 8 in series and 2 in parallel (8S2P)'. It includes dropdowns for 'Number of series cells (eg. 8S)' set to 4 and 'Number of parallel banks (eg. 2P)' set to 1, with a 'Save module & bank settings' button.
- Display Settings:** Includes dropdowns for 'Graph voltage scale (high)' set to 4.25 and 'Graph voltage scale (low)' set to 2.75, with a 'Save display settings' button.
- Network Time Protocol:** States 'Time is set via NTP, if your controller is not connected to the Internet. Time based rules will be incorrect. This does not automatically correct for daylight saving.' It shows 'Time now is 2025-07-04T07:20:21.000Z', an 'NTP Server' dropdown set to 'time.google.com', 'Timezone (hour)' and 'Timezone (minute)' both set to 0, and a 'Daylight Saving Enabled' checkbox which is unchecked. There is a 'Save NTP settings' button.
- Reset Counters:** Contains a 'Reset counters' button.
- Restart Controller:** Contains a 'Restart Controller' button.

Figura 4-4: Interfaz web: Opciones relacionadas a la distribución, reseteo y ajuste de protocolo del horario de red del controlador

4.3 Sección de Reglas

A continuación, se muestra en la pestaña de “reglas” (por su traducción al inglés), lo que parece ser una tabla de múltiples filas por cuatro columnas. En cada fila se muestra una regla de seguridad, las cuales resumidamente son parada de emergencia, error interno de la BMS, valores permisible máximos y mínimos de voltaje, y temperatura, individuales o del pack completo y temporizadores.

Es importante mencionar que esta sección solo funciona con un módulo de 4 relés conectados a la tarjeta principal. Es decir que cada regla activará o desactivará un relé todo en función de los parámetros de seguridad deseados. Además las reglas se ejecutan en orden de jerarquía, es decir que las reglas situadas en la parte superior tendrán prioridad por las que están debajo.

Rule	Trigger value	Reset value	Relay state							
Emergency stop			X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Internal BMS error			X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Individual cell over voltage (mV)	4150	4150	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Cell under voltage (mV)	3000	3000	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Module over temperature (internal) °C	60	60	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Module under temperature (internal) °C	50	50	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Cell over temperature (external) °C	55	55	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Cell under temperature (external) °C	5	5	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Pack over voltage (mV)	33600	33600	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Pack under voltage (mV)	24000	24000	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Timer 2	1020	1020	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Timer 1	480	480	X	▼	X	▼	X	▼	X	▼
Relay default			Off	▼	Off	▼	Off	▼	Off	▼
Relay type			Std	▼	Std	▼	Std	▼	Std	▼

Save rules

Figura 4-5: Interfaz web: Opciones de seguridad adicionales a la integración de una tarjeta de relays

4.4 Pestaña de Integración

Finalmente se muestra una pestaña de integración en donde se puede realizar la conexión con una base de datos externa utilizando influxDB o el protocolo de mensajería MQTT como API para integración ininidad de bases de datos.

 diyBMS

[Home](#) [Modules](#) [Settings](#) [Rules](#) [Integration](#) [About](#)

Voltage 0:
14.73V

Range 0:
418mV

Packets sent:
204

Packets rec'd:
154

Roundtrip (ms):
904

Integration

For security, you will need to re-enter the password for the service(s) you want to enable or modify, before you save.
After changes are made, the controller will need to be rebooted, do this manually.

MQTT

Enabled ☐

Topic

Server

Port

Username

Password

Save MQTT settings

Influx Database

Enabled ☒

Host server

Port

Database name

Username

Password

Save Influx DB settings

Figura 4-6: Interfaz Web: Opciones de integración con bases de datos externas

5 CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió el diseño – ajuste e implementación de un sistema modular gestión, balanceo pasivo y monitoreo para celdas de ion-litio, basado en un control electrónico ajustable-programable en tiempo real mediante una interfaz web. A partir de las pruebas experimentales realizadas, se comprueba que el desbalance de celdas es un problema que afecta estabilidad y eficacia del sistema de energía.

Operar un algoritmo de balanceo pasivo puede parecer una solución simple, pero bastante útil cuando se cumple con las características de supervisión necesarias para operar celdas de litio como monitoreo del voltaje entre celdas, para favorecer una distribución de energía uniforme entre procesos de carga y una entrega segura, así como mecanismos de protección en caso de romper un límite de voltaje, corriente o térmico. De igual manera, las bondades de la arquitectura modular permiten una funcionalidad expandible en tiempo, facilitando diferentes topologías de arreglos.

Los resultados obtenidos, permiten validar la hipótesis planteada, dejando en evidencia que la implementación de un BMS contribuye la estabilidad operativa del paquete de baterías. Sin embargo, se reconoce que el método de balanceo pasivo implica pérdidas de energía y que el análisis del sistema fue enteramente en condiciones experimentales de laboratorio.

De manera general, el sistema presentado en esta investigación oferta una alternativa viable para aplicaciones académicas y experimentales, así como una base sólida para investigaciones orientadas a sistemas de balanceo activo, optimización de estados de carga y escalamiento a sistemas de mayor capacidad.

6 COMPETENCIAS DESARROLLADAS

6.1 Competencias Actitudinales adquiridas

Durante el desarrollo de este proyecto adquirí importantes competencias actitudinales que fortalecieron mi carácter profesional. Aprendí a organizar y tomar decisiones de manera más acertada, basada en fundamentos y orientada a la solución de problemas reales, asumiendo con responsabilidad cada una de las etapas del proceso de diseño, implementación y prueba del sistema administrador de baterías.

Siendo sincero necesité enormemente la habilidad del liderazgo debido a que en todo el lapso del proyecto fue necesario coordinar y delegar actividades relacionadas con la integración de componentes electrónicos, construcción de dispositivos, análisis técnico, estudio de celdas, medidas de seguridad, y la documentación final del proyecto.

Inconscientemente todo esto mejoró significativamente mis habilidades de comunicación y colaboración, al interactuar con mi asesor académico, fabricantes y proveedores de componentes, además de compañeros y colegas, lo cual reforzó mi compromiso, ética y respeto en el entorno tecnológico e industrial. Definitivamente llevar este proyecto fue un reto que logró cambiar aspectos de mi vida personal, mi manera de ver las cosas, además de agradecer y valorar el trabajo en equipo, constante, organizado y cronometrado.

6.2 Competencias Procedimentales adquiridas

En cuanto a las competencias procedimentales, sentí que pude mejorar habilidades técnicas que abarcan desde el diseño de circuitos electrónicos hasta la implementación y programación de sistemas embebidos. Me familiaricé en mayor grado con herramientas de diseño asistido por computadora, o mejor dicho software en diseño de hardware, para el trazado de placas de circuito

electrónicas (PCB por sus siglas en inglés), así como entornos de desarrollo como Arduino IDE y, algo superficial, en plataformas gráficas para la creación de interfaces visuales de monitoreo.

Evidentemente pude afinar mi habilidad en la selección, integración y calibración de sensores y componentes electrónicos como resistencias de derivación, divisores de voltaje, reguladores, y microcontroladores, debido a que aunque el diseño estaba propuesto, era necesario familiarizarse con todo el componente del hardware para en caso de ser necesaria una reparación, poder identificar con relativa facilidad la raíz del problema.

Además, mejoré la interpretación de diagramas electrónicos, cosa que en un principio me costaba bastante, pero gracias a documentar y redactar adecuadamente cada sección del circuito pude entender; Otra cosa que es necesario destacar es que terminé incrementando mi destreza en la elaboración de prototipos, así como en la aplicación de técnicas de soldadura y ensamblaje de componentes.

6.3 Competencias Conceptuales adquiridas

Durante este proyecto profundicé en diversos conocimientos teóricos fundamentales para el diseño e implementación de un sistema de gestión energética. Entre los conceptos aprendidos destacan la estructura y funcionamiento de las celdas de ion-litio, la cinética de carga y descarga, los principios de balanceo pasivo, y el análisis de eficiencia energética. También estudié normas de seguridad en sistemas de almacenamiento energético, fundamentos de electrónica de potencia, principios de control automático, y el uso de protocolos de comunicación para sistemas de monitoreo. Complementé mi formación con conocimientos en programación estructurada, uso de lenguajes como C/C++ en microcontroladores, así como fundamentos en interfaces hombre-máquina (HMI). La comprensión teórica de estos conceptos me permitió razonar de manera más lógica y estructurada la toma de decisiones técnicas, evaluar alternativas de diseño y justificar cada etapa del proceso con base en estándares tecnológicos y científicos.

7 FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Buchmann, I. (2015). *Batteries in a portable world: A handbook on rechargeable batteries for non-engineers* (3. ed). Cadex Electronics.
2. Edge, J. S., O'Kane, S., Prosser, R., Kirkaldy, N. D., Patel, A. N., Hales, A., Ghosh, A., Ai, W., Chen, J., Yang, J., Li, S., Pang, M.-C., Bravo Diaz, L., Tomaszewska, A., Marzook, M. W., Radhakrishnan, K. N., Wang, H., Patel, Y., Wu, B., & Offer, G. J. (2021). Lithium ion battery degradation: What you need to know. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 23(14), 8200-8221. <https://doi.org/10.1039/D1CP00359C>
3. Liu, K., Zou, C., Li, K., & Wik, T. (2018). Charging Pattern Optimization for Lithium-Ion Batteries With an Electrothermal-Aging Model. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(12), 5463-5474. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2866493>
4. Liu, Y., Zhu, Y., & Cui, Y. (2019). Challenges and opportunities towards fast-charging battery materials. *Nature Energy*, 4(7), 540-550. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0405-3>
5. MATLAB. (2024). *What Is a Battery Management System (BMS)?* [Sitio Web]. <https://www.mathworks.com/discovery/battery-management-system.html>
6. Prabowo, N. K., & Irwanto, I. (2023). *The Implementation of Arduino Microcontroller Boards in Science: A Bibliometric Analysis from 2008 to 2022*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2312.10840>
7. Reddy, T. B., & Linden, D. (Eds.). (2011). *Linden's handbook of batteries* (4th ed). McGraw-Hill.
8. Schmuck, R., Wagner, R., Hörpel, G., Placke, T., & Winter, M. (2018). Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries. *Nature Energy*, 3(4), 267-278. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0107-2>
9. Yao, J., & Kowal, J. (2025). Towards a smarter battery management system: A critical review on deep learning-based state of charge estimation of lithium-ion batteries. *Energy and AI*, 21, 100585. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2025.100585>