

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO Y
RECUPERACIÓN DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE DE
VEHÍCULOS HÍBRIDOS”**

AUTORES:

OSWALDO STEVEEN ORTEGA ORTEGA
WILSON PAUL PERALTA ARCE

TUTOR:

ING. JUAN DIEGO VALLADOLID QUITOISACA, M.SC

CUENCA - ECUADOR

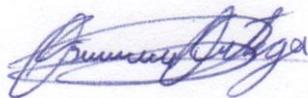
2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Oswaldo Steven Ortega Ortega con documento de identificación N.º 0105591028 y Wilson Paul Peralta Arce con documento de identificación N.º 0106658545, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO Y RECUPERACIÓN DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

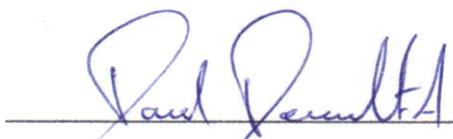
En aplicación a lo determinado en la ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020



Oswaldo Steven Ortega Ortega

C.I. 0105591028



Wilson Paul Peralta Arce

C.I. 0106658545

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO Y RECUPERACIÓN DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS”**, realizado por Oswaldo Steveen Ortega Ortega y Wilson Paul Peralta Arce, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020



Ing. Juan Diego Valladolid Quitoisaca, MSc

C.I. 0104821210

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Oswaldo Steven Ortega Ortega con documento de identificación N° 0105591028 y Wilson Paul Peralta Arce con documento de identificación N° 0106658545, autores del trabajo de titulación: “**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO Y RECUPERACIÓN DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS**”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, junio del 2020



Oswaldo Steven Ortega Ortega

C.I. 0105591028



Wilson Paul Peralta Arce

C.I. 0106658545

AGRADECIMIENTO

Agradecer también es sentir gratitud y esto es lo que siento con cada una de las personas a las que tengo un gran cariño y amor.

Agradezco principalmente a Dios y a María Auxiliadora quien encamino todo este proceso académico hasta poder llegar hasta esta meta, beneficiándome de salud y conocimientos en estos cinco años.

De la misma manera agradecer a mis padres quienes estuvieron apoyándome día a día en esta etapa, una de las más importante en mi vida, estando conmigo incondicionalmente, así como también por todo ese sustento psicológico y económico que nunca me faltaron.

¡A mis hermanas y mi querido hermano que a pesar de una corta distancia que nos separa siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas, Juan Pablo eres grande!! Gracias por todo ese apoyo incondicional que me brindas.

¡Qué sería de la vida universitaria sin los amigos incondicionales!, quienes son un aporte esencial para poder cursar esta gran etapa, pues mis dos grandes amigos y ahora colegas Oswaldo y Felipe a quienes agradezco por la amistad sincera y duradera, por todas esas amanecidas estudiando, haciendo investigaciones, trabajos y deberes; al final dieron sus frutos, cosechando una amistad verdadera, conocimientos infinitos y un título universitario.

Y pues, así como hay excelentes amigos, existen excelentes docentes agradezco al Ingeniero Diego Valladolid, quien con su disposición, tiempo y dedicación compartiendo sus conocimientos y apoyo en cada momento en el desarrollo de este proyecto pudimos concluir nuestra tesis.

Paul Peralta Arce

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación que ha sido de gran esfuerzo la quiero dedicar a personas esenciales en mi vida.

Es por eso que dedico esta tesis a mis padres quienes estuvieron y me apoyaron todos los días a pesar de las circunstancias que se han presentado, mi hermano con el que cuento de un apoyo inconmensurable, a mis hermanas, y a mis tíos a quienes estimo mucho.

Realmente no podría haber llegado hasta aquí sin mi compañero y amigo de tesis esto es de los dos, gracias al esfuerzo y dedicación dentro y fuera de las aulas, noches de desvelo intentando sacar adelante este gran proyecto agradezco toda esa dedicación amigo Oswaldo.

Es por ello que les dedico a todos ellos este proyecto de titulación con todo mi esfuerzo, dedicación y cariño.

Paul Peralta Arce

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme el conocimiento y la protección durante todo el camino universitario.

A mis padres por el apoyo incondicional ante todas las adversidades que se presentaron, por la constancia y el sacrificio para que pueda culminar mi carrera.

A mi hermano quien siempre ha estado a mi lado con su apoyo incondicional e inspiración para la realización de todos mis proyectos.

Al Ing. Diego Valladolid por brindarme la posibilidad de realizar este proyecto, la confianza y la guía necesaria para realizarlo.

A la UPS y la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz por los conocimientos transmitidos por los diversos docentes en las diferentes cátedras.

Oswaldo Ortega Ortega

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi familia por el apoyo incondicional, especialmente a mis padres Oswaldo y María por el sacrificio realizado y la paciencia que me han tenido durante las etapas difíciles.

A mis hermanos quienes siempre se han preocupado y me han ayudado con los diversos proyectos no solo académicos sino de vida.

A mis abuelitos quienes me apoyaron, especialmente a mi abuelito Manuel a quien por medio de este proyecto le cumpla la promesa que le realice.

Oswaldo Ortega Ortega

CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR.....	I
CERTIFICACIÓN	II
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN.	1
1. CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS: VEHÍCULOS HÍBRIDOS, BATERÍAS Y EQUIPOS.....	2
1.1 Vehículos híbridos	2
1.2 Baterías Ni-MH.....	2
1.3 SOC (State of Charge) – Estado de carga	2
1.4 DOD (Deep of discharge)	3
1.5 Auto descarga	3
1.6 Efecto memoria	3
1.7 Fundamentos básicos de una batería	3
1.8 Ciclo de carga	4
1.9 Ciclo de descarga	4
1.10 Conexiones de la batería	4
1.10.1 Conexión en paralelo	4
1.10.2 Conexión en serie	4
1.10.3 Conexión mixta	4
1.11 Equipos de carga y reacondicionamiento.....	5
1.12 Objetivos de la Investigación.	5
1.12.1 Objetivo General	5
1.12.2 Objetivos Específicos.....	5
1.13 Información de carga de baterías de NI-CD / NI-MH.....	6
1.13.1 Carga lenta.....	6
1.13.2 Tasas de Corriente para ciclos de carga lenta de celdas de NI-CD / NI-MH	7
1.13.3 Carga rápida.....	7
1.14 Carga rápida: posible daño a las células	8
1.15 Detección de fin de carga para celdas de Ni-Cd / Ni-MH	9
1.16 Información de carga de Li-Ion	10
1.16.1 Carga de voltaje constante.....	10

2	CAPÍTULO II: PROCESO DE REGENERACION DE BATERÍAS	11
2.1	Características de la batería	12
2.2	Trabajo ideal de carga de la batería	13
2.3	Precarga de restauración de la celda al voltaje nominal	13
2.4	Carga con un estado de carga SOC (State of Charge) de 30%	14
2.5	Control de la capacidad de carga	14
2.6	Carga y	14
2.7	Curvas de trabajo ideal de descarga	14
2.7.1	Curvas de trabajo en la carga antes y después del reacondicionamiento	15
2.7.2	Curvas de trabajo en la descarga antes y después del reacondicionamiento	16
2.7.3	Análisis comparativo de carga y descarga de las gráficas de trabajo de la batería reacondicionada vs gráficas de trabajo ideal	16
2.8	Instrucciones básicas para cargar la batería de Níquel - Metal hidruro	18
2.8.1	Fases de carga	18
2.8.1.1	Fases de llenado	19
2.8.1.2	Fase de balanceo	19
2.9	Datos técnicos voltajes pico típicos	19
2.10	Características técnicas de finalización de descarga de la batería	20
2.11.1	Ciclo carga/balanceo de la batería	21
2.11.2	Ciclo descarga profunda	21
3	CAPITULO III: DISEÑO Y DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE	21
3.1	Diagrama de flujo del proceso de reacondicionamiento de baterías.	21
3.2	Desarrollo del sistema de gestión de baterías (BMS)	22
3.3	Monitorización de parámetros de funcionamiento:	23
3.4	Monitorización de tensión.	23
3.5	Monitorización de corriente	25
3.6	Sistema de carga	25
3.7	Control de Descarga	26
3.8	Control de balanceo	27
3.9	Arquitectura De Interconexión	28
3.9.1	Protocolo de comunicación SPI	29
3.9.2	Software de Interfaz de usuario, monitoreo y control:	31
3.9.3	Software de control de placa Maestro Arduino	32
3.9.4	Hardware Maestro Basado en Arduino	35
3.9.5	Hardware Esclavo Subsistema de Carga y Alimentación.	35
4	CAPITULO IV: PROCESOS DE FABRICACIÓN Y RESULTADOS FINALES	36
4.1	Diseño y fabricación de PCB's	36
4.2	Diseño y fabricación de carcasas	40
4.3	Diseño de interfaz de usuario y visualización de datos	42
4.4	Pruebas de funcionamiento de PCB's	43

4.4.1	Pruebas del sistema de carga	43
4.4.2	Pruebas de funcionamiento de circuitos de descarga y balanceo.....	44
4.5	Análisis de parámetros de funcionamiento del sistema.	45
4.5.1	Simulación del proceso de carga de baterías.	46
4.5.2	Simulación del proceso de descarga de baterías.	47
5	CONCLUSIONES	49
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
7	ANEXOS	51
7.1	Layout PCB.....	51
7.1.1	Placa 1.....	52
7.1.2	Placa 2.....	53
7.1.3	Placa 3.....	54
7.1.4	Placa 4.....	55
7.1.5	Placa 5.....	56
7.1.6	Placa 6.....	57
7.1.7	Placa 7.....	58
7.2	Programación.....	59

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1	V/T diagrama estado de carga.....	9
Ilustración 2	perfil de carga típico para una celda de Li-Ion.....	10
Ilustración 3	Gráfica de trabajo ideal de carga Ni-MH de 1.2 voltios. Fuente: (PANASONIC, Ni-MH RECHARGEABLE PRISMATIC BATTERY, 2010).....	13
Ilustración 4	Gráfica de trabajo ideal de descarga Ni-MH de 1.2v. Fuente: (PANASONIC, Ni-MH RECHARGEABLE PRISMATIC BATTERY, 2010)	15
Ilustración 5	Comparación entre curvas características de carga antes y después del reacondicionamiento. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).	15
Ilustración 6	Comparación entre curvas características de descarga antes y después del reacondicionamiento. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).	16
Ilustración 7	Curva características de carga. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).....	17
Ilustración 8	Curva características de descarga. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).....	17
Ilustración 9	Diagrama de flujo funcionamiento del sistema de reacondicionamiento. Fuente: Autores.....	22
Ilustración 10	Arquitectura de comunicación BMS Fuente:	22

Ilustración 11 Esquema de Circuito de monitorización de voltaje Fuente: Autores	24
Ilustración 12 Diagrama interno MCP3304 Fuente: Autores	24
Ilustración 13 Diagrama interno ACS 712 Fuente: Autores	25
Ilustración 14 Diagrama interno fuente MW RS-25-48 Fuente: Autores	26
Ilustración 15 Esquema de circuito de descarga Fuente: Autores	26
Ilustración 16 Esquema de circuito Balanceo Fuente: Autores	27
Ilustración 17 Arquitectura de Interconexión Fuente: Autores	29
Ilustración 18 Estructura de comunicación SPI Fuente: Autores	30
Ilustración 19 Estructura de comunicación SPI de esclavos múltiples.....	31
Ilustración 20 Diagrama de flujo del Software de monitoreo. Fuente: Autores	32
Ilustración 21 Diagrama de flujo programación Arduino. Fuente: Autores.....	33
Ilustración 22 Arduino Mega 2560. Fuente: Autores	35
Ilustración 23 Banco de fuentes MW RS-25-48 . Fuente: Autores.....	36
Ilustración 24 Esquema PCB de Circuito de control de fuentes. Fuente: Autores.....	36
Ilustración 25 Esquema de PCB monitoreo de tensiones. Fuente Autores	37
Ilustración 26 PCB impreso sobre hoja termotransferible. Fuente: Autores	38
Ilustración 27 Placa virgen con revelado del Barniz. Fuente: Autores.....	38
Ilustración 28 Proceso de revelado o quemado de la PCB. Fuente: Autores	39
Ilustración 29 Resultado final PCB Fuente: Autores	40
Ilustración 30 Proceso de diseño en SolidWorks. Fuente: Autores	40
Ilustración 31 Diseño final de la carcasa del sistema. Fuente: Autores	41
Ilustración 32 Proceso de corte láser.	41
Ilustración 33 Pantalla de Inicio. Fuente: Autores	42
Ilustración 34 Ventanas de selección de operaciones de los ciclos de trabajo. Fuente: Autores .	43
Ilustración 35 Interfaz de visualización y monitoreo de parámetros. Fuente: Autores	43
Ilustración 36 Pruebas de funcionamiento del sistema de carga. Fuente: Autores	44
Ilustración 37 Pruebas de funcionamiento placas de descarga y balanceo. Fuente: Autores	45
Ilustración 38 Simulación circuito de Carga. Fuente: Autores	46
Ilustración 39 Comportamiento de la batería durante la Carga. Fuente: Autores.....	47
Ilustración 40 Simulación circuito de Descarga. Fuente: Autores	48
Ilustración 41 Comportamiento de la batería durante la descarga. Fuente: Autores	48
Ilustración 42 PCB placa conexión. Fuente: Autores	52
Ilustración 43 3D placa conexión. Fuente: Autores	52
Ilustración 44 PCB placa balanceadores. Fuente: Autores	53
Ilustración 45 3D placa balanceadores. Fuente: Autores	53
Ilustración 46 PCB placa resistencias. Fuente: Autores	54
Ilustración 47 3D placa resistencias. Fuente: Autores	54

Ilustración 48 PCB placa control de fuentes. Fuente: Autores	55
Ilustración 49 3D placa control de fuentes. Fuente: Autores	55
Ilustración 50 PCB placa de control. Fuente: Autores	56
Ilustración 51 3D placa de control. Fuente: Autores	56
Ilustración 52 PCB placa de descarga. Fuente: Autores	57
Ilustración 53 3D placa de descarga. Fuente: Autores	57
Ilustración 54 PCB placa carga. Fuente: Autores	58
Ilustración 55 3D placa carga. Fuente: Autores	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de voltajes de carga de la batería. Fuente: (AUTOMOTIVE, 2017)	19
Tabla 2 Valores recomendados para descarga. Fuente: (AUTOMOTIVE, HYBRID AUTOMOTIVE, 2018)	20
Tabla 3 Especificación de valores nominales de trabajo Fuente: Autores	23
Tabla 4 Carga y Descarga Fuente: Autores	34

RESUMEN

Mediante el desarrollo del presente proyecto se pretende proporcionar un sistema electrónico, que permita realizar un diagnóstico fiable y de alta precisión del estado funcional cada una de las celdas que componen las baterías de un vehículo híbrido y a su vez será capaz de realizar una regeneración óptima y un control preciso de los parámetros incidentes dentro de este proceso, retribuyendo a la batería su vida útil, de manera totalmente automatizada, precisa y con un bajo costo de operación, además entregara la información detallada del proceso y el estado en el que se encuentran cada una de las celdas que componen la batería en tiempo real mediante una representación de interfaz gráfica.

Para ello este documento presenta los parámetros fundamentales dentro de la caracterización de funcionamiento de un conjuntos de baterías de Ni-Cd, Ni MH y Li-Ion, en base a sus ciclos de trabajo, estableciendo valores óptimos de trabajo para sus diferentes parámetros de funcionamiento, que permitan realizar una recuperación adecuada del estado funcional de cada una de las celdas que componen los paquetes de baterías, además, se establece un procedimiento para regeneración de baterías fiable, que permite aprovechar al máximo la capacidad de regeneración de una celda de batería permitiendo retribuir sus características a valores muy cercanos a sus nominales.

ABSTRACT

Through the development of this project, it is intended to provide an electronic system that allows a reliable and high-precision diagnosis of the functional status of each of the cells that make up the batteries of a hybrid vehicle and in turn will be able to perform an optimal regeneration and Precise control of the incident parameters within this process, giving the battery its useful life, fully automated, accurate and with a low cost of operation, will also deliver the detailed information of the process and the state in which each One of the cells that make up the battery in real time by means of a graphic interface representation,

For this purpose, this document presents the fundamental parameters within the operating characterization of a battery pack of Ni-Cd, Ni MH and Ion-Lt, in based on their work cycles, establishing optimal work values for their different fun parameters In order to make an adequate recovery of the functional state of each of the cells that make up the battery packs, in addition, a procedure for reliable battery regeneration is established, which maximizes the regeneration capacity of a battery cell. Allowing to return its characteristics to values very close to its nominal.

INTRODUCCIÓN.

La presente investigación se enfoca hacia el desarrollo de un sistema de diagnóstico y recuperación de baterías de alto voltaje de vehículos híbridos; ya que una batería pierde su eficiencia y capacidad durante sus ciclos de carga y descarga producidos por su uso en el funcionamiento del vehículo y consumidores eléctricos adicionales dentro de este como son: el aire acondicionado, luces, limpia parabrisas, accesorios, etc. (Movilidad, 2018)

Como característica esencial, este tipo de baterías están conformadas por níquel metal-hidruro las cuales pueden recargarse con rapidez durante la desaceleración, en estado estacionario o al ser enchufadas en un tomacorriente. (Toyota, 2016)

El problema más común que presenta las baterías de vehículos híbridos es directamente debido a un incorrecto manejo del vehículo, lo que se entiende por conducción incorrecta, es a la inadecuada utilización del freno, arranque, aceleración en pendiente y rectas. La conducción incorrecta da como resultado un desempeño incorrecto en el vehículo y sus unidades de potencia (motores), generando que su batería trabaje en ciclos inadecuados de carga/descarga, por ende, va a existir un desgaste prematuro en dichas baterías; esto se da por usuarios que no tienen mayor conocimiento técnico sobre el correcto desempeño y funcionamiento del vehículo. (Ebrahimi, Taghavi, Tahami, & Oraee, A single-phase integrated bidirectional plug-in hybrid electric vehicle battery charger, 2014) Dichos usuarios solo se centran en conducir y buscan su comodidad sin que perciban el daño generado a través del mal uso del automotor. (Motorpasion, 2018), (Temple, 2011)

La investigación de esta problemática de ingeniería se realizó por el interés de establecer un sistema automático de reacondicionamiento de baterías estableciendo ciclos de carga y descarga.

La investigación se realizó con documentos relacionados al mantenimiento, constitución, reacondicionamiento y estado de vida útil de la batería.

1. CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS: VEHÍCULOS HÍBRIDOS, BATERÍAS Y EQUIPOS.

A continuación, en el presente capítulo se detalla el estado del arte relacionados a métodos de reacondicionamiento, características y estudios sobre baterías de Níquel Metal Hidruro, Níquel Cadmio e Ion de Litio, así como también los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto, partiendo de una base teórica y práctica la cual ayuda a establecer una justificación del tema y del mismo modo los procesos que se deberán realizarse para la prolongación la vida útil de la batería.

1.1 Vehículos híbridos

Se conoce como vehículo híbrido aquel medio de transporte que incorpora un sistema de propulsión mixto, es decir de una combinación de un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos que produce el movimiento. (Camarillo, 2016)

1.2 Baterías Ni-MH

Este tipo de baterías son recargables en donde el hidrogeno cumple el papel de ánodo, el cátodo es óxido de níquel y el electrolito hidróxido de potasio. La densidad de energía producida por las baterías Ni-MH es el doble de la producida por las Ni-Cd, a voltajes operativos similares, por lo que representan la nueva generación de baterías recargables que reemplazará a estas últimas ya que tienen aproximadamente un 50 % más de energía a igualdad de peso que las de Ni-Cd. (Padrón, 2013)

1.3 SOC (State of Charge) – Estado de carga

El estado de carga de la batería es el nivel de carga que tiene, y viene expresado como porcentaje en relación de la capacidad total de carga que tiene dicha batería. (Augeri, 2012) (Gao, Zhang, Fu, Zhang, & Li, 2017)

1.4 DOD (Deep of discharge)

La descarga profunda, es el nivel de la descarga de la batería, es decir que un 30% de SOC es equivalente a un 70% de DOD.

Cuando se encuentre detenido un vehículo híbrido y la batería se encuentre con un SOC del 40%, este se pondrá en marcha hasta cargar la batería en un 50% del SOC. (Augeri, 2012) (Ebrahimi, Taghavi, Tahami, & Oraee, A single-phase integrated bidirectional plug-in hybrid electric vehicle battery charger, 2014)

1.5 Auto descarga

Existe un fenómeno de descarga debido al envejecimiento de las baterías de los vehículos híbridos, en donde el estado de carga se ve perjudicado a través del tiempo que han estado trabajando, es decir que las baterías se pueden descargar automáticamente hasta un 3% por debajo de lo estipulado, en donde dicho porcentaje se comprueba para proceder a realizar procesos de regeneración. (Caiche, 2015)

1.6 Efecto memoria

Este efecto es un principio que a través de cargas incompletas disminuye la capacidad de carga de almacenamiento que poseen las baterías. Este fenómeno crea células con apariencia cristalina, dichos cristales oscilan entre 50 y 100 micras de crecimiento, de esta manera ocultando porciones del material activo del electrolito. Los bordes dentados y las esquinas agudas pueden perforar el separador, lo que aumenta el auto descarga o el cortocircuito eléctrico. (Robaldo, 2018)

1.7 Fundamentos básicos de una batería

La batería se forma por la unión de varias celdas, en donde en cada celda se da una reacción química reversible produciendo así el intercambio de iones y electrones entre cada uno de sus polos. (Villareal, 2017)

1.8 Ciclo de carga

En esta fase los iones y electrones regresan a su estado original gracias al aporte de una energía externa. (Artes, Estado de la tecnología del automóvil, 2012)

1.9 Ciclo de descarga

En esta fase, se genera una corriente eléctrica la cual es idónea para realizar el movimiento del motor eléctrico que es impulsado el vehículo. (Artes, Estado de la tecnología del automóvil, 2012)

1.10 Conexiones de la batería

Se requiere conexiones entre baterías para que puedan llegar a tener un voltaje o corriente nominal requerido, para ello se unen en paralelo o en serie, adquiriendo de esta manera características únicas en cuanto voltaje y amperaje requerido. (Villareal, 2017)

1.10.1 Conexión en paralelo

Se unen todos los bornes positivos secuencialmente y de la misma manera los bornes negativos, dando como resultado que todo el pack de baterías sume su amperaje y el voltaje permanezca igual. (GMDSS, s.f.)

1.10.2 Conexión en serie

Van unidos de forma secuencial, es decir el borne positivo de la batería se conecta con el borne negativo de la siguiente batería y así sucesivamente, dando como resultado que todo el pack de baterías sume su voltaje y que la corriente sea la misma. (GMDSS, s.f.)

1.10.3 Conexión mixta

Con la combinación de las dos disposiciones la batería puede sumar el voltaje y su amperaje, para alcanzar una mayor potencia. (Toyota, 2016)

1.11 Equipos de carga y reacondicionamiento.

De acuerdo a esta realización preferente, aunque puede obviarse en otras realizaciones de la invención, el primer paso para la regeneración de una batería Ni-Mh consiste en una primera carga parcial en la que los módulos de la batería se cargan individualmente mediante un cargador estándar de los existentes en el mercado, como por ejemplo un cargador IMAX B6AC, cargadores B6, cargadores B6Pro u cargadores Onyx Duratrax 210, 220, 230, 235, 240 y 245. Dependiendo del número de cargadores disponibles la carga se puede realizar en una o en varias fases y, en otras realizaciones de la invención la carga se puede realizar incluso mediante máquinas de regeneración debidamente configuradas. Ejemplos de máquinas de regeneración usadas son: regenerador MAROO M1001 L, regenerador MAROO M-1005G, regenerador MAROO M-1007, regenerador MAROO M-1009A, regeneradores Zeus, regeneradores Mbat Brc-100, regeneradores (battery plus), Brt start , Brt golf , Brt mini , Brt médium , Brt maxi 120 , Brt maxi Ups y Brt maxi Gold. (Gomez, 2015)

1.12 Objetivos de la Investigación.

1.12.1 Objetivo General

- Desarrollar de un Sistema Electrónico de Diagnóstico y Recuperación de Baterías de alto voltaje de Vehículos Híbridos y Eléctricos Mediante Ciclos de Carga y Descarga para restablecer la vida útil de la batería.

1.12.2 Objetivos Específicos

- Conocer el estado del arte mediante información bibliográfica acerca de los procedimientos de regeneración de baterías mediante ciclos de carga / descarga.
- Definir un procedimiento fiable de regeneración de las baterías mediante ciclos de carga y descarga conociendo el comportamiento en base a la caracterización sobre los ciclos de carga y descarga en la batería
- Diseñar y construir los PCB. de los BMS., y desarrollar un software de control del sistema y diagnóstico del estado funcional de la batería.

- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema mediante procedimientos practico-experimentales.

El circuito para recargar las baterías en un producto portátil es una parte importante del diseño de cualquier fuente de alimentación. La complejidad (y el costo) del sistema de carga depende principalmente del tipo de batería y del tiempo de recarga. Este capítulo presentará los métodos de carga, las técnicas de detección de fin de carga y los circuitos del cargador para usar con níquel-cadmio (Ni-Cd), níquel-metal hidruro (Ni-MH) y litio-ion (Li-Ion) baterías Debido a que las células Ni-Cd y Ni-MH son similares en sus características de carga, se presentarán en un formato combinado, y la información de Li-Ion seguirá.

1.13 Información de carga de baterías de NI-CD / NI-MH

En el ámbito de la carga de baterías, los métodos de carga generalmente se dividen en dos categorías generales: Carga lenta y rápida.

La carga lenta se refiere a una recarga durante un periodo de doce horas (o más), dependiendo del tipo y capacidad de la batería, mientras que la carga rápida se le conoce al método capaz de recargar una batería en aproximadamente en un lapso de tiempo de una o dos horas.

1.13.1 Carga lenta

La carga lenta se puede definir como la cantidad corriente de carga que se puede aplicar a la batería de forma indefinida sin dañar la celda. La tasa máxima de carga aplicada de manera segura para un tipo de celda dado, depende de la química de la batería y de la construcción de la celda. (J. C. Viera, 2002)

Cuando la celda está completamente cargada, la carga continua hace que se forme gas dentro de la celda. Todo el gas formado debe poder recombinarse internamente, o la presión se acumulará dentro de la celda, lo que eventualmente conducirá a la liberación de gas a través de la apertura de la ventilación interna (lo que afecta directamente la salud y reduce la vida útil de la celda). Esto significa que la tasa de carga máxima segura que se puede aplicar depende de la química de la batería, pero también de la construcción de los electrodos internos. Esto se ha mejorado en las celdas más nuevas, lo que permite mayores tasas de carga por ciclo. La gran ventaja de la carga lenta es que la tasa de carga no requiere un circuito de detección de fin de carga, ya que no puede dañar la batería, independientemente

del lapso de tiempo que se use. Esto significa que el cargador es simple y significativamente económico. La gran desventaja de la carga lenta es el elevado lapso de tiempo que toma recargar la batería, lo que es una característica de marketing negativa para un producto de consumo. (M. Sanoh, 2017) (Simpson, 2018)

1.13.2 Tasas de Corriente para ciclos de carga lenta de celdas de NI-CD / NI-MH

En la actualidad la mayor parte de las celdas de batería compuestas de Níquel (NI-CD / NI-MH) están diseñadas para soportar sin dificultades una corriente de carga sostenida de $\frac{c}{1}$ (donde c es la capacidad nominal de la celda) por tiempo indefinido sin producir daños en la misma. Esta tasa de carga produce un tiempo general de recarga completa de aproximadamente 12 horas continuas.

Algunas celdas de Ni-Cd de alta velocidad (que están optimizadas para una carga muy rápida) pueden tolerar corrientes de carga continuas de valores máximos como $\frac{c}{3}$. La aplicación de $\frac{c}{3}$ permitiría cargar completamente la batería en aproximadamente 4 horas.

Las células Ni-MH son menos tolerantes a tasa de carga elevada continua, las tasa de carga máxima segura para este tipo de celdas vienen generalmente especificadas por los fabricantes y estas se encuentran comúnmente en un rango de $\frac{c}{10}$ a $\frac{c}{40}$. Para este tipo de celda de debe tener mayor cuidado de no exceder la tasa de carga máxima segura especificada si se utiliza una recarga sin detección de fin de carga. (Simpson, 2018) (M. H. Yazdanpanah lari, 2010)

1.13.3 Carga rápida

La carga rápida para Ni-Cd y Ni-MH se define generalmente como un tiempo de recarga de 1 hora, que corresponde a una tasa de carga de aproximadamente 1.2c. La gran mayoría de las aplicaciones donde se utilizan Ni-Cd y Ni-MH no exceden esta tasa de carga. Es importante tener en cuenta que la carga rápida solo se puede realizar de manera segura si la temperatura de la celda está dentro de un margen de temperatura de los 10°C a los 40°C, la temperatura óptima para la carga se encuentra en un margen de 23°C a 26°C. La carga rápida a temperaturas más bajas (10°C - 20°C) debe realizarse con mayor precaución y control, ya que la presión dentro de una celda fría aumentará más rápidamente durante la carga, lo que puede provocar que la celda libere gas a través de la ventilación de presión interna lo que deteriora el estado de salud y acorta significativamente la vida útil de la batería. (G. Danese)

Las reacciones químicas que ocurren dentro de la batería de Ni-Cd y Ni-MH durante la carga son bastante diferentes: la reacción de carga de Ni-Cd es endotérmica (lo que significa que la célula se enfría), mientras que la reacción de carga de Ni-MH es exotérmica (hace que la celda se calienta). La importancia de esta diferencia es que es posible forzar con seguridad tasas muy altas de corriente de carga en una celda de Ni-Cd, siempre que no esté sobrecargada. El factor que limita la corriente de carga segura máxima para Ni-Cd es la impedancia interna de la celda, ya que esto hace que la potencia se disipe por $P = I^2R$. La impedancia interna suele ser bastante baja para Ni-Cd, por lo que son posibles aplicar tasas elevadas de carga. Hay algunas celdas de Ni-Cd de alta velocidad que están optimizadas para una carga muy rápida y pueden tolerar tasas de carga de hasta 5c (lo que permite un tiempo de carga rápida de aproximadamente 15 minutos). Los productos que actualmente utilizan estos esquemas de carga ultrarrápidos son herramientas inalámbricas, donde un tiempo de recarga de 1 hora es demasiado largo para ser práctico.

La naturaleza exotérmica de la reacción de carga de Ni-MH limita la corriente de carga máxima que se puede usar de manera segura, ya que el aumento de la temperatura de la celda debe limitarse. En la actualidad, no hay fabricantes de baterías Ni-MH que recomienden tasas de carga superiores a 1.2c. (M. H. Yazdanpanah lari, 2010) (M. V. Micea, 2011)

1.14 Carga rápida: posible daño a las células

Tanto las baterías Ni-Cd como las baterías Ni-MH representan un riesgo para el usuario si son sometidas a ciclos de carga rápida durante un período de tiempo excesivo. Cuando la batería alcanza la carga completa, la energía que se suministra a la batería ya no se consume en la reacción de carga y debe disiparse como calor dentro de la celda. Esto da como resultado un aumento muy pronunciado tanto de la temperatura de la celda como de la presión interna si se continúa con la carga de alta corriente. (Abronzini, 2018)

La celda contiene un respiradero activado por presión, el cual se abre si la presión interna es demasiado elevada, lo que permite la liberación de gas hacia el exterior (esto es perjudicial para la celda, ya que el gas que se pierde nunca se puede reemplazar). En el caso de Ni-Cd, el gas liberado es oxígeno. Para las células Ni-MH, el gas liberado será hidrógeno, que son altamente volátiles, generando un riesgo elevado de incendio. Una celda muy sobrecargada puede explotar si la ventilación no se abre (debido al deterioro con la edad o la corrosión por fugas de químicos). Por esta razón, las baterías nunca deben sobrecargarse hasta que se

produzca la apertura de ventilación. (Garcia-Plaza, Carrasco, & Alonso-Martinez, 2015) (Simpson, 2018).

1.15 Detección de fin de carga para celdas de Ni-Cd / Ni-MH

Tanto las baterías de Ni-Cd como las de Ni-MH pueden cargarse rápidamente de forma segura solo si no están sobrecargadas.

Al medir el voltaje y / o la temperatura de la batería, es posible determinar cuándo la batería está completamente cargada.

La mayoría de los sistemas de carga de alto rendimiento emplean al menos dos esquemas de detección para terminar la carga rápida: el voltaje o la temperatura suele ser el método principal, con un temporizador como respaldo en caso de que el método primario no detecte correctamente el punto de carga completo.

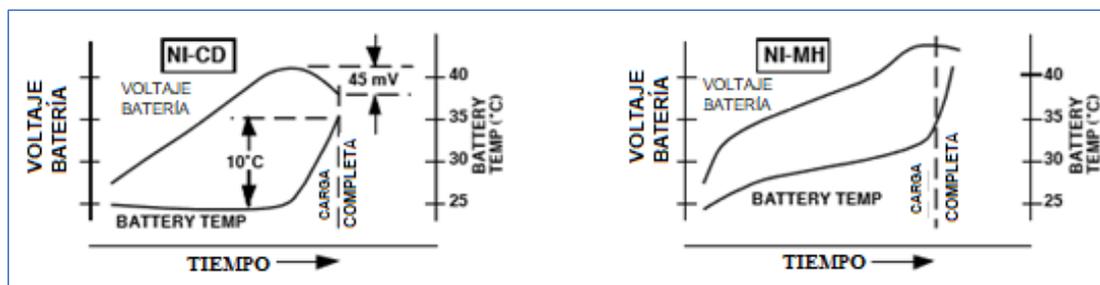


Ilustración 1 V/T diagrama estado de carga

Las gráficas de voltaje / temperatura en la ilustración 1 definen la "la curva característica" de la batería que muestra cuándo se ha alcanzado la carga completa (se muestran tanto Ni-Cd como Ni-MH para comparación).

Para ambas gráficas, los datos se tomaron en una sola celda que se cargó desde una fuente de corriente constante a una tasa de 1c, y la temperatura ambiente fue de 25 ° C.

Como se muestra, el punto de carga completo puede determinarse detectando la temperatura de la celda o el voltaje de la celda. (Simpson, 2018)

La detección de temperatura es preferible a la detección de voltaje porque la temperatura de la celda proporciona la información más precisa sobre lo que está sucediendo dentro de la esta. Sin embargo, si la temperatura de la celda debe medirse con precisión, el sensor de temperatura debe integrarse en la batería, lo que aumenta el costo de fabricación de la batería.

La detección de voltaje es más fácil, ya que los cables de voltaje son fácilmente accesibles y no requieren un montaje especial en el paquete de baterías. (Simpson, 2018)

1.16 Información de carga de Li-Ion

Una batería de Li-Ion es única, ya que se carga desde una fuente de voltaje fijo que está limitada por la corriente (esto generalmente se conoce como carga de voltaje constante)

1.16.1 Carga de voltaje constante

Un cargador de voltaje constante (C-V) alimenta la corriente de la batería en un intento de forzar el voltaje de la batería hasta un valor preestablecido (generalmente denominado voltaje de punto de ajuste o voltaje de ajuste).

Una vez que se alcanza este voltaje, el cargador solo generará la corriente suficiente para mantener el voltaje de la batería a este voltaje constante. En la actualidad, los principales fabricantes de celdas de Li-Ion recomienda 4.200 ± 50 mV como el voltaje de punto de ajuste ideal, y $1c$ (una tasa de corriente de carga igual a la capacidad A-hr de la celda) como la corriente de carga máxima que puede ser empleada en la celda.

La precisión en el voltaje del punto de ajuste es crítica: si este voltaje es demasiado alto, se reduce el número de ciclos de carga que la batería puede completar (vida reducida de la batería). Si el voltaje es demasiado bajo, la celda no estará completamente cargada.

En la Figura 5 se muestra un perfil de carga típico para una celda de Li-Ion que usa carga de voltaje constante de $1c$. (M. Sanoh, 2017) (M. A. Boukhal, 2019)

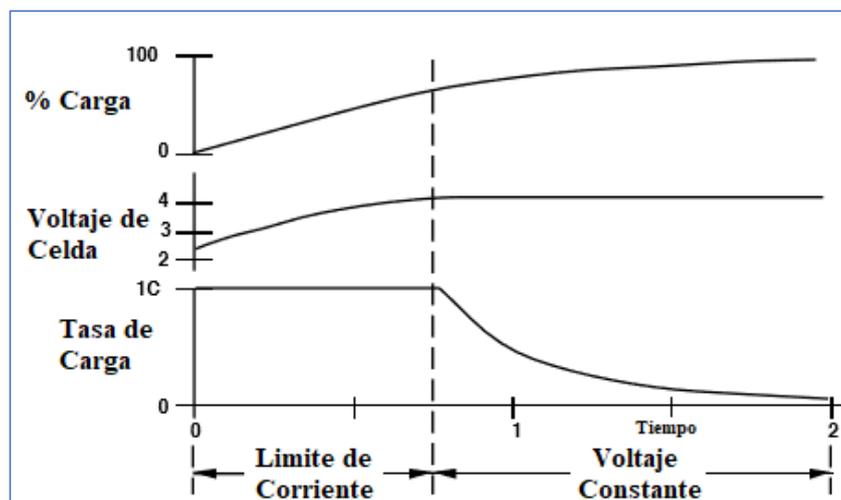


Ilustración 2 perfil de carga típico para una celda de Li-Ion

El ciclo de carga de voltaje constante se divide en dos segmentos separados:

La fase de carga del límite de corriente (a veces llamada fase de corriente constante) es donde la corriente de carga máxima fluye hacia la batería, porque el voltaje de la batería está por debajo del punto de ajuste. El cargador detecta esto y genera una corriente máxima para intentar aumentar el voltaje de la batería.

Durante la fase límite de corriente, el cargador debe limitar la corriente al máximo permitido por el fabricante (que se muestra aquí como $1c$) para evitar dañar las baterías.

Alrededor del 65% de la carga total se entrega a la batería durante la fase de límite de corriente de carga. (Carter, Matsumoto, Prater, & Smith, 1996)

La porción de voltaje constante del ciclo de carga comienza cuando el voltaje de batería detectado por el cargador alcanza los 4.20V. En este punto, el cargador reduce la corriente de carga según se requiera para mantener constante la tensión detectada a 4.2 V, lo que resulta en una forma de onda de corriente que tiene la forma de una caída exponencial

La corriente de carga que disminuye constantemente durante la fase de voltaje constante es la razón por la que el tiempo de carga de Li-Ion es de casi dos horas, aunque se usa una corriente de carga de $1c$ (máxima) (esto significa que la entrega del 35% final de la carga requiere aproximadamente el doble de tiempo que el primer 65%). (Simpson, 2018) (M. Gonzalez, 2002)

Para entender por qué esto es cierto, debe recordarse que cada celda real contiene un ESR interno (Resistencia equivalente en serie), y el voltaje que el cargador detecta a través de la batería está influenciado por el ESR. El voltaje medido en los terminales de la batería es la suma de la caída de voltaje a través del ESR y el voltaje de la celda. La batería no está completamente cargada hasta que el voltaje de la celda es de 4,2 V con solo un minuto de corriente en ella (lo que significa que la caída a través del ESR interno es insignificante, y el voltaje real de la celda es de 4,2 V). Durante la fase de carga límite de corriente de $1c$, la batería alcanza los 4,2 V con solo alrededor del 65% de la capacidad de carga entregada, debido a la caída de voltaje en el ESR. El cargador debe entonces reducir la corriente de carga para evitar exceder el límite de 4.2 V. (Florez, (2010))

2 CAPÍTULO II: PROCESO DE REGENERACION DE BATERÍAS

En este capítulo se analizará y determinará un proceso óptimo y fiable utilizado para la regeneración de las baterías, en donde se determinará los criterios de carga y descarga

comprobando el desempeño de la batería y obteniendo un porcentaje de recuperación de la misma una vez finalizado este proceso.

Se conoce varios modelos de carga y descarga, establecidos como algoritmos, los cuales son métodos con los que se restituye la carga de la batería. Las diferentes técnicas de control de voltaje y el manejo de la cantidad de corriente que se suministra, son las encargadas en regenerar una batería hasta su óptimo rendimiento. Existen algoritmos para realizar el control de la carga de la batería y dentro de los modos de carga o ciclos tenemos los más comúnmente usados que son de 3 etapas, el cual se divide en:

Carga rápida: En esta etapa, la batería se encuentra con una descarga total o parcial; al iniciar este ciclo, el cargador debe limitar la corriente ya que la corriente intentará incrementarse rápidamente. Por lo que en esta etapa el voltaje de la batería debe aumentar lentamente y la corriente de carga deberá permanecer constante. (Iza & Pozo, 2017)

Etapa 2: La batería en esta etapa alcanza aproximadamente un 80% de su carga total. Aquí la batería continúa cargándose a un voltaje constante y por otra parte en esta etapa la corriente va disminuyendo. (Iza & Pozo, 2017)

Etapa 3, modo de balanceo: En este modo si el valor del voltaje de una celda aumenta en comparación a las demás del paquete de batería, lo que se procede es a descargarla mediante resistencias que disipan calor, esto hasta igualarla a el voltaje de las demás celdas cargadas, típicamente entre 7.2 V que es su valor nominal e igualar a las demás celdas. (Iza & Pozo, 2017)

2.1 Características de la batería

La siguiente información pertenece al pack de baterías de tercera generación del año 2012, de 28 celdas, las baterías utilizadas llegan a poseer un voltaje nominal de 201.6 V, dicho voltaje puede llegar hasta un 20 % más alto cuando el estado de carga (SOC) de la batería llega a ser más alto. La disposición de la batería estudiada son las siguientes:

- Posee un paquete de 14 bloques de baterías.
- Posee 28 celdas de 7.2 V cada una.
- Cada celda está conectada en serie en pares, las mismas que forman 14 paquetes de

baterías de 14,4 V cada una.

- Finalmente, los 14 paquetes se conectan en serie para generar el pack de baterías de 201,6 V.

2.2 Trabajo ideal de carga de la batería

Se muestra en la figura a continuación comparando el voltaje con el tiempo de carga expresado en horas, con tres variaciones en cuanto a la temperatura, en donde se toma en cuenta para nuestro estudio la curva intermedia, es decir la que se encuentra a 20° Celsius, es decir a temperatura ambiente, 1.47 V y con 75 miliamperios de carga.

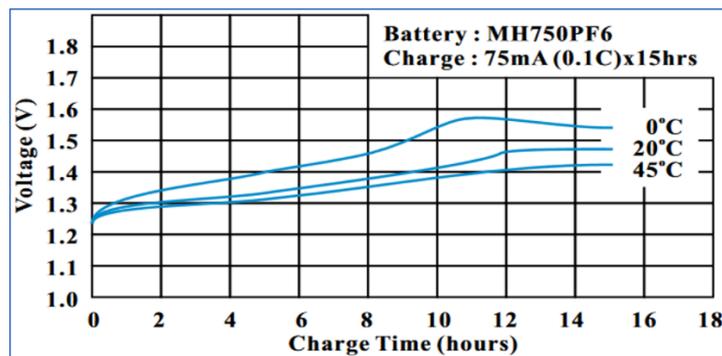


Ilustración 3 Gráfica de trabajo ideal de carga Ni-MH de 1.2 voltios. Fuente: (PANASONIC, Ni-MH RECHARGEABLE PRISMATIC BATTERY, 2010)

2.3 Precarga de restauración de la celda al voltaje nominal

Se realiza el siguiente procedimiento:

- Se cumple una precarga a 0.7A por un lapso de 30 minutos, con el objetivo de establecer la celda al voltaje nominal de 7,2V y un teniendo un voltaje máximo de 9V el cual es sinónimo que está al 100% de la carga de la celda.
- Una vez transcurrido los 30 minutos se deja reposar durante aproximadamente 10 minutos a las celdas, las mismas deben mantener este valor de voltaje, caso contrario es un indicador de que aquella celda está fallando y puede llegar a generar un código de avería. (Iza & Pozo, 2017)

2.4 Carga con un estado de carga SOC (State of Charge) de 30%

El procedimiento es el siguiente:

- Con la finalidad de establecer una carga completa, se entrega a las baterías 0.7 Amperios durante 3 horas para determinar los valores máximos de voltaje.
- Si se sobrepasa los 9 Voltios se dice que la celda debe ser reacondicionada. (Iza & Pozo, 2017)

2.5 Control de la capacidad de carga

El estado de carga (SOC) es el porcentaje real de la capacidad de la batería debido a la variación dicha carga, ya que se necesita un 20% únicamente del total de carga de la batería para poner en marcha al vehículo, pero para poderlas estabilizar debe entregar un 30% de carga cada una de las celdas, es decir se requiere 2 Amperios por este motivo:

- Se descarga cada celda a 0.8 A por 2 horas y media hasta un mínimo de 6V. Una vez realizado dicho procedimiento las celdas cuyo voltaje descendan del mínimo establecido deberán ser reacondicionadas por separado. (Iza & Pozo, 2017)

2.6 Carga y descarga controlada a 28 celdas

Con la batería desmontada se procede a realizar cargas y descargas controladas a todas las celdas con la finalidad de determinar la incidencia de magnitudes físicas directamente medibles como son la tensión, corriente y temperatura. (Burgos C. , 2013)

2.7 Curvas de trabajo ideal de descarga

En la figura se visualiza con mayor detalle la comparación entre voltaje y tiempo este último expresado en horas, del trabajo ideal de la batería, la misma a temperatura ambiente (20° C) con un valor de descarga de 1.3 Voltios a 750 miliamperios.

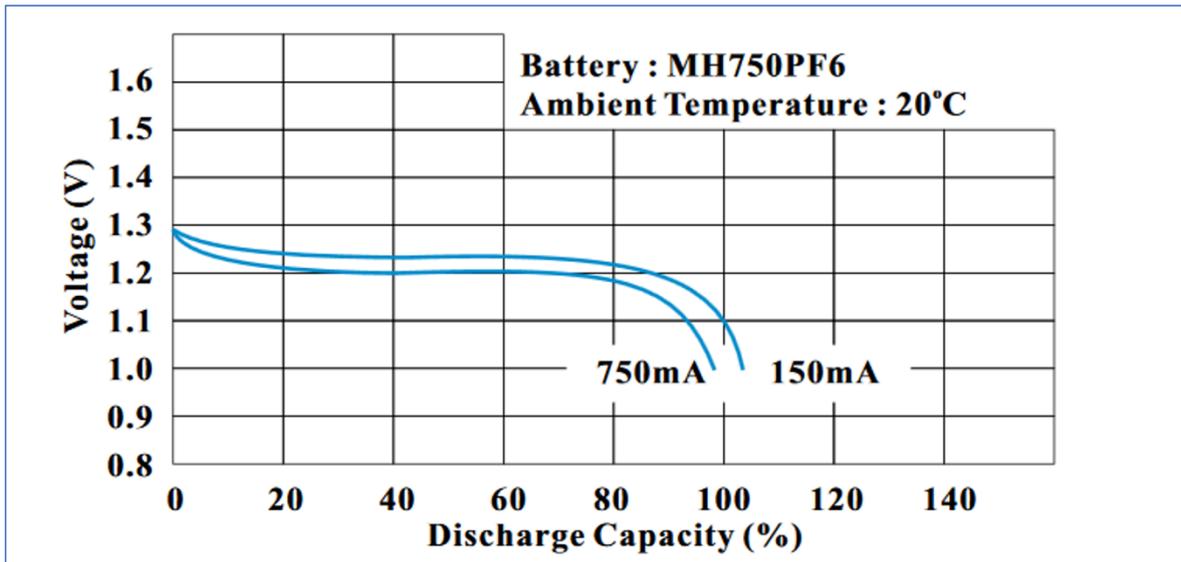


Ilustración 4 Gráfica de trabajo ideal de descarga Ni-MH de 1.2v. Fuente: (PANASONIC, Ni-MH RECHARGEABLE PRISMATIC BATTERY, 2010)

A continuación, se representa las curvas de carga y descarga, antes y después de ser sometidas al proceso de recuperación, dichas curvas son tomadas de un trabajo de titulación anterior a esta investigación, por lo que se tuvo como resultado el comportamiento detallado del estado de la batería después de haberlas reacondicionado.

2.7.1 Curvas de trabajo en la carga antes y después del reacondicionamiento

Previo a ser reacondionadas los voltajes de las baterías presentan pequeños desfases de 1.8 V entre cada una de sus celdas, en donde al ser acumulado dicho voltaje en los 28 módulos que forman un pack de batería dan como resultado 180.6 V, esto mientras se realiza la primera carga. (Saavedra & Sibri, 2018)

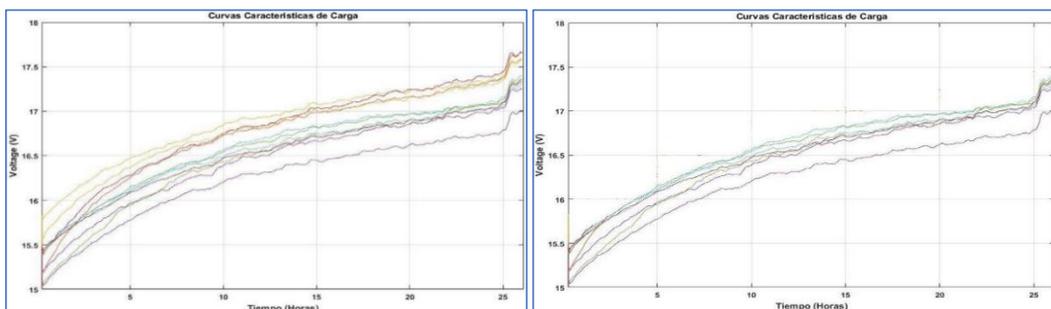


Ilustración 5 Comparación entre curvas características de carga antes y después del reacondicionamiento. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).

Al existir un contraste de 1.8V entre cada par de celdas se interpreta como un desfase o desbalanceo del grupo de baterías, por otra parte, después de haber realizado el proceso de reacondicionamiento existe un contraste mucho menor reflejado con una variación de 0.2 a 0.3 V en la fase de carga, y de igual manera su carga máxima que es admisible va desde los 17.25 a 17.33 V entre cada par de celda, teniendo una diferencia mínima de 0.1 V en comparación a los 0.8 V antes de realizar dicho proceso. (Saavedra & Sibri, 2018)

2.7.2 Curvas de trabajo en la descarga antes y después del reacondicionamiento

En la figura del lado izquierdo se puede observar un valor de 16.5V el cual es el voltaje que la mayoría de celdas han alcanzado durante la carga, en donde existe también una diferencia de 0.7 V entre cada una de las mismas.

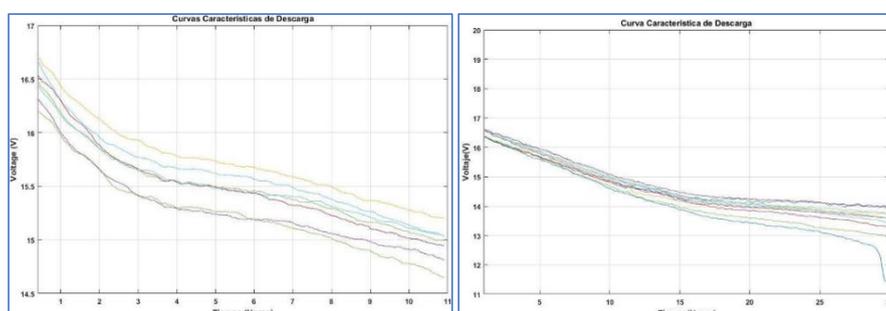


Ilustración 6 Comparación entre curvas características de descarga antes y después del reacondicionamiento. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).

La figura de la derecha se observa las curvas de descarga la cual inicia con un voltaje de 16.75 el mismo que es el máximo permitido por las baterías, con un tiempo de 30 horas aproximadamente a una corriente de 0.7 A.

2.7.3 Análisis comparativo de carga y descarga de las gráficas de trabajo de la batería reacondicionada vs gráficas de trabajo ideal

En la gráficas a continuación se compara cómo actúan las baterías una vez realizadas las carga y descargas, es decir, el proceso de reacondicionamiento, dando como resultado el comportamiento de la batería una vez realizado el reacondicionado esto en porcentaje. (Saavedra & Sibri, 2018)

Para el análisis entre estados de la batería con la de trabajo ideal se basó en las gráficas de

trabajo de una celda de Ni-MH de 1.2V, teniendo mismas características de las celdas que fueron empleadas en dicho estudio.

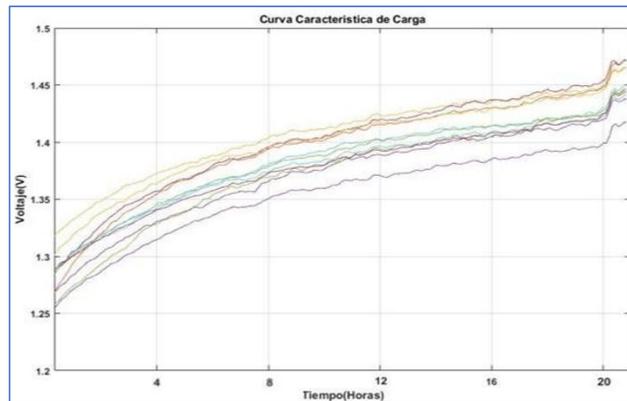


Ilustración 7 Curva características de carga. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).

En la figura 7 se observa el correcto funcionamiento de las baterías, expresadas en la curva de voltaje y tiempo a la cual es cargada, dichos datos se comparan con la figura 5, en donde se encuentra los mismos parámetros de valores, pero una vez ya realizado el proceso de reacondicionamiento.

Los valores de descarga van desde 1.3 a 1.5 V de carga aceptado como máximo y junto a 0.7 A de descarga, generando un tiempo de 10 horas aproximadamente de descarga. (Saavedra & Sibri, 2018)

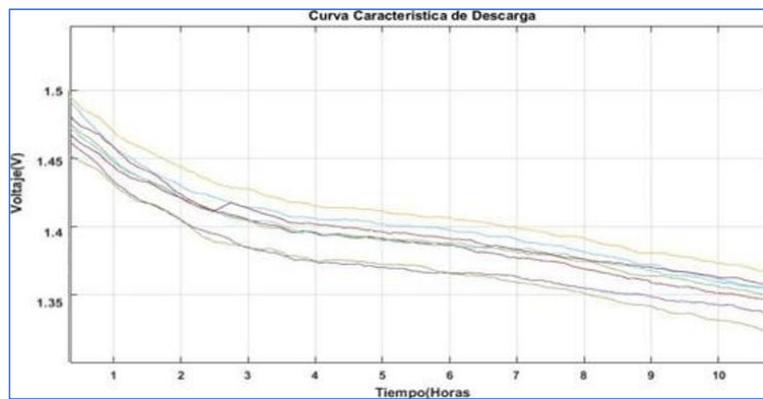


Ilustración 8 Curva características de descarga. Fuente: (Saavedra & Sibri, 2018).

Una vez finalizado la primera descarga, se da una capacidad de descarga del 6.15% con un tiempo de 0.93 horas en comparación a la capacidad nominal, que es de 6.5 Ah representando el 100% de la capacidad.

La segunda descarga existe un mayor tiempo en comparación de la primera con 1.7 horas, entregando una capacidad de descarga del 16.92 % en comparación de la misma manera a

la capacidad nominal, dando un equivalente de 23.92% siendo sumado la primera y segunda descarga. (Saavedra & Sibri, 2018)

Finalmente, la tercera descarga que se le realiza esta dado con un tiempo de 3.3 horas y con el 28.46% de la capacidad de descarga con un resultado final de un 51.54% de la suma entre las dos últimas descargas. (Saavedra & Sibri, 2018)

Los tiempos de descarga aumenta simultáneamente con la capacidad de descarga al aumentar los ciclos del proceso de carga y descarga.

El proceso de descarga controlada refuerza a obtener una batería realizada el proceso de reacondicionamiento mayores prestaciones de rendimiento ante las demandas que requiere un vehículo híbrido:

- Consumo de aire acondicionado.
- Funcionamiento del sistema eléctrico del vehículo y de iluminación.
- Potencia de alimentación en los moto-generadores.

2.8 Instrucciones básicas para cargar la batería de Níquel - Metal hidruro

Estas baterías deben ser cargadas con valores de voltaje y amperaje concretos, caso contrario al usar otros ajustes o especificaciones de cargas ocasionan daños a las baterías, inclusive hasta provocar posibles incendios. (BASIC NICKEL-METAL HYDRIDE (NiMH) BATTERY GUIDELINES, 2016)

La eficiencia de carga va desde un 70% hasta el 100% de carga. A continuación, se explica los valores a tomar en cuenta con relación al voltaje y amperaje usadas en el proceso de reacondicionamiento.

2.8.1 Fases de carga

Se emplean dos fases de carga en una batería de Ni-MH cuya finalidad es dar una carga adecuada a la batería, estas fases son:

- Fase de llenado
- Fase de balanceo

2.8.1.1 Fases de llenado

En la fase de “llenado” se generará un 20 a 80%, aumentando lentamente la tensión hasta llegar a 100% del nivel de carga en donde tarda generalmente de 4 a 16 horas esto depende directamente del estado de funcionamiento en el que se encuentre la batería. En esta fase no se balancea debido a que en la batería la cantidad de carga recibida varía dependiendo de su resistencia interna. (Pei Zhang, 2011)

2.8.1.2 Fase de balanceo

En esta fase se realiza oscilaciones de voltaje en el rango de 1 a 3 V por un tiempo muy corto. El balanceo generalmente se da en un tiempo de 4, 6 y como máximo 12 horas después de haber realizado la etapa de llenado. En la fase de balanceo, cada celda está aumentando al 100% de su estado de carga real, aquí la batería se calienta levemente debido a que alcanza su voltaje pico, después de ello la tensión se ve disminuida debido a que convierte la energía de carga en calor, finalmente se enfría la celda y se la vuelve a cargar al 100%. (AUTOMOTIVE, 2017).

2.9 Datos técnicos voltajes pico típicos

La tabla 1 podemos observar los valores típicos de carga de una batería de distintos tipos de fabricantes, lo cual hay que tener muy en cuenta para obtener un correcto desempeño de la misma, caso contrario se puede llevar a la sobrecarga, desbalancearlas y que alcancen altas temperaturas produciendo daños irreversibles en la batería.

Tabla 1 Tabla de voltajes de carga de la batería. Fuente: (AUTOMOTIVE, 2017)

Valor Aproximado	Unicelular	99-03 Prius	04-15 Prius	06-15 Camry Hybrid	00-06 Insight 03-05 Civic Hybrid 05-07 Accord Hybrid	06-11 Civic Hybrid	09-14 Insight	06-13 Highlander Hybrid, Chevy Silverado / Tahoe Hybrid, Lexus RX / Híbridos GS
Número de celdas en paquete de batería	1	228	168	204	120	132	84	240

Rango de funcionamiento normal (Fase de llenado)	1.2-1.4V	274-319V	202-235V	245-286V	144-168V	158-185V	101-118V	288-336V
Rango de voltaje máximo (Tensión aproximada de la fase de equilibrado)	1.4-1.43V	319-326V	235-240V	286-292V	168-172V	185-189V	118-120V	336-343V

2.10 Características técnicas de finalización de descarga de la batería

La tabla 1 se observan los valores que se deben tener en cuenta ante la descarga de las baterías esto para que en el proceso de reacondicionamiento no sufran daños en su posterior funcionamiento. Se debe controlar el valor DOD ya que no debe llegar a valores de voltaje muy bajos debido a que provocaría que la batería deje de recibir la carga indispensable para que opere correctamente. (AUTOMOTIVE, HYBRID AUTOMOTIVE, 2018).

Tabla 2 Valores recomendados para descarga. Fuente: (AUTOMOTIVE, HYBRID AUTOMOTIVE, 2018)

Número de celdas en paquete de batería	Uno	228	168	204	120	132	84	240
Primera descarga	0.8V	182V	134V	163V	96V	105V	67V	192V
Segunda descarga	0.5V	114V	84V	102V	60V	66V	42V	120V
Tercera descarga	0.1V	23V	17V	20V	12V	13V	8V	24V

2.11 Reacondicionamiento de la batería

Al realizar el proceso de reacondicionamiento de baterías se deben tomar en cuenta varios aspectos o factores, como son los valores de voltaje mínimo de descarga, amperaje de carga, los rangos de temperatura de funcionamiento, así como también conocer el estado o la vida útil tanto de las baterías como de las celdas, todo esto se logra evaluando los

valores de tensión que indica cada celda y del conjunto de pack de baterías. Garantizando de esta manera que en dicho proceso se rompan formaciones de cristales dentro de la batería que se formaron impidiendo así su óptimo funcionamiento. (AUTOMOTIVE, Prolongo Battery Charger User Guide, 2017)

2.11.1 Ciclo carga/balanceo de la batería

En este proceso la batería se carga a un 80% de su capacidad, para el balanceo se colocan cada una de las celdas en paralelo y así poder igualar las cargas mediante la descarga eléctrica la misma que se encarga en igualar el voltaje en cada celda con un mismo valor de amperaje y voltaje. (Saavedra & Sibri, 2018)

2.11.2 Ciclo descarga profunda

Finalmente se descarga la batería a un 20% de su capacidad. Después de haber realizado la carga del 80% y seguidamente su equilibrio, se descargan las baterías en nuestro caso se usan resistencias cerámicas las cuales por medio de calor descargan lentamente la batería hasta los valores que se indican en la tabla 1. Repitiendo este proceso varias veces hasta que la batería tenga un desempeño mejorado. (Saavedra & Sibri, 2018)

3 CAPITULO III: DISEÑO Y DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE

3.1 Diagrama de flujo del proceso de reacondicionamiento de baterías.

Para el proceso de reacondicionamiento, como primer paso es identificar el tipo y la disposición de las baterías a ser regeneradas, hecho esto la maquina procederá a leer los valores correspondientes de corriente y voltaje de cada una de las baterías, una vez identificadas las baterías, se procede a realizar la primera descarga que será aproximadamente una hora, seguido de esto se cargarán hasta alcanzar su carga total, y se continúa por la segunda descarga que aproximadamente será en un el lapso de 1.7 horas, se la volverá a cargar hasta el total de su capacidad para realizar una última descarga por un periodo aproximado de 3.3 horas, luego de esto se la cargará hasta el 100% de su capacidad, finalmente pasa por el proceso de balanceo y carga total verificando así que hayan sido regeneradas superando el 70% de su capacidad, caso contrario se vuelve a repetir el procedimiento.

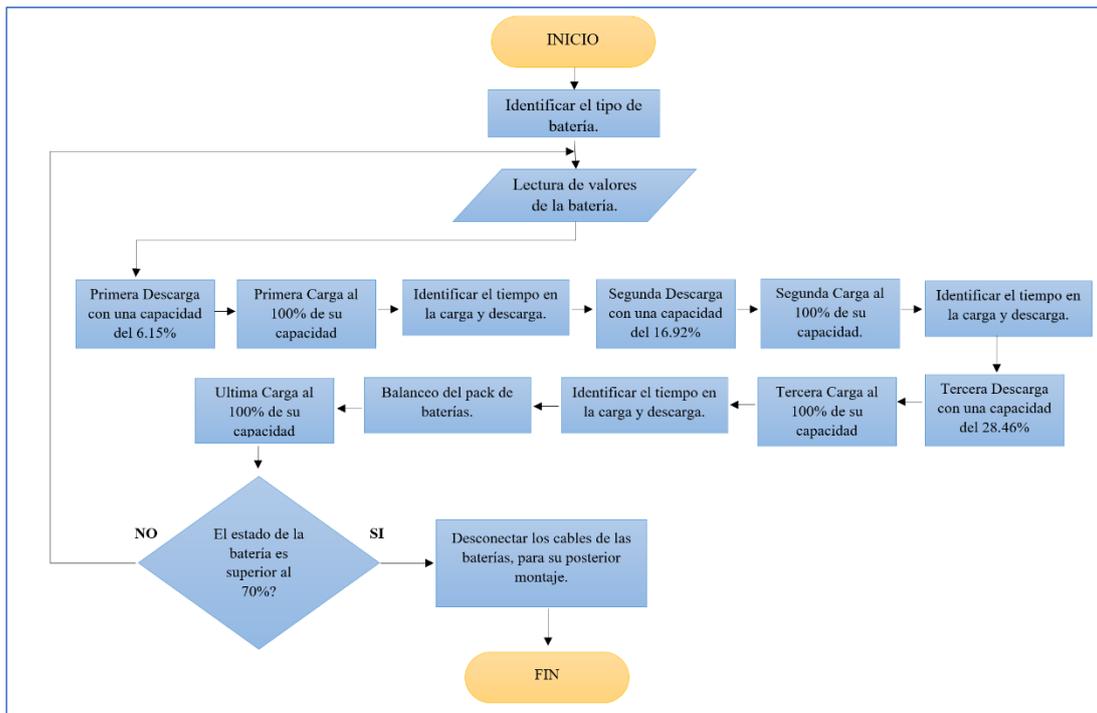


Ilustración 9 Diagrama de flujo funcionamiento del sistema de reacondicionamiento. Fuente: Autores

3.2 Desarrollo del sistema de gestión de baterías (BMS)

El sistema de gestión de baterías o BMS por sus siglas en inglés, gestiona los procesos de carga y descarga de las baterías durante los ciclos de trabajo mientras garantiza un funcionamiento opimo y seguro de las mismas controlando que todos sus parámetros se encuentren dentro de sus condiciones nominales de operación, alargando así su vida útil y manteniendo su capacidad de almacenamiento. (M. A. Boukhal, 2019).

Este sistema se encarga de desempeñar 2 tareas específicas dentro del ciclo de funcionamiento de un banco de baterías que son el monitoreo de los parámetros de funcionamiento y el control del balanceo de cada una de las celdas, y para este caso también se encargara del control del proceso de descarga. (Gago, 2017)

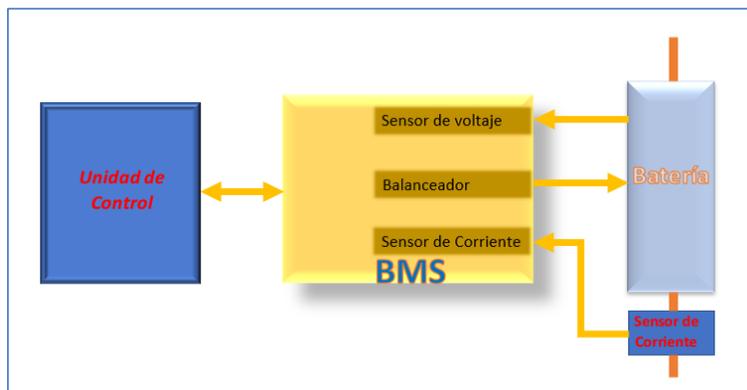


Ilustración 10 Arquitectura de comunicación BMS Fuente:

3.3 Monitorización de parámetros de funcionamiento:

El objetivo de esto es entregar los requisitos de valores de voltaje, corriente y temperatura de manera precisa, fiable y continua hacia la placa de control de BMS para garantizar un control idóneo de los parámetros, manteniéndolos siempre los sus valores óptimos.

Por ello se deben tomar en cuenta todas las características y especificaciones de los diferentes tipos de celdas de batería con los cuales se va a trabajar, estos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3 Especificación de valores nominales de trabajo Fuente: Autores

DESCRIPCION	VALORES
Corriente máxima	0,8 A.
Rango de voltaje por celda	de 0v. a 10v.
Tasa de muestreo	1 seg.
numero de sensores de tensión	1 por celda
Tolerancia de medición de tensión	50 mV
Rango de temperatura de trabajo	de 35°C a 60 °C

La medición de voltaje es un parámetro muy importante dentro del sistema por lo cual debe desarrollarse de la manera más precisa y continua posible en cada una de las celdas, otro valor importante a medir es la salida y entrada de corriente en el bloque de baterías permitiendo al BMS regularlo para mantenerlo siempre los valores idóneos, además que permita una estimación fiable del SOC, por otra parte la medición de temperatura en las celdas que componen la batería, para el caso de este proyecto se ha omitido debido a que las corrientes de carga y descarga a manejar no superan el 1 amperio de intensidad y la temperatura ambiente jamás supera los 25 °C. por lo cual la temperatura en las celdas de batería tiene una variación de temperatura de 2°C, con lo cual la podemos considerar despreciable.

3.4 Monitorización de tensión.

Considerando que el sistema debe manejar un número máximo de 30 celdas conectadas en serie, se ha tomado como guía el esquema que se muestra en la ilustración 10, debido a que el número de celdas es variable y va desde 5 celdas a un número máximo de 30, en intervalos de 5 celdas, se ha buscado una solución de sensores que se versátil y fácil de

configurar para adaptarse a las disposiciones de la cantidad de celdas con las que se vaya a trabajar, es por ese motivo que se ha optado por integrados AC/DC en configuración diferencial como sensores de tensión.

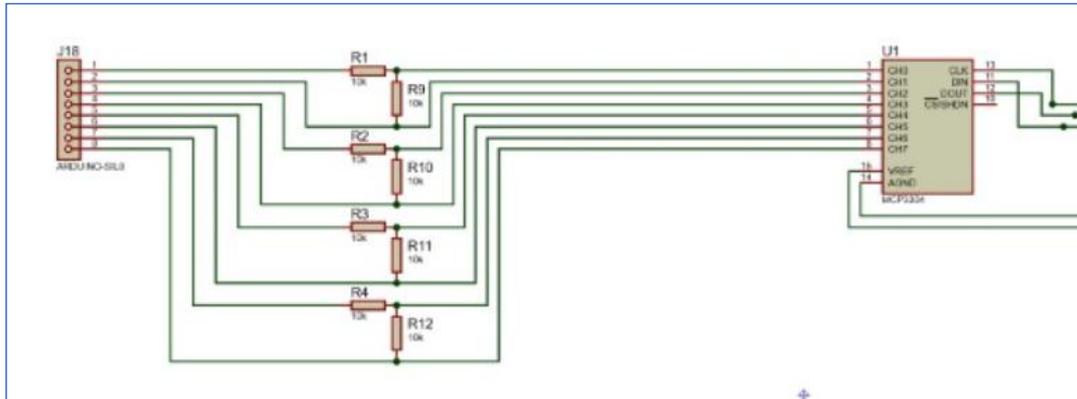


Ilustración 11 Esquema de Circuito de monitorización de voltaje Fuente: Autores

Para ello se ha seleccionado el mcp3304, el cual es un convertidor analógico-digital, de 8 canales en modo normal y 4 en modo diferencial y una entrada máxima de tensión de 5.5v en sus canales.

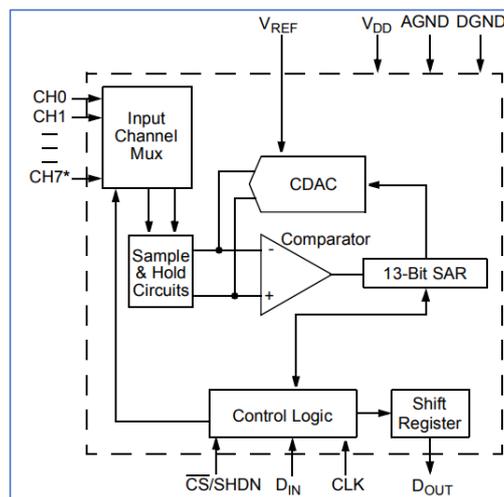


Ilustración 12 Diagrama interno MCP3304 Fuente: Autores

Debido a que los valores máximos de tensión manejados en las celdas se aproximan a los 9V, se vio la necesidad de colocar un partidor de tensión que permita reducir el valor de entrada a los canales del mcp3304 de 9v a 4.5v, permitiendo trabajar en un rango ideal y sin la necesidad de otros elementos electrónicos para su uso, además este permite una comunicación SPI de 13 bits con nuestra placa de control lo que facilita la transmisión y control de los datos de monitoreo de voltaje de cada una de las celdas de batería.

3.5 Monitorización de corriente

Para la monitorización de la corriente existen 3 métodos actuales que se podrían aplicar; el primero es la técnica más sencilla de conocer la corriente mediante la verificación de la caída de voltaje a través de un valor óhmico reducido ubicado en medio de la celda y la carga, esto también se le conoce como derivación de corriente esta técnica de medición genera una pérdida de energía ligera en la trayectoria actual y también eleva la temperatura de la batería y es inexacta para corrientes bajas. Los sensores de efecto Hall eliminan esta inconveniente, pero presentan un costo elevado, aunque son inexactos en altas corrientes y son sensibles al ruido y las perturbaciones, los sensores resistivos de magneto tienen un costo más elevado que los sensores de efecto Hall, pero tienen una sensibilidad elevada y ofrecen un alto nivel de precisión. (M. A. Boukhal, 2019) (Gago, 2017) (M. Sanoh, 2017)

Debido a las restricciones establecidas por la disponibilidad de estos tipos de sensores en el mercado nacional, se eligió trabajar con un sensor de efecto Hall ACS 712 incorporado en un módulo IC.

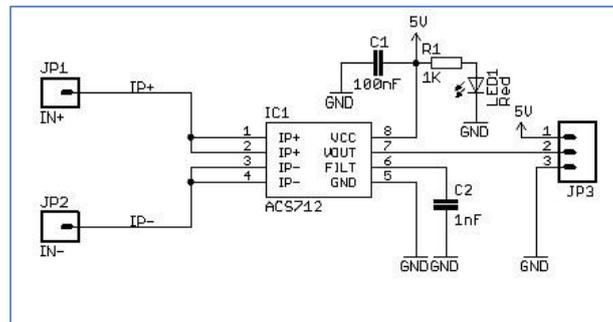


Ilustración 13 Diagrama interno ACS 712 Fuente: Autores

Este módulo ACS712 puede medir corrientes de CA o CC que van desde + 5A a -5A, + 20A a -20A y + 30A a -30A. Este módulo emite voltaje analógico (0-5V) basado en la corriente que fluye a través del cable, lo que lo convierte en un módulo de fácil conexión y uso.

3.6 Sistema de carga

La demanda de tensión que debe suplir la unidad de potencia para recargar todo un paquete de baterías de 30 celdas bordea los 300v a 0.7A, esto presenta ciertos inconvenientes al momento de adquirir una fuente que suministro estos requerimientos, además la escases de la disponibilidad de componentes electrónicos en el país imposibilitan la fabricación, por este motivo se utilizó varias fuentes MW RS-25-48,

configuradas en serie para una fuente que cumpla con los requerimientos de tensión y corriente para la carga de las celdas de batería, facilitando la fabricación del sistema en general.

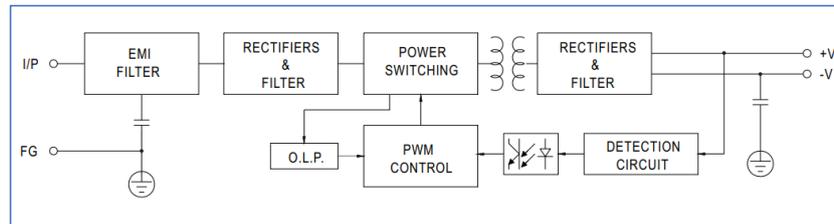


Ilustración 14 Diagrama interno fuente MW RS-25-48 Fuente: Autores

Cada una de estas fuentes de poder entrega alrededor de 50v a 0.7A, por lo cual se conectó 6 de estas en serie para lograr una unidad de potencia acorde con las necesidades del proyecto.

3.7 Control de Descarga

Para el circuito de descarga se estableció un circuito con un principio de funcionamiento similar al de balanceo, esta de igual manera tiene conectado de manera paralela al paquete de baterías un PMOS y una resistencia, estos 2 se encargan de realizar la descarga mediante el consumo de energía que es transformada en calor, pero a diferencia del circuito de balanceo, el PMOS no actúa como un interruptor, sino como una resistencia variable que permite regular la corriente con la que se va a descargar la batería, esto se logra gracias al control de la polarización del mismo que varía su resistencia interna.

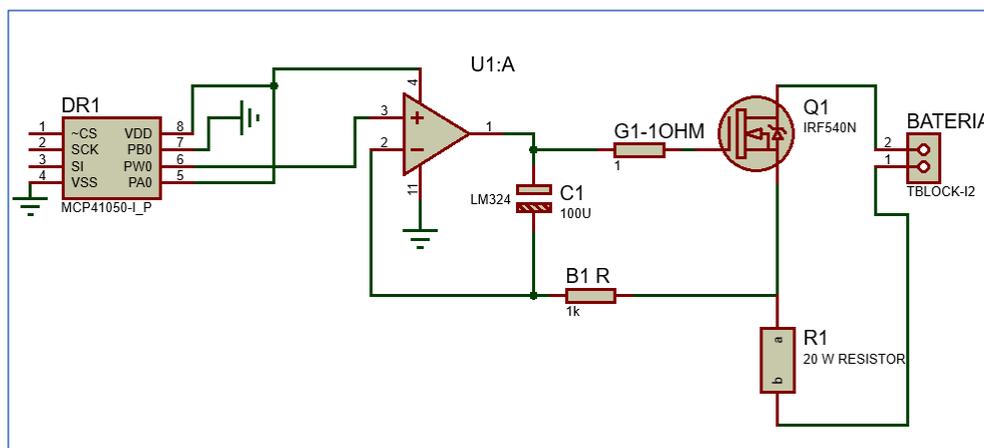


Ilustración 15 Esquema de circuito de descarga Fuente: Autores

3.8 Control de balanceo

El balanceo es un método utilizado durante el proceso de carga que se encarga de mantener la tensión de cada una de las celdas de batería como mínimo en un valor igualado al de la celda con menor valor de tensión de esta forma se asegura que todas las celdas tengan una carga igualada a la celda de menor capacidad, manteniendo de esta forma al máximo la capacidad y prolongando la vida de la batería.

En general, los métodos de balanceo de la batería se pueden dividir en dos categorías: los métodos de ecualización pasiva o que consumen energía y los métodos de balanceo activa o recuperación de energía. El primero disipa el exceso de energía de la batería de mayor voltaje en una resistencia o un transistor hasta que todas las celdas alcancen el mismo nivel de carga. El segundo generalmente usa dispositivos de almacenamiento de energía como condensadores o inductores para transferir el exceso de energía de las celdas de mayor voltaje a las más bajas, normalmente se realiza mediante convertidores DC/DC, lo que aumenta considerablemente el coste, además de la complejidad, siendo necesario un sistema de control del flujo energético. (Gago, 2017) (Abronzini, 2018) (Simpson, 2018) (M. Gonzalez, 2002) (Garcia-Plaza, Carrasco, & Alonso-Martinez, 2015)

El circuito de balanceo se basa en varios diseños de balanceadores utilizados en diferentes bms para el control en vehículos eléctricos, le brinda un circuito bastante sencillo, pero a la vez eficiente y fácil de acoplar.

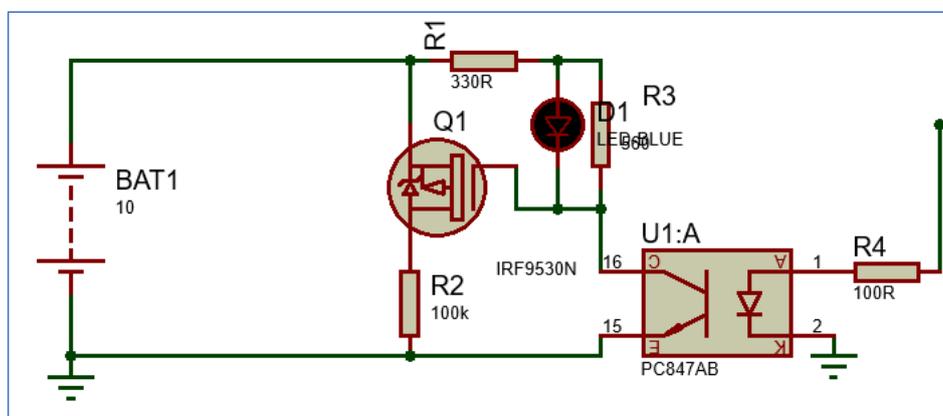


Ilustración 16 Esquema de circuito Balanceo Fuente: Autores

Como se observa, el circuito posiciona en paralelo con la celda a un PMOS y una la resistencia R1, el PMOS tiene como finalidad polarizarse o entrar en corte si el transistor

contenido el optoacoplador conduce o no, actuando como un interruptor.

El diodo led D1 hace la función de indicador externo de la activación del circuito de balanceo entrando en saturación o corte en conjunto con el PMOS.

Al polarizarse el transistor de U1: A, Q1 entra en saturación, y gracias a la baja Resistencia de Drenado en Saturación (RDS encendido) (del orden de 40mΩ) el comportamiento en el PMOS se asemeja a un cortocircuito, dejando que casi toda la corriente pase por la resistencia de disipación R2 quemado en esta la energía sobrante de la celda transformándola en calor y produciendo el balanceo. El dimensionamiento de R2 se diseñó para no exceder una corriente de descarga de 0.7 A, que permite un balanceo rápido y efectivo de las celdas, teniendo en cuenta el voltaje máximo a que entregan las celdas de batería el valor de R2 sería:

$$I = \frac{V}{R2}$$
$$0.7 = \frac{9.8}{R2}$$
$$R2 = \frac{9.8}{0.7} = 14\Omega$$

Y la potencia máxima disipada en este caso es:

$$P = \frac{V^2}{R}$$
$$P = \frac{9.8^2}{14} = 6.8 W$$

Debido a las restricciones en valores de resistencias comerciales disponibles se utilizó una resistencia de 15Ω a 7.5 W.

3.9 Arquitectura De Interconexión

El sistema de regeneración y diagnóstico de baterías está compuesto por un total de 8 placas electrónicas que controlan las fases de carga, descarga, balanceo y monitorización de parámetros, como se vio en el inciso anterior, además consta de 2 placas Arduino Mega 2560, encargadas del procesamiento de los datos y control de las 8 placas esclavo (Slave), el uso de 2 placas Arduino para el control de estas actividades se vio necesario debido al gran número de celdas que el sistema maneja y el elevado número de datos y acciones que los Arduino deben manejar, además el sistema consta de una unidad de control general encargada del procesamiento, visualización y gestión de los procesos de

regeneración de las celdas de batería.

El módulo central de control este compuesto por una computadora de placa simple RaspBerry Pi 3B y una pantalla táctil de 7 pulgadas en la cual se visualiza la interfaz de usuario del sistema y permite controlar los procesos y acciones del sistema en general.

Este sistema ejecuta tres funciones principales que son el control de subsistemas de BMS, la monitorización de los parámetros de funcionamiento de las celdas y la adquisición y procesamiento de los datos. El programa enlaza el computador de placa simple (RaspBerry) con las tarjetas Arduino Mega 2650 mediante una conexión serial virtual por medio de un cable USB, mientras que las tarjetas Arduino sirven como modulo Maestro para el control y adquisición de datos de los módulos esclavo. La comunicación entre los módulos Maestro y esclavos se establece por medio de Interfaz de comunicación SPI, la cual es explicada a detalle en el inciso siguiente, mediante cables de conexión jumper.

La arquitectura de interconexión de los sistemas presentado en este proyecto se muestra en la ilustración 16. está conformada por tres partes principales, la primera en un software de interfaz de usuario, la segunda y tercera está conformada por la parte física o hardware de módulo Maestro y Esclavo respectivamente.

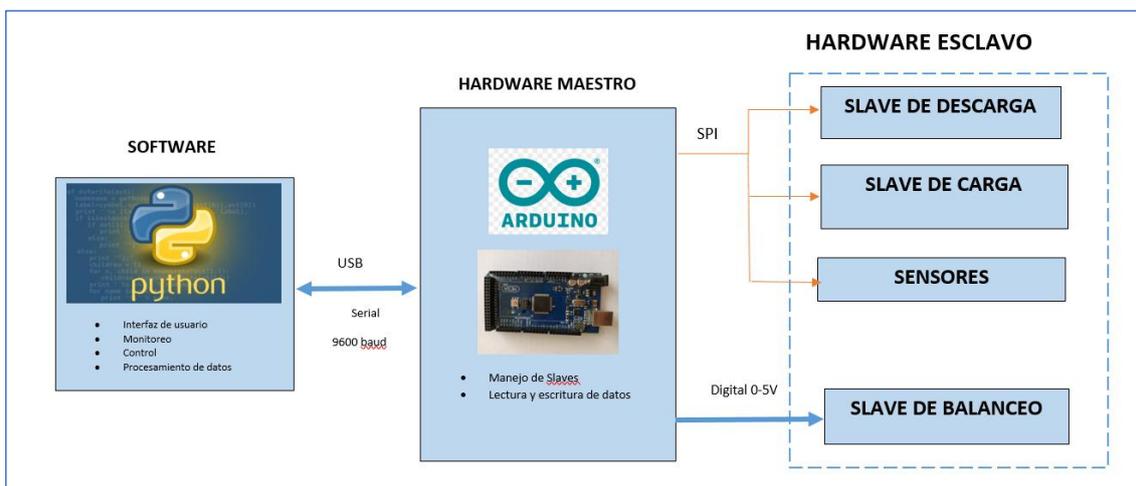


Ilustración 17 Arquitectura de Interconexión Fuente: Autores

3.9.1 Protocolo de comunicación SPI

Para el control de cada uno de los subsistemas o módulos esclavos estos se comunican con el módulo maestro (Arduino Mega 2650) por medio de comunicación SPI.

El SPI (del inglés Serial Peripheral Interface) es un protocolo estándar de comunicación

síncrona en serie de 4 hilos, utilizado principalmente para transferir información entre circuitos integrados a corta distancia presentado por Motorola en 1982.

Es un protocolo de transmisión que permite alcanzar velocidades muy altas y que se diseñó pensando en comunicar un micro controlador con distintos periféricos y que funciona a full dúplex (Una forma de expresar que puede enviar y recibir datos al mismo tiempo). El Maestro determina cuándo se va a comunicar, con quién lo va a hacer y a la frecuencia a la que lo va a realizar. Los dispositivos con más de un módulo Esclavo están regulados a través de una línea de selección de Esclavos.

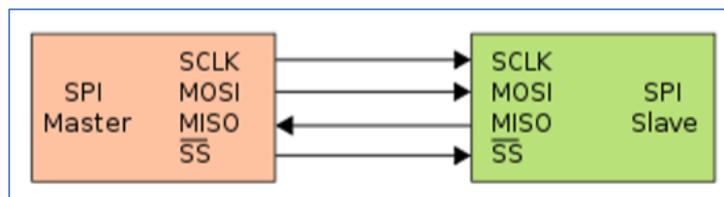


Ilustración 18 Estructura de comunicación SPI Fuente: Autores

El bus SPI está compuesto por un mínimo de cuatro señales:

- MISO (Master In Slave Out): la línea Slave para enviar datos al maestro,
- MOSI (Master Out Slave In): la línea maestra para enviar datos a los periféricos,
- SCK (Serial Clock): pulsos de reloj que sincronizan la transmisión de datos generada por el maestro
- SS (Slave Select): el pin en cada dispositivo que el maestro puede usar para habilitar y deshabilitar dispositivos específicos. (Saparon, 2019)

La información es enviada de manera síncrona con los pulsos de reloj, es decir, con cada pulso se envía un bit. Para que comience la transmisión el Master debe poner a nivel bajo el CS del Slave con el que se quiere comunicar, con esto, se activa y comienza a comunicar. La transmisión de información se realiza con el primer pulso del reloj, transmitiendo información por MISO a la vez que lee el primer bit por MOSI, en estas ocasiones el Slave transmite basura o bits saturados, por no tener información aún de lo que el Master le pide. (D. Trivedi, 2018)

Cuando el CS vuelve a nivel alto o después de haber acabado la transmisión, el Slave tiene la información transmitida por el Master y está preparado para enviar lo que le ha pedido en la siguiente transmisión. Por otro lado, el Master ha obtenido información que no tiene valor, y debe iniciar otra comunicación con el Slave. Este es el significado de

full dúplex, el Master comunica a la vez que el Slave por distintas líneas.

Los pulsos del reloj pueden estar programados para que la transmisión del bit se realice en cuatro modos diferentes, mediante los parámetros de polaridad y fase.

Mediante la polaridad se configura la lectura de información en el flanco de bajada (CPOL=1) o en el flanco de subida (CPOL=0). Mediante la fase se determina el retraso de la transmisión de MISO y MOSI, si CPHA=0 los datos cambian en la mitad del ciclo de reloj de su predecesor, si CPHA=1 se retrasa para que lo hagan justo cuando empieza su ciclo. (Jianlong Zhang, 2011) (Saparon, 2019)

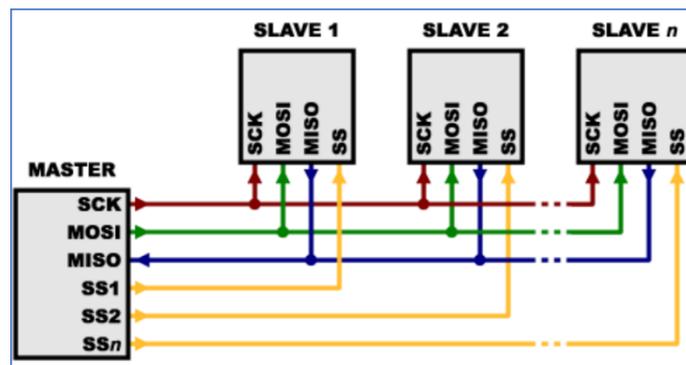


Ilustración 19 Estructura de comunicación SPI de esclavos múltiples

Una de las ventajas que presenta el protocolo SPI es la reflejada en el ejemplo de la figura anterior, en el que un solo Maestro se comunica con varios Esclavos(Slave). Mientras que en muchos protocolos en serie son necesarias varias líneas de comunicación con cada Slave, en SPI se comparten SCLK, MISO y MOSI entre esclavos, y el CS define con cuál de ellos el Master se comunicará en ese momento. Cuando el CS1 está a nivel alto toda la información del bus es inexistente para el Slave1, omitiendo su lectura y respuesta. La transferencia de datos no está limitada a bloques de 8 bits, aunque suele ser lo habitual. Es posible la comunicación en bloques de 16bits, 24bits, etc. Y su implementación hardware es muy sencilla, dado que no requiere de circuitos para hacerla funcionar. Los esclavos no necesitan de su propio reloj puesto que lo proporciona el Master. (D. Trivedi, 2018)

3.9.2 Software de Interfaz de usuario, monitoreo y control:

Este software fue desarrollado con la herramienta Python 3.5.0, este permite establecer la comunicación entre la computadora de placa simple (RaspBerry PI) y las tarjeta Arduino Mega a través de un puerto de comunicación COM, para ello Python nos permite realizar

una comunicación serial directa con la tarjeta por medio del puerto USB en donde esta se encuentre conectada, estas trabajaran a una tasa de transmisión de datos de 9600 baudios además el programa se encarga del procesamiento, almacenamiento y visualización de los datos provenientes de la tarjeta Arduino. En la ilustración se representa el diagrama de flujo de la estructura del software desarrollado.

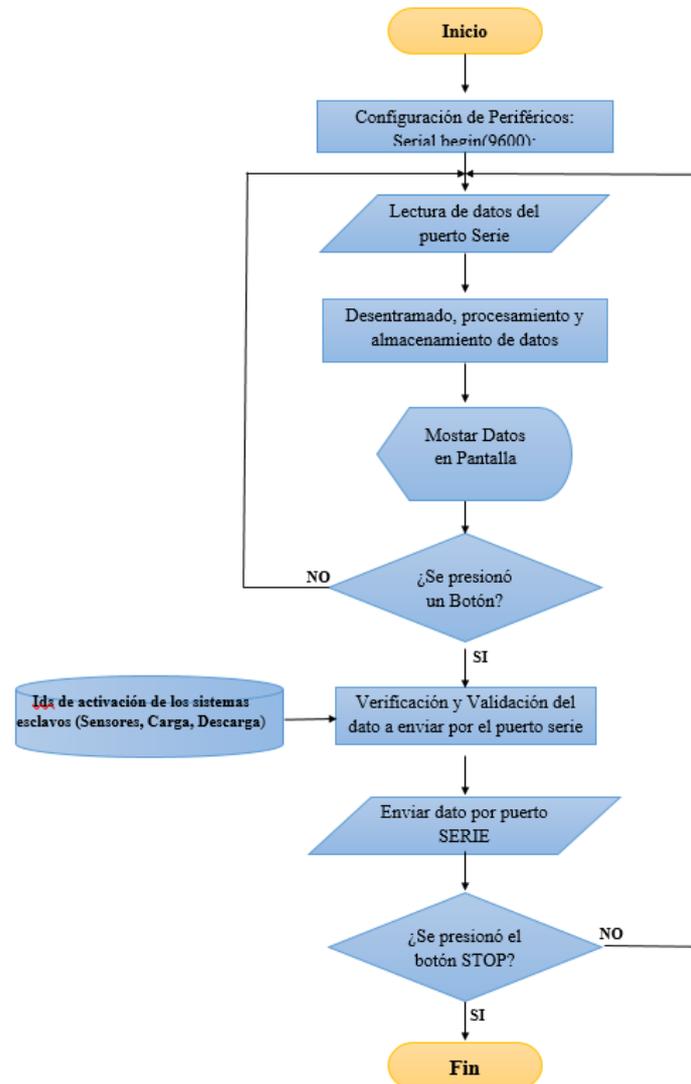


Ilustración 20 Diagrama de flujo del Software de monitoreo. Fuente: Autores

Para el almacenamiento de datos el software utiliza una herramienta de escritura que permite la creación de un archivo de texto en donde se imprimen todos los datos recibidos a una tasa de muestreo de 1000 milisegundos.

3.9.3 Software de control de placa Maestro Arduino

Para el desarrollo de la programación, Arduino nos brinda una gran ventaja ya que existe un sin número de librerías de uso libre que facilitan de manera significativa la

comunicación SPI y el control de los diferentes componentes o integrados que comandan el funcionamiento de los PCB esclavo, el sistema ocupa únicamente los puertos seriales y SPI dentro de una estructura “Case” para comandar todas las acciones dentro del sistema.

En la ilustración se puede observar la estructura del firmware de las tarjetas maestro Arduino.

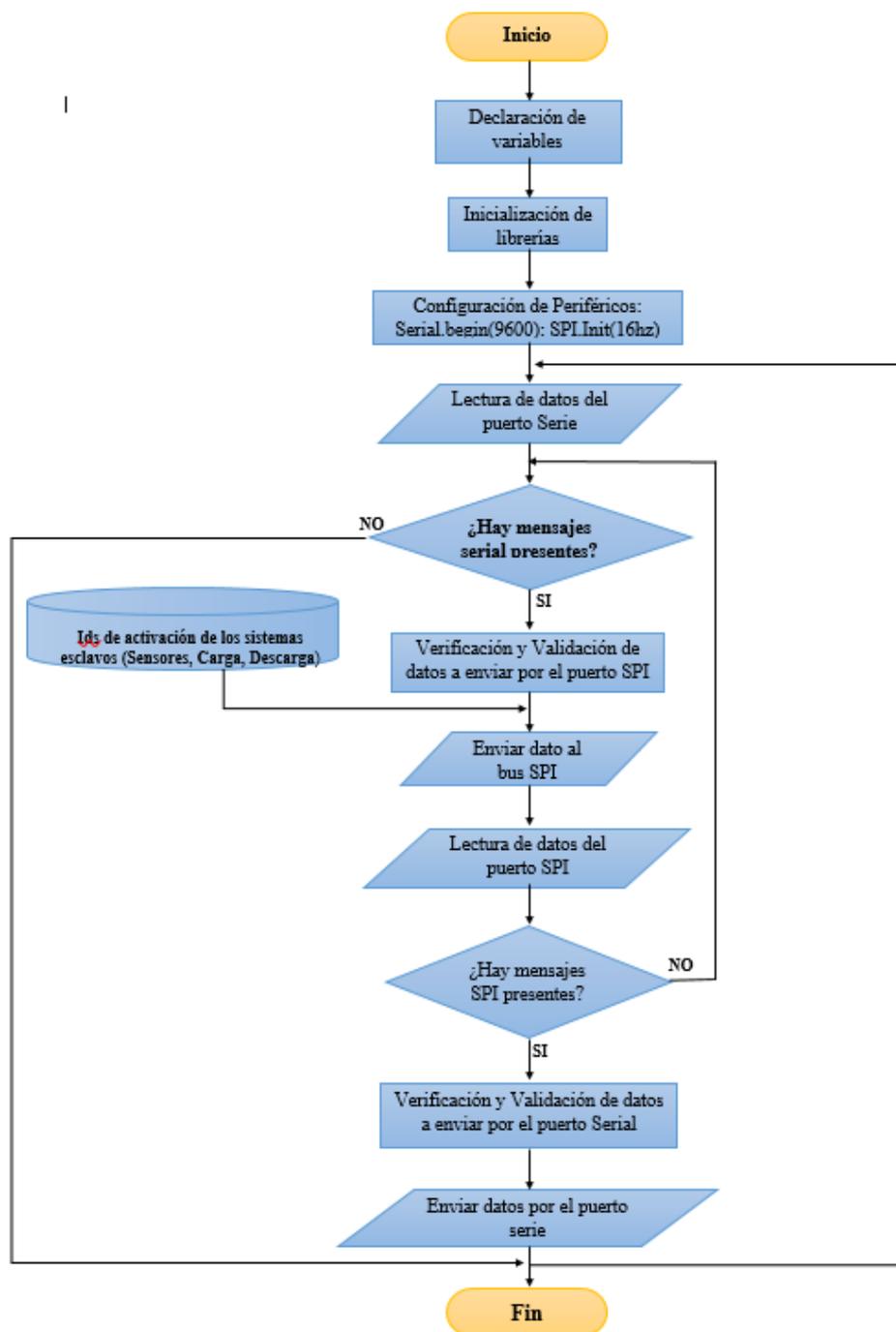


Ilustración 21 Diagrama de flujo programación Arduino. Fuente: Autores

Al iniciar el programa, se realiza en primer lugar la declaración de variables a utilizar y la designación de control y comunicación de las diferentes placas esclavo que conforman el sistema, posteriormente se activa el puerto de comunicación serial que permite la comunicación la interfaz de usuario y la placa Arduino mediante un cable USB y se define la tasa de transmisión de datos del puerto a 9600 baudios.

Después de establecer la comunicación con la interfaz de usuario el código entra a una etapa de reposo en espera de la existencia de la llegada de datos a través del puerto serial, dichos datos contienen códigos de activación que inician la operación de la tarjeta.

Las diferentes operaciones de la tarjeta Arduino están controladas por una estructura de ejecución “CASE”. La cual es activada mediante códigos alfabéticos recibidos mediante el puerto serial.

Estos códigos ejecutan los diferentes protocolos de acciones a realizarse en los procesos del reacondicionamiento de las baterías como: Activación de protocolos de comunicación SPI, control de las placas esclavo, adquisición de datos, envío de información hacia la interfaz de usuario, etc.

La estructura “CASE” le permite a la tarjeta electrónica identificar el proceso a realizar (Carga, descarga, balanceo) y el número de celdas de batería que se manejarán dentro de estos procesos.

En la tabla 4 se detallan los códigos activación y procedimientos que se realizan dentro de la estructura “CASE”.

Tabla 4 Carga y Descarga Fuente: Autores

-	Proceso	# Celdas	Actividades Ejecutadas
A	Carga	5	Activación de sensores de tensión y corriente, Activación de circuito de carga, control de balanceadores, envío de datos a través del puerto Serial
B	Carga	10	
C	Carga	15	
D	Carga	20	
E	Carga	25	
F	Carga	30	
G	Descarga	5	Activación de sensores de tensión y corriente, Activación y control del circuito de descarga, envío de datos a través del puerto Serial
H	Descarga	10	
I	Descarga	15	
J	Descarga	20	
K	Descarga	25	
L	Descarga	30	

3.9.4 Hardware Maestro Basado en Arduino

El Hardware utilizado como modulo maestro es una tarjeta Arduino Mega 2560 que consta de un procesador Atmega2560 de 8 bits, 256 KB de memoria flash para almacenar el código (de la que se utilizan 8 KB para el cargador de arranque), 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 1 interfaz integrada de comunicación SPI 4, puertos serie de hardware, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y librerías de software de código abierto, lo que convierte a esta tarjeta en la solución ideal para el manejo de las diferentes actividades que desempeña el módulo maestro dentro del sistema. (Delgado, 2020), (Veloso, 2020)



Ilustración 22 Arduino Mega 2560. Fuente: Autores

3.9.5 Hardware Esclavo Subsistema de Carga y Alimentación.

Debido a la escasa disponibilidad de componentes electrónicos en el mercado nacional, se desarrolló una solución para elaborar un sistema fiable de carga y alimentación, este consta de 1 fuente MW RS-25-12, que suministra una alimentación de 12v para el funcionamiento de todos los subsistemas que componen el BMS y 6 fuentes MW RS-25-48 que suplen los requerimientos de energía para el proceso de carga de las celdas.



Ilustración 23 Banco de fuentes MW RS-25-48 . Fuente: Autores

Estas fuentes son controladas por una placa Dimmer electrónica que realiza la función de interruptor electrónico, encendiendo o apagando cada fuente conforme se requiera y una serie de relés que alternan la disposición de las fuentes colocándolas en serie o paralelo para medicar su tensión según se requiera, este sistema de carga entrega de 50V hasta 300V a 0.6 Amp. Regulables en a una escala de 50V.

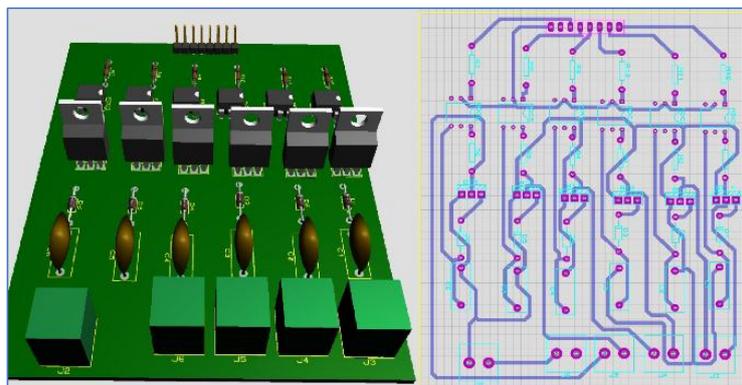


Ilustración 24 Esquema PCB de Circuito de control de fuentes. Fuente: Autores

4 CAPITULO IV: PROCESOS DE FABRICACIÓN Y RESULTADOS FINALES

4.1 Diseño y fabricación de PCB's

Para el desarrollo de los diseños de las diferentes placas que componen el sistema se utilizó la ayuda de la aplicación Proteus profesional 8.9, el cual es un software para el diseño de esquemas electrónicos, simulación de circuitos y construcción de placas de circuito impreso.

Para la elaboración del diseño de las diferentes placas electrónicas se inicia con la elaboración del diseño esquemático del circuito y la simulación de funcionamiento del mismo.

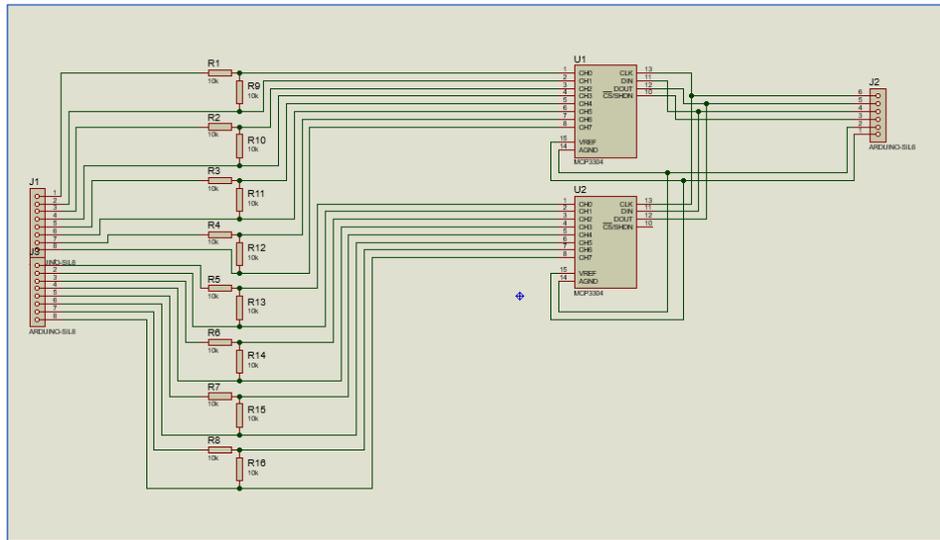


Ilustración 25 Esquema de PCB monitoreo de tensiones. Fuente Autores

Posteriormente se procede a la elaboración del diseño del PCB, para ello la aplicación nos permite seleccionar el tamaño de la placa que se desea mediante una área de trabajo acotada a las dimensiones deseadas, además de los voltajes y corrientes máximas con las que el circuito va a trabajar, luego se exportan los diferentes componentes que conforman la placa y se ubican en las posiciones deseadas dentro del área de trabajo y la aplicación en base a los datos previamente proporcionados realiza de manera automática el diseño de pistas de la PCB dimensionando los espesores y optimizando el recorrido de las mismas dando como resultado un diseño fiable y cien por ciento funcional listo para su fabricación.

Para el proceso de fabricación de las PCB's se utilizó el método de transferencia térmica y revelado por reactivo químico.

El primer paso para la fabricación es realizar la impresión del diseño sobre papel termotransferible en una impresora laser

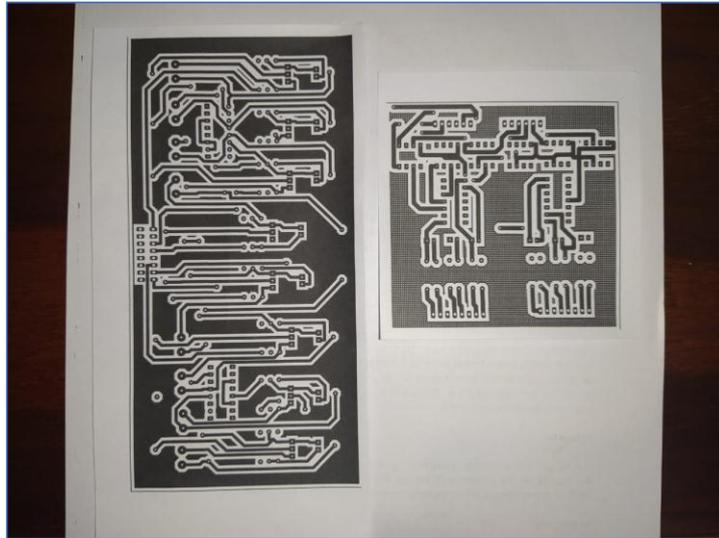


Ilustración 26 PCB impreso sobre hoja termotransferible. Fuente: Autores

A continuación, se corta de la medida adecuada la placa de cobre virgen y se fija la impresión sobre la placa de tal manera de que el cobre y la tinta queden en contacto, después con ayuda de una plancha térmica se aplica calor sobre la superficie de la placa durante un tiempo no mayor a 5 minutos, es importante controlar que el calor proporcionado por la plancha no supere los 200 °C, ya que una temperatura mayor podría causar daños como desprendimiento del cobre de la placa.

Al terminar este proceso se retira con cuidado el papel termotransferible de la superficie de la placa y podremos ver como resultado que el barniz se impregno sobre la superficie del cobre transfiriendo el diseño de la hoja impresa hacia el este.

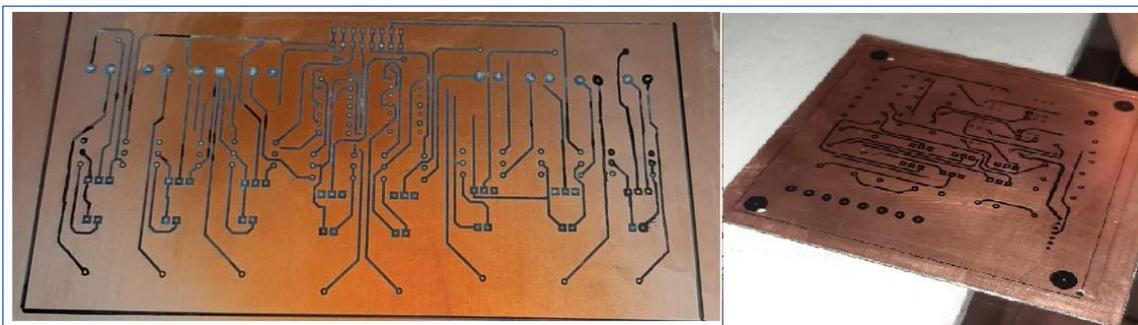


Ilustración 27 Placa virgen con revelado del Barniz. Fuente: Autores

Para el siguiente paso se debe preparar la mezcla de ácido para el proceso de quemado o revelado final del PCB, para ello en una probeta de polipropileno preparamos una solución a base de agua simple y Cloruro Férrico, en concentraciones recomendadas de

%85 y 15% respectivamente, para este proceso se recomienda el uso de accesorios de protección como guantes y gafas, ya que el contacto directo con la solución podría generar daños sobre la piel.

La cantidad de solución a utilizar depende directamente del tamaño de la placa, se puede hacer un aproximado de 200ml de solución por cada 10 cm^2 de placa virgen a revelar. Después se procede a sumergir la placa en un recipiente con la solución antes preparada y se deja reposar durante un tiempo permitiendo a la solución atacar al cobre expuesto hasta disolverlo dejando solo la sección protegida por el barniz, el tiempo que puede tardar este proceso es relativo y depende de varios factores como el área de cobre a atacar, la calidad del ácido y la concentración usada, pero el general tarda un tiempo promedio de 35 a 50 minutos y es necesario un monitoreo constante durante el proceso ya que la solución podría dañar la PCB si se descuida.



Ilustración 28 Proceso de revelado o quemado de la PCB. Fuente: Autores

Acabado el proceso de revelación o quemado se debe lavar completamente la placa con abundante agua para retirar cualquier residuo de solución acida de la misma, demos secarla completamente y con la ayuda de un solvente se procede a retirar todo el barniz que recubre las pistas, una vez limpia y seca la PCB, con la ayuda de un multímetro se comprueba la continuidad y aislamiento, según corresponda, de cada una de las pistas que conforman la placa electrónica.

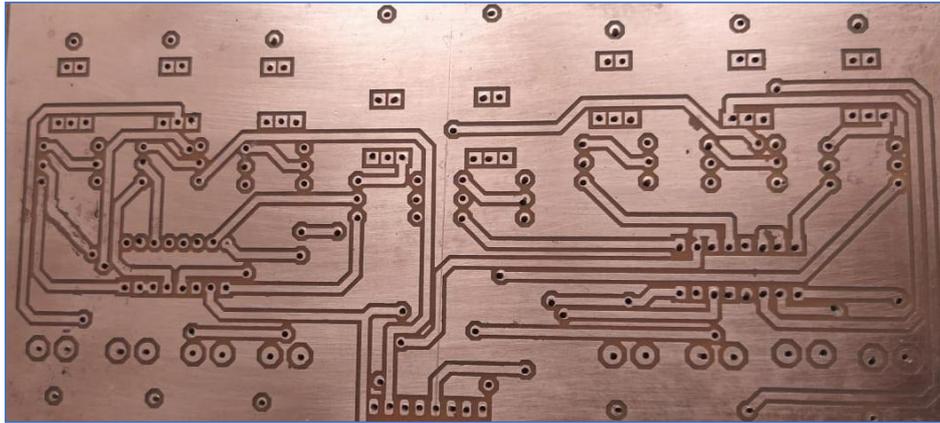


Ilustración 29 Resultado final PCB Fuente: Autores

Finalmente se procede a realizar las perforaciones pertinentes para lo colocación de laca uno de los componentes electrónicos para su posterior soldado, para ello se puede utilizar un taladro de banco, el cual facilita el proceso.

4.2 Diseño y fabricación de carcasas

En la elaboración de la carcasa se utilizó la ayuda de la herramienta SolidWorks, la cual nos brinda una gran variedad de herramientas para diseño y construcción de elementos en tres dimensiones con una interfaz de usuario sencilla y de fácil uso.

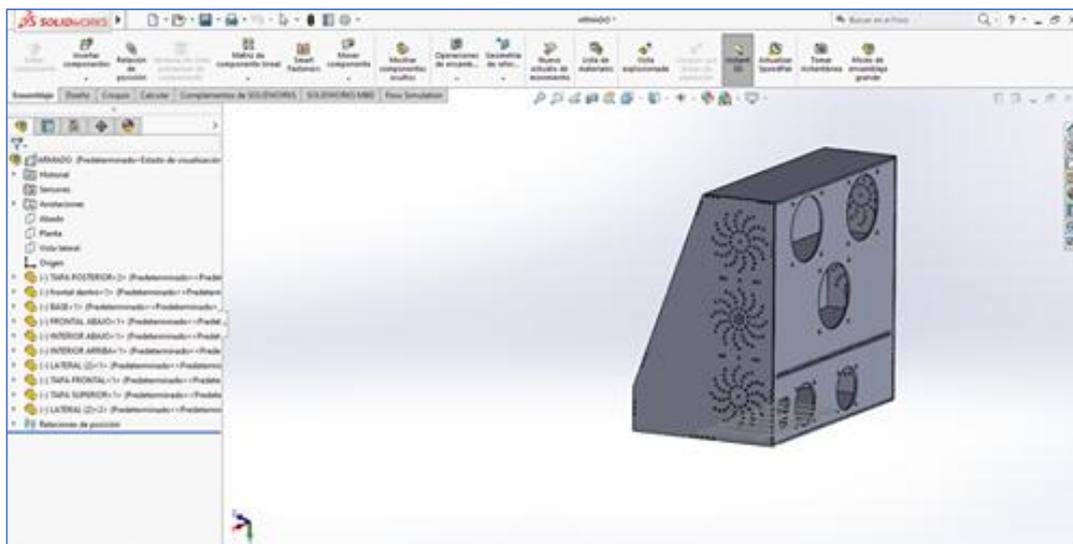


Ilustración 30 Proceso de diseño en SolidWorks. Fuente: Autores

Para el diseño se tomó en cuenta las siguientes consideraciones: la carcasa del sistema debía ser ergonómica, compacta y versátil, permitiendo alojar cada uno de los componentes electrónicos con facilidad de tal manera de que no afectasen en el

funcionamiento de los mismos, además se tenía que incorporar sistemas de ventilación y habitáculos que refrigeren y separen las fuentes de carga de las PCB's de balanceo y descarga de los demás componentes ya que estos elementos en su funcionamiento despiden cantidades de calor considerable que podrían llegar a afectar el funcionamiento de otros componentes, el diseño está conformado por cuatro secciones, en la parte inferior van ubicadas las fuentes de carga. Cada sección esta provista de ventiladores y ductos para el flujo de aire que se encargara de mantener la temperatura de los componentes en un nivel óptimo para su funcionamiento

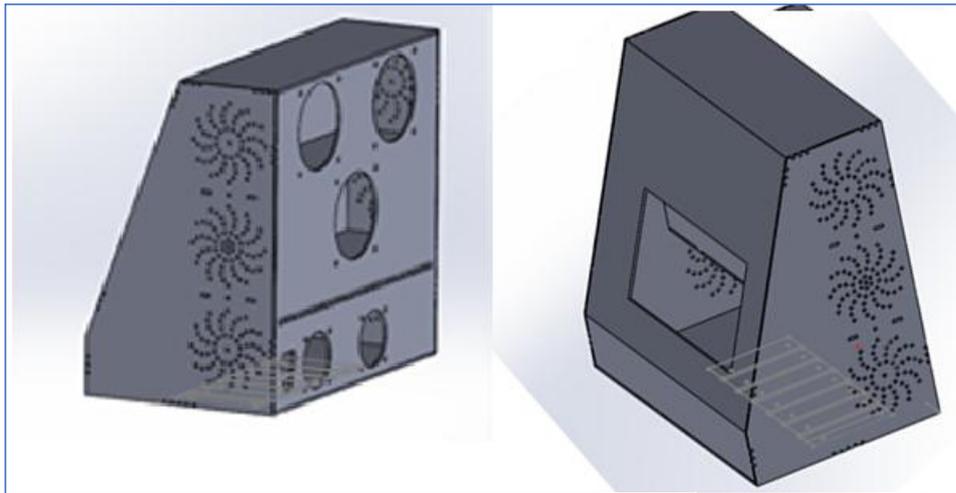


Ilustración 31 Diseño final de la carcasa del sistema. Fuente: Autores

Terminado el proceso de diseño se exporto los planos realizados a un modelo en 2D en la plataforma ilustrador para posteriormente ser enviados a una máquina de corte láser la cual realiza la fabricación de cada uno de los paneles que conforman la carcasa.



Ilustración 32 Proceso de corte láser.

4.3 Diseño de interfaz de usuario y visualización de datos

Para el diseño y elaboración de la interfaz de usuario se utilizó como herramienta la librería de Python Tkinter, la cual permite crear una serie de ventanas emergentes en las que se puede colocar los diferentes botones de control para el sistema y las gráficas a visualizar, además, se utilizó la librería PyQt, la que nos permite desarrollar una interfaz de visualización de datos en tiempo real, lo que facilita en gran medida la monitorización de los parámetros de la batería durante el proceso de reacondicionamiento.

La interfaz está compuesta de 4 ventanas emergente de manera secuencial, que le permiten al usuario elegir entre las diferentes operaciones y configuraciones de baterías para el proceso.

La primera venta muestra una página de inicio que permite al sistema generar un tiempo de espera hasta iniciar todas las configuraciones de conexión y contiene un botón único de inicio.



Ilustración 33 Pantalla de Inicio. Fuente: Autores

Al precionar el botón de inicio se abre una segunda ventana que le permite al operario escoger el ciclo de trabajo que se va a realizar ya sea Carga o Descarga, seleccionado el proceso a realizar se abre una tercera ventana y cierra todas las anteriores, en esta ventana el operario puede seleccionar el tipo de batería y el número de celdas con las que se trabajará.

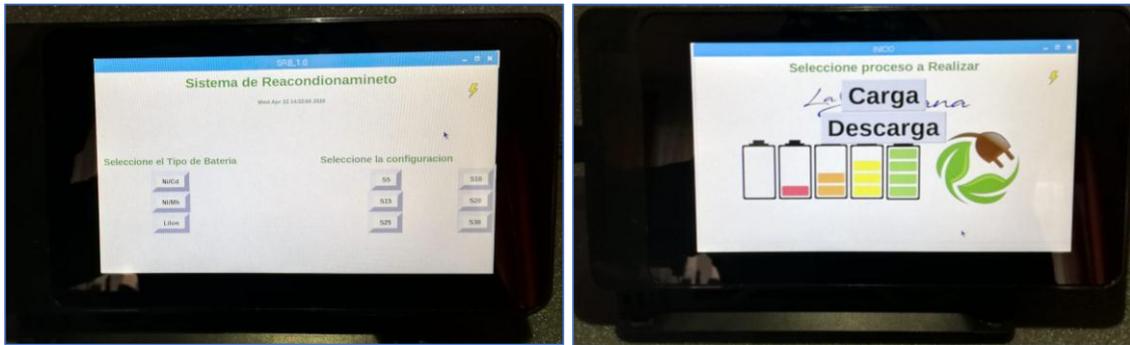


Ilustración 34 Ventanas de selección de operaciones de los ciclos de trabajo. Fuente: Autores

Finalmente, después de seleccionar los parámetros anteriores se abre la interfaz de visualización y monitoreo de datos, en la cual se muestran los datos de los diferentes parámetros de las celdas de batería en unas tablas y además se puede observar las gráficas de los voltajes y corrientes en función del tiempo del ciclo.



Ilustración 35 Interfaz de visualización y monitoreo de parámetros. Fuente: Autores

4.4 Pruebas de funcionamiento de PCB's

4.4.1 Pruebas del sistema de carga

Para el desarrollo de las pruebas de funcionamiento de las fuentes de carga, se sometió al

banco de carga compuesto por 6 fuentes de 48 V. a 0.54 A. a 8 ciclos de trabajo por lapsos de 14 horas continuas cada ciclo, con tiempos de descanso entre ciclo de 24 horas, en estas pruebas se monitorizo de manera constante con ayuda de un multímetro la corriente y tensión suministrada por las fuentes durante las pruebas.

Otro parámetro que se monitorizo dentro de estas pruebas fue la temperatura máxima a la que llegaban las fuentes dentro del ciclo de trabajo, debido a que estas no deben superar temperaturas internas de 48 °C, valor máximo de temperatura de trabajo recomendada por el fabricante para evitar daños en las mismas. Para esto se desarrollaron las pruebas en 2 escenarios diferentes; en el primero se desarrollaron 4 ciclos de trabajo sin ningún sistema de refrigeración externo para disipar el calor producido por el proceso de carga en las fuentes, con la ayuda de un pirómetro de monitorizo la temperatura de cada una de las fuentes durante estos ciclos de trabajo obteniendo una temperatura interna máxima dentro de las fuentes de 45°C, además se pudo determinar que alcanzada esta tempera la tensión suministrada tiende a caer un promedio de 1.2 V por fuente, generando una caída total de tensión de 7.2 V. dentro del banco de carga, representando una pérdida significativa para el sistema.

Para el segundo escenario de pruebas se incorporaron 2 ventiladores que ayuden a disipar el calor generado y enfriar las fuentes, de igual manera se realizaron cuatro ciclos de trabajo en los cuales se obtuvo como resultado una temperatura máxima de 32°C y no se presentó variaciones en la tensión y corriente suministradas por las fuentes



Ilustración 36 Pruebas de funcionamiento del sistema de carga. Fuente: Autores

4.4.2 Pruebas de funcionamiento de circuitos de descarga y balanceo.

Para el desarrollo de las pruebas de funcionamiento de las placas de descarga y balanceo de las celdas, se realizaron 6 ensayos de trabajo prolongado de cada placa por periodos de tiempo de 8 horas continuas de funcionamiento con el fin de garantizar su correcto

funcionamiento y activación, durante las pruebas se monitorizo las corrientes de drenado de energía que genera cada placa, verificando que non excedan los valores establecidos previamente para las fases de balanceo y descarga.

El circuito de balanceo con un voltaje máximo de celda (9.2 V), genera una corriente de descarga de 0.72 A. y alcanza una temperatura máxima de funcionamiento de 60°C por lo que es indispensable un sistema de refrigeración por aire que ayude a disipar el calor generado del drenado de energía de las celdas.

Para el caso del circuito de descarga, nos permite regular las corrientes de descarga en un margen de 0 A. hasta un valor máximo de descarga de 0.83 A., este circuito alcanzo un valor máximo de temperatura en sus transistores y resistencias de drenado de 83°C, por lo que se vio la necesidad de incorporar disipadores de calor de aluminio para los transistores y un sistema de ventiladores que refrigeren las placas durante su funcionamiento, reduciendo la temperatura de funcionamiento a 56 °C, el cual es un valor satisfactorio para el funcionamiento de los elementos que componen el circuito.

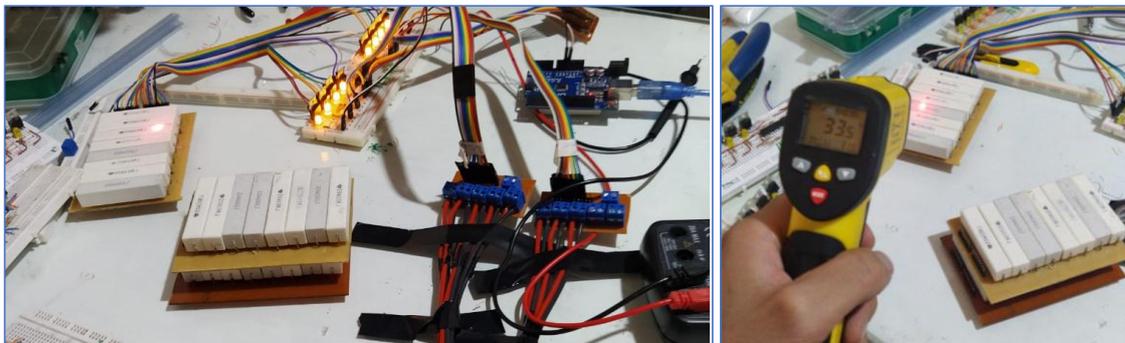


Ilustración 37 Pruebas de funcionamiento placas de descarga y balanceo. Fuente: Autores

4.5 Análisis de parámetros de funcionamiento del sistema.

El objetivo final del BMS incorporado en este proyecto es garantizar que la batería permanezca dentro de los parámetros óptimos de funcionamiento para garantizar la generación de su proceso de recuperación.

Para ello se debe garantizar que el sistema BMS mantenga la permanencia de los parámetros de funcionamiento dentro de los límites establecidos para los procesos de regeneración, por esta razón se ha utilizado la herramienta de análisis y simulación de circuitos eléctricos “Simscape” de Matlab, la cual nos permite simular el comportamiento del sistema de gestión de baterías utilizado en este proyecto, dentro de sus ciclos de trabajo, permitiendo verificar la eficiencia de funcionamiento de los circuitos diseñados.

4.5.1 Simulación del proceso de carga de baterías.

Para el desarrollo de la simulación se ha tomado un modelo de batería compuesta por 10 celdas conectadas en serie, con voltaje nominal por celda de 7.2 V y una capacidad de 6.5 Ah., que deben ser recargadas, el voltaje máximo al final de estas celdas tiene un valor de 8.25 V., el sistema de gestión de carga utilizado en este proyecto está conformado por 2 secciones principales; la primera es la unidad de carga, conformado por una fuente y un controlador de corriente, cuyo esquema se encuentra representado en la ilustración.

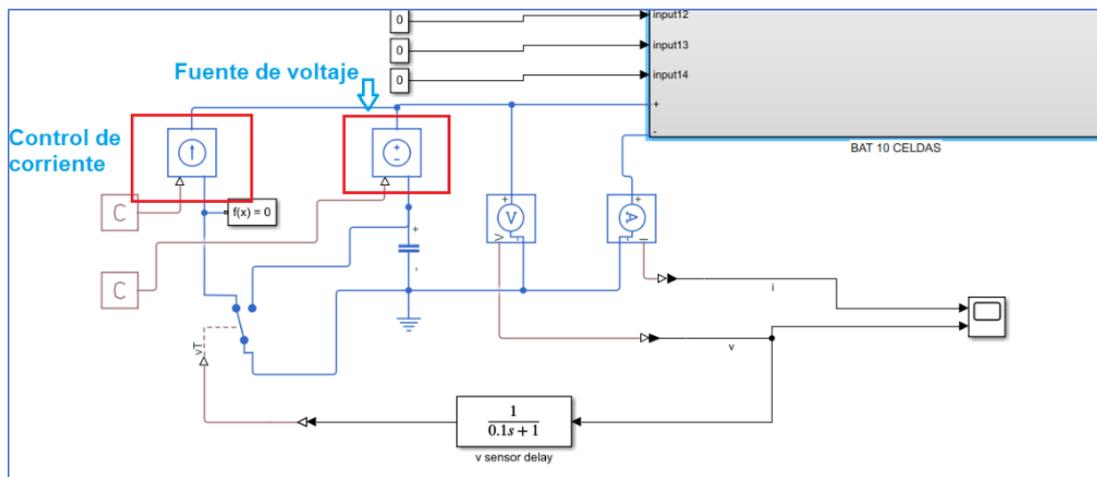


Ilustración 38 Simulación circuito de Carga. Fuente: Autores

El método para la carga utilizado en este modelo es el método conocido como carga a corriente constante/tensión constante, este consiste en controlar la carga de batería utilizando un valor constante de corriente hasta que la batería alcanza una tensión equivalente a la tensión de circuito abierto a plena carga, la cual para el caso de esta simulación se tomara en valor de 8.25 V, una vez alcanzado este nivel de voltaje se pasa a controlar la corriente y esta disminuye progresivamente.

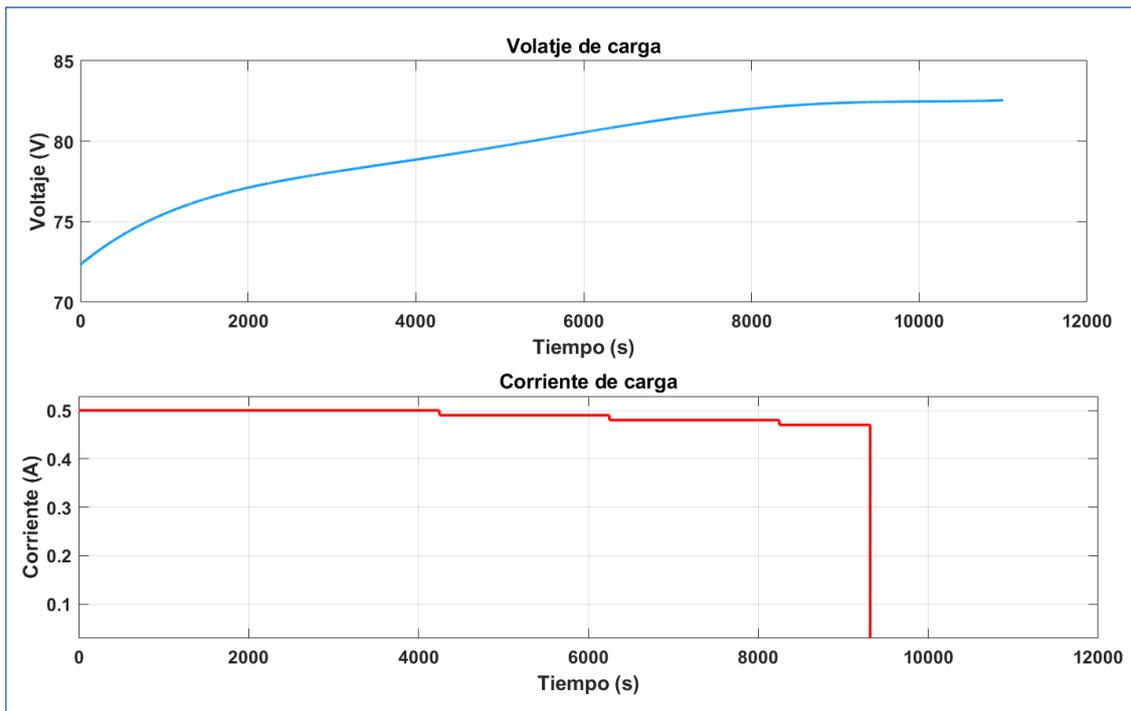


Ilustración 39 Comportamiento de la batería durante la Carga. Fuente: Autores

En la ilustración se puede observar el proceso de carga simulado del sistema, en el cual se empieza el ciclo con una corriente constante de 0.5 A., y un voltaje cercano a 72 V. la tensión de la batería se va incrementando gradualmente hasta alcanzar su tensión máxima a los 8400 segundos de iniciar el proceso, a partir de ese punto la tensión pasa a mantenerse constante y se puede observar como la corriente del sistema va disminuyendo gradualmente, al alcanzar la carga completa de la batería el sistema de detección de fin de carga corta la corriente suministrada a la batería por lo que se observa una caída de corriente agresiva en la gráfica.

4.5.2 Simulación del proceso de descarga de baterías.

Para el proceso de descarga en el sistema, se maneja un circuito de descarga pasivo, es decir, el circuito de descarga va conectado de manera paralela al paquete de celdas de batería, esta toma la energía de la batería y la quema en forma de calor en una resistencia y un Mosfet conectados en serie, esto nos permite tener una descarga controlada y progresiva que mantiene una corriente de descarga máxima de 0.8 A. En el diagrama del circuito de descarga se puede visualizar como está distribuido las baterías para la descarga, dicho circuito está compuesto por un mosfet el cual conmuta la señal para

activar el consumo de la misma, además consta de una resistencia de tipo cerámica la cual es la encargada de drenar o consumir la corriente de cada celda mediante la disipación de calor.

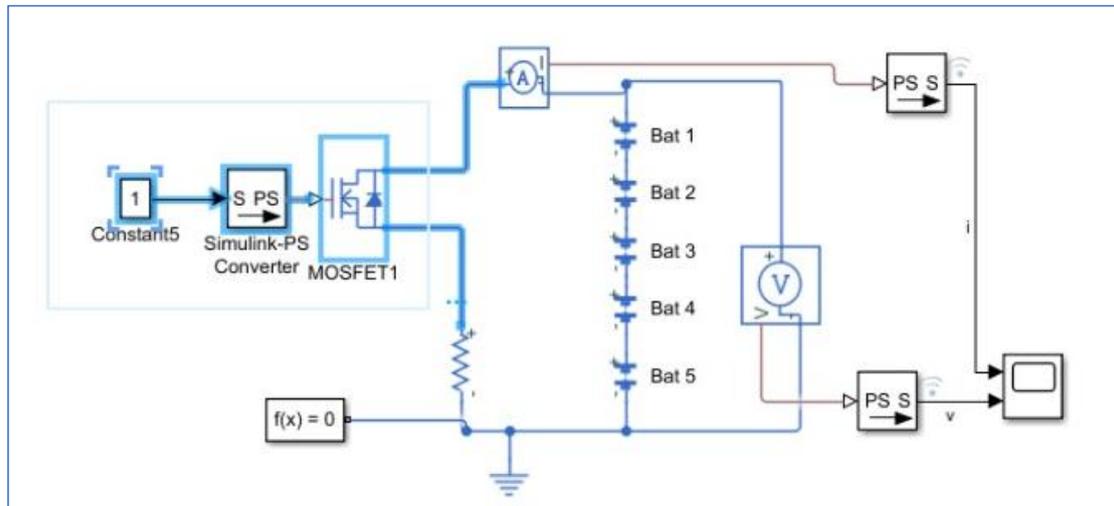


Ilustración 40 Simulación circuito de Descarga. Fuente: Autores

Las baterías cuando están en funcionamiento no poseen un comportamiento ideal, en la ilustración 35 se puede observar el consumo de corriente y voltaje durante la etapa de descarga, en donde existe un fenómeno de saturación que hace que, a medida que exigimos a la batería corriente, se produce una disminución práctica de la capacidad, en donde al ser ocupada una corriente de 0.8A a lo largo de 1.7 horas existe una descarga parcial consumiendo de esta manera corriente y voltaje del pack de baterías.

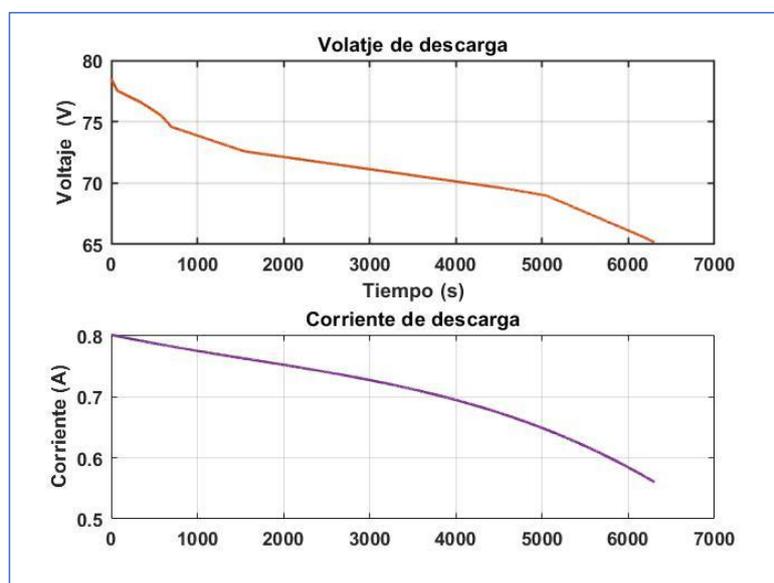


Ilustración 41 Comportamiento de la batería durante la descarga. Fuente: Autores

5 CONCLUSIONES

- Gracias a la información recopilada basándonos en el estado de arte fue de gran asistencia, ya que pudimos analizar las características de dichas baterías, esto corroborando y ampliando la información con ayuda de fichas técnicas, papers y guías de usuario obteniendo mayor información y pudiendo sintetizar las propiedades, comportamiento y los elementos que posee la batería.
- El estado de la batería se obtuvo en el proceso de reacondicionamiento, gracias al software diseñado en Python se obtuvo la gráfica de la corriente de la batería, concordando con el valor que nos dice el fabricante de 0.7 A. y con un voltaje de 230 V., obtenidos estos datos se procede a realizar la carga correspondiente a 0.75 A., si este valor es parecido al de descarga quiere decir que la batería se está desempeñando correctamente, garantizando de esta manera que la batería puede retener carga eléctrica conservando sus propiedades de funcionamiento.
- A través de estos procesos se concluye que las baterías que se encuentran defectuosas o también debido a averías en las cargas y descargas del sistema híbrido pudiendo ser reacondicionar, prolongando así la vida útil de la batería.
- Es de gran aporte al medio ambiente ya que se reduce significativamente su impacto ante el mismo, pudiendo ser reutilizadas dichas baterías de alto voltaje.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abonzini, U. (2018). Optimal Modular BMS for High Performances NMC Battery Pack. *IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and road Vehicles & International Transportation Electrification Conference*.
- Artes, D. (14 de Marzo de 2012). *Estado de la tecnología del automóvil*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/tecmovial/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>
- Augeri, F. (2012 de Diciembre de 2012). *Estado de carga SOC*. Obtenido de <http://www.cise.com/porta/notes-technical/item/583-estado-de-carga-soc-state-of-charge.html>
- AUTOMOTIVE, H. (2018). Obtenido de <https://hybridautomotive.com/pages/recon>
- Burgos, C. (2013). Estimación del estado de carga para un banco de baterías basada en

- modelación difusa y filtro extendido de Kalman. Chile: Universidad de Chile.
- Caiche, R. (Septiembre de 2015). ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE BATERÍAS DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS MODELO A. Guayaquil, Ecuador: UIDE.
- Camarillo, D. (2016). Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187220/vehiculohibrido_1_260117.pdf
- Carter, B., Matsumoto, J., Prater, A., & Smith, D. (1996). Lithium ion battery performance and charge control. *Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, 363-368.
- Christian., L. A. (2018). *Accurate High Direct Current Measurements for Industry*. ,Paris.
- Ebrahimi, S., Taghavi, M., Tahami, F., & Oraee, H. (2014). A single-phase integrated bidirectional plug-in hybrid electric vehicle battery charger. *40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1137-1142.
- Florez, E. ((2010)). *Instrucciones de Uso y Seguridad para baterías LIPO (Polímero de LITIO)*. HIMODEL. (2012).
- Gago, G. E. (2017). *Diseño y desarrollo del BMS de un monoplace de Formula Student Electric* . Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla .
- Gao, A., Zhang, F., Fu, Z., Zhang, Z., & Li, H. (2017). The SOC estimation and simulation of power battery based on self-recurrent wavelet neural network. *Chinese Automation Congress (CAC)*, 4247-4252.
- García-Plaza, M., Carrasco, J. E.-G., & Alonso-Martínez, J. (2015). *State of charge estimation model for Ni-Cd batteries considering capacity and efficiency*.
- GMDSS. (s.f.). Obtenido de <https://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/resource/view.php?id=815>
- Gomez, R. (25 de 06 de 2015). Método para regenerar baterías de ni-mh. Bluelife Battery SL.
- Iza, H., & Pozo, E. (junio de 2017). Estudio de la incidencia de la carga en la equalización de los packs de baterías de alta tensión en vehículos híbridos para estimar la durabilidad, rendimiento y pos uso . Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Liu, F., Ma, J., Su, W., Dou, R., & Xia, C. (2019). SOC Estimation Algorithm Based on Dynamic Online Identification of Battery Model Parameters. *Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 1658-1663.
- M. A. Boukhal, I. L. (2019). *Implementation of a lithium-ion battery state of charge estimation algorithm for BMS on the real time target NI myRio*, I. Marocco: M. A. Boukhal, I. Lagrat and O. Elbannay, "Implementation of a lithium-ion battery state of charge estimation algorithm for BMS on the real time target NI myRio," 2019 International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems.

- M. Gonzalez, M. A. (2002). *Ni-Cd and Ni-MH battery optimized fast-charge method for portable telecommunication applications*. Boston, MA, USA, USA: IEEE.
- M. Sanoh, A. M. (2017). "A calibration method for a commercial coaxial shunt at high pulse current . Conference on Precision.
- Motorpasion. (5 de Junio de 2018). Obtenido de <https://www.motorpasion.com/industria/el-freno-al-coche-electrico-no-es-su-precio-ni-las-infraestructuras-sino-los-concesionarios-segun-un-estudio>
- Movilidad, E. (27 de Julio de 2018). *Tipos de baterías para coches eléctricos*. Obtenido de <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>
- Padrón, F. (2013). Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1536/MANUAL%20DE%20B%C3%9ASQUEDA%20R%C3%81PIDA%20PARA%20BATER%C3%8DAS.pdf> ?
- Robaldo, A. (6 de Abril de 2018). *Configuraciones de Baterías en Serie y Paralelo*. Obtenido de https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/bu_302_configuraciones_de_baterias_en_serie_y_paralelo
- Saavedra, J., & Sibri, G. (2018). Analisis del comportamiento de baterías usadas en vehiculos híbridos durante el proceso de recuperacion. Cuenca.
- Simpson, C. (2018). *BATTERY CHARGING*. Texas: National Semiconductor.
- Temple, J. (4 de Octubre de 2011). *MIT Technology review*. Obtenido de <https://www.technologyreview.es/s/2252/una-forma-sencilla-de-aumentar-la-capacidad-de-las-baterias>
- Toyota. (6 de Septiembre de 2016). *Baterías Híbridas*. Obtenido de <http://www.toyoimport.com/baterias-hibridas/>
- Villareal, D. (25 de Octubre de 2017). *DIARIOMOTOR*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/01/02/el-ciclo-de-la-vida-y-las-baterias-del-toyota-prius/>
- Zhang, P. c. (2011). Efficiency of a Ni-MH Battery Used in Hybrid Electric Vehicles. School of Automotive Engineering.

7 ANEXOS

7.1 Layout PCB

En esta sección se recopila las placas utilizadas en el proyecto, así como también su respectiva conexión y representación en 3D en el programa Proteus 8 Professional

7.1.1 Placa 1

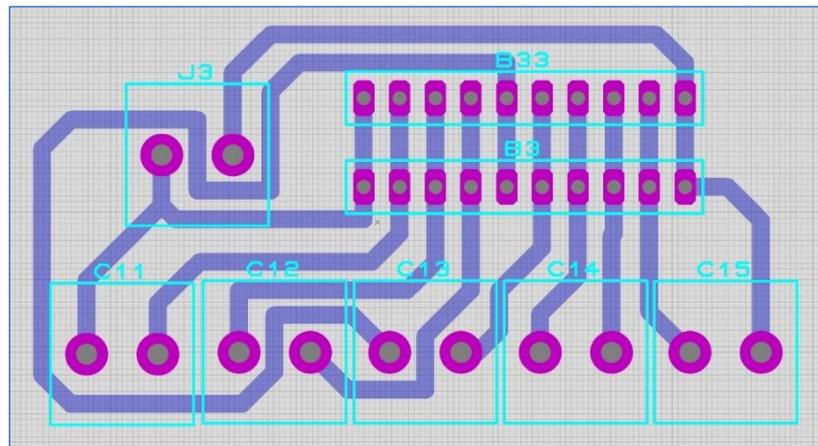


Ilustración 42 PCB placa conexión. Fuente: Autores

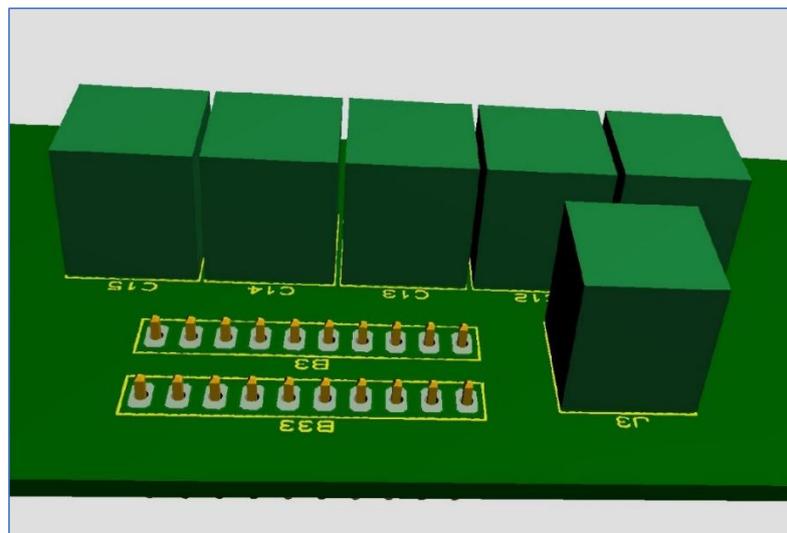


Ilustración 43 3D placa conexión. Fuente: Autores

7.1.2 Placa 2

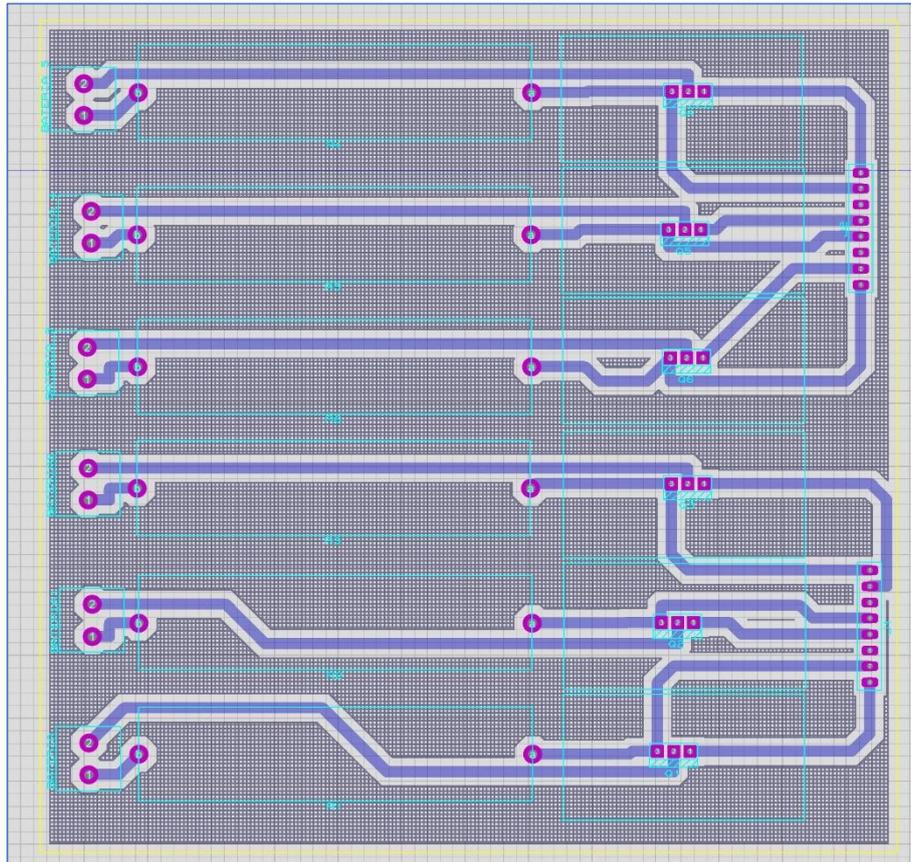


Ilustración 44 PCB placa balanceadores. Fuente: Autores

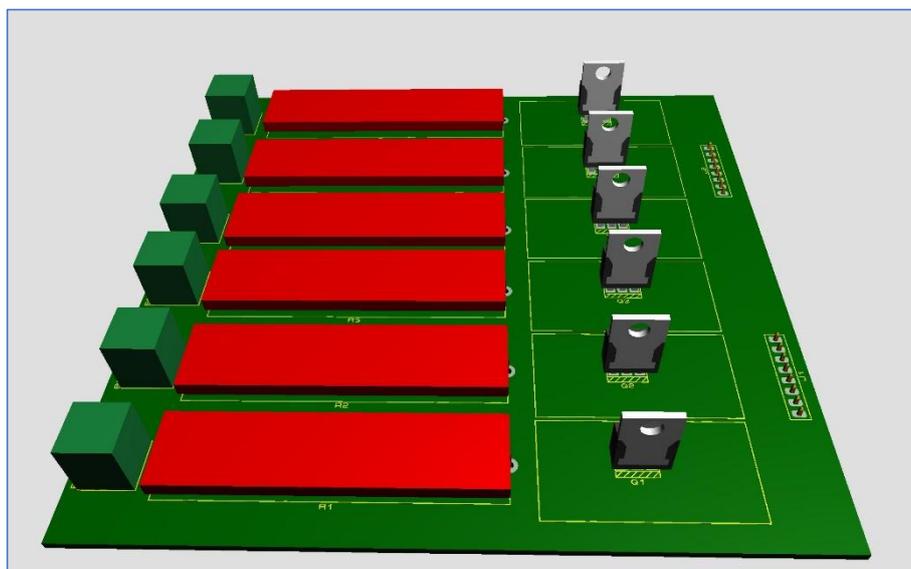


Ilustración 45 3D placa balanceadores. Fuente: Autores

7.1.3 Placa 3

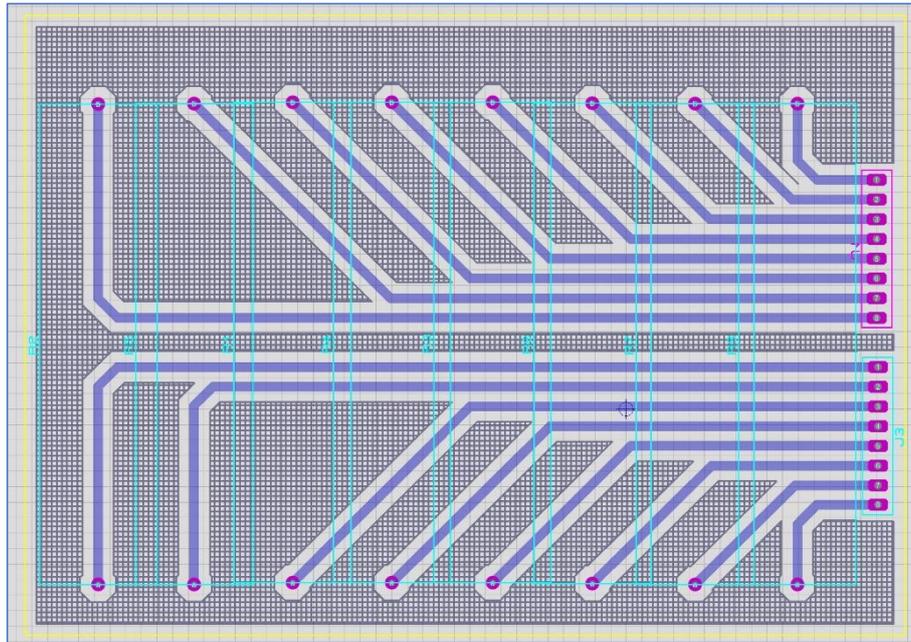


Ilustración 46 PCB placa resistencias. Fuente: Autores

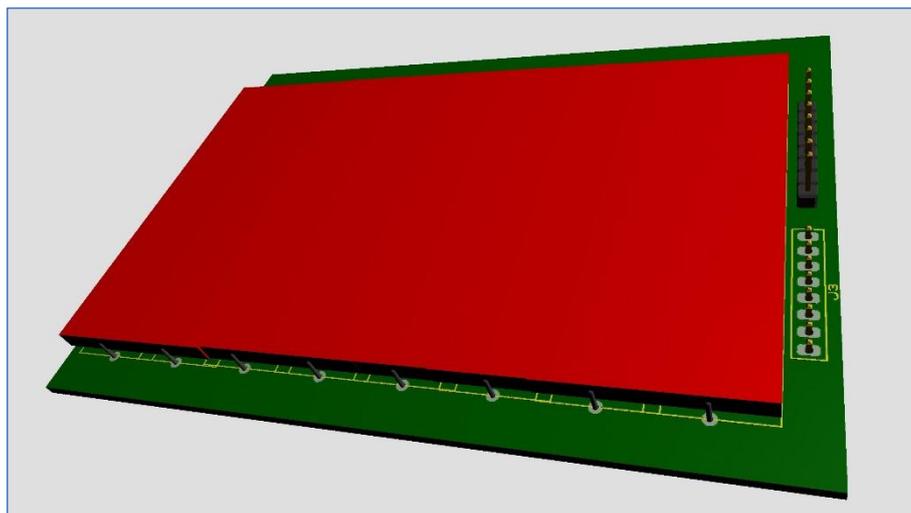


Ilustración 47 3D placa resistencias. Fuente: Autores

7.1.4 Placa 4

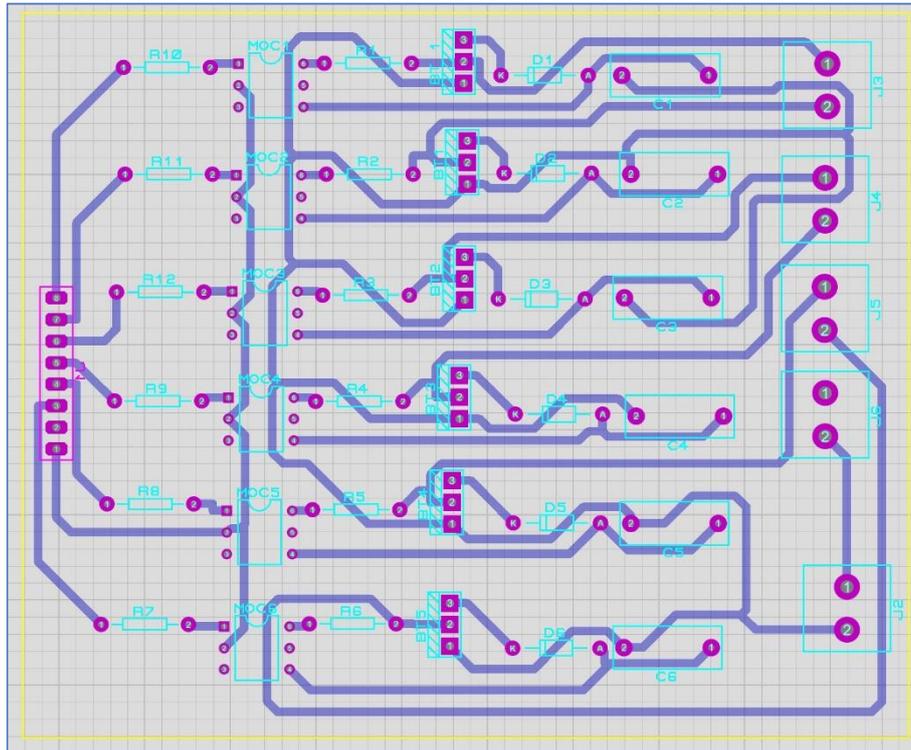


Ilustración 48 PCB placa control de fuentes. Fuente: Autores

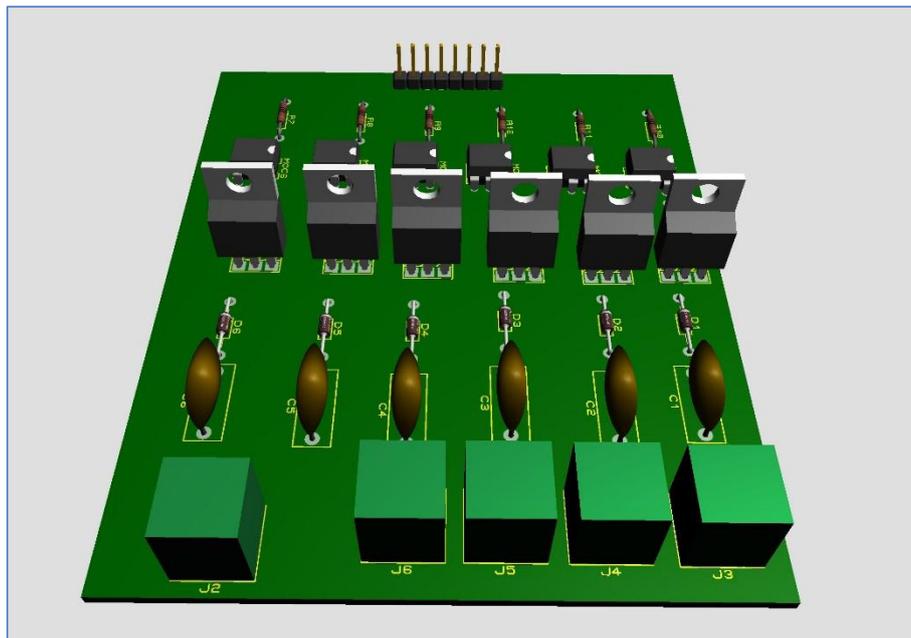


Ilustración 49 3D placa control de fuentes. Fuente: Autores

7.1.5 Placa 5

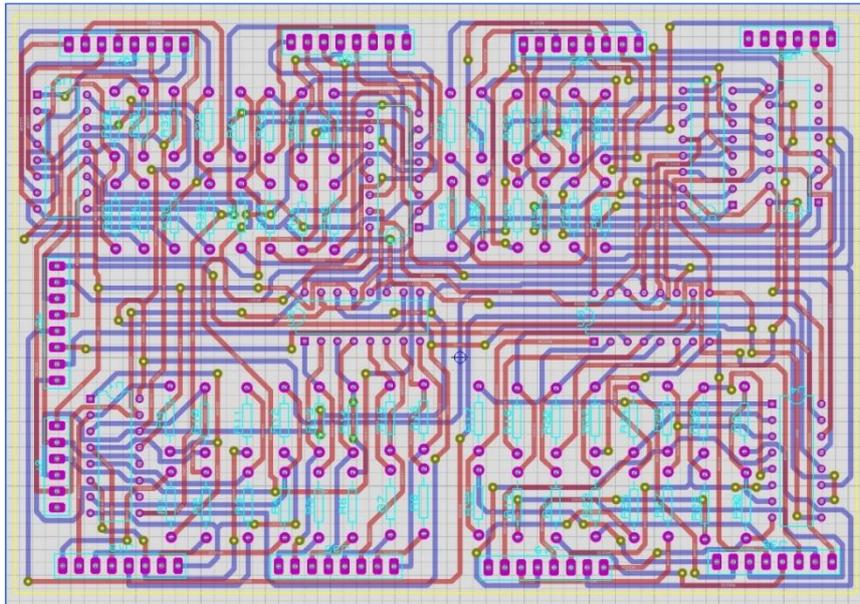


Ilustración 50 PCB placa de control. Fuente: Autores

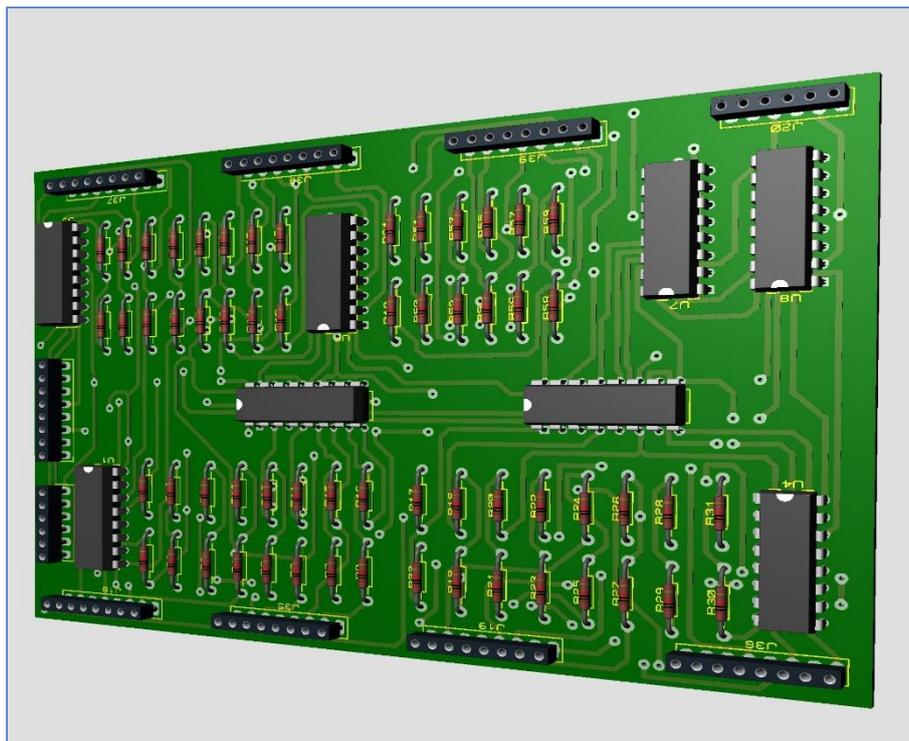


Ilustración 51 3D placa de control. Fuente: Autores

7.1.6 Placa 6

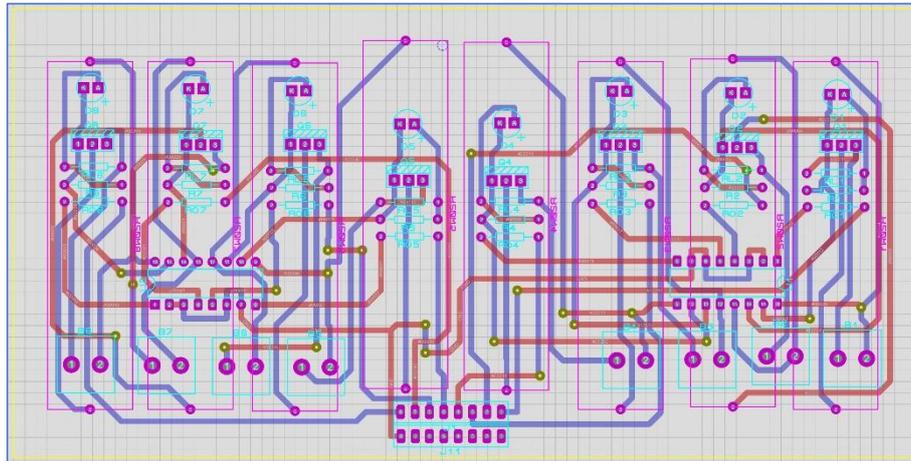


Ilustración 52 PCB placa de descarga. Fuente: Autores

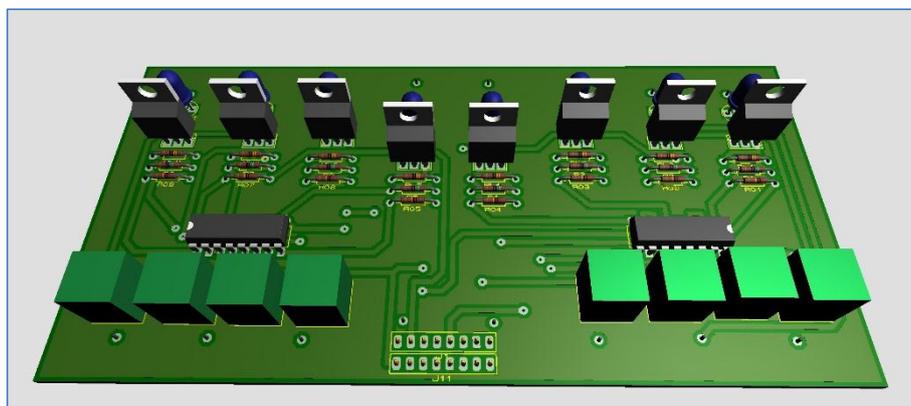


Ilustración 53 3D placa de descarga. Fuente: Autores

7.1.7 Placa 7

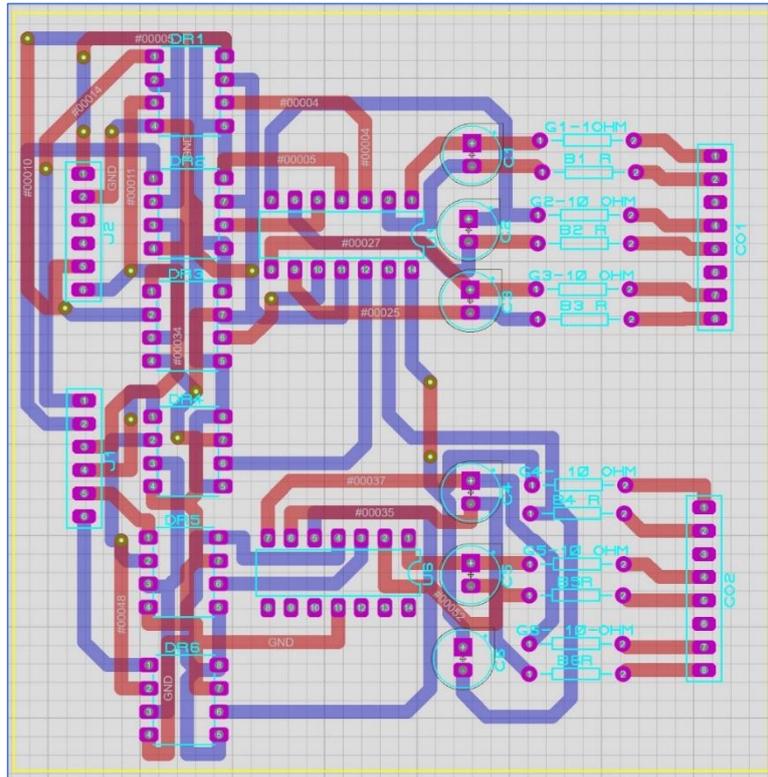


Ilustración 54 PCB placa carga. Fuente: Autores

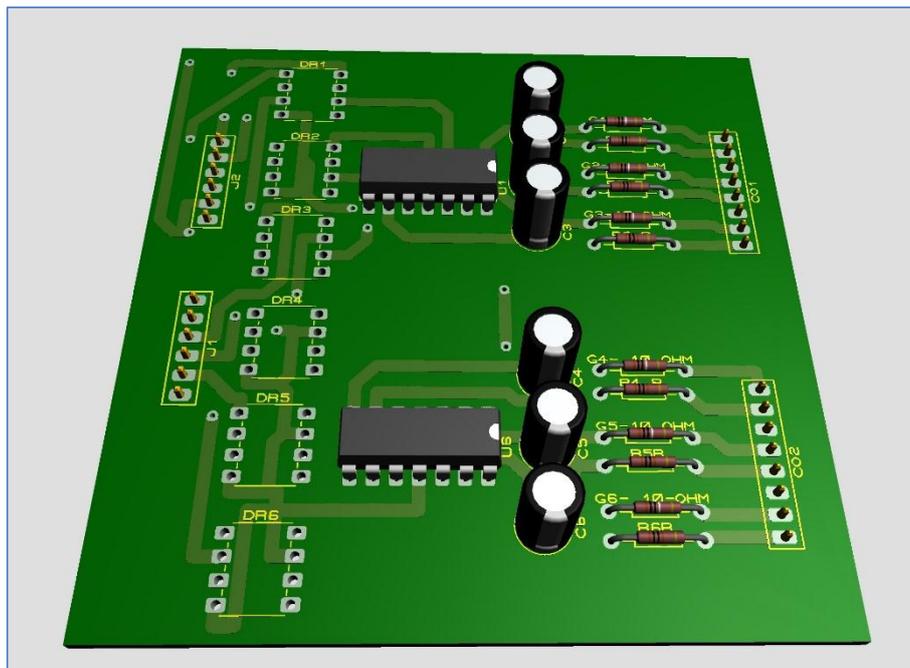


Ilustración 55 3D placa carga. Fuente: Autores

7.2 Programación

```
#include <MCP3304.h>
#include <SPI.h>
int reading;
float v1;
float v2;
float v3;
float v4;
float v5;
float v6;
float v7;
float v8;
float v9;
float v10;
float v11;
float v12;
float v13;
float v14;
float v15;
float v16;
float v17;
float v18;
float v19;
float v20;
float v21;
float v22;
float v23;
float v24;
float v25;
float v26;
float v27;
float v28;
float v29;
float v30;
float vtotal;
char val;
```

```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  val=Serial.read();
  switch(val){
case'A':
digitalWrite (6, HIGH );
digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, HIGH );
digitalWrite (10, HIGH );
digitalWrite (11, HIGH );
digitalWrite (12, HIGH );
digitalWrite (13, HIGH );
MCP3304 adc1(6); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc1.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
  v1 = reading / 4096.0 * 5.0;
  Serial.print(v1, 3);
  Serial.print(" ");
  reading = adc1.readDiff(3); //read DIFF data with CH3=IN+ and CH2=IN-
v2 = reading / 4096.0 * 5.0;
  Serial.print(v2, 3);
  Serial.print(" ");
reading = adc1.readDiff(5); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
  v3 = reading / 4096.0 * 5.0;
  Serial.print(v3, 3);
  Serial.print(" ");
  //delay for 1s so you dont get to much lines in the serial monitor
reading = adc1.readDiff(7); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
  v4 = reading / 4096.0 * 5.0;
  Serial.print(v4, 3);
  Serial.println(" ");
  digitalWrite (6, HIGH );

```

```

digitalWrite (7, LOW );
delay(50);
MCP3304 adc2(7); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc2.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v5 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v5, 3);
Serial.println(" ");
digitalWrite (6, HIGH );
vtotal=(v1+v2+v3+v4+v5)
delay(950);
case 'B'
digitalWrite (6, HIGH );
digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, HIGH );
digitalWrite (10, HIGH );
digitalWrite (11, HIGH );
digitalWrite (12, HIGH );
digitalWrite (13, HIGH );
MCP3304 adc1(6); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc1.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v1 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v1, 3);
Serial.print(" ");
  reading = adc1.readDiff(3); //read DIFF data with CH3=IN+ and CH2=IN-
v2 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v2, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc1.readDiff(5); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
v3 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v3, 3);
Serial.print(" ");
  //delay for 1s so you dont get to much lines in the serial monitor
reading = adc1.readDiff(7); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
v4 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v4, 3);
Serial.print(" ");

```

```

    digitalWrite (6, HIGH );
digitalWrite (7, LOW );
delay(50);
MCP3304 adc2(7); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc2.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v5 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v5, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v6 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v6, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v7 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v7, 3);
Serial.println(" ");
reading = adc2.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v8 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v8, 3);
Serial.print(" ");
    digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc3(8); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc3.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v9 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v9, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v10 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v10, 3);
Serial.println(" ");
digitalWrite (8, HIGH );
delay(950);
case 'c'
digitalWrite (6, HIGH );

```

```

digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, HIGH );
digitalWrite (10, HIGH );
digitalWrite (11, HIGH );
digitalWrite (12, HIGH );
digitalWrite (13, HIGH );

MCP3304 adc1(6); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc1.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
    v1 = reading / 4096.0 * 5.0;
    Serial.print(v1, 3);
    Serial.print(" ");
    reading = adc1.readDiff(3); //read DIFF data with CH3=IN+ and CH2=IN-
    v2 = reading / 4096.0 * 5.0;
    Serial.print(v2, 3);
    Serial.print(" ");
    reading = adc1.readDiff(5); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
    v3 = reading / 4096.0 * 5.0;
    Serial.print(v3, 3);
    Serial.print(" ");
    //delay for 1s so you dont get to much lines in the serial monitor
    reading = adc1.readDiff(7); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
    v4 = reading / 4096.0 * 5.0;
    Serial.print(v4, 3);
    Serial.print(" ");
    digitalWrite (6, HIGH );
    digitalWrite (7, LOW );
    delay(50);
MCP3304 adc2(7); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc2.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
    v5 = reading / 4096.0 * 5.0;
    Serial.print(v5, 3);
    Serial.print(" ");
    reading = adc2.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
    v6 = reading / 4096.0 * 5.0;
    Serial.print(v6, 3);

```

```

Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v7 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v7, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v8 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v8, 3);
Serial.print(" ");
    digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, LOW );
delay(50);
MCP3304 adc3(8); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc3.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v9 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v9, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v10 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v10, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc3.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v11 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v11, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v12 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v12, 3);
Serial.print(" ");
    digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc4(9); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc4.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v13 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v13, 3);

```

```

Serial.print(" ");
reading = adc4.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v14 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v14, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc4.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v15 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v15, 3);
Serial.println(" ");
digitalWrite (8, HIGH );
delay(950);
case 'd'
    digitalWrite (6, HIGH );
    digitalWrite (7, HIGH );
    digitalWrite (8, HIGH );
    digitalWrite (9, HIGH );
    digitalWrite (10, HIGH );
    digitalWrite (11, HIGH );
    digitalWrite (12, HIGH );
    digitalWrite (13, HIGH );

MCP3304 adc1(6); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc1.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v1 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v1, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc1.readDiff(3); //read DIFF data with CH3=IN+ and CH2=IN-
v2 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v2, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc1.readDiff(5); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
v3 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v3, 3);
Serial.print(" ");
    //delay for 1s so you dont get to much lines in the serial monitor
reading = adc1.readDiff(7); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
v4 = reading / 4096.0 * 5.0;

```

```

Serial.print(v4, 3);
Serial.print(" ");
  digitalWrite (6, HIGH );
digitalWrite (7, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc2(7); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc2.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v5 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v5, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v6 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v6, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v7 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v7, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v8 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v8, 3);
Serial.println(" ");
  digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc3(8); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc3.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v9 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v9, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v10 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v10, 3);
Serial.print(" ");
  reading = adc3.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-

```

```

v11 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v11, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v12 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v12, 3);
Serial.print(" ");
    digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc4(9); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc4.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v13 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v13, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc4.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v14 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v14, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc4.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v15 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v15, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc4.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v16 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v16, 3);
Serial.print(" ");
    digitalWrite (9, HIGH );
digitalWrite (10, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc5(10); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc5.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v17 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v17, 3);
Serial.print(" ");

```

```

reading = adc5.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v18 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v18, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc5.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v19 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v19, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc5.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v20 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v20, 3);
Serial.println(" ");
digitalWrite (10 , HIGH );
delay(950);
case 'e'
digitalWrite (6, HIGH );
digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, HIGH );
digitalWrite (10, HIGH );
digitalWrite (11, HIGH );
digitalWrite (12, HIGH );
digitalWrite (13, HIGH );

MCP3304 adc1(6); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc1.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v1 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v1, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc1.readDiff(3); //read DIFF data with CH3=IN+ and CH2=IN-
v2 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v2, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc1.readDiff(5); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
v3 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v3, 3);
Serial.print(" ");

```

```

//delay for 1s so you dont get to much lines in the serial monitor
reading = adc1.readDiff(7); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-
v4 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v4, 3);
Serial.print(" ");
digitalWrite (6, HIGH );
digitalWrite (7, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc2(7); //creat an instance with pin 12 as CS
reading = adc2.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v5 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v5, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v6 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v6, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v7 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v7, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v8 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v8, 3);
Serial.print(" ");
digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc3(8); //creat an instance with pin 12 as CS
reading = adc3.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v9 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v9, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v10 = reading / 4096.0 * 5.0;

```

```

Serial.print(v10, 3);
Serial.print(" ");
  reading = adc3.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v11 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v11, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v12 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v12, 3);
Serial.print(" ");
  digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, LOW );
delay(50);

```

```

MCP3304 adc4(9); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc4.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v13 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v13, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc4.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v14 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v14, 3);
Serial.print(" ");
  reading = adc4.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v15 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v15, 3);
Serial.print(" ");
  reading = adc4.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v16 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v16, 3);
Serial.print(" ");
  digitalWrite (9, HIGH );
digitalWrite (10, LOW );
delay(50);

```

```

MCP3304 adc5(10); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc5.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-

```

```

v17 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v17, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc5.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v18 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v18, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc5.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v19 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v19, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc5.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v20 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v20, 3);
Serial.print(" ");
digitalWrite (10 , HIGH );
digitalWrite (11, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc6(11); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc6.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v21 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v21, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc6.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v22 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v22, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc6.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v23 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v23, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc6.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v24 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v24, 3);
Serial.print(" ");
digitalWrite (11 , HIGH );

```

```
digitalWrite (12, LOW );  
delay(50);
```

```
MCP3304 adc7(12); //creat an instance with pin 12 as CS  
  reading = adc7.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-  
v25 = reading / 4096.0 * 5.0;  
Serial.print(v25, 3);  
Serial.println(" ");  
digitalWrite (12 , HIGH );  
delay(950);  
case 'f'  
  digitalWrite (6, HIGH );  
  digitalWrite (7, HIGH );  
  digitalWrite (8, HIGH );  
  digitalWrite (9, HIGH );  
  digitalWrite (10, HIGH );  
  digitalWrite (11, HIGH );  
  digitalWrite (12, HIGH );  
  digitalWrite (13, HIGH );
```

```
MCP3304 adc1(6); //creat an instance with pin 12 as CS  
  reading = adc1.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-  
v1 = reading / 4096.0 * 5.0;  
Serial.print(v1, 3);  
Serial.print(" ");  
  reading = adc1.readDiff(3); //read DIFF data with CH3=IN+ and CH2=IN-  
v2 = reading / 4096.0 * 5.0;  
Serial.print(v2, 3);  
Serial.print(" ");  
reading = adc1.readDiff(5); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-  
v3 = reading / 4096.0 * 5.0;  
Serial.print(v3, 3);  
Serial.print(" ");  
  //delay for 1s so you dont get to much lines in the serial monitor  
reading = adc1.readDiff(7); //read DIFF data with CH0=IN+ and CH1=IN-  
v4 = reading / 4096.0 * 5.0;  
Serial.print(v4, 3);
```

```

Serial.print(" ");
  digitalWrite (6, HIGH );
digitalWrite (7, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc2(7); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc2.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v5 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v5, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v6 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v6, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v7 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v7, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc2.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v8 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v8, 3);
Serial.print(" ");
  digitalWrite (7, HIGH );
digitalWrite (8, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc3(8); //creat an instance with pin 12 as CS
  reading = adc3.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v9 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v9, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v10 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v10, 3);
Serial.print(" ");
  reading = adc3.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v11 = reading / 4096.0 * 5.0;

```

```

Serial.print(v11, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc3.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v12 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v12, 3);
Serial.print(" ");
    digitalWrite (8, HIGH );
digitalWrite (9, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc4(9); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc4.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v13 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v13, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc4.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v14 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v14, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc4.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v15 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v15, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc4.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v16 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v16, 3);
Serial.print(" ");
    digitalWrite (9, HIGH );
digitalWrite (10, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc5(10); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc5.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v17 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v17, 3);
Serial.print(" ");
reading = adc5.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-

```

```

v18 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v18, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc5.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v19 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v19, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc5.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v20 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v20, 3);
Serial.print(" ");
digitalWrite (10 , HIGH );
digitalWrite (11, LOW );
delay(50);

```

```

MCP3304 adc6(11); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc6.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v21 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v21, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc6.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v22 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v22, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc6.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v23 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v23, 3);
Serial.print(" ");
    reading = adc6.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v24 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v24, 3);
Serial.print(" ");
digitalWrite (11 , HIGH );
digitalWrite (12, LOW );
delay(50);

```

```

MCP3304 adc7(12); //creat an instance with pin 12 as CS

```

```

    reading = adc7.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v25 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v25, 3);
Serial.print(" ");

    reading = adc7.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v26 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v26, 3);
Serial.print(" ")

    reading = adc7.readDiff(5); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v27 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v27, 3);
Serial.print(" ")

    reading = adc7.readDiff(7); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v28 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v28, 3);
Serial.print(" ")
digitalWrite (12 , HIGH );
digitalWrite (13, LOW );
delay(50);

MCP3304 adc8(13); //creat an instance with pin 12 as CS
    reading = adc8.readDiff(1); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v29 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v29, 3);
Serial.print(" ");

    reading = adc8.readDiff(3); //read DIFF data with CH1=IN+ and CH0=IN-
v30 = reading / 4096.0 * 5.0;
Serial.print(v30, 3);
Serial.print(" ")
delay(950);
}
}

```