



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**"IMPLEMENTACIÓN DE UN PACK DE BATERÍAS
RECICLADAS DE ION-LITIO EN UNA MOTONETA ELÉCTRICA
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ"**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

EDWIN MARCELO GUANOLUISA PASTUÑA

FREDY GONZALO BUSTOS APOLO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**"IMPLEMENTACIÓN DE UN PACK DE BATERÍAS
RECICLADAS DE ION-LITIO EN UNA MOTONETA ELÉCTRICA
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ"**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: EDWIN MARCELO GUANOLUISA PASTUÑA

FREDY GONZALO BUSTOS APOLO

DIRECTOR: Ing. CELIN ABAD PADILLA PADILLA

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Edwin Marcelo Guanoluisa Pastuña & Fredy Gonzalo Bustos Apolo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.


Nosotros, EDWIN MARCELO GUANOLUISA PASTUÑA y FREDY GONZALO BUSTOS APOLO, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de julio de 2022



Edwin Marcelo Guanoluisa Pastuña
050396086-6



Fredy Gonzalo Bustos Apolo
070574210-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **IMPLEMENTACIÓN DE UN PACK DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION-LITIO EN UNA MOTONETA ELÉCTRICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **EDWIN MARCELO GUANOLUISA PASTUÑA y FREDY GONZALO BUSTOS APOLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales; en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-07-12
Ing. Celin Abad Padilla Padilla DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-07-12
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-07-12

DEDICATORIA

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico a Dios por permitirme culminar esta nueva etapa de mi vida, por darme salud y fuerza para lograr esta meta. A mi madre que siempre me impartió consejos, cariño, todo su esfuerzo para no rendirme nunca, a mi padre que desde el cielo va a estar orgulloso de mi y bendiciéndome en cada momento, con todo mi corazón agradezco a mi padre por cuidarme y ayudarme, este logro fue el anhelo de mi padre y madre les doy gracias por permitirme conseguir este sueño, a mis hermanas y hermano que me ayudaron enormemente a seguir adelante y siempre cuidarme en los momentos más difíciles, a toda mi familia por apoyarme, guiarme por un buen camino, y a mi mejor amigo Santiago que desde su partida al cielo me dejó buenos consejos que me ayudaron en mi vida universitaria y me enseñó el significado de una verdadera amistad.

Edwin

AGRADECIMIENTO

A todos nuestros amigos y conocidos que nos aportaron sus experiencias y conocimientos en toda nuestra vida universitaria. El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darnos la oportunidad de formar parte de esta noble institución, además de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad.

Edwin y Fredy

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Planteamiento del problema.....	3
1.3.	Justificación.....	4
1.4.	Objetivos.....	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1.	Estado del arte.....	6
2.2.	Bases teóricas.....	7
2.2.1.	<i>Celda de litio 18650</i>	7
2.2.1.1.	<i>Concepto de celdas Ion-Litio</i>	7
2.2.1.2.	<i>Especificaciones y Características de la celda ion-litio 18650</i>	12
2.2.1.3.	<i>Sistema de seguridad de la batería 18650</i>	13
2.2.1.4.	<i>Carga y descarga de la batería Ion-Litio 18650</i>	14
2.2.1.5.	<i>Eficiencia de Coulomb</i>	17
2.2.1.6.	<i>Aplicaciones de las baterías 18650</i>	17
2.2.2.	<i>Configuración Serie-Paralelo de celdas 18650</i>	18
2.2.2.1.	<i>Conexión en serie de celdas (S)</i>	19
2.2.2.2.	<i>Conexión en paralelo de celdas (P)</i>	20
2.2.2.3.	<i>Balance de celdas por capacidad de descarga</i>	21

2.2.2.4.	<i>Combinación en paralelo de celdas de diferente capacidad</i>	22
2.2.3.	Sistema de gestión de baterías (BMS)	25
2.2.3.1.	<i>Concepto</i>	25
2.2.3.2.	<i>Diagrama de conexión del BMS</i>	27
2.2.3.3.	<i>BMS automotriz</i>	28
2.2.4.	Pruebas de funcionamiento de las celdas de litio	29
2.2.4.1.	<i>Tipo de pruebas</i>	29
2.2.4.2.	<i>Cargadores para celdas de litio 18650</i>	29
2.2.4.3.	<i>Procedimiento y análisis de las celdas recicladas</i>	31
2.3.	Marco legal	32
2.3.1.	Logística y reciclaje de las baterías de computadoras portátiles	32
2.3.1.1.	<i>Leyes sobre el uso de residuos de baterías y la gestión ambiental</i>	32
2.3.1.2.	<i>Norma NTE INEN2534:2011</i>	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	35
3.1.	Diagrama de etapas del proyecto	35
3.2.	Metodología de la investigación	36
3.3.	Desarrollo del proyecto	39
3.3.1.	<i>Cronograma de actividades</i>	39
3.3.2.	<i>Recursos y materiales</i>	39
3.3.2.1.	<i>Presupuesto</i>	40
3.3.2.2.	<i>Talento humano</i>	41
3.3.2.3.	<i>Equipos y materiales</i>	42
3.3.3.	Desarrollo del proyecto	42
3.3.3.1.	<i>Características de la motoneta</i>	42
3.3.3.2.	<i>Datos para el funcionamiento del conjunto eléctrico Batería – Motor</i>	43
3.3.3.3.	<i>Bosquejo</i>	44
3.3.3.4.	<i>Simulación</i>	46
3.3.3.5.	<i>Selección de materiales</i>	49
3.3.3.6.	<i>Proceso de obtención de las celdas de iones de litio 18650</i>	50
3.3.3.7.	<i>Desmontaje de baterías</i>	50
3.3.3.8.	<i>Clasificación según el estado de carga de la celda</i>	52
3.3.3.9.	<i>Selección de capacidad de carga adecuada para el trabajo</i>	55
3.3.3.10.	<i>Proceso de descarga</i>	56
3.3.3.11.	<i>Proceso de carga</i>	58

3.3.3.12.	<i>Determinación del estado de vida de la celda (SoH)</i>	58
3.3.3.13.	<i>Determinación de la eficiencia de Coulomb (CE)</i>	60
3.3.3.14.	<i>Equilibrio o balance de celdas</i>	60
3.3.3.15.	<i>Herramienta para balance o equilibrio de celdas</i>	66
3.3.3.16.	<i>Ensamble de los soportes y configuración serie-paralelo</i>	68
3.3.3.17.	<i>Conexión del BMS</i>	71
3.3.3.18.	<i>Características de la batería</i>	73
3.3.3.19.	<i>Construcción de la carcasa de protección</i>	73
3.3.3.20.	<i>Reconexión del sistema de batería en la motoneta</i>	76

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	80
4.1.	Obtención de resultados	80
4.1.1.	<i>Instrumentos de medición</i>	80
4.1.2.	<i>Pruebas de autonomía</i>	81
4.1.3.	<i>Prueba de carga</i>	84
4.1.4.	<i>Prueba de temperatura con cámara termográfica</i>	85
4.1.5.	<i>Toma de datos del consumo del motor con la pinza amperimétrica</i>	88
4.1.6.	<i>Comparación de ahorro en consumo de combustible y energía eléctrica</i>	89
4.2.	Análisis de resultados	89
4.2.1.	<i>Resultados de la prueba 1</i>	89
4.2.2.	<i>Resultados de la prueba 2</i>	90
4.2.3.	<i>Resultados de la prueba 3</i>	91
4.2.4.	<i>Resultados de la prueba 4</i>	93
4.2.5.	<i>Resultados de la prueba 5</i>	94
4.2.6.	<i>Resultados de la prueba 6</i>	95
4.2.7.	<i>Resultados de la prueba 7</i>	96
4.2.8.	<i>Resultados de la prueba 8</i>	98
4.2.9.	<i>Prueba de autonomía con las luces encendidas</i>	99
	CONCLUSIONES	102
	RECOMENDACIONES	103
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tasa C y tiempos de servicio al cargar y descargar celdas de 1Ah.....	9
Tabla 2-2:	Porcentajes de autodescarga en meses y años.....	11
Tabla 1-3:	Metodología de la investigación.....	36
Tabla 2-3:	Cronograma de actividades	39
Tabla 3-3:	Gastos directos.....	40
Tabla 4-3:	Gastos indirectos.....	41
Tabla 5-3:	Costo total.....	41
Tabla 6-3:	Equipos y materias necesarios para el desarrollo	42
Tabla 7-3:	Especificaciones de la motoneta tipo scooter eléctrica con baterías de plomo	42
Tabla 8-3:	Datos básico del motor brushless	43
Tabla 9-3:	Datos básicos del controlador eléctrico	43
Tabla 10-3:	Valores de simulación batería 13S7P en estado de carga.....	46
Tabla 11-3:	Resultados de simulación de batería en estado de descarga total.	48
Tabla 12-3:	Materiales seleccionados para la elaboración del pack de batería	49
Tabla 13-3:	Clasificación según el voltaje	53
Tabla 14-3:	Selección de capacidad de carga para las celdas	55
Tabla 15-3:	Características de la capacidad de descarga del módulo A.....	61
Tabla 16-3:	Voltajes y capacidades del módulo A medidos en 4 intervalos	62
Tabla 17-3:	Escala de intervalo de medición en el proceso de carga (Módulo A).....	63
Tabla 18-3:	Características de la capacidad de descarga del módulo B.....	64
Tabla 19-3:	Voltajes y capacidades del módulo B medidos en 4 intervalos	64
Tabla 20-3:	Escala de intervalo de medición en el proceso de carga (Módulo B)	65
Tabla 21-3:	Balance por capacidad de descarga de celdas con configuración 13S7P.....	67
Tabla 22-3:	Capacidad mínima y máxima de los módulos	67
Tabla 23-3:	Características del BMS.....	71
Tabla 24-3:	Características de la batería.....	73
Tabla 25-3:	Características del cargador	79
Tabla 1-4:	Resultados obtenidos en las pruebas	82
Tabla 2-4:	Resultados del proceso de carga	85
Tabla 3-4:	Demanda de corriente	88
Tabla 4-4:	Resultados de descarga de la prueba 1	89
Tabla 5-4:	Resultados de carga de la prueba 1	90
Tabla 6-4:	Resultados de descarga de la prueba 2	90
Tabla 7-4:	Resultados de carga de la prueba 2	91

Tabla 8-4:	Resultados de descarga de la prueba 3	91
Tabla 9-4:	Resultados de carga de la prueba 3	92
Tabla 10-4:	Resultados de descarga de la prueba 4	93
Tabla 11-4:	Resultados de carga de la prueba 4	93
Tabla 12-4:	Resultados de descarga de la prueba 5	94
Tabla 13-4:	Resultados de carga de la prueba 5	95
Tabla 14-4:	Resultados de descarga de la prueba 6	95
Tabla 15-4:	Resultados de carga de la prueba 6	96
Tabla 16-4:	Resultados de descarga de la prueba 7	96
Tabla 17-4:	Resultados de carga de la prueba 7	97
Tabla 18-4:	Resultados de descarga de la prueba 8	98
Tabla 19-4:	Resultados de carga de la prueba 8	98
Tabla 20-4:	Resultados de descarga de la prueba	99
Tabla 21-4:	Resultados de carga de la prueba	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Estructura interna de una celda de ion-litio.....	8
Figura 2-2:	Química de una celda de ion-litio.....	8
Figura 3-2:	Dimensiones de la celda 18650 UNIT Electronics	13
Figura 4-2:	Mecanismo de seguridad de una celda 18650.....	14
Figura 5-2:	Proceso de carga, descarga y contactos de una batería de ION-Litio.....	15
Figura 6-2:	Esquema de la batería del Tesla Model S	18
Figura 7-2:	Niveles que compone un paquete de batería	19
Figura 8-2:	Conexión en serie (4S) de celdas 18650	19
Figura 9-2:	Conexión en serie, falla de voltaje en la celda 3	20
Figura 10-2:	Conexión en paralelo (4P) de celdas 18650.....	20
Figura 11-2:	Conexión en paralelo con fallo en una celda	21
Figura 12-2:	Proceso de descarga con celdas de diferente capacidad en paralelo	23
Figura 13-2:	Proceso de descarga con celdas o módulos de diferente capacidad en serie	24
Figura 14-2:	Pack de batería con balance de celdas	24
Figura 15-2:	Conexión del BMS con línea de suministro y carga	27
Figura 16-2:	Cargador LiitoKala Lii-S6.....	30
Figura 17-2:	Cargador automático LiitoKala Lii-500S	31
Figura 18-2:	Flujo de pilas y baterías en desuso	33
Figura 1-3:	Diagrama de tareas a realizar.....	35
Figura 2-3:	Soporte para celda ion-litio 18650.....	45
Figura 3-3:	Armado de soportes y acople de celdas.	45
Figura 4-3:	Diseño final de la batería.	45
Figura 5-3:	Simulación de batería en estado de carga.	46
Figura 6-3:	Simulación de inicio de descarga mediante consumo del motor eléctrico.	47
Figura 7-3:	Simulación de batería descargada en su totalidad.....	48
Figura 8-3:	Modelos de baterías que contienen celdas Li-ion 18650.	50
Figura 9-3:	Desmontaje de las baterías de laptops.	51
Figura 10-3:	Tapa superior desmontada, celdas expuestas.	51
Figura 11-3:	Extracción del conjunto de celdas.	51
Figura 12-3:	Celdas desconectadas.	52
Figura 13-3:	Marcas de celdas obtenidas	52
Figura 14-3:	Medición del estado de carga de las celdas.	53
Figura 15-3:	Clasificación de celdas según su voltaje.....	54
Figura 16-3:	Monitoreo de temperatura de carga con termocupla (°C).	56

Figura 17-3:	Proceso de descarga a 500 mA	57
Figura 18-3:	Marca de capacidad de descarga real de las celdas	57
Figura 19-3:	Proceso de carga completa a 1000 mA	58
Figura 20-3:	Base de datos de celdas Li-ion	59
Figura 21-3:	Conexión en paralelo Módulo A de celdas de capacidad similar	61
Figura 22-3:	Conexión en paralelo Módulo B de celdas de distinta capacidad	64
Figura 23-3:	Constructor de paquetes de celdas, balance de capacidad.....	66
Figura 24-3:	Armado de los soportes superior e inferior	69
Figura 25-3:	Configuración en serie y paralelo de la batería.....	69
Figura 26-3:	Conexión de las celdas por suelda de punto	70
Figura 27-3:	Protección de los terminales con cinta Kapton	70
Figura 28-3:	BMS DALY 13S 48V 30A, separate port	71
Figura 29-3:	Conexión de las líneas de muestreo	72
Figura 30-3:	Conexión del BMS a la batería.....	73
Figura 31-3:	Carcasa externa de acrílico y tiras de espuma.....	74
Figura 32-3:	Acople de la batería a la carcasa.....	74
Figura 33-3:	Batería terminada	74
Figura 34-3:	Soportes de espumaflex para la base	75
Figura 35-3:	Integración de la batería en la base de la motoneta.....	75
Figura 36-3:	Identificación de las conexiones eléctricas originales.....	76
Figura 37-3:	Modificación del conector de carga.....	76
Figura 38-3:	Adaptación del indicador de estado de la batería.....	77
Figura 39-3:	Reconexión de nuevos cables y terminales para la batería	77
Figura 40-3:	Braker de seguridad para la línea positiva de la batería	78
Figura 41-3:	Cargador para batería de litio 13S 54,8V a 4A	78
Figura 1-4:	Ruta de pruebas de 30km	81
Figura 2-4:	Ruta de prueba en el campus	86
Figura 3-4:	Termografía de la batería al iniciar la prueba	86
Figura 4-4:	Termografía de la zona media	87
Figura 5-4:	Termografía de la zona de mayor temperatura	87
Figura 6-4:	Termografía del motor.....	87
Figura 7-4:	Medición de corriente.....	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Autodescarga de celdas de iones de litio nuevas y estresadas	11
Gráfico 2-2:	Características de carga de la célula NCR18650B	16
Gráfico 3-2:	Descarga en función de la temperatura de la célula NCR18650B	16
Gráfico 1-3:	Porcentaje de grupo de celdas según su estado de carga	54
Gráfico 2-3:	Estado de vida de las celdas	59
Gráfico 3-3:	Eficiencia de Coulomb de celdas	60
Gráfico 4-3:	Representación de valores de voltaje de descarga de C1 Y C2 (Módulo A)	62
Gráfico 5-3:	Representación de valores de voltaje de carga de C1 Y C2 (Módulo A).....	63
Gráfico 6-3:	Representación de valores de voltaje de descarga de C1 y C2 (Módulo B)	65
Gráfico 7-3:	Representación de valores de voltaje de carga de C1 y C2 (Módulo B).....	66
Gráfico 8-3:	Balance de capacidad de celdas (mAh).....	68
Gráfico 1-4:	Recorrido en relación con la temperatura de trabajo de la batería	83
Gráfico 2-4:	Influencia de la temperatura ambiente con la temperatura de la batería	84
Gráfico 3-4:	Comparación de las características físicas de las baterías	100

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Prueba de estado de vida de las celdas

ANEXO B: Construcción de la batería

ANEXO C: Instalación de la batería en la motoneta

ANEXO D: Rutas y datos obtenidos en las pruebas

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tuvo como objetivo construir una batería de litio mediante el reciclaje de celdas de litio presentes en el interior de las baterías usadas de laptops para implementarla en una motoneta eléctrica perteneciente a la Carrera Ingeniería Automotriz que anteriormente funcionaba con baterías de plomo, se realizó pruebas de carga y descarga a cada celda para determinar su estado de vida y eficiencia energética e identificar que celdas se encuentran aptas para un segundo uso, las celdas descartadas fueron puestas a reciclaje. Para la construcción se determinó la mejor configuración de conexiones serie y paralelo para solventar los requerimientos y demanda de corriente del motor de la motoneta, luego se balanceó las celdas por su capacidad de descarga y así obtener un mejor rendimiento de la batería, además, en la motoneta se modificó las conexiones eléctricas y la base de la anterior batería para instalar la nueva. Se realizaron pruebas de conducción para medir la autonomía en una ruta conformada por tramos urbanos, rurales y autopista sin presentar algún inconveniente en el funcionamiento y también pruebas de carga, en cada prueba se tomaron datos tales como temperatura de la batería, voltaje, corriente, distancia recorrida, velocidad, tiempo de manejo y tiempo de carga, con estos datos se obtuvo que la nueva batería de litio mejoró la autonomía de la motoneta y también disminuyó el peso que antes tenía con las baterías de plomo demostrando que la reutilización de estas celdas es efectiva y presenta ahorro de dinero al no depender de una batería nueva. Se concluye que el reciclaje de las celdas de litio es factible para su uso en cualquier proyecto eléctrico y electrónico ayudando a conservar el medio ambiente. Se recomienda aumentar el número de celdas para mejorar aún más la autonomía.

Palabras clave: <EFICIENCIA COULÓMBICA (CE)>, <BALANCE DE CELDAS>, <ESTADO DE SALUD (SOH)>, <AUTONOMÍA>, <CELDA 18650>, <RECICLAJE>, <LATACUNGA (CANTÓN)>.

1706-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

This curricular integration project aimed to build a lithium battery by recycling lithium cells from used laptop batteries in order to implement the battery in an electric scooter which belongs to the Automotive Engineering Career that previously worked with lead batteries. Each cell was tested for charge and discharge to determine its life and energy efficiency and to identify which cells were suitable for a second use; the discarded cells were recycled. For the construction, the best configuration of series and parallel connections was determined to meet the requirements and current demand of the scooter's motor. After that, the cells were balanced for their discharge capacity and thus obtained a better battery performance. In addition, in the scooter, the electrical connections and the base of the previous battery were modified to install the new one. Driving tests were carried out to measure the autonomy in a route of urban, rural, and highway sections without presenting any inconvenience in operation and charging tests. Data such as battery temperature, voltage, current, distance traveled, speed, driving time, and charging time were taken in each trial. These data showed that the new lithium battery improved the autonomy of the scooter and reduced the weight that it had before with lead batteries, demonstrating that reusing these cells is effective and saves money by not depending on a new battery. It is concluded that recycling lithium cells are feasible for use in any electrical and electronic project helping to conserve the environment. Increasing the number of cells is recommended to improve autonomy further.

Keywords: <COULOMBIC EFFICIENCY (CE)>, <BALANCE OF CELLS>, <STATE OF HEALTH (SOH)>, <AUTONOMY>, <CELL 18650>, <RECYCLING>, <LATACUNGA (CANTON)>.



Lcda. Sandra Leticia Guijarro P. Mgs

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

Este trabajo detalla procesos técnicos de reciclaje de baterías de laptops y su reutilización en la elaboración de un pack de baterías para implementarlas en una motoneta eléctrica propiedad de la carrera de ingeniería automotriz que anteriormente funcionaba con baterías convencionales de plomo-ácido, con este desarrollo se reciclan las baterías de laptops para desarmarlas y obtener las celdas de ion-litio, se realiza las pruebas de carga y descarga de cada celda para verificar su óptimo funcionamiento, las celdas que no cumplan con las especificaciones adecuadas de funcionamiento son desechadas para su reciclado adecuado, una vez se obtengan las suficientes celdas para armar el pack de batería se realizan los cálculos y el diseño adecuado de las celdas tanto en conexiones en serie y paralelo para ajustarnos a las especificaciones que requiere el motor eléctrico instalado en la motoneta.

Para la instalación del nuevo sistema de batería se requiere reordenar las conexiones hechas anteriormente en la motoneta y evaluar cada elemento con su respectiva conexión para que no exista fallo al realizar las pruebas.

En las pruebas se evalúa principalmente la autonomía que tiene la motoneta con esta nueva batería y si es seguro su funcionamiento, pruebas de carga y descarga serán necesarios para verificar las rutas que alcanza la motoneta y definir el rango de funcionamiento para una persona en el movimiento del día a día.

El sistema de gestión de batería por sus siglas en inglés Battery Management System (BMS) será el que gestione la carga y descarga del pack de batería, también protege de cargas inadecuadas y de temperaturas altas y bajas dando como alerta algunos de estos como el paro completo de suministro de energía.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

G.N. Lewis, en 1912, diseñó una pila de litio que se comercializó recién en 1970. En los ochenta, se hicieron esfuerzos para desarrollar baterías recargables de litio y se determinó que el reciclaje reduce su estabilidad térmica, causando una expansión interna, lo que produce una reacción violenta (Fonseca, 2011).

Las baterías de iones de litio, LIB son omnipresentes a través de teléfonos móviles, tabletas, computadoras portátiles y muchos otros dispositivos electrónicos de consumo. Su creciente demanda, impulsada principalmente por la implementación de los vehículos eléctricos, trae consigo varios problemas ambientales relacionados con la minería, extracción y purificación de materiales escasos como el cobalto, níquel y litio (Costa et al., 2021)

Para el desarrollo del trabajo la carrera de Ingeniería Automotriz cuenta con una motoneta eléctrica a la cual se implementará la batería recargable y el sistema eléctrico para mejorar la autonomía y su correcto funcionamiento. Además, las características de la motoneta esta detalla en el trabajo de titulación realizado por Chiriboga Cárdenas Edison Luis y Velasco Moyano Carlos Bladimir (Chiriboga y Velasco, 2017) en el cual presentan una motoneta eléctrica con freno regenerativo, pero con baterías convencionales, se utiliza los datos del motor eléctrico y sus dimensiones en donde debe ir la batería, con esto se determinará los requerimientos necesarios en base a las características descritas por los elementos de la motoneta y suministrar la energía suficiente para que funcione el motor.

El Plan de Gestión Integral de Pilas Usadas se basa en el principio de Responsabilidad Extendida de productores e importadores establecido en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales que surgió en demanda a los sistemas de tratamiento y disposición final de los desechos susceptibles a ser reciclados. Ahora, los productores e importadores se responsabilizan del producto a través de todo su ciclo de vida, incluyendo los impactos inherentes a selección de materiales, del proceso de producción, así como los relativos al uso y disposición final, luego de su vida útil. El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición ecológica como autoridad ambiental nacional, tiene la responsabilidad y obligación de realizar la verificación del cumplimiento de las actividades vinculadas al Plan de Gestión Integral de Pilas Usadas en su jurisdicción (MAATE, 2013).

Las actividades de mantenimiento, reposición o desmantelamiento de muchas instalaciones comerciales e industriales generan residuos de pilas y baterías. Esta actividad convierte a su poseedor en generador de residuos peligrosos, por tanto, obligado por la Ley a hacerse cargo de la recogida y correcta gestión de estos residuos (Admin, 2014).

1.2. Planteamiento del problema

Tanto el cuidado del medio ambiente como el alto costo de adquisición de baterías nuevas para vehículos eléctricos son los problemas más comunes y desde hace tiempo se busca solucionarlos, se genera contaminación por las baterías que no son recicladas, un ejemplo las baterías de laptops viejas ya que su chip de carga cuenta con un límite de ciclos de carga y con obsolescencia programada, pero sus celdas todavía trabajan bien, es ahí donde las baterías se desechan y en gran parte del país se acostumbra a almacenarlas pero pocos son los establecimientos de mantenimiento de computadoras que las reciclan.

Las pilas o baterías representan un grave problema ambiental, debido a su alto contenido toxico, pero lastimosamente, la mayoría de gente desconoce la gran afectación que causan al entorno al desechar este tipo de residuos como basura común. En la mayoría de los casos, las pilas son trasladadas a rellenos sanitarios, donde no se les da un destino final responsable. Según cifras del Banco Central, el Ecuador importó 1717.73 toneladas de pilas, en los años 2009, 2010 y 2011 (MAATE, 2013).

La preocupación por la seguridad es especialmente significativa para las baterías de litio debido a su alta densidad de energía y capacidad para almacenar grandes cantidades de energía y el hecho de que utilizan electrolitos orgánicos que son altamente inflamables y tóxicos. Es probable que por la mala manipulación de estas celdas de litio estas puedan ocasionar un accidente o incendiarse por lo que se debe tener conocimiento en electrónica y electricidad para la elaboración del arreglo de baterías, pero se detallará paso a paso el procedimiento en este trabajo para que sea fácil de ejecutar (Burke, 2014).

La mayoría de las personas no entiende como trabajar con estas baterías, además como trabaja el BMS (Battery Management System) y su comunicación con el controlador del motor eléctrico, esto hace que pierdan la confianza en investigar nuevas prestaciones y usos que se les puede dar a este tipo de baterías.

1.3. Justificación

El desarrollo de este trabajo consiste en elaborar una batería de celdas de litio para implementarlo en una motoneta eléctrica y generar mayor autonomía que las baterías de plomo-ácido convencionales con las que contaba inicialmente la motoneta, el costo de elaboración es bajo ya que se utiliza las baterías de laptops viejas en la cual cuentan con celdas que todavía están funcionales.

Como miembros de la carrera de ingeniería automotriz nuestro deber es buscar alternativas y soluciones a los problemas ambientales que producen la industria automotriz, también se crea otras alternativas de baterías para medios de transporte muy amigables al medio ambiente con una contaminación muy reducida con la reutilización de las baterías de laptops viejas.

Las baterías de Ion-litio son las baterías del futuro y en la industria automotriz se utilizan en grandes cantidades para los vehículos eléctricos, además se las pueden encontrar en arreglos pequeños para motocicletas eléctricas, Scooter eléctricos, banco de energía para casas autónomas y para todos los vehículos eléctricos de movilidad personal, estos son algunos ejemplos de cómo la tecnología busca maneras de no depender de combustibles fósiles y así ayudar al medio ambiente.

La tecnología de las baterías de iones de litio tiene una gran historia, lo que comenzó en la electrónica de consumo, en ordenadores y teléfonos móviles, acabó trasladándose a los vehículos eléctricos y a los sistemas de almacenamiento estacionario de la red eléctrica, por lo que se debe aprovechar al máximo de esta tecnología con procesos que ayuden a crear alternativas de almacenamiento de energía para todos los vehículos que utilicen un motor eléctrico (García, 2019).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Elaborar un paquete de batería para una motoneta eléctrica, mediante el uso de celdas de ion-litio 18650 de baterías de laptops recicladas, para aplicarlas a una segunda vida y mejorar la autonomía de la motoneta eléctrica propiedad de la carrera de Ingeniería Automotriz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisar las bases teóricas que comprenden el reciclaje y reutilización de baterías de litio especialmente de factor 18650.
- Identificar y reciclar de talleres de reparación de computadoras las baterías de laptops desechas para extraer sus celdas internas de litio.
- Verificar el estado de salud de las celdas con la ayuda de un cargador de batería específico y verificar si sus características les facultan para ser ocupadas en un segundo uso.
- Diseñar y construir el paquete de batería adecuado que cumpla con los requerimientos para el funcionamiento óptimo del motor y del conjunto eléctrico de la motoneta.
- Realizar las pruebas necesarias y análisis de resultados para constatar el correcto funcionamiento y autonomía de la motoneta.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

En la tesis realizada por (Ojeda y Ortiz, 2017) se presenta una metodología para realizar el diseño y construcción de un prototipo recargable de batería mediante celdas 18650 recicladas, con la finalidad de hacer funcionar el motor eléctrico y cumplir con las especificaciones de la bicicleta y garantizar un buen rendimiento. Para lograrlo se basan en cálculos dinámicos de la bicicleta y eléctricos del motor, determinando los requerimientos energéticos que debe cumplir la batería, para posteriormente elaborar un diseño CAD con la geometría adecuada, realizan una prueba a cada celda reciclada para seleccionar las que se encuentren en óptimas condiciones y pasar a la construcción del pack de baterías mediante espaciadores y aislante térmico de acrílico, para el controlador de temperatura y voltaje de la batería lo realizan mediante Arduino Uno y los valores sean mostrados en una pantalla LCD integrada. La bicicleta logró una autonomía de 6,2km a una velocidad constante de 10km/h con una batería de 48 V como voltaje nominal.

En la tesis desarrollada por (Solís y Moreno, 2018) se realiza pruebas de laboratorio y en el dinamómetro para determinar las necesidades energéticas de la motocicleta partiendo de un motor de 5KW estableciendo la base de 48 voltios con una capacidad nominal de corriente de 96 amperios, tomando en cuenta los cálculos de tiempos de descarga y carga, temperatura, voltaje, corriente y potencia entregada. Para la construcción utiliza celdas 18650 que poseen un voltaje nominal de 3.7 voltios y entrega máxima de 6 amperios, uniendo las celdas mediante kits de ensamble con unión mediante resortes y zócalos, empleando para las pruebas de carga y descargas un cargador de 48V para cada paquete de baterías construido, las conexiones que emplea son tanto en serie para las celdas como en paralelo de cada paquete armado de celdas para lograr los valores de amperaje requeridos.

En el proyecto realizado por (Fuentes, 2010), expone sobre la importancia de los vehículos eléctricos en la industria, dando énfasis al elemento más importante que son las baterías las cuales influyen directamente en el desarrollo del vehículo eléctrico, examinando los distintos tipos de baterías que se pueden reciclar en base al análisis del ciclo de vida y guiándose en directivas de reciclaje, siendo las baterías de ion litio las que ganan fuerza en este ámbito por ser de alto costo y durabilidad.

En la tesis de (Casanova, 2019) presenta la metodología de desarrollo de un software para monitorear y controlar un cargador de baterías de litio B6AC v2, enfocándose en la programación para visualizar los datos de cargas y descargas de la batería mediante el software Labview y un ordenador, permite visualizar en tiempo real y almacenar los datos de corriente y tensión de la batería medidos por el cargador en cada segundo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Celda de litio 18650

2.2.1.1. Concepto de celdas Ion-Litio

La celda de Litio o Ion-Litio es un dispositivo de descarga electrostática (SDE, por sus siglas en ingles) el cual puede transformar la energía química almacenada en su interior en energía eléctrica mediante una reacción de óxido reducción (Cortés, 2021).

Una batería se conforma por dos electrodos conectados a un circuito eléctrico que están separados por un electrolito que tiene una pared separadora en su interior para evitar cortocircuitos (Villatoro 2019).

Las partes de una celda de ion-litio son:

- El ánodo; suele ser de grafito.
- El cátodo; una aleación de litio (LiFPO₄, LiCoO₂, LiMn₂O₄...).
- El electrolito; una sal de litio en un disolvente orgánico (un polímero en las baterías de polímero de litio).
- Un separador; generalmente un polímero poroso (González, 2013).

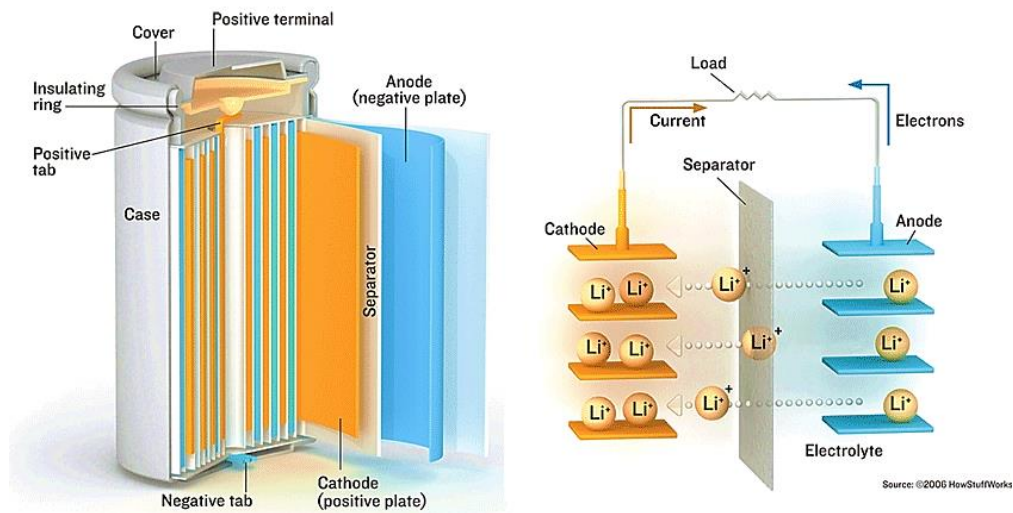


Figura 1–2: Estructura interna de una celda de ion-litio

Realizado por: (González 2013)

En la figura 2-2 se observa el funcionamiento y la química de la celda de litio. En el ánodo (electrodo negativo) se genera una oxidación que actúa como fuente de electrones; en el cátodo (electrodo positivo) se genera una reducción actuando como sumidero para los electrones. El voltaje producido por la batería depende de la diferencia de potencial entre los electrodos. En las baterías recargables estas reacciones redox son reversibles; de esta manera un flujo de electrones entre el cátodo y el ánodo restaura electrones en el electrolito (Villatoro, 2019).

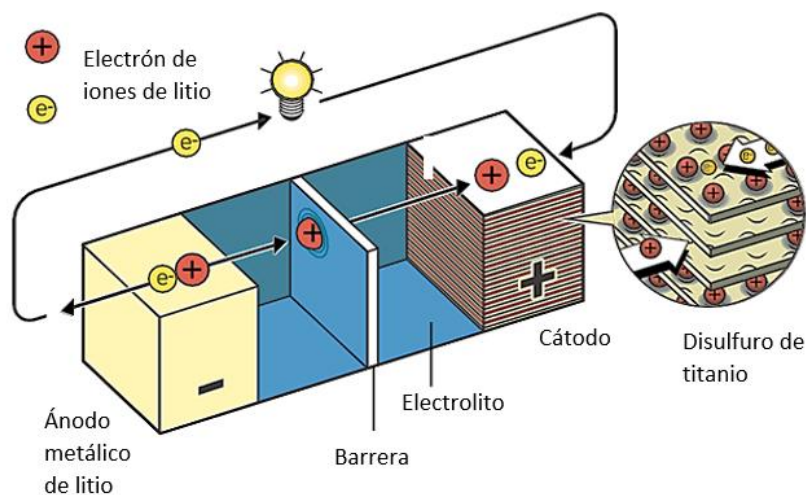


Figura 2-2: Química de una celda de ion-litio

Realizado por: (Villatoro, 2019)

Voltaje: Se mide en Volts. Es el diferencial de potencia entre los electrodos de la batería. Para las baterías de Ion-Litio se tiene como voltaje nominal 3,6V. El voltaje de carga máxima es de 4,2V y el de descarga máxima es de 2,5V. Baterías con voltajes menores a los nominales causan

oxidación de los elementos electrolíticos, deteriorando la batería e impidiendo que se vuelvan a cargar (Dupouy, 2021, p.5).

Capacidad: Es la energía específica en Amperes-hora (Ah) y expone la descarga en corriente que soporta la batería por hora. Es decir, una batería con capacidad de 3000mAh puede operar durante una hora, con un consumo de 3 Amperes, es la cantidad de carga máxima que se puede almacenar (Dupouy, 2021, p.5).

Energía: Se refiere a la capacidad que tiene la batería de entregar cierta potencia en Vatios por hora (Wh). De esta manera una batería de 2kWh puede entregar una potencia de 2kW por 1 hora (Dupouy, 2021, p.6).

C-rate: Es la relación de descarga de una batería respecto a su capacidad nominal. A una tasa de 1C, la batería se descarga o carga a su capacidad nominal en una hora, mientras que a 0,5C la batería se descarga o carga a la mitad del Amperaje nominal por el doble de tiempo 2 horas. Un C-rate mayor a 1 se refiere a una sobre descarga con respecto a la capacidad nominal (Dupouy, 2021, p.6).

Tabla 1–2: Tasa C y tiempos de servicio al cargar y descargar celdas de 1 Ah

C-rate	Tiempo
5C	12 min
2C	30 min
1C	1h
0.5C o C/2	2h
0.2C o C/5	5h
0.1C o C/10	10h
0.05C o C/20	20h

Fuente: (Battery, 2011)

Resistencia Interna: Corresponde a la resistencia eléctrica total de la batería en sí misma. Siempre hay cierta variación de este valor entre baterías (aunque sean de la misma serie de producción) debido a las imperfecciones en los elementos conductores que componen a la batería. Una variación con respecto a los valores nominales es un indicio de pérdida de eficiencia y degradación de la batería, debido a que el aumento de la resistencia interna genera una mayor pérdida calórica al operar la batería. Es importante usar celdas con resistencias internas compatibles y similares para evitar un desbalance en la carga de la batería. Al desbalancear las cargas entre los módulos y celdas se genera el efecto de tener módulos cuya carga disminuye más rápido que otros, acortando la vida útil de la batería. Los valores de resistencia interna varían de debido a factores como temperatura, intensidad de carga/descarga, modo de operación, entre otras (Dupouy, 2021, p.6).

Energía y densidad específica: La energía específica caracteriza a la batería por su relación Energía en Vatios-hora con su peso en Kilogramos. La densidad específica es la relación entre la energía que almacena la batería en Vatios-hora y el volumen en litros (Dupouy, 2021, p.6).

Profundidad de descarga: Depth of Discharge o DoD por sus siglas en inglés, se refiere al porcentaje de capacidad utilizado de la batería durante una operación de descarga con respecto a su capacidad nominal. El DoD se considera de gran importancia en el uso de baterías. Por lo general, los datos de fábrica de las baterías incluyen este valor. El descargar algunos tipos de baterías, como las de Ion litio, por encima de este valor provoca un deterioro en la batería y una disminución de sus ciclos. La recomendación para baterías de Ion Litio es no superar un DoD de 80% (Dupouy, 2021, p.6).

Ciclos de carga: Es un valor que hace referencia al número de veces en la que se puede cargar y descargar la batería en su totalidad. No es necesario ni conveniente descargar la batería en su totalidad para obtener un ciclo, ya que el porcentaje acumulado de descargas y cargas permiten contabilizar los ciclos. En base a las condiciones de operación, las baterías pueden sufrir cambios en cuanto a la cantidad de ciclos que soportan, acortando su vida útil (Dupouy, 2021).

Estado de carga: SoC, por su sigla en inglés de State of Charge, es un indicador de la cantidad de carga que tiene la batería en relación con la de la batería totalmente cargada. El SoC no se puede medir directamente desde la energía química almacenada en la batería, sino que es un valor que se estima a partir de distintas mediciones a la batería. Entre los métodos para estimar el valor de SoC destacan los métodos de Voltaje abierto (Open Voltage Method) y el Coulomb Counting (Conteo de Coulomb), el primer método es conocido por su simplicidad de operación, se mide el voltaje abierto entre los terminales de la batería y esta medición se compara con los perfiles de las curvas de voltaje de las baterías. En cambio, el Coulomb Counting mide la capacidad de la batería consumida, integrando los flujos de corrientes positivos de la batería sobre el tiempo, entregando un estimado de la energía cedida por la batería (Dupouy, 2021, pp.6-7).

Autodescarga: Todas las baterías son afectadas por la autodescarga. La autodescarga no es un defecto de fabricación, sino una característica de la batería, aunque fallas en la fabricación y el mal manejo pueden complicar este aspecto. La autodescarga es permanente y no reversible (Battery, 2010a).

El Ion de litio se autodescarga aproximadamente en un 5% en las primeras 24 horas y luego disminuye entre un 1% y un 2% cada mes; el circuito de protección aumenta un 3% cada mes. Un separador defectuoso ocasionará una mayor autodescarga, que se puede volver en una vía de

corriente, generar calor y, en casos extremos, provocar una ruptura térmica. En términos de autodescarga, el ácido de plomo es similar al ion de litio (Battery, 2010a).

Tabla 2–2: Porcentajes de autodescarga en meses y años

Sistema de batería	Autodescarga estimada
Litio-metal primario	10% en 5 años
Alcalino	2-3% por año (vida útil de 7 a 10 años)
Plomo-ácido	5% por mes
A base de níquel	10-15% en 24h, luego 10-15% por mes
Iones de litio	5% en 24h, luego 1-2% por mes (más 3% para circuito de seguridad)

Fuente: (Battery, 2010a)

El gráfico 1–2 compara la autodescarga de una nueva celda de iones de litio con una celda que se sometió a descargas profundas forzadas y una que se descargó por completo, se acortó durante 14 días y luego se recargó. La celda que estuvo expuesta a descargas profundas superiores a 2,50V/celda muestra una autodescarga ligeramente más alta que una celda nueva. La autodescarga más grande es visible con la celda que se almacenó a cero voltios (Battery, 2010a).

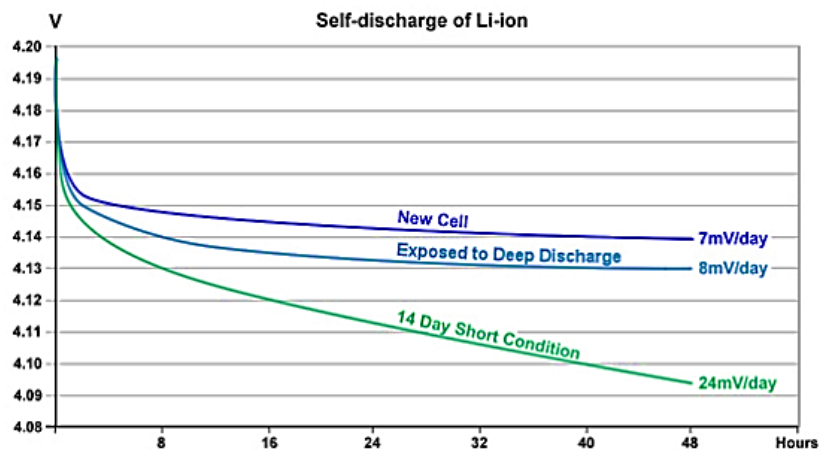


Gráfico 1-2: Autodescarga de celdas de iones de litio nuevas y estresadas

Fuente: (Battery, 2010a)

Estado de salud: SoH (State of health) se refiere a la relación de la capacidad práctica máxima a la capacidad teórica de una batería: por ejemplo, una batería de 100 Ah con 80% de SoH tiene una capacidad residual de 80 Ah. Es muy difícil determinar o predecir el envejecimiento de una batería o sus celdas individuales. Por un lado, la capacidad no se puede medir directamente y, por el otro, el proceso de envejecimiento está influenciado por diversos factores, como el estado individual de la batería, el comportamiento de carga y la temperatura. Determinar el SoH es esencial al evaluar la duración de la batería. De acuerdo con la aplicación actual, el final de su vida es con un SoH de entre el 70 y el 80% (RedeWeb, 2018).

2.2.1.2. Especificaciones y Características de la celda ion-litio 18650

Para las baterías tipo celda de ion-litio 18650 el funcionamiento y la estructura interna es la misma descrita anteriormente, esta es una batería recargable que tiene una salida de voltaje 3,7 V y una capacidad de 1600 a 3600 mAh. Estas baterías se diferencian de otras por su tamaño, el cual está definido por su numeración en diámetro y largo, es decir, de forma cilíndrica con 18 mm de diámetro y 65 mm de largo. Este diseño facilita su agrupación dentro de un paquete para ser usados en baterías de laptops, scooter, vehículos de movilidad personal y herramientas eléctricas, su uso es amplio y variado, así como sus prestaciones en la industria automotriz (All Spares, 2015).

Referencia de la batería de Ion-Litio marca UNIT Electronics:

- Modelo: 18650 B1
- Tipo de Batería: Li-ion
- No posee efecto memoria
- Voltaje nominal: 3.7V DC
- Carga completa: 4.2V DC
- Descarga de corte: 2.75V DC
- Corriente: 2200 mAh
- Potencia: 8.14Wh
- Límite de máxima carga de corriente:
Pico: 4.4 A
Constante: 2.2A
- Impedancia Interna: 60mΩ
- Ciclos de vida: ≥ 1000
- Temperatura
Carga: 0°C / +45°C
Descarga: -20°C / +60°C
- Humedad: 65±20%
- Almacenamiento: 25°C ± 3°C
- Peso: 43g (UNIT, 2021).

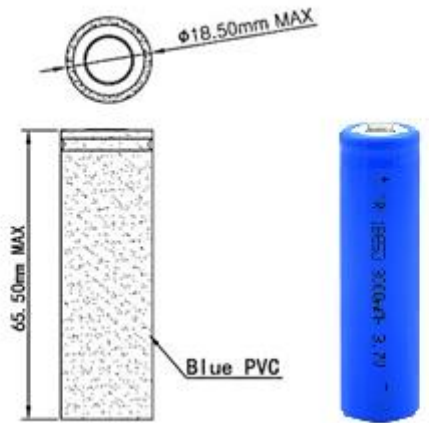


Figura 3-2: Dimensiones de la celda 18650 UNIT Electronics

Fuente: (UNIT, 2021)

2.2.1.3. Sistema de seguridad de la batería 18650

La batería 18650 tiene un sistema de seguridad mediante un fusible el cual se abre con alta corriente, cuando la corriente que supera es inadecuada algunos fusibles se abren permanentemente inutilizando la batería (Battery, 2010d).

Este sistema llamado dispositivo de interrupción de corriente por sus siglas en inglés Current Interruption Device (CID), es un dispositivo tipo fusible que corta el flujo de corriente de manera permanente cuando se activa por una presión excesiva de la celda, alta temperatura o alto voltaje, según el diseño.

En la Figura 4-2, el CID opera por presión, al aumentar la presión interna aproximadamente 1000 kPa, el disco superior rayado (naranja) se rompe, separándose de la lámina metálica (marrón) y cortando el flujo de corriente. Esto también permite que el gas se ventile. La resistencia del coeficiente térmico positivo por sus siglas en inglés Positive Thermal Coefficient (PTC) (azul) es baja durante el funcionamiento normal y se eleva mientras la temperatura aumenta a un nivel crítico para disminuir la corriente. Cuando la temperatura se normaliza, el PTC es reversible y vuelve a la conductividad alta (Battery, 2010d).

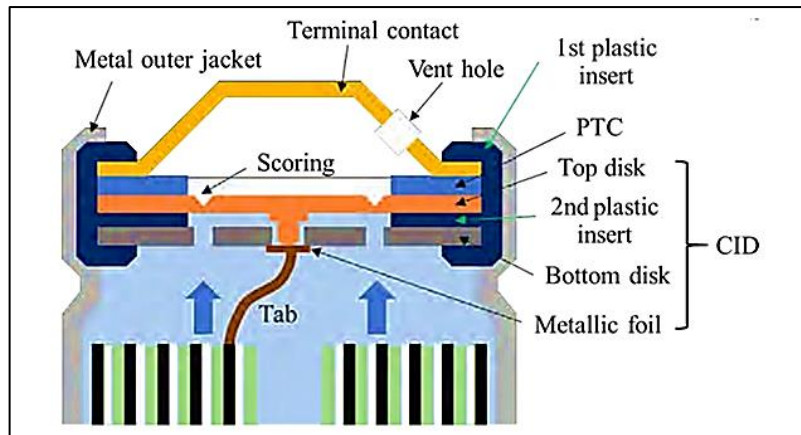


Figura 4-2: Mecanismo de seguridad de una celda 18650

Fuente: (Battery, 2010c)

Los iones de litio no se deben descargar por debajo de 2,50V/celda. El circuito de protección se apaga y la gran parte de los cargadores no podrán cargar la batería en ese estado. Un programa de "refuerzo" que aplica una corriente de carga suave para activar el circuito de protección a menudo regenera la batería a su capacidad total (Battery, 2010c).

No es conveniente recuperar la vida de las baterías de litio que hayan permanecido por debajo de 1,5V/celda durante una semana o más. Posiblemente se hayan generado derivaciones de cobre dentro de las celdas que pueden producir un cortocircuito eléctrico parcial o total. Al recargar, dicha celda se puede volver inestable y provocar un calor excesivo o desarrollar otras anomalías (Battery, 2010).

2.2.1.4. Carga y descarga de la batería Ion-Litio 18650

En una batería de iones de litio, durante la carga se suministran electrones en el electrodo negativo y se extraen del positivo, por tanto, el electrodo negativo se vuelve más negativo y el positivo más positivo aumentando así la diferencia de potencial entre ellos, o lo que es lo mismo, el voltaje de la celda. Dicho proceso fuerza a los iones de litio a salir del electrodo positivo y a intercalarse en el negativo. Durante la descarga, los iones de litio se transfieren del electrodo negativo al electrolito, y luego del electrolito al electrodo positivo; el electrolito permite que los iones pasen, pero no los electrones. Al mismo tiempo, los electrones fluyen espontáneamente del polo negativo al polo positivo a través del circuito que alimenta la batería. En la descarga, el potencial de cada electrodo disminuye, por lo que la diferencia de potencial entre ellos disminuye, entonces cuando "sacamos" la carga de la batería, el voltaje de la batería caerá (Dupouy, 2021).

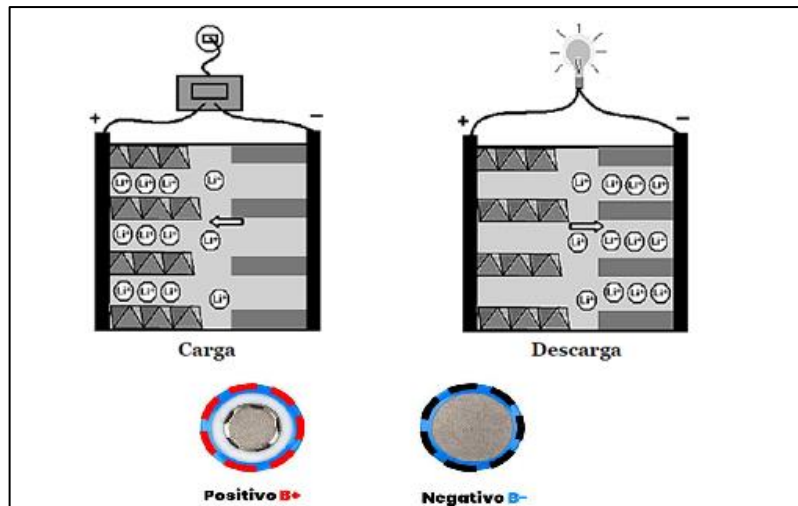


Figura 5-2: Proceso de carga, descarga y contactos de una batería de ION-Litio.

Realizado por: (Jaquilema, 2007)

Por otro lado, cabe destacar que estas pilas no tienen efecto memoria, pero pueden producir este efecto. Cuando la batería se carga demasiadas veces, la capacidad de carga es inferior al 10-20%. Se debe considerar que estas baterías no soportan más de 400-500 ciclos de carga. Un ciclo corresponde a una carga más descarga en el grupo (Dupouy, 2021).

La batería más usada por TESLA Motors en sus autos eléctricos es la PANASONIC NCR18650B, por lo que se muestran los gráficos de carga y descarga de una sola célula de Ion-Litio.

Especificaciones:

Capacidad nominal: Min. 3200mAh

Capacidad: Min. 3250mAh y Typ. 3350mAh

Voltaje nominal: 3.6V

Carga: CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs

Peso máximo: 48.5g

Temperatura: Carga: 0 a +45°C

Descarga: -20 a +60°C

Almacenamiento: -20 a +50°C

Densidad energética:

Volumétrica: 676 Wh/l

Gravimétrica: 243 Wh/kg

(Fernández, 2016).

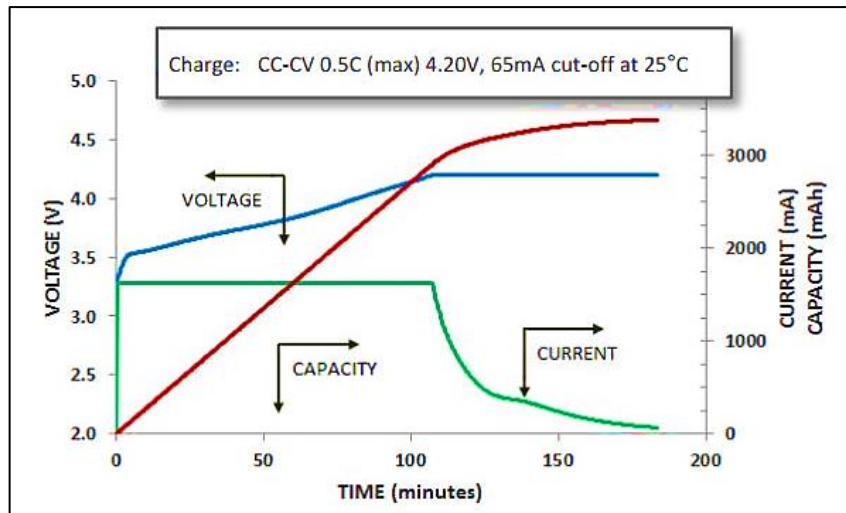


Gráfico 2-2: Características de carga de la célula NCR18650B

Fuente: (Fernández, 2016)

En el Gráfico 2-2 lo más relevante es el valor de la corriente que representa la línea verde, se puede ver que a medida que aumenta el voltaje de la batería (es decir, su estado de carga), caerá bruscamente. Esto puede explicar por qué Tesla anuncia que su súper estación de carga puede cargar del 0% al 80% en solo 40 minutos, pero tarda 75 minutos en llegar al 100%. Esto también ocurre en la gran mayoría de los automóviles equipados con baterías de iones de litio (Fernández, 2016).

Una variación inadecuada de temperatura ya sea por las condiciones ambientales o las de trabajo continuo son las que afecta gravemente al funcionamiento de la batería por lo que en el gráfico 3-2 muestra la descarga de la batería en función de la temperatura.

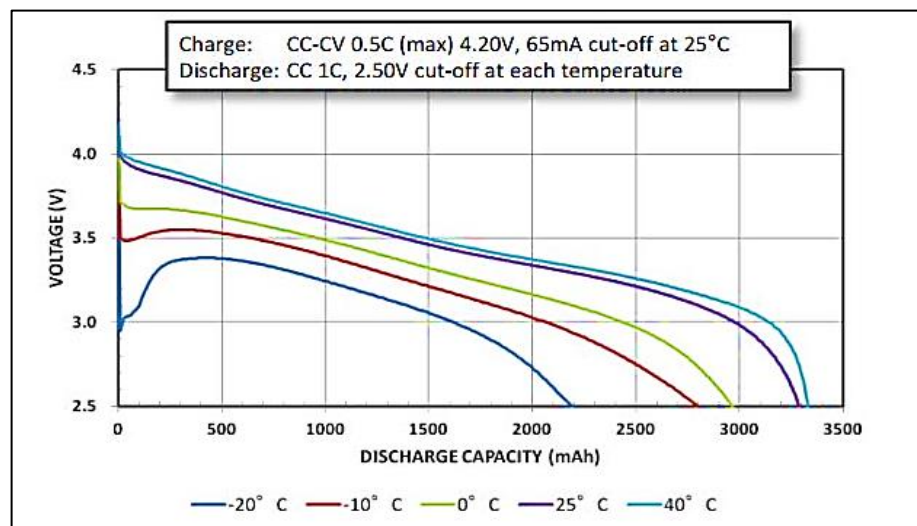


Gráfico 3-2: Descarga en función de la temperatura de la célula NCR18650B

Fuente: (Fernández, 2016)

La temperatura tiene un efecto negativo en la batería, cuanto menor sea la temperatura mayor será el impacto en la capacidad de la batería. Se puede ver claramente que a una temperatura de -20°C la capacidad de la batería es de solo 2200mAh, mientras que a 40°C , la capacidad llega a los 3300mAh. Esto no significa que debamos dejar que la batería funcione a 40°C , ya que hay que tener en cuenta la degradación provocada por las altas temperaturas (Fernández, 2016).

2.2.1.5. *Eficiencia de Coulomb*

La eficiencia de Coulomb por sus siglas en inglés Coulomb Efficiency (CE), denominada también como eficiencia de Faraday, eficiencia coulombica o eficiencia de corriente, representa la eficiencia de carga con la que se transfieren los electrones a la batería. CE es la relación entre la capacidad total de carga tomada de la batería y la capacidad total de carga de la batería en un ciclo completo, es decir, si una celda posee una capacidad de descarga de 2126mAh y una capacidad de carga de 2247mAh entonces la relación de 2126 entre 2247 es 0,9887 que equivale al 99% de CE. Las celdas de litio poseen valores de CE más altos en baterías recargables, pero esto es posible si la celda se expone a ciclos de carga y descargas moderadas con temperaturas adecuadas, la carga ultrarrápida disminuye el CE por las pérdidas ocasionadas por la aceptación de energía y por aumento de temperatura (Battery, 2010c).

El CE mejora con los ciclos, para probar esto, se utilizaron baterías de iones de litio de Panasonic, E-one Moli, Sony, LG y Samsung en formato de celda 18650. Algunas celdas comenzaron con una eficiencia coulombica del 99,1% y mejoraron al 99,5% con 15 ciclos. Algunos comenzaron en el 99,5% y alcanzaron el 99,9% con 30 ciclos. La consistencia en las pruebas repetidas fue alta, lo cual representa que el Li-ion es un sistema de batería muy estable (Battery, 2010c).

2.2.1.6. *Aplicaciones de las baterías 18650*

Día a día las herramientas eléctricas emplean baterías de litio factor 18650 para su funcionamiento, también computadoras portátiles, teléfonos inalámbricos, de igual manera se busca integrar este tipo de baterías a todas las industrias automotrices. El mayor fabricante de vehículos eléctricos TESLA MOTORS es la empresa que más ha invertido en mejorar la funcionalidad y uso de estas baterías, por lo que, el pack de baterías del Tesla Model S está compuesto por más de 7.000 celdas de iones de litio Panasonic NCR18650B un tipo de celda muy común en el uso electrónico, pero que solo es utilizada por Tesla en el mercado de los coches eléctricos (Fernández, 2016).

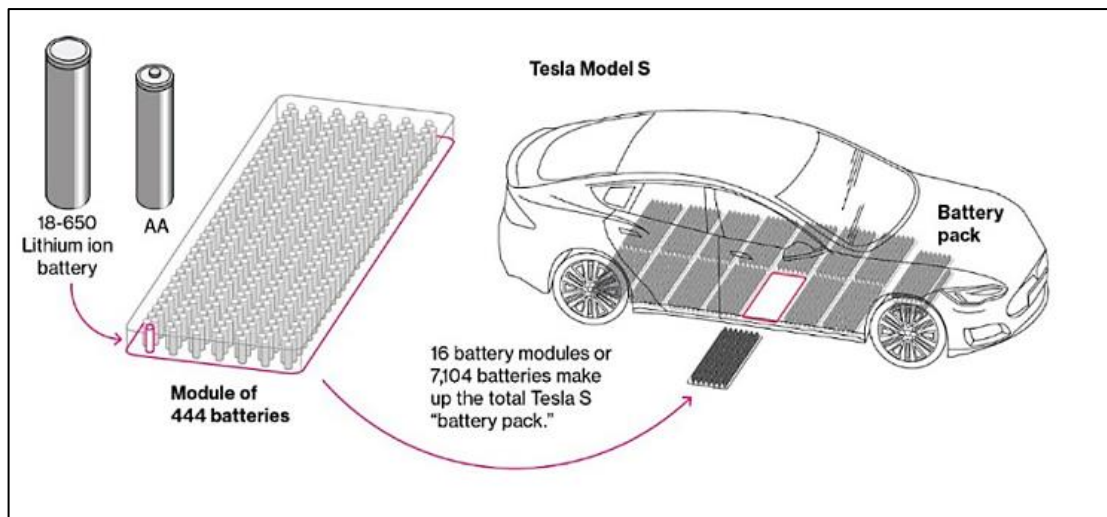


Figura 6-2: Esquema de la batería del Tesla Model S

Realizado por: (Mártel, 2019)

Todo indica que Tesla seguirá usando baterías Panasonic 18650 en el futuro, por lo tanto, habrá nuevas versiones que mejoren su capacidad y su comportamiento, pero seguramente manteniendo el formato actual. Un formato que ya se ha comprobado su eficacia, gracias a su flexibilidad, buena densidad energética y facilidad para refrigerarse. Tiene la desventaja de controlar más de 7.000 celdas, a diferencia de 200 que tienen que controlar otras marcas lo cual es algo que Tesla ya tiene solucionado (Fernández,2016).

Algunos vehículos híbridos emplean 48V Li-ion y emplean conversión CC-CC a 12V para el sistema eléctrico. El arranque del motor se lo realiza con una batería de plomo y ácido en 12V ubicada aparte. Los primeros autos híbridos usaban baterías de 148V; los vehículos eléctricos típicamente tienen baterías entre 450–500V. Las cuales ocupan más de 100 celdas de Li-ion conectadas en serie (Battery 2017).

2.2.2. Configuración Serie-Paralelo de celdas 18650

Una de las maneras en la que podemos aprovechar la energía que entregan estas celdas es formar una configuración serie-paralelo de celdas conectándolas tanto en serie como en paralelo para ajustarnos al trabajo requerido por el BMS y el motor eléctrico.

La configuración de celdas serie-paralelo es un método para diseñar y calcular la cantidad de celdas necesarias para formar un módulo de batería y posteriormente juntar los módulos necesarios para formar el pack de batería en su totalidad.

La celda es la unidad básica de una batería de iones de litio, al colocar varias celdas en un marco para protegerlas mejor de golpes o las vibraciones, se denomina módulo y cuando varios módulos se combinan junto con un BMS (Sistema de Gestión de Batería) y un dispositivo de refrigeración para controlar y gestionar la temperatura, además del voltaje de la batería esto se denomina paquete (pack), de esta manera se instalan numerosas celdas en un vehículo eléctrico a través de la forma de un paquete (Samsung, 2015).



Figura 7-2: Niveles que compone un paquete de batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la industria se han denominado con la siguiente nomenclatura, para las conexiones $XSYP$, donde X se refiere a la cantidad de módulos en serie (S), Y es la cantidad de celdas conectadas en paralelo (P). Por lo que una batería $4S2P$ corresponde a 4 módulos conectados en serie de 2 celdas en paralelo. Esto ayuda a identificar aspectos técnicos de la batería como su voltaje nominal, la cantidad de módulos y estimar la capacidad nominal de la batería (Samsung, 2015).

2.2.2.1. Conexión en serie de celdas (S)

El equipo portátil que necesita voltajes mayores usa conjuntos de baterías con dos o más celdas conectadas en serie. La Figura 8-2 muestra un empaque de batería con cuatro celdas de 3,6V Li-ion en serie, también conocido como $4S$, para producir 14,4V nominales. Agregar celdas en serie incrementa el voltaje, pero la capacidad permanece igual (Battery, 2017).

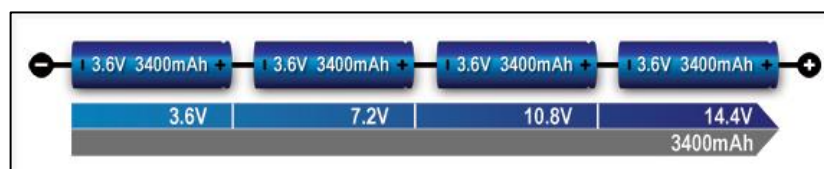


Figura 8-2: Conexión en serie ($4S$) de celdas 18650

Realizado por: (Battery, 2017)

Existen celdas que varían el voltaje en relación con las demás, en el mejor de los casos el controlador de carga y descarga (BMS) desconecta el suministro de energía a causa de que una

celda está fallando, este método de seguridad sirve para preservar la vida de la mayoría de las celdas, así como del dispositivo eléctrico al que se está suministrando energía. Si una tiene fallas, solo el módulo afectado será reemplazado. Un pequeño desbalance puede ocurrir si el nuevo módulo viene equipado con celdas nuevas (Battery, 2017).

La Figura 9-2 muestra un conjunto de batería en el cual la “celda 3” produce solo 2.8V en lugar del total nominal de 3.6V. Con un voltaje de operación disminuido, esta batería alcanza el punto final de descarga de manera más rápida que un conjunto normal. El voltaje se colapsa y el aparato se apaga con el mensaje de “Batería Baja” (Battery, 2017).

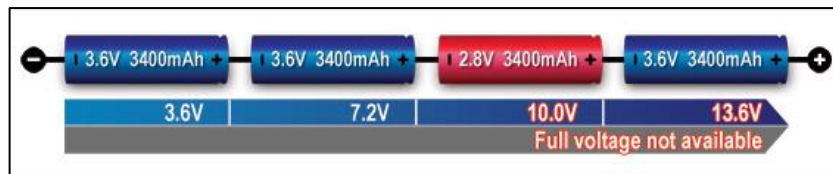


Figura 9-2: Conexión en serie, falla de voltaje en la celda 3

Realizado por: (Battery, 2017)

2.2.2.2. Conexión en paralelo de celdas (P)

Si se necesitan altas corrientes y no existen celdas más grandes o no cumplen la restricción de diseño, una o más celdas se pueden conectar en paralelo. La mayoría de las químicas de las baterías permiten configuraciones en paralelo con leves efectos colaterales. La Figura 10-2 ilustra cuatro celdas conectadas en paralelo en un arreglo 4P. El voltaje nominal del conjunto ilustrado permanece en 3,6V mientras que la capacidad (Ah) y el tiempo de funcionamiento se cuadruplican (Battery, 2017).

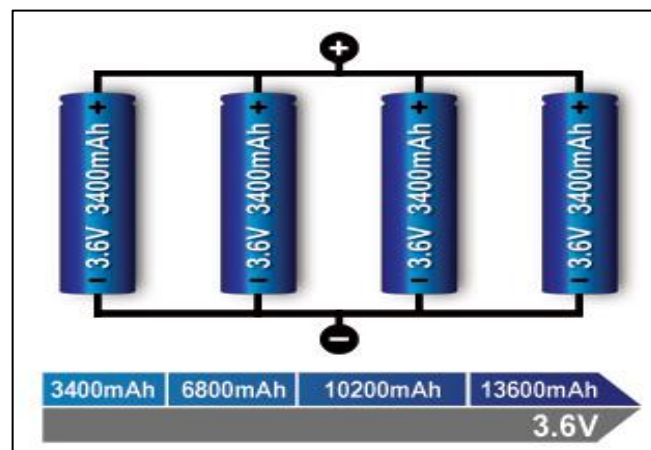


Figura 10-2: Conexión en paralelo (4P) de celdas 18650

Realizado por: (Battery, 2017)

Una celda que genera una resistencia alta o que se corta es menos crítica en un circuito en paralelo que en una configuración en serie, pero si una celda falla disminuirá la capacidad total de suministro, es como el caso de un motor a combustión que funcione con sólo tres en lugar de sus cuatro cilindros. En cambio, un cortocircuito eléctrico es más serio debido a que la celda que falla consume la energía de las otras celdas, generando peligro de fuego. La mayoría de los cortocircuitos eléctricos son suaves y se presentan como una elevada “autodescarga”. Los conjuntos grandes suelen incluir un fusible que desconecta la celda fallada del paralelo si se pone en corto. La Figura 11-2 ilustra una configuración en paralelo con una celda fallada (Battery, 2017).

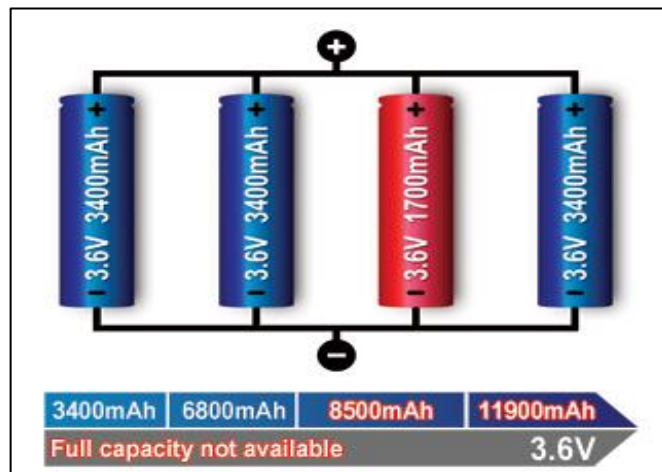


Figura 11-2: Conexión en paralelo con fallo en una celda

Realizado por: (Battery, 2017)

Una celda débil no afectará el voltaje, pero proveerá un bajo tiempo de funcionamiento debido a su capacidad reducida. Una celda en corto podría producir excesivo calor y convertirse en un peligro de incendio. En conjuntos grandes un fusible evita la alta corriente aislando la celda (Battery, 2017).

2.2.2.3. Balance de celdas por capacidad de descarga

Aumentar el equilibrio de las celdas es importante, ya que, a medida que el paquete de baterías envejece y el rendimiento de cada celda se degrada a su propio ritmo. Los problemas surgen cuando las celdas de la cadena pierden capacidad o desarrollan una alta autodescarga. Esto se puede atribuir a puntos calientes en baterías grandes. Las baterías de mala calidad también son propensas al envejecimiento desigual (Battery, 2010).

Un experto en baterías dijo una vez: “No he visto un circuito de equilibrio de celdas que funcione” (Battery, 2010). Esto se aplica a los paquetes de baterías de iones de litio de hasta 24V, los paquetes de más de 24V deben tener equilibrio de celdas.

El problema surge al momento de combinar celdas en serie de diferentes marcas y modelos para armar un paquete de batería que después de comprobar el estado de vida de las celdas y que estas sean superiores al 80% no se puede solamente ordenar de manera aleatoria, esto ocasiona una descarga no uniforme y puede provocar un mal rendimiento de la batería o peor aún, que algunas celdas se dañen o se recalienten.

2.2.2.4. Combinación en paralelo de celdas de diferente capacidad

Veamos lo que le sucede a una celda débil que se une con celdas más fuertes en un paquete. La celda débil tiene menos capacidad y se descarga más rápidamente que sus hermanos fuertes. Quedarse vacío primero hace que sus hermanos fuertes invadan a su hermano débil hasta el punto en que una carga alta puede empujar a la celda débil a la polaridad inversa. En la carga, la celda débil alcanza la carga completa primero y luego entra en sobrecarga generadora de calor, mientras que los hermanos fuertes aún aceptan la carga y se mantienen fríos. La celda débil experimenta una desventaja tanto en la carga como en la descarga; continúa debilitándose hasta abandonar la lucha (Battery, 2010).

La teoría dice que las capacidades en paralelo se suman, si combinamos dos celdas en paralelo de diferente capacidad una mayor y otra menor, se dice que la celda con menor capacidad se descarga más rápido, pero por motivos de la conexión en paralelo la celda con mayor capacidad va a ceder carga a la celda de menor capacidad, el voltaje debe ser el mismo en las dos celdas, finalmente las dos se descargarán al mismo tiempo (Battery, 2010).

A este proceso se le denomina también equilibrio de celdas, por lo tanto, existen dos tipos de equilibrio de celdas:

- El equilibrio pasivo sangra las celdas de alto voltaje en una resistencia durante la carga en la curva SoC del 70 al 80 por ciento.
- El equilibrio activo transfiere la carga adicional de las celdas de mayor voltaje durante la descarga a aquellas con un voltaje más bajo (Battery, 2010).

El equilibrio activo es el método preferido para las baterías EV, pero requiere convertidores CC-CC. Las corrientes corregidas están en el rango de mA solamente. La aplicación de una carga pesada durante la aceleración, seguida de una carga rápida con frenado regenerativo, requiere

celdas bien ajustadas en una batería de alto voltaje para alcanzar la vida útil prevista. Las baterías EV en Tesla, BMW i3 y otros EV emplean un equilibrio activo para minimizar el estrés celular (Battery, 2010).

Todas las celdas de iones de litio requieren un circuito de protección que asegure que las celdas conectadas en serie no superen los 4,25V/celda (la mayoría de los iones de litio) durante la carga y que se desconecten cuando la celda más débil caiga a 2,80 V/celda o menos. La desconexión de descarga evita que las celdas más fuertes empujen la celda agotada a la polaridad inversa. El circuito de protección actúa como un ángel de la guarda que protege a los hermanos más débiles de la intimidación de los compañeros más fuertes. Esto puede explicar por qué los paquetes de iones de litio para herramientas eléctricas duran más que las baterías de níquel sin un circuito de protección. El circuito de protección también protege la batería de una corriente de carga excesiva (Battery, 2010).

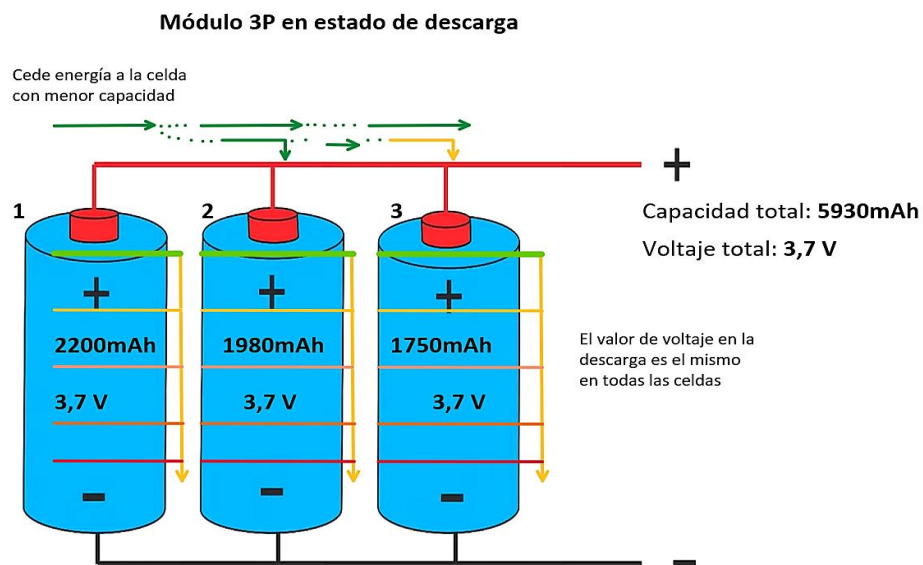


Figura 12-2: Proceso de descarga con celdas de diferente capacidad en paralelo

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Al conectar celdas de diferente capacidad en paralelo para formar un módulo, la descarga de cada una es uniforme por el hecho de estar conectadas de esa manera, la celda de mayor capacidad se descarga lentamente dependiendo de la capacidad demandada por el consumidor mientras que la celda de menor capacidad se descarga rápidamente por lo que la celda de mayor capacidad cede energía a la celda de menor capacidad.

Pero esto cambia y se vuelve más problemático cuando dichas celdas se las conecta en serie, pues se describe un proceso diferente ya que todo el módulo en serie tendrá la capacidad menor de

todas las celdas ya que esta sería un eslabón débil que al momento de descargarse será la que peligrosamente se acerque a la región de sobre descarga provocando fallos en el circuito, corte repentino de energía o peor aún averiar el circuito que controla la gestión de la batería.

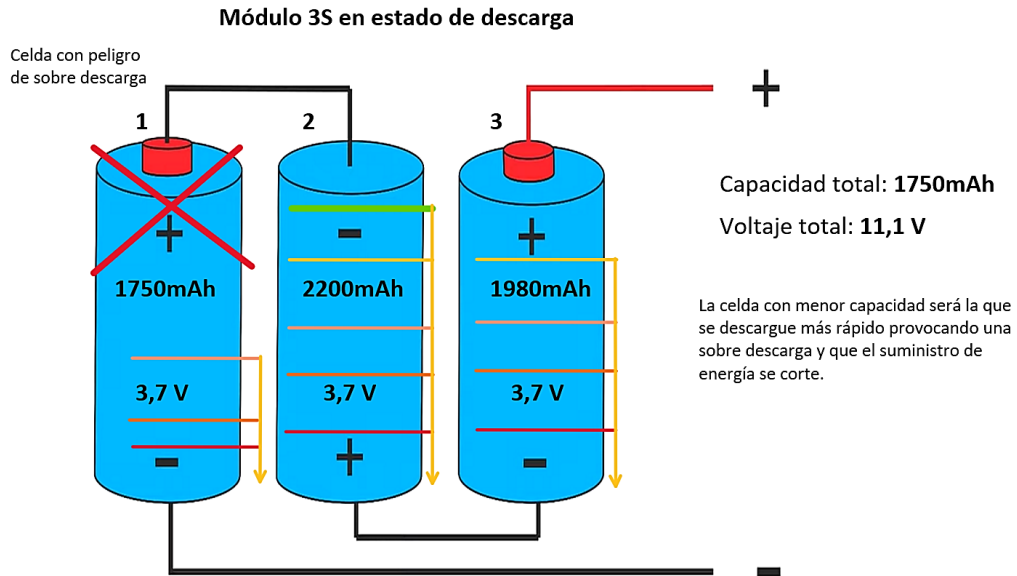


Figura 13-2: Proceso de descarga con celdas o módulos de diferente capacidad en serie

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Al balancear las celdas se obtiene la suma de las capacidades conectadas en paralelo para generar los módulos que se conectan en serie y tener valores de capacidad similares de modulo a modulo.

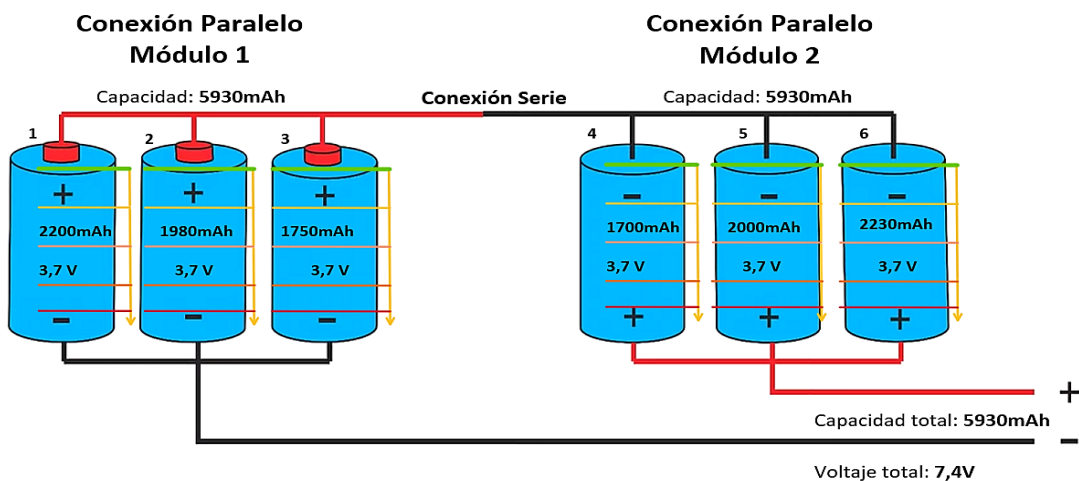


Figura 14-2: Pack de batería con balance de celdas

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la figura 14-2 se describen todas las características de un paquete de batería correctamente balanceada, siempre y cuando el estado de vida (SoH) de todas las celdas esté sobre el 80%, los

módulos 1 y 2 tienen la misma capacidad ya que la suma de las 3 celdas de cada módulo da como resultado la misma capacidad para ambas, por lo que no existe un eslabón débil o sobre descarga en este paquete de batería.

La capacidad de este paquete se describe de la siguiente manera: su capacidad total es la suma de las capacidades de las celdas de cada módulo y el voltaje total es la suma de los voltajes de los módulos conectados en serie.

2.2.3. Sistema de gestión de baterías (BMS)

Lo esencial durante la operación de las baterías es que, al identificar fallas, es probable que el daño se genere en un módulo o celda en particular cuya falla o desperfecto afecte al resto de la batería a problemas como sobre descargas, pérdida de capacidad o mal funcionamiento en general. Esto se debe a que al estar una celda en mal estado su ciclo de descarga se acelera de tal forma que almacena menos energía. Por lo tanto, el voltaje de la batería en total se reduce anticipadamente, impidiendo la entrega de energía requerida según la aplicación (Dupouy, 2021).

2.2.3.1. Concepto

EL BMS por sus siglas en inglés Battery Management System, tiene distintos significados, para algunos, se trata solo del monitoreo de la batería, teniendo controlados los parámetros operativos necesarios durante la carga y descarga, como los voltajes, corrientes, la temperatura interna y ambiente de la batería (Woodbank, 2005).

BMS significa Sistemas de administración de baterías. Estos sistemas abarcan no solo el monitoreo y la protección de la batería, sino también métodos para mantenerla lista para la entrega de plena potencia cuando se requiera y métodos para prolongar su vida útil abarcando desde el control del régimen de carga hasta el mantenimiento planificado (Woodbank, 2005).

Para un ingeniero automotriz, el sistema de gestión de la batería corresponde un componente de un sistema de gestión energética de rápida acción mucho más complejo que tiene que interactuar con otros sistemas, como la gestión del motor, climatización, comunicaciones y los sistemas de seguridad (Woodbank, 2005).

Los objetivos principales del BMS:

- Proteger las celdas o baterías de daños
- Prolongar la vida de la batería

- Mantener las baterías en un estado en el que pueda cumplir con los requisitos funcionales de la aplicación para la que fue especificada (Woodbank, 2005).

Para alcanzar estos objetivos, el BMS puede traer consigo una o más de las siguientes funciones:

Protección de la celda: La protección de la batería de condiciones de funcionamiento fuera de tolerancia es fundamental para todas las aplicaciones de BMS. En la práctica, el BMS debe proporcionar una protección celular completa para cubrir casi cualquier eventualidad. Operar una batería fuera de sus límites de diseño especificados conducirá inevitablemente a fallas en la batería. Aparte del inconveniente, el costo de reemplazar la batería puede ser prohibitivo. Esto es particularmente cierto para las baterías automotrices de alto voltaje y alta potencia que deben operar en entornos hostiles y que al mismo tiempo están sujetas a abuso por parte del usuario (Woodbank, 2005).

Control de carga: Esta es una característica esencial del BMS. La mayoría de las baterías se deterioran debido a una carga inadecuada que por cualquier otro factor (Woodbank, 2005).

Determinación del SOC: En varias aplicaciones se necesita un conocimiento del estado de carga (SOC) de la batería o de cada celda dentro de la cadena que forman la batería. Su uso puede ser simplemente para indicar al usuario de la capacidad que queda en la batería, también se puede necesitar en un circuito de control para garantizar un control adecuado del proceso de carga (Woodbank, 2005).

Determinación de SOH: El estado de salud (SOH) mide la capacidad de una batería de entregar su salida especificada. Esto es primordial para evaluar la preparación de los equipos de energía de emergencia y es un indicador de si se deben realizar o no acciones de mantenimiento (Woodbank, 2005).

Equilibrio de celdas: En cadenas de baterías con celdas múltiples, las mínimas diferencias entre celdas por tolerancias de producción o las condiciones de funcionamiento, se pueden incrementar con cada ciclo de carga / descarga. Las celdas más débiles se sobrecargan durante la carga, por lo que se debilitan todavía más, hasta llegar a fallar y provocar un deterioro prematuro de la batería. Equilibrar las celdas es una manera de compensar las celdas más débiles ya que se iguala la carga en todas las celdas de la cadena y se extiende la vida útil de la batería (Woodbank, 2005).

Autenticación e identificación: El BMS también permite registrar información sobre la celda, datos propios del tipo del fabricante y la química de la celda, lo cual facilita las pruebas

automáticas, el número de lote o serie y la fecha de fabricación, permitiendo la trazabilidad en caso de fallas de la celda (Woodbank, 2005).

Comunicaciones: Gran parte de los sistemas BMS incluyen algún tipo de comunicación entre la batería y el cargador o equipo de prueba. Algunos están entrelazados a otros sistemas que interactúan con la batería con el fin de llevar un monitoreo de su estado o su historial. También son necesarias interfaces de comunicaciones para permitir al usuario acceder a la batería y modificar los parámetros del BMS o realizar diagnósticos y pruebas (Woodbank, 2005b).

2.2.3.2. Diagrama de conexión del BMS

El BMS actúa como un interruptor en el lado negativo de una batería. La línea positiva del cargador debe ir directamente a la batería, ya que el BMS actúa como un control en el lado negativo y cortará el flujo de electricidad si no se cumple con uno de sus parámetros, al menos, ese es el caso de este o cualquier BMS con una línea B- el BMS posee las líneas de carga y descarga por separado, el BMS es inteligente a la hora de identificar si está suministrando energía o si está recibiendo carga.

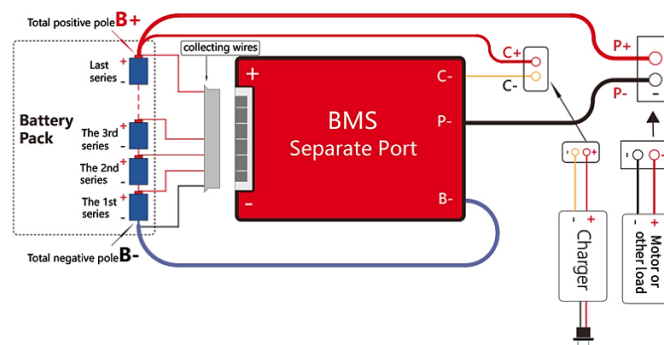


Figura 15-2: Conexión del BMS con línea de suministro y carga

Realizado por: (DALY, 2018)

En la figura 15-2 se describe un BMS 4S, son 4 celdas conectadas en serie, esto depende para el trabajo que vaya a realizar por lo que si se requiere de mayores voltajes se debe usar un BMS de mayor capacidad. La línea azul (negativo) y rojo (positivo) son las que se van conectadas a los terminales positivos y negativos del paquete de batería, mientras que las líneas rojas (delgadas) se conectan a cada unión de la serie e ingresan al controlador para monitorear el funcionamiento de cada módulo, finalmente la línea de carga (amarillo) está dedicada a la gestión de carga de la batería, al ser de puerto separado esta línea es independiente a la línea de descarga.

2.2.3.3. BMS automotriz

Para la gestión de automóviles se requiere mayor exigencia que los dos ejemplos anteriores. Ya que debe interactuar con distintos sistemas a bordo, debe funcionar en tiempo real en condiciones de carga y descarga que cambian de manera rápida cada vez que el vehículo acelera y frena, teniendo que trabajar en un entorno hostil y descontrolado. El siguiente ejemplo expone un sistema complejo a manera de ilustración de lo que es posible, pero no en todas las aplicaciones estarán presentes las funciones que se muestran aquí (Woodbank, 2005b).

Las funciones adecuadas de un BMS para un vehículo eléctrico híbrido son las siguientes:

- Monitoreo de las condiciones de las celdas individuales que componen la batería
- Mantener todas las celdas dentro de sus límites operativos
- Proteger las células de condiciones fuera de tolerancia
- Proporcionar un mecanismo "a prueba de fallas" en caso de condiciones no controladas, pérdida de comunicaciones o abuso
- Aislar la batería en casos de emergencia
- Compensación de cualquier desequilibrio en los parámetros de la celda dentro de la cadena de la batería
- Configuración del punto de funcionamiento de la batería para permitir que se absorban las cargas de frenado regenerativo sin sobrecargar la batería.
- Proporcionar información sobre el estado de carga (SOC) de la batería. Esta función a menudo se denomina "indicador de combustible" o "indicador de gas "
- Proporcionar información sobre el estado de salud (SOH) de la batería. Esta medición da una indicación del estado de una batería usada en relación con una batería nueva.
- Proporcionar información para pantallas y alarmas del conductor
- Predecir el rango posible con la carga restante en la batería (solo los vehículos eléctricos requieren esto)
- Aceptar e implementar instrucciones de control de sistemas de vehículos relacionados.
- Proporcionar el algoritmo de carga óptimo para cargar las celdas.
- Proporciona precarga para permitir la prueba de impedancia de carga antes del encendido y carga en dos etapas para limitar las corrientes de irrupción
- Proporcionar medios de acceso para cargar celdas individuales
- Responder a los cambios en el modo de funcionamiento del vehículo.
- Registro del uso y abuso de la batería. (La frecuencia, magnitud y duración de las condiciones fuera de tolerancia) Conocida como la función Libro de registro
- Emergencia "Limp Home Mode" en caso de falla de la celda (Woodbank, 2005b).

En sistemas prácticos, el BMS puede incorporar más funciones del vehículo que simplemente administrar la batería. Puede determinar el modo de funcionamiento deseado del vehículo, ya sea acelerando, frenando, en ralentí o parado, e implementar las acciones de gestión de energía eléctrica asociadas (Woodbank, 2005).

2.2.4. Pruebas de funcionamiento de las celdas de litio

2.2.4.1. Tipo de pruebas

Para el proceso de reutilización de las celdas 18650 es importante contar con las indicaciones necesarias para verificar el estado de la celda, todas las mediciones de las características son usadas como pruebas para estimar el estado de las celdas, las pruebas más usadas en este proceso son:

- **Medición de voltaje en circuito abierto:** Indicativo del estado de carga. Se es incapaz de estimar el estado de salud solo de esta medición (Woodbank, 2005).
- **Prueba Óhmica o de impedancia:** Mide la resistencia interna de la batería para comprobar las características de carga e identificar condiciones de falla. Las lecturas de resistencia tienen correlación con la capacidad. Esta prueba también se denomina prueba de impedancia (Z) (Woodbank, 2005).
- **Pruebas de ciclado completo:** Mide la capacidad de la batería química con un ciclo de carga / descarga / carga. Los resultados son precisos, pero con frecuencia se debe retirar una batería del servicio y el tiempo de esta prueba demora horas (Woodbank, 2005).
- **Conteo de Coulomb:** Esta técnica se usa en aquellas baterías de las cuales se sabe los valores de capacidad inicial. Está basado en la medición de los flujos de corrientes desde y hacia la batería para realizar un análisis sobre el estado de carga y salud de esta (Woodbank, 2005a).

2.2.4.2. Cargadores para celdas de litio 18650

La marca LiitoKala es una empresa que fabrica celdas y cargadores de litio, LiitoKala es de China y se fabrica en China. Tiene 13 años de experiencia en tecnología de cargadores de baterías (LiitoKala, 2019).

La prueba más recomendada es la prueba de ciclado completo ya que esta ayuda a alcanzar la carga completa de la celda, este cargador de 6 slots ayuda a acelerar el proceso de carga y trabajo.



Figura 16-2: Cargador LiitoKala Lii-S6

Fuente: (LiitoKala, 2019)

Especificaciones:

- Cargador de detección de polaridad automática
- Entrada: DC 12V / 3A (min)
- Salida: DC 4.20V 2000mA * 3; 1000 mA * 6; 700 mA * 6; 500 mA * 6
DC 4,35 V 2000mA * 3; 1000 mA * 6; 700 mA * 6; 500 mA * 6
CC 3,65 V 2000 mA * 3; 1000 mA * 6; 700 mA * 6; 500 mA * 6
CC 1,48 V 500 mA * 6
- Compatible con todas las baterías recargables;
Ni-MH / Cd: tamaño AA, AAA, A, SC, C
Iones de litio / IMR / LiFePO4: 26650,20700,18650,18490,17700,
17500,16340 (RCR123), 14500,10440 (LiitoKala, 2019).

Cargador LiitoKala Lii-500S, este cargador tiene la función de realizar TEST de manera automática en la cual carga completamente la celda y después realiza el proceso de descarga hasta completar un ciclo de carga y mostrar los resultados en la pantalla LCD.



Figura 17-2: Cargador automático LiitoKala Lii-500S

Realizado por: (LiitoKala, 2019)

Especificaciones:

- Entrada: DC12V / 3A
- Salida: DC4.2V 500mA * 4 / 700mA * 4 / 1000mA * 4 / 2000mA * 2
- DC1.48V 500mA * 4 / 700mA * 4 / 1000mA * 4
- Dos corrientes de descarga: 250mA * 4 / 500mA * 4
- Salida USB: DC 5V 1000mA
- Compatible con Ni-MH / Cd. Tamaños AA AAA A SC
- La batería de iones de litio de 3,7 V incluye: 26650,21700,22650,26500,18650, 18490,17670,17500,17355,16340,14500,10440 (LiitoKala, 2019).

2.2.4.3. Procedimiento y análisis de las celdas recicladas

Para realizar las pruebas primero se debe iniciar por la inspección general de las baterías, si estas están completamente selladas se procede a desarmarlas. Se identifica las celdas por marca y por capacidad con la ayuda de datos disponibles en Second life storage ya que cuenta con una base de datos muy amplia en cuanto a modelos y especificaciones de celdas de litio, esta herramienta nos ayuda a identificar la capacidad de corriente e intensidad propias del fabricante de cada celda. La base de datos brinda los valores de referencia permitirán tener benchmarks para las celdas y estimar la calidad de su estado. Otro valor importante para notar es el voltaje individual de las celdas, ya que este valor puede ser indicativo de celdas problemáticas a evitar usar.

2.3. Marco legal

2.3.1. Logística y reciclaje de las baterías de computadoras portátiles

2.3.1.1. Leyes sobre el uso de residuos de baterías y la gestión ambiental

Las pilas o baterías son un problema para el medio ambiente, debido a que contienen sustancias tóxicas. Esto es muy poco conocido por la mayoría de las personas y los graves efectos al entorno que provocan al desecharlas como basura común. Por esto la mayoría de las veces terminan en los rellenos sanitarios donde no se les da un tratamiento responsable (MAATE, 2013).

En respuesta a esta problemática, el Ministerio del Ambiente (MAE), a través del Acuerdo N° 22, expide el Instructivo para la Gestión Integral de Pilas Usadas, con el objetivo de establecer los requisitos, procedimientos y especificaciones ambientales para la elaboración, aplicación y control del Plan de Gestión Integral de Pilas Usadas, fomentando la reducción y otras formas de valorización, para proteger el ambiente (MAATE, 2013).

En este acuerdo se regula las pilas descritas en la Normativa Ambiental con excepción de aquellas que no se puedan separar de los equipos electrónicos a los que pertenecen.

Las pilas reguladas en este acuerdo son:

- Pilas con óxido de mercurio.
- Pilas níquel cadmio.
- Pilas níquel hidruro metálico.
- Pilas níquel hierro.
- Pilas ion litio (Tapia, 2014).

Además, se establece que toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que preste servicios de almacenamiento, transporte o eliminación de pilas usadas, debe tener una licencia ambiental para el efecto (MAATE, 2013).

2.3.1.2. Norma NTE INEN2534:2011

Disposición de productos, Pilas y baterías en desuso, esta norma establece los requisitos que debe cumplir la disposición de las pilas y baterías que se encuentran en desuso en el Ecuador con exclusión de las baterías plomo-ácido. Para efectos de esta norma, las pilas y baterías en desuso, con exclusión de las baterías plomo ácido, serán consideradas materiales que revisten

características peligrosas, por lo tanto, no deben, por ningún motivo, ser arrojados en el suelo, en cuerpos de agua, al alcantarillado, ni entre los desechos domiciliarios, comerciales o industriales (INEN, 2011).

Las pilas y baterías en desuso deberán cumplir un proceso ordenado para su manejo y disposición pasando por un flujo hasta su destinación de acuerdo con las condiciones en que se encuentren.

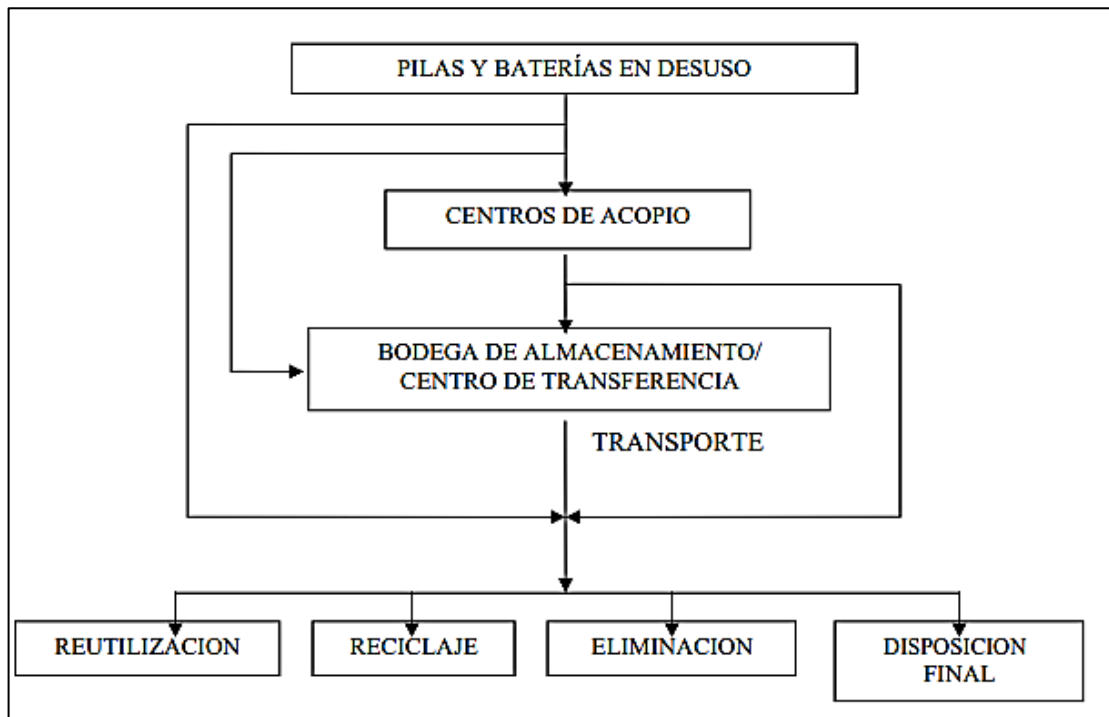


Figura 18-2: Flujo de pilas y baterías en desuso

Realizado por: (INEN, 2011)

En cuanto al reciclaje se debe garantizar un manejo ambientalmente racional de las pilas y baterías en desuso donde las instalaciones de reciclaje dispongan de la infraestructura técnica necesaria cumpliendo con todas las normas dispuestas por el Ministerio del Ambiente o las AAAR Autoridad Ambiental de Aplicación responsable (INEN, 2006).

De acuerdo con esta normativa se clasifican las pilas en dos grupos de acuerdo con la tecnología empleada en su fabricación:

Pilas primarias o no recargables. Son aquellas en el cual está presente un proceso químico irreversible donde actúan dos metales diferentes o un metal y carbón, y un líquido denominado electrolito. Al agotarse se descartan (INEN, 2006).

Pilas secundarias o recargables. Permiten una cantidad de ciclos de carga/descarga y se pueden recargar invirtiendo su reacción química. Estas pilas y baterías contienen ácidos, álcalis, sales y metales, por lo que se requiere un tratamiento para su descarte (INEN, 2006).

Las baterías que requieren reciclar para realizar el pack de baterías corresponden al tipo secundarias o recargables de ion litio 18650 presentes en ordenadores portátiles, las cuales de acuerdo con esta norma se debe acudir a entidades, personas naturales o jurídicas que cumplan con el proceso de almacenamiento y reciclaje adecuado para adquirir baterías seleccionadas previamente para la reutilización.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de etapas del proyecto

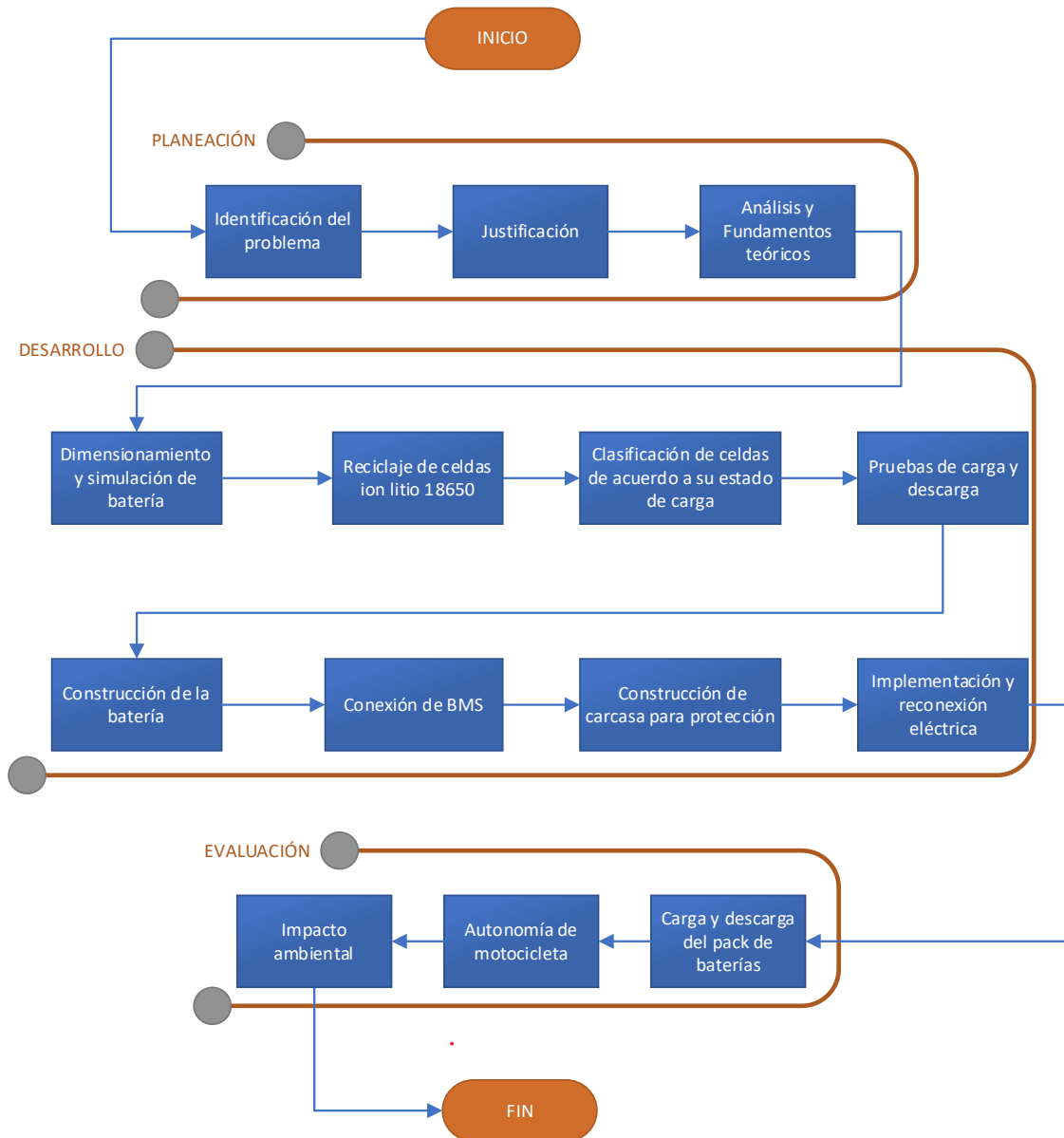


Figura 1-3: Diagrama de tareas a realizar

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.2. Metodología de investigación

La metodología empleada para el desarrollo del diseño y construcción del paquete de baterías con celdas 18650 recicladas es de carácter inductivo-deductivo, debido a que es un método de inferencia basado en la lógica y relacionado con el estudio de hechos particulares, aunque es deductivo en un sentido, parte de lo general a lo particular e inductivo en sentido contrario, va de lo particular a lo general (Chávez, 2014).

Esto se debe a que se parte del análisis de las celdas recicladas, las cuales servirán para la construcción del pack de baterías e influirán en su óptimo funcionamiento, de igual manera el funcionamiento y autonomía de la motocicleta depende principalmente de la energía proporcionada por la batería, así como del control necesario por parte del BMS y control adecuado de la aceleración. Igualmente, se parte de las características de la motocicleta y el motor eléctrico que posee para el diseño y dimensionamiento adecuado de la batería con los valores de voltaje y amperaje necesarios.

En el proceso para alcanzar los resultados del proyecto se usa un conjunto de métodos o técnicas que corresponden a cada etapa o actividad que se va realizando hasta obtener el producto deseado:

Tabla 1–3: Metodología de la investigación

Objetivos	Preguntas	Metodología	Técnicas	Instrumentos
OE1: Revisar las bases teóricas que comprenden el reciclaje y reutilización de baterías de litio especialmente de factor 18650.	<p>P1: ¿Qué son las celdas ion-litio 18650 y cuáles son sus principales aplicaciones?</p> <p>P2: ¿Cuál es la normativa que regula el reciclaje de baterías en el país?</p> <p>P3: ¿Se pueden reutilizar las celdas 18650 de las laptops y qué condiciones se debe tomar en cuenta para este proceso?</p>	Información obtenida acerca de conceptos y especificaciones técnicas de celdas 18650. Además de las normativas vigentes para el proceso de reciclaje y reutilización mediante el método deductivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación. • Búsqueda de normas y leyes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma INEN. • Páginas web. • Blogs. • Artículos.

<p>OE2: Identificar y reciclar de talleres de reparación de computadoras las baterías de laptops desechas para extraer sus celdas internas de litio.</p>	<p>P1: ¿Qué tipo de baterías contienen las laptops y cuantas celdas contienen en su interior? P2: ¿Qué parámetros definen si una celda aún se puede reutilizar o se debe desechar? P3: ¿Cómo identificar el estado de una celda mediante su voltaje antes de su reciclaje?</p>	<p>Realizar un análisis tanto visual como mediante mediciones de voltaje para clasificar las celdas a reciclar mediante el método analítico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de celdas en rangos de voltaje. • Selección de celdas aptas para un posible segundo uso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instituciones de reciclaje. • Talleres de reparación. • Multímetro. • Guantes.
<p>OE3: Verificar el estado de salud de las celdas con la ayuda de un cargador de batería específico y verificar si sus características les facultan para ser ocupadas en un segundo uso.</p>	<p>P1: ¿Cómo obtener datos de tensión y corriente para saber el estado de las celdas recicladas? P2: ¿Qué tipo de pruebas se realizan con el dispositivo de carga para celdas 18650? P3: ¿Definen las pruebas de carga y descarga el estado real de las celdas para clasificarlas de acuerdo con sus características?</p>	<p>Realización de pruebas individuales a cada celda que conformarán el paquete de baterías mediante el método analítico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Carga y descarga de celdas. • Consulta de valores nominales. • Clasificación según estado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cargador LIITOKALA. • Fichas técnicas. • Catálogos en línea.
<p>OE4: Diseñar y construir el paquete de batería adecuado que cumpla con los requerimientos para el funcionamiento óptimo del motor y del conjunto eléctrico de la motoneta.</p>	<p>P1: ¿Qué configuración de conexión es la adecuada para obtener valores de tensión y corriente necesarios para el funcionamiento del motor eléctrico? P2: ¿Cómo conseguir que todos los módulos tengan una capacidad similar? P3: ¿La conexión en serie-paralelo permite conseguir los valores de tensión y corriente requeridos para abastecer el conjunto eléctrico de la motoneta?</p>	<p>Para armar el paquete de baterías es necesario un análisis tanto de las celdas individuales como en conjunto mediante las conexiones utilizando un método sintético.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unión de celdas en paquetes. • Conexión en serie-paralelo. • Combinar módulos con valores aproximados de amperaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Software Proteus 8 Professional. • Software en línea: www.repa.ckr.com • Soportes para celdas 18650. • Cinta de acero niquelado. • Lámina de níquel. • Anillos aislantes. • Cinta de aislante térmico. • Soldadura de punto.

<p>OE5: Realizar las pruebas necesarias y análisis de resultados para constatar el correcto funcionamiento y autonomía de la motoneta.</p>	<p>P1: ¿Qué pruebas de funcionamiento se debe realizar al pack de baterías antes de ser instalado en la motoneta? P2: ¿Cuál es la autonomía mínima esperada que debe brindar la batería? P3: ¿Es necesario realizar correcciones en el paquete de baterías para lograr la autonomía adecuada?</p>	<p>Pruebas realizadas al pack de baterías y autonomía brindada usando un método sintético para el análisis general de la motoneta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba de acelerador. • Análisis de autonomía en un tramo indicado. • Pruebas de carga y descarga de la batería. • Pruebas de temperatura de la batería. 	<ul style="list-style-type: none"> • APP Strava • Cronómetro. • Medidor de SoC y voltaje. • Pinza amperimétrica. • Cámara termográfica. • Termocupla.
---	--	--	---	---

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Las metodologías aplicadas en el desarrollo de los objetivos específicos planteados para la realización del proyecto técnico de integración como se observa en la Tabla 1–3 son la metodología deductiva, sintética y analítica. Así como una metodología general de carácter inductivo-deductivo, ya que se realiza este análisis para la construcción del pack de baterías partiendo del reciclaje y análisis de las celdas hacia el funcionamiento general y autonomía de la motoneta.

3.3. Desarrollo del proyecto

3.3.1. Cronograma de actividades

Tabla 2–3: Cronograma de actividades

		FECHAS																				Inicio	Fin	
Mes	Semanas	Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
ACTIVIDADES	Revisión de recursos bibliográficos																						10 05 2021	16 05 2021
	Desarrollo del capítulo I																						17 05 2021	30 05 2021
	Recolección de baterías de laptops y análisis de las celdas																						17 05 2021	6 06 2021
	Clasificación de celdas																						7 06 2021	20 06 2021
	Desarrollo del capítulo II																						7 06 2021	20 06 2021
	Desarrollo del capítulo III																						21 06 2021	18 07 2021
	Prueba de carga y descarga, marca y numeración de celdas																						21 06 2021	18 07 2021
	Almacenaje de celdas																						21 06 2021	18 07 2021
	Selección e importación de materiales y herramientas																						17 05 2021	18 07 2021
	Construcción del pack de batería																						19 07 2021	1 08 2021
	Construcción de la carcasa de protección																						19 07 2021	1 08 2021
	Implementación de la batería en la motoneta																						2 08 2021	15 08 2021
	Pruebas del sistema eléctrico																						16 08 2021	22 08 2021
	Pruebas de autonomía																						23 08 2021	29 08 2021
Resultados																						30 08 2021	5 09 2021	

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.2. Recursos y materiales

Uno de los recursos claves para el desarrollo de este proyecto es la adquisición de la motoneta eléctrica propiedad de la escuela de ingeniería automatriz, esta motoneta se caracteriza por tener

un motor sin escobillas eléctrico al cual se le implementará el pack de baterías. La mayoría de los materiales utilizados en este proyecto no se encuentran disponibles en el país, los materiales necesarios para el desarrollo de este proyecto se los ha adquirido en tiendas extranjeras, es importante analizar los recursos y materiales con el tiempo de envío de cada recurso.

3.3.2.1. Presupuesto

El factor económico es muy importante y en este caso se debe detallar cada gasto y consumo utilizado para su desarrollo, este proceso ayuda a determinar el costo total para la construcción de la batería, los gastos directos e indirectos serán los que detallen dicha información.

Gastos directos

Los gastos directos serán los que afecten de manera inmediata al proceso de elaboración de la batería, a veces es necesario no escatimar en gastos ya que es fundamental para que el desarrollo se complete de mejor manera.

Tabla 3-3: Gastos directos

Producto	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Baterías de laptops	Baterías desechas obtenidas de locales de mantenimiento de computadoras	35	\$ 1,00	\$ 35,00
BMS 13s	BMS Daly de 48V 30A Puerto separado	1	\$ 22,77	\$ 22,77
Cargador LiitoKala	LiitoKala Lii-500S carga y comprueba la capacidad de la batería	1	\$ 37,90	\$ 37,90
Medidor de batería	Indicador de voltaje de capacidad de la batería Monitores DC 12 V 24 V 36 V 48 V 60 V 72 V 84 V	1	\$ 8,99	\$ 8,99
Cinta de acero niquelado	Cinta para soldadura de celdas 18650 10m	1	\$ 7,99	\$ 7,99
Tira de níquel de alta pureza	Tira de níquel puro 2P para soldadura de celdas 18650 2m	1	\$ 13,90	\$ 13,90
Soportes para celdas de iones de litio 18650	Paquete que contiene 100 unidades	3	\$ 9,89	\$ 29,67
Anillo aislante	Pegatinas de cartón fino, aislante eléctrico paquete de 300 unidades	1	\$ 8,88	\$ 8,88
Soldadora de punto	Mini soldadora recargable de puntos para cintas de níquel	1	\$ 55,99	\$ 55,99
Cargador de batería de litio	YZPOWER 54,6v 4A cargador de 3 pines	1	\$ 38,99	\$ 38,99
Cinta kapton	Cinta de aislamiento térmico resistente a altas temperaturas	1	\$ 11,39	\$ 11,39
TOTAL				\$ 271,47

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Gastos indirectos

Estos gastos no influyen de manera inmediata al desarrollo del trabajo, pero pueden definir el costo de cada proceso antes, durante y después del trabajo.

Tabla 4-3: Gastos indirectos

Detalle	Costo
Importaciones	\$ 71,94
Transporte	\$ 50,00
Internet	\$ 50,00
Energía eléctrica	\$ 80,00
Impresiones	\$ 40,00
TOTAL	\$ 291,94

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Costo total

Es el que define los gastos de todo el desarrollo del trabajo, es decir, la suma de los gastos directos e indirectos.

Tabla 5-3: Costo total

Detalle	Costo
GASTOS DIRECTOS	\$ 271,47
GASTOS INDIRECTOS	\$ 291,94
TOTAL	\$ 563,41

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.2.2. *Talento humano*

Un aspecto importante para el desarrollo adecuado del proyecto es delimitar el aporte de cada uno de los integrantes y colaboradores, mediante la distribución de actividades a realizar de acuerdo con el área en la que cada uno destaca. De esta manera se puede llevar a cabo la realización del presente trabajo de una manera organizada y eficiente, cumpliendo con el cronograma establecido.

A continuación, se detalla las actividades a realizar y los involucrados en cada una de ellas:

- Diseño, bosquejo, simulación, reciclaje y pruebas de celdas, construcción, montaje y análisis de resultados. Actividades correspondientes a Edwin Guanoluisa, Fredy Bustos; como autores principales y encargados que la ejecución del proyecto sea de manera adecuada cumpliendo los tiempos establecidos.

- Ing. Celin Padilla como tutor del trabajo a realizar será el encargado de guiar y estructurar las etapas y procesos técnicos necesarios para el correcto desarrollo del proyecto.
- Ing. Luis Buenaño como asesor del proyecto cumple la función de solventar dudas e inquietudes durante el proceso de ejecución del proyecto en cada una de las actividades, garantizando que cada etapa este correctamente culminada.

3.3.2.3. Equipos y materiales

Tabla 6-3: Equipos y materias necesarios para el desarrollo

Equipos	Materiales
Multímetro	Baterías de laptops
Cargador LiitoKala	Cinta de acero niquelado
Soldadora de punto	Anillo aislante
BMS 13S 30A	Cinta Kapton
Alicate	Soportes para celdas
Destornillador	Cables AWG10

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3. Desarrollo del proyecto

El proyecto inicia con la adquisición de la motoneta eléctrica propiedad de la carrera de ingeniería automotriz. Con las especificaciones del motor y de todo el conjunto de la motoneta se logra identificar las capacidades y cualidades necesarias para armar la batería. Para obtener las características adecuadas de la batería es importante utilizar la ley de Ohm ya que se trata de circuitos fundamentales, se trabaja con diferencia de potencial (voltaje), corriente (intensidad), al ser un conjunto de baterías la resistencia se interpreta como la potencia (W), con estas referencias ya se puede determinar las características necesarias para la construcción de la batería.

3.3.3.1. Características de la motoneta

Tabla 7-3: Especificaciones de la motoneta tipo scooter eléctrica con baterías de plomo

Especificación	Detalle
Capacidad	2 personas
Velocidad	35 km/h
Autonomía con baterías de plomo	25 km
Peso sin ocupantes	85 kg
Potencia nominal del motor	500W motor DC sin escobillas
Motor	Eléctrico Brushless en rueda trasera
Baterías	(4) DZM Plomo Recargable 12V/20Ah
Tiempo de carga	4 horas para carga completa

Fuente: (Chiriboga y Velasco, 2017a: p.53)

Tabla 8-3: Datos básico del motor brushless

Especificación	Característica
Tensión	48 V
Velocidad	600 rpm
Nombre del producto	Motor de cubo eléctrico
Modelo	SLT1003
Potencia nominal	500 W
Tipo	Motor de cubo
Diseño	Sin escobillas
Peso	3.5 kg
Tamaño	10 in

Fuente: (Chiriboga y Velasco, 2017b: p.30)

Tabla 9-3: Datos básicos del controlador eléctrico

Especificación	Característica
Origen	China
Tipo de motor	Motor de CC
De energía	500 W
Marca	Persino
Máxima corriente	30A
Bajo voltaje	41.5 ± 0.5 V
Protección	A prueba de agua
Número de modelo	PSCN48V500WBL
Tensión	48 V
Color	Plateado
Tipo de motor	Blde motor eléctrico

Fuente: (Chiriboga y Velasco, 2017c: p.49)

3.3.3.2. Datos para el funcionamiento del conjunto eléctrico Batería – Motor

Para calcular la corriente que necesita el motor para su funcionamiento se debe identificar el voltaje y su potencia, se usa la ley de Watt para hallar la corriente requerida por parte del motor para su funcionamiento óptimo. La ley de Watt se refiere a la potencia eléctrica de un componente o dispositivo electrónico, se define como la potencia consumida por la carga y es proporcional al voltaje suministrado y la corriente que fluye a través de él (MecatrónicaLATAM, 2021).

Datos:

$$P = 500 \text{ W} \quad \text{Potencia nominal}$$

$$V = 48 \text{ V}$$

$$I = \frac{P}{V} \tag{1}$$

$$I = \frac{500}{48}$$

$$I = 10,4 \text{ A}$$

Es necesario armar una batería que cumpla como mínimo una capacidad de 10,4A de consumo a la hora, se debe aumentar la capacidad de la batería para obtener una mejor autonomía.

Se debe trabajar con una configuración de 13 baterías en serie para obtener 48V, las configuraciones son:

- Batería cargada: celda $4,2V * 13 = 54,6V$ (tensión máxima)
- Tensión nominal: celda $3,7V * 13 = 48,1V$
- Batería descargada: celda $2,7V * 13 = 35,1V$ (tensión mínima)

El objetivo es mejorar la autonomía de la motoneta a lo que era antes con las baterías de plomo, al trabajar con capacidades mayores a 10,4A ya se logra aumentar la autonomía considerablemente, por lo tanto, se espera trabajar con celdas con capacidad de descarga de al menos 2000mA, por lo que sería recomendable realizar una configuración 13S7P, es decir, 48V a 14Ah con un total de 91 celdas, con esta configuración se obtiene fácilmente una buena autonomía.

Para mantener un funcionamiento estable se opta por un BMS 13S de 48V a 30 A, el BMS protegerá el funcionamiento de la batería al igual que el controlador del motor que tiene las mismas características de trabajo tales como 48 V a 30 A, por lo tanto, la distribución eléctrica esta balanceada.0

3.3.3.3. *Bosquejo*

Estos soportes de plástico están especialmente diseñados para armar packs de baterías con celdas 18650, estos soportes ayudan a que cada celda esté separada aproximadamente 2mm una de otra y mantenerlas muy seguras en cualquier movimiento brusco evitando que rosen entre sí, ayuda a disipar mejor el calor al no tener baterías pegadas, se utilizan 2 soportes por celda y se las debe acoplar cada una en los anclajes de tipo riel.

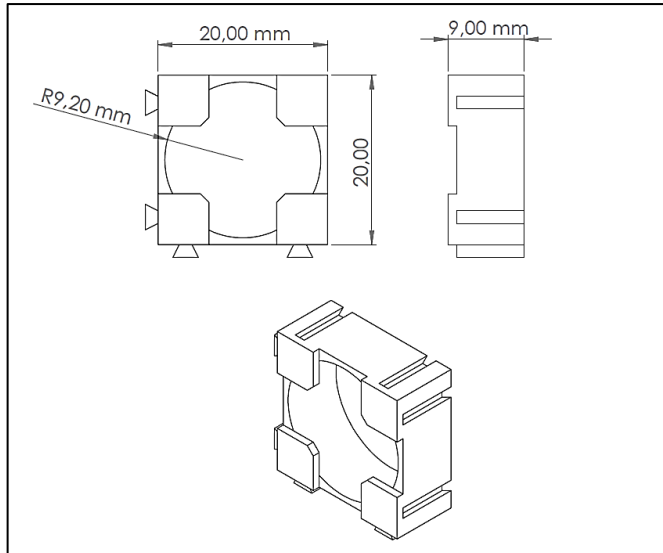


Figura 2-3: Soporte para celda ion-litio 18650

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

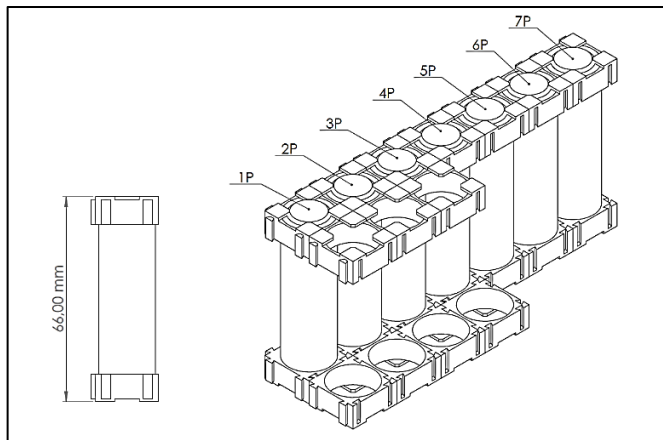


Figura 3-3: Armado de soportes y acople de celdas.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

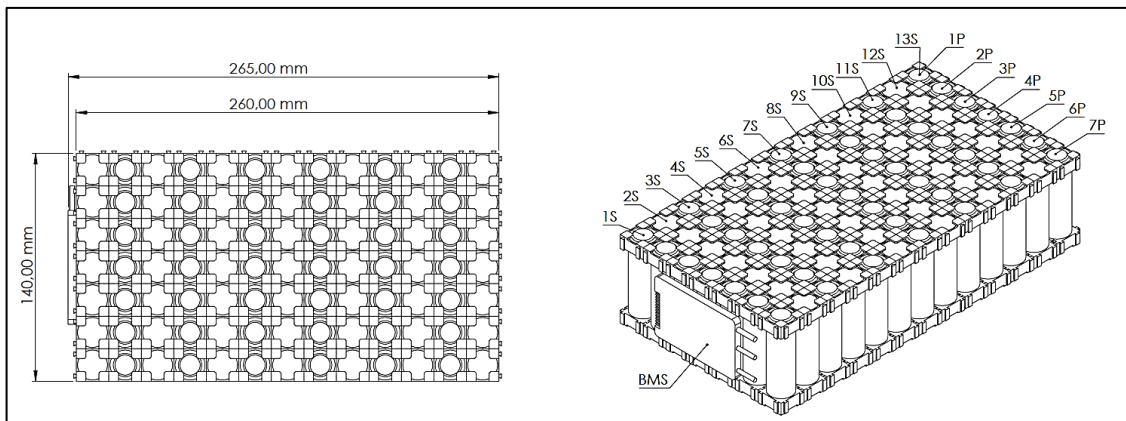


Figura 4-3: Diseño final de la batería.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.4. Simulación

La simulación de la conexión del pack de baterías se realizó en el software Proteus 8 Professional, simulando la conexión de 13 módulos (M) conectados en serie, cada uno con 7 celdas (C) conectadas en paralelo (13S7P) obteniendo un total de 91 celdas 18650.

Simulación en estado de carga: Se considera un voltaje en estado de carga de cada celda de 4,2V, la capacidad de descarga de cada celda de 2000mAh, ya que esta capacidad representa un estado de salud aceptable de cada celda para el armado de la batería.

En la Figura 5-3 se muestra la simulación de la batería en estado de carga, obteniendo el voltaje total de la batería de $4.2V * 13 = 54.6V$ y la capacidad total de la batería sería de $2Ah * 7 = 14Ah$.

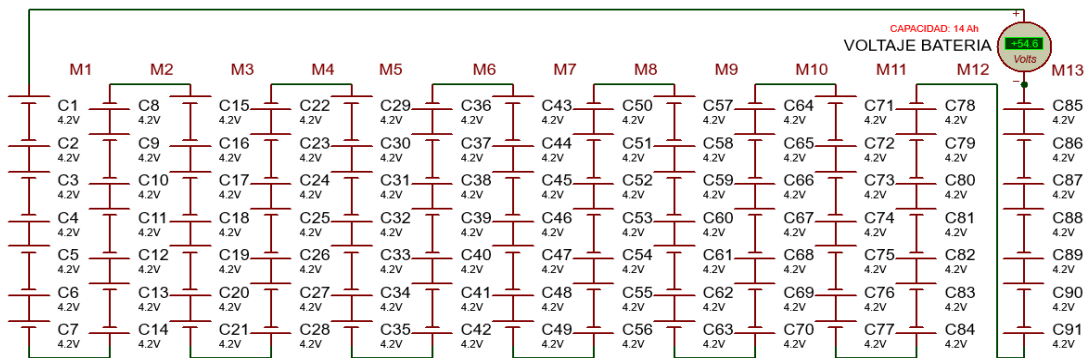


Figura 5-3: Simulación de batería en estado de carga.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la Tabla 10–3 se muestra los valores de voltaje en estado de carga y la capacidad de los 13 módulos (M) en serie cada uno con 7 celdas (C) en paralelo que conforman la batería.

Tabla 10-3: Valores de simulación batería 13S7P en estado de carga

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Voltaje Acumulado (V)	Capacidad (Ah)
M1	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	14
M2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	8,4	14
M3	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	12,6	14
M4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	16,8	14
M5	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	21	14
M6	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	25,2	14
M7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	29,4	14
M8	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	33,6	14
M9	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	37,8	14
M10	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	42	14
M11	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	46,2	14
M12	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	50,4	14
M13	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	54,6	14

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Simulación en estado de descarga: Se considera que al descargarse por completo cada celda llega a un valor mínimo de 2.7V, es decir al pasar de 4.2V a 2.7V ya se ha consumido la capacidad total de la batería de 14Ah.

En la figura 6–3 se representa el inicio de descarga de la batería mediante el consumo del motor eléctrico de la motoneta, el motor requiere un consumo de 10,4 A calculado mediante su voltaje nominal y su potencia en (1). Para lograr ese consumo se debe calcular la resistencia de carga (RL) del motor mediante ley de ohm: $R_L = (54.6V / 10,4A) = 5,25 \text{ Ohm}$.

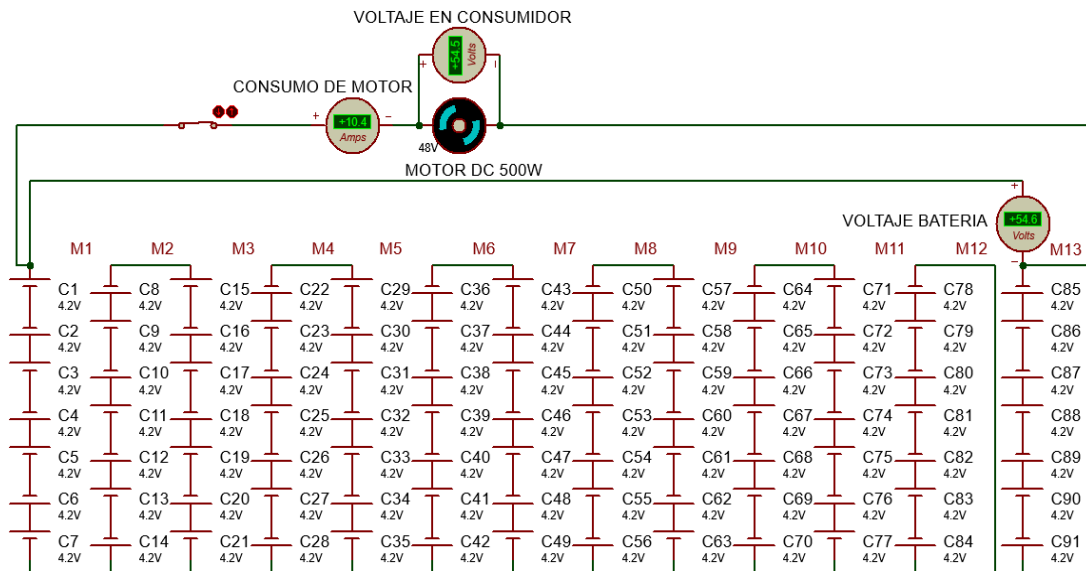


Figura 6-3: Simulación de inicio de descarga mediante consumo del motor eléctrico.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Como se observa la Figura 6-3 el voltaje en vacío de la batería es de 54.6V, pero al aplicarle una carga (consumo del motor) el voltaje cae a 54.5V, esta pequeña variación de 0.1V corresponde al voltaje que se consume en la resistencia interna de la batería, entonces por ley de ohm podemos calcular la resistencia interna de la batería: $R_{int} = (0.1V / 10.4A) = 0.01 \text{ Ohm}$. Esta resistencia como tal no se la toma en cuenta debido a que corresponde a las reacciones químicas que se producen dentro de las baterías, pero es un concepto que puede indicarnos el deterioro interno que pueden sufrir con el tiempo.

En la Figura 7-3 se muestra la batería en estado de descarga total con un voltaje de $2.7V \cdot 13 = 35.1V$. En este caso el motor sigue requiriendo los 10.4A para su funcionamiento, pero la batería ya agotó su capacidad, la resistencia de carga del motor ahora es $R_L = (35.1V / 10.4A) = 3.38 \text{ Ohm}$.

La batería llegó a ese estado de descarga luego de suministrar los 10.4A al motor hasta agotar su capacidad de 14Ah, teniendo un tiempo de descarga de 1.35h que corresponden a una tasa de descarga (c-rate) de 0.74C.

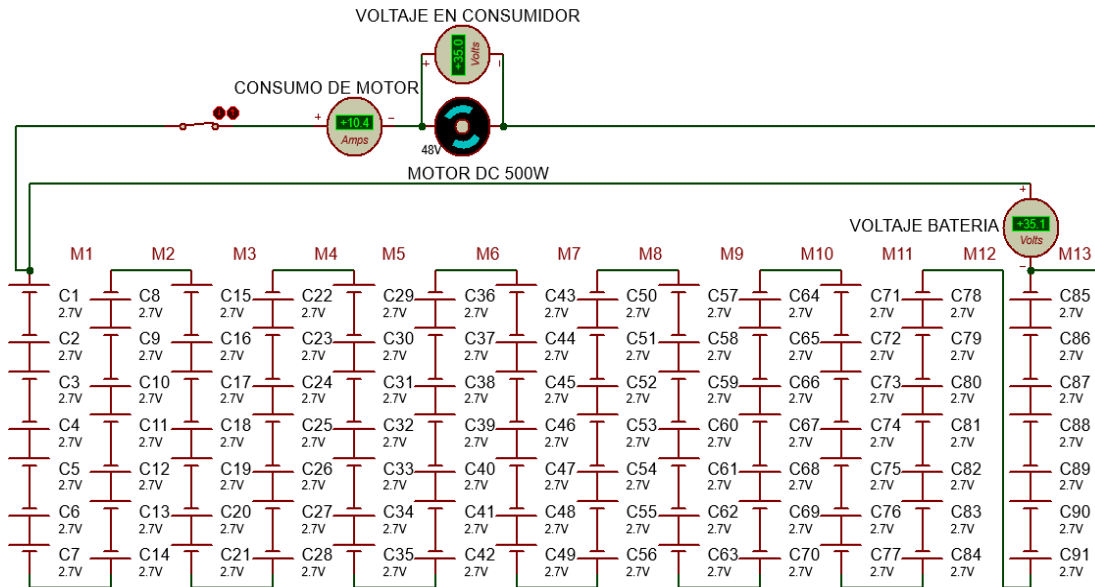


Figura 7-3: Simulación de batería descargada en su totalidad.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la Tabla 11–3 Se muestran los valores de voltaje en estado de descarga, consumo, tasa de descarga (c-rate) y el tiempo de descarga de los 13 módulos (M) en serie que contienen 7 celdas (C) en paralelo que conforman la batería.

Tabla 11-3: Resultados de simulación de batería en estado de descarga total.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Voltaje Acumulado (V)	Consumo (A)	C-rate	Tiempo de descarga (h)
M1	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	10,4	0,74C	1,35
M2	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	5,4	10,4	0,74C	1,35
M3	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	8,1	10,4	0,74C	1,35
M4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	10,8	10,4	0,74C	1,35
M5	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	13,5	10,4	0,74C	1,35
M6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	16,2	10,4	0,74C	1,35
M7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	18,9	10,4	0,74C	1,35
M8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	21,6	10,4	0,74C	1,35
M9	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	24,3	10,4	0,74C	1,35
M10	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	27	10,4	0,74C	1,35
M11	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	29,7	10,4	0,74C	1,35
M12	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	32,4	10,4	0,74C	1,35
M13	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	35,1	10,4	0,74C	1,35

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.5. Selección de materiales

Las altas temperaturas afectan gravemente al estado de vida de las celdas, es por eso que, la soldadura de punto es esencial para reducir el recalentamiento producidos por otros procesos de soldadura como por ejemplo el caufín con estaño para unir los terminales de la celda con un cable, en este caso la soldadura por punto es más rápida y no genera altas temperaturas para dañar las celdas, el material utilizado para este proceso son cintas de níquel ya que es resistente al oxido y un buen conductor eléctrico.

Tabla 12-3: Materiales seleccionados para la elaboración del pack de batería

Material	Descripción	Características	
Celda de iones de litio 18650		Celdas de varios fabricantes obtenidos de las baterías de laptops	18 mm de diámetro x 65 mm de largo, peso aproximado 43 - 46 g.
Soporte de plástico para celdas 18650		Soporte y protector de celdas de iones de litio 18650.	Agujero de 18.4 mm de diámetro.
Anillo aislante		Aislante de cartón autoadhesivo resistente para protección del terminal positivo de la celda.	18 mm diámetro externo y 10 mm diámetro interno.
Cinta kapton		Cinta resistente a altas temperaturas, protección de circuitos	Cinta de 2 in de grosor
Cinta de níquel		Tira de níquel puro, la pureza alcanza el 99.96%, para soldadura de punto.	0.15 mm de grosor x 8 mm de ancho
Tira de níquel 2P		Tira de níquel de alta pureza, la pureza alcanza el 99.96%, no se oxida, propiedades magnéticas débiles.	0.2 mm de grosor x 32 mm de ancho x 23.39 mm de ancho de agujero para celdas 2P 18650

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.6. *Proceso de obtención de las celdas de iones de litio 18650*

Las baterías de laptops recicladas se las obtuvo de locales de mantenimiento y reparación de computadoras a un precio muy asequible, fueron en total de 35 baterías, estas baterías deben tener un grosor de 18mm ya que estas son las que contienen de entre 4 a 6 celdas 18650, cada marca de batería utiliza diferente fabricante de celdas.

En la figura 8-3 se muestra el tipo de batería que contiene celdas 18650, se debe revisar la etiqueta de especificaciones que contenga la descripción Battery Li-ion.



Figura 8-3: Modelos de baterías que contienen celdas Li-ion 18650.

Realizado por: Guanaluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.7. *Desmontaje de baterías*

Este paso es delicado, si se llega a estropear alguna celda al momento de desarmar la batería es probable que se dañe el aislante de plástico o en el peor de los casos que se perfora la lámina metálica y exponer la química interna de la celda, en este caso esa celda queda inutilizable.

Para abrir la batería de manera correcta se debe identificar la unión de las dos tapas, con una sierra se realiza un canal no muy profundo en el cual se inserta un destornillador plano para ejercer fuerza y despegar las tapas, este paso se debe realizar por todo el contorno de unión de las tapas.



Figura 9-3: Desmontaje de las baterías de laptops.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Durante todo el proceso es recomendable el uso de guantes porque los filos de las tapas pueden generar algún corte al igual que las cintas de níquel con las que están soldadas las celdas.



Figura 10-3: Tapa superior desmontada, celdas expuestas.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Existe un pegamento fuerte que adhiere las celdas con la tapa inferior, se debe hacer fuerza para retirar las celdas y que estas salgan unidas.



Figura 11-3: Extracción del conjunto de celdas.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

El siguiente paso es separar cada celda que esta soldada de la tira de niquel, posterior a eso se debe limpiar la celda sin que quede ningún rastro de niquel en los polos positivos y negativos, ademas se debe limpiar el cuerpo de la celda y retirar cualquier pegamento o cinta adhesiva.



Figura 12-3: Celdas desconectadas.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021



Figura 13-3: Marcas de celdas obtenidas

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Las marcas de celdas que se obtuvo de las baterías son:

De izquierda a derecha: PANASONIC, PANASONIC, SAMSUNG, SONY, SANYO, LG, LN

3.3.3.8. Clasificación según el estado de carga de la celda

Con un multímetro se mide la carga que tiene cada celda, esto con el fin de determinar las celdas buenas y malas. En el caso de que existan celdas que midan menos de 1 V son consideradas como celda muerta, por otro lado, las que marquen voltajes mayores a 2 V son seleccionadas para realizar las pruebas necesarias para determinar su funcionamiento.



Figura 14-3: Medición del estado de carga de las celdas.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

De acuerdo con estos datos de voltaje tomados con el multímetro se elabora la siguiente tabla:

Tabla 13-3: Clasificación según el voltaje

Rango de voltaje (V)	Detalle	Cantidad	Observación
0 a 1	Celda muerta	18	reciclaje, desechar.
1 a 2	Reparar	48	Se puede revivir la química interna de la celda con procesos de carga y descarga mínima. No recomendado usarlas para este trabajo.
2 a 3	Celda descargada	52	Celdas destinadas a las pruebas para medir su capacidad de carga y descarga.
3 a 4	Celda buena	62	Celdas en buen estado, pruebas para medir su capacidad real de carga y descarga.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

- Las celdas muertas serán desechadas ya que su química interna no permite almacenar energía, no forman parte de este trabajo.
- Las celdas por reparar no formarán parte de este trabajo ya que los procesos de recuperación toman demasiado tiempo además no son tan viables por lo que pueden ocasionar algún accidente durante el funcionamiento de la batería.
- Las celdas descargadas y las celdas en buen estado si formarán parte del trabajo ya que su química interna esta activa y en buen funcionamiento, estas pueden almacenar energía sin problema, estas celdas se encuentran dentro del rango de trabajo ideal como descarga, voltaje nominal y voltaje máximo.

Por lo tanto, de las 180 celdas obtenidas 114 celdas son las que se encuentran con un buen estado de carga, es decir, representan el 63.33% de todas las celdas obtenidas, pero se requieren solamente de 91 celdas para armar el pack de batería por su configuración 13S7P. En el gráfico 1 – 3 se muestra el porcentaje de este grupo de celdas.

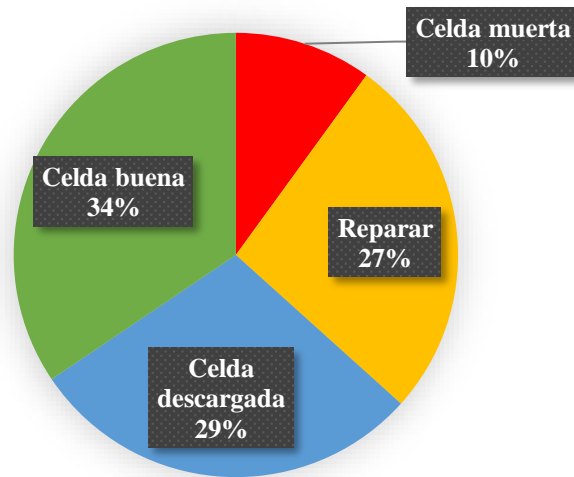


Gráfico 1-3: Porcentaje de grupo de celdas según su estado de carga

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Tan solo se utilizarán 91 celdas que representa el 50.55% de las 180 celdas analizadas y de las 114 celdas con buen estado de carga las 91 celdas representan el 79.82%.

Es importante clasificar las celdas para enumerarlas y tener la cantidad total de celdas buenas y malas.



Figura 15-3: Clasificación de celdas según su voltaje.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.9. Selección de capacidad de carga adecuada para el trabajo

Las pruebas inician con una carga completa hasta alcanzar los 4.2V, la secuencia de prueba es de la siguiente manera: (1) carga, (2) descarga completa (se registra la capacidad de descarga), (3) carga completa (se registra la capacidad de carga).

El cargador LiitoKala tiene la función de ingresar la capacidad de carga y descarga de manera manual, esta va con corriente de carga de 500mA, 750mA, 1000mA y para carga rápida de 2000mA, mientras que para la corriente de descarga va desde 250 mA a 500mA, se recomienda utilizar una carga lenta de 500mA a las celdas de 2V para preservar los ciclos de carga de las celdas y evitar el recalentamiento, pero para acelerar el proceso se elige la carga normal de 1000mA ya que esta carga acelera el proceso de pruebas y es la más adecuada para este trabajo.

Para determinar con que capacidad de carga se trabajará durante todas las pruebas se realizó la siguiente tabla:

Tabla 14-3: Selección de capacidad de carga para las celdas

Voltaje de celdas (V)	Corriente de carga (mA)	Tiempo de carga completa (h)	Temperatura (°C)	Observación
2 - 3	500	4 - 5	28 - 30	El tiempo de carga no favorece ya que se debe analizar más de 100 celdas.
	1000	2 - 3	34 - 45	Tiempo de carga aceptable, temperatura de trabajo normal.
	2000	1 - 2	55 - 61	Tiempo de carga excelente, riesgo de alta temperatura, no se recomienda.

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Por lo tanto, la corriente de carga adecuada para todas las celdas de 2V y 3V es de 1000mA, con esta configuración no habrá inconvenientes en todo el proceso.

La temperatura durante la carga y descarga juega un papel muy importante, las celdas se degradan y acortan su vida útil cuando la temperatura supera los 45 °C en carga y si supera los 60 °C durante la descarga, en este caso se monitorea la temperatura para evitar posibles accidentes a causa de altas temperaturas de trabajo.



Figura 16-3: Monitoreo de temperatura de carga con termocupla ($^{\circ}\text{C}$).

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Cuando las celdas se hayan cargado por completo inicia el proceso de descarga en donde se registrarán las capacidades de descarga y luego nuevamente se volverá a cargar registrando la capacidad de carga en una base de datos, esta base de datos será muy útil para poder identificar rápidamente las características de todas las celdas testeadas.

3.3.3.10. *Proceso de descarga*

La capacidad de descarga es fundamental para determinar la cantidad de celdas en paralelo necesarias para abastecer el consumo del motor. Por ejemplo, una celda con capacidad de descarga de 2500 mAh a una descarga de 500 mA de consumo quiere decir que se descargará de los 4.2V a los 2.7V en 5 horas, con una tasa de descarga (C-Rate) de 0.2C.

Este proceso se lo realiza con el cargador LiitoKala Lii-500S, este cargador cuenta con la función de Prueba (Test), es decir, puede realizar los procesos de carga y descarga automáticamente, las capacidades de descarga que posee son de 250 mA y de 500mA.



Figura 17-3: Proceso de descarga a 500 mA

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Todas las celdas tuvieron un promedio de descarga que fue de 4 a 5 horas. Lo siguiente es marcar las capacidades de descarga y asignar una numeración a cada celda, esto sirve para identificar de manera rápida cada celda mostrando la capacidad de descarga real obtenida en la prueba.



Figura 18-3: Marca de capacidad de descarga real de las celdas

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Al trabajar con celdas recicladas de diferentes marcas y modelos las capacidades no serán las mismas que cuando salieron de fábrica, estas variarán ya sea por el tiempo de vida o el uso al que fueron expuestas, en este caso se seleccionan las celdas que marcaron capacidades mayores a 2000mAh y con un estado de vida (SoH) superior al 70%, estas características son las requeridas para el trabajo, mientras que las celdas menores a 2000mAh se separan para no ser usadas en el pack de batería.

Finalmente, para el desarrollo del pack de batería se usa las celdas con un estado de vida superior al 70% y con capacidad de descarga que van desde 2000 mAh hasta 2700 mAh. Existe una clara diferencia entre las capacidades de todas las celdas, pero esto se puede resolver balanceando las capacidades y acomodándolas para obtener una capacidad con mínima diferencia y un balance aceptable.

3.3.3.11. *Proceso de carga*

El último paso de la prueba es volver a cargar la celda completamente y registrar la capacidad de carga. El tiempo de carga completa fue de 2 a 3 horas con una carga de 1000mA. Este proceso se realizó con el cargador LiitoKala Lii-S6, puede cargar 6 celdas simultáneamente acelerando este proceso.

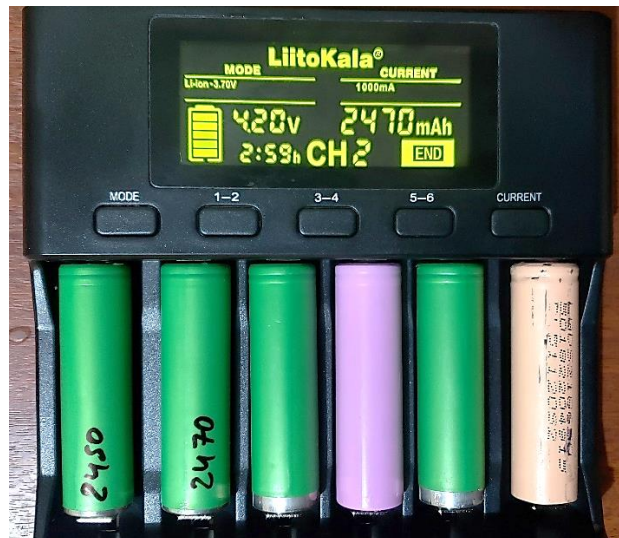


Figura 19-3: Proceso de carga completa a 1000 mA

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.12. *Determinación del estado de vida de la celda (SoH).*

Este proceso se realiza con la página WEB www.secondlifestorage.com, esta página es una base de datos celular de aporte comunitario en el cual alberga información de todos los modelos de celdas de litio que hay en el mercado, su base de datos contiene características como: marca/fabricante, modelo, factor de forma, color de envoltura, imagen referencial de la celda y las características de la celda.

Second Life Storage

Casa **Foros** Qué hay de nuevo Miembros Herramientas de batería TIENDA Iniciar sesión Registrarse Buscar

Publicaciones nuevas Buscar foros

Casa > Foros >

Base de datos celular

Palabras clave del modelo	Marca / Fabricante	Factor de forma	Clasificación			
<input type="text"/>	Todas las marcas	Todos los factores de fr	Nombre de la marca			
<input type="button" value="Filtrar"/>						
Marca	Modelo	Factor de forma	Color de envoltura	Color del anillo	Imagen de celda	Datos de la celda
A123Sistemas	ABR18650M1A	18650	Amarillo	blanco		Ver especificaciones
ATL	18650 INR	18650	Azul	blanco		Ver especificaciones

Figura 20-3: Base de datos de celdas Li-ion

Fuente: (Life, 2010)

Los usuarios de la página aportan con datos y resultados de capacidad ya que ellos realizan sus propias pruebas para corroborar la información proporcionada por la base de datos celular, esto es de gran ayuda ya que se puede conocer las capacidades reales que tiene cada celda y no solo lidiar con los datos proporcionados por los fabricantes. Con estas referencias se determina el estado de vida de la celda (SoH).

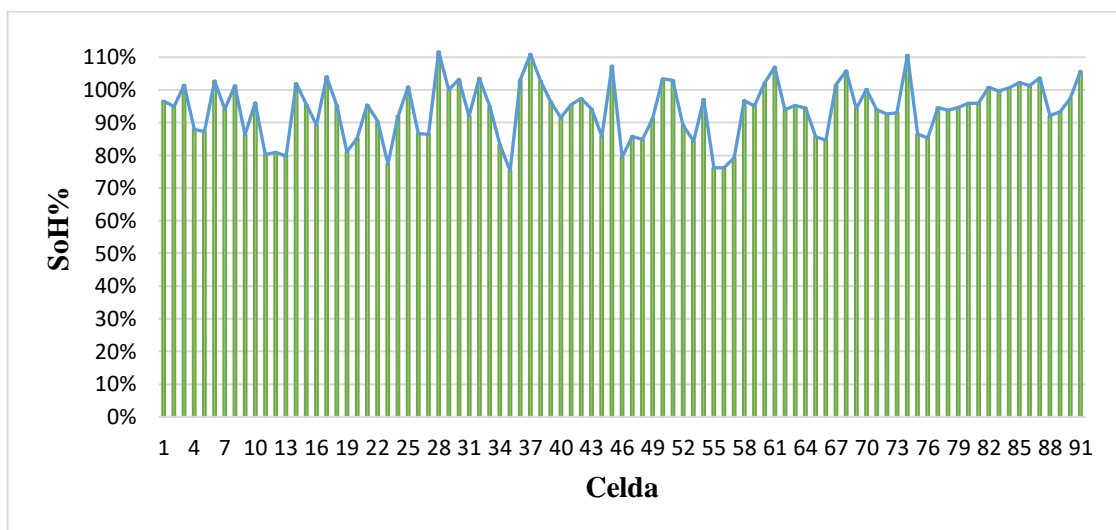


Gráfico 2-3: Estado de vida de las celdas

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Existen celdas con un estado de vida superior al 100% y esto se debe al proceso con el cual se prueba su capacidad de descarga que en este caso al ser una prueba de descarga mínima de corriente de 500mAh esto hace que las celdas se descarguen lentamente superando la capacidad de carga de la celda, por lo que estas celdas funcionan mejor con descargas mínimas, en todo caso estas celdas están aptas para ser reutilizadas.

3.3.3.13. Determinación de la eficiencia de Coulomb (CE)

Es importante saber la eficiencia de corriente de cada celda, este parámetro identifica las celdas más aptas para formar el pack de batería ya que serán sometidas a una descarga muy grande y es importante que estas se encuentren dentro de los valores adecuados para el trabajo.

Mientras más ciclos de trabajo tenga la celda mejor será su eficiencia CE, esto conforme se desarrolle dentro de los parámetros de funcionamientos adecuados para una celda tanto en carga y descarga normales, temperaturas adecuadas, preservando la vida de la celda.

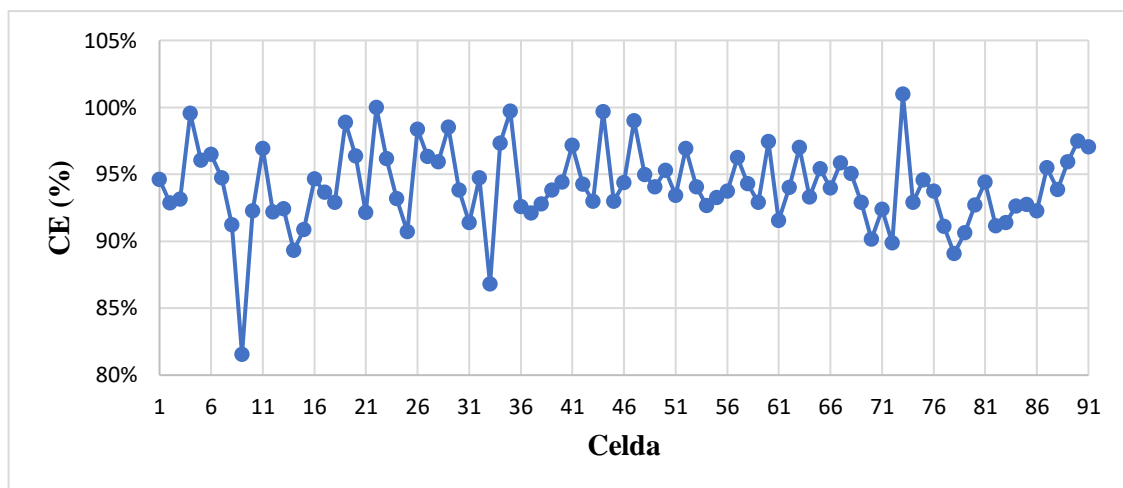


Gráfico 3-3: Eficiencia de Coulomb de celdas

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Se puede identificar en el gráfico un CE mínimo del 82% y un CE máximo que supera el 100%, por lo tanto, el CE mínimo corresponde a la celda SONY modelo US18650GR (G8) que tiene como fecha de fabricación 8 de marzo de 2011 (Sony, 2011), el CE de 82% demuestra que la celda todavía no ha alcanzado el estado de carga y descarga equivalente, es decir no se descarga a la misma capacidad de carga, por otra parte la celda con un CE máximo de 101% de marca LG modelo LGDS218650 tiene su fecha de fabricación junio del 2007 (BATTERYBRO, 2016), esta celda al estar más tiempo en funcionamiento ha permitido que la capacidad de descarga llegue a ser la misma que la capacidad de carga, esto se debe a que tiene más ciclos de trabajo que ha permitido igualar estos valores.

3.3.3.14. Equilibrio o balance de celdas

Al trabajar con celdas de diferente marca, modelo y con distinta capacidad de descarga, primero se debe verificar la teoría de balance de celdas, es decir, se realiza 2 pruebas que verifiquen que,

al conectar celdas de diferente capacidad en paralelo estas se van a descargar de manera uniforme y que la celda con mayor capacidad va a ceder energía a la celda de menor capacidad con el objetivo de igualar el voltaje de descarga evitando una sobre descarga de la celda de menor capacidad en referencia a las otras celdas que constan en la conexión en paralelo.

Prueba 1: Conexión en paralelo de 2 celdas de capacidad similar

Se conectó dos celdas de capacidades muy similares, pero de diferente marca y modelo, para esta prueba se las denominó módulo A y ambas celdas poseen un estado de vida mayor al 80%.



Figura 21-3: Conexión en paralelo Módulo A de celdas de capacidad similar

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la Tabla 15-3 se describe la capacidad teórica que es la suma de las capacidades de las celdas conectadas en paralelo y la capacidad real que se determina con las celdas conectadas en paralelo al finalizar la prueba de descarga usando el cargador LiitoKala.

Tabla 15-3: Características de la capacidad de descarga del módulo A

Módulo en paralelo A					
Celda	Marca	Modelo	Cap. Stock (mAh)	Cap. Test (mAh)	SoH (%)
1	LG	LGDAS31865	2200	2142	98%
2	SAMSUNG	ICR18650-22F	2600	2133	82%
Capacidad total teórica =				4275	
Capacidad total real =				4452	

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Obteniendo una capacidad total teórica de 4275mAh que es menor a la capacidad total real con 4452mAh mostrando una variación de 177mAh que representa el 3.97%, por lo tanto, se demuestra que la capacidad total real está muy próxima a la capacidad teórica.

En la Tabla 16-3 se ordenan los datos tomados por escala de intervalos, son 4 intervalos de medición en función a la descarga de las celdas por lo que se ajustan a una descarga de 500mAh.

C1 y C2 son las celdas 1 y 2 que se desconectaron para tomar un voltaje individual y verificar que el valor de descarga sea muy similar en ambas.

Tabla 16-3: Voltajes y capacidades del módulo A medidos en 4 intervalos

Intervalos	Voltaje del módulo (V)	Voltaje de celdas (V)		Capacidad entregada del módulo (mAh)
1	4,2	C1	4,2	0
		C2	4,2	
2	3,77	C1	3,76	1806
		C2	3,78	
3	3,57	C1	3,58	3254
		C2	3,56	
4	3,03	C1	3,05	4452
		C2	3,06	

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

De acuerdo con la Tabla 16-3 es evidente que ambas celdas se descargan de manera uniforme acertando la teoría de que la celda con mayor capacidad cede energía a la celda de menor capacidad y así evitar el peligro de autodescarga, existe una pequeña variación en el voltaje de cada una y es porque la celda de mayor capacidad cede a la de menor capacidad.

El Gráfico 4-3 representa de manera visual el nivel de voltaje de descarga presente en las celdas tomado en cada escala de medición.

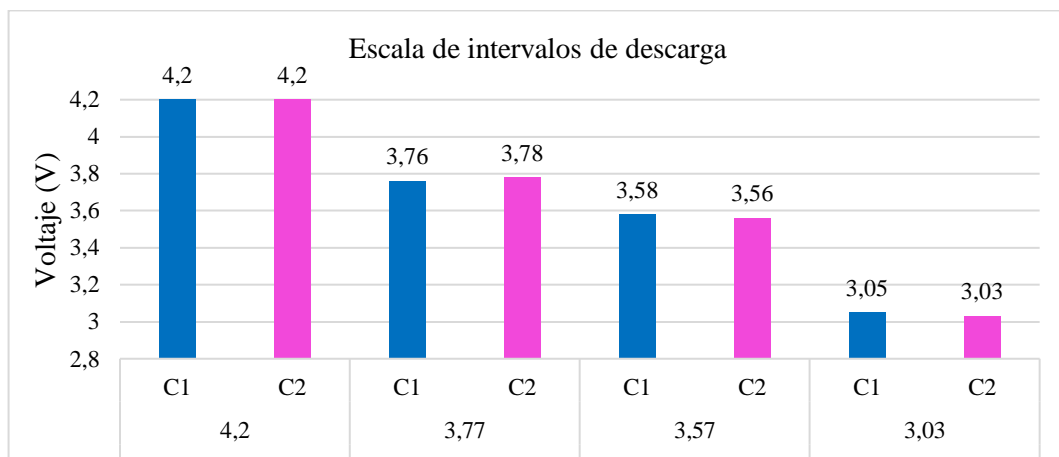


Gráfico 4-3: Representación de valores de voltaje de descarga de C1 Y C2 (Módulo A)

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En cuanto a la Tabla 17-3 esta muestra el proceso de carga del módulo y de cada celda medido en 4 escalas, los resultados de esta prueba son muy parecidos a la prueba de descarga, tanto el voltaje de carga del módulo, así como el voltaje que presenta cada celda son muy similares lo que significa que ambas celdas se cargan de manera uniforme.

Tabla 17-3: Escala de intervalo de medición en el proceso de carga (Módulo A)

Intervalos de prueba	Voltaje del módulo (V)	Voltaje de celdas (V)		Conteo de capacidad del módulo (mAh)
1	3,07	C1	3,05	0
		C2	3,03	
2	3,86	C1	3,85	2291
		C2	3,85	
3	4,01	C1	4,02	3376
		C2	4	
4	4,2	C1	4,21	4659
		C2	4,2	

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Como se puede observar en el Gráfico 5-3 las celdas C1 y C2 no presentan mucha diferencia en el nivel de carga, por lo que ambas se cargan de manera uniforme. La temperatura de carga fue de 32°C para ambas.

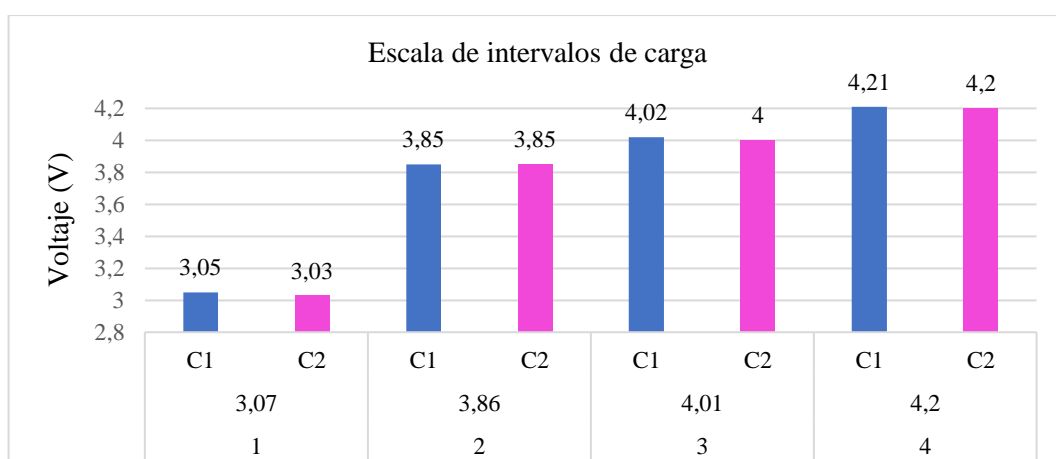


Gráfico 5-3: Representación de valores de voltaje de carga de C1 Y C2 (Módulo A)

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Prueba 2: Conexión en paralelo de 2 celdas de diferente capacidad

Se conectó dos celdas de distintas capacidades, marca y modelo para esta prueba, se las denominó módulo B y ambas celdas poseen un estado de vida del 100% y 78%.



Figura 22-3: Conexión en paralelo Módulo B de celdas de distinta capacidad

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Tabla 18-3: Características de la capacidad de descarga del módulo B

Módulo en paralelo B					
Celda	Marca	Modelo	Cap. Stock (mAh)	Cap. Test (mAh)	SoH
1	SANYO	UR18650F	2500	2304	100%
2	SONY	US18650GR	2100	1651	78%
Capacidad total teórica =				3955	
Capacidad total real =				4017	

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En base al resultado de la capacidad total del módulo B existe una mínima diferencia respecto a la capacidad total teórica, pero en este caso la capacidad real llega a ser mayor que la capacidad teórica, obteniendo una capacidad total teórica de 3955mAh que es menor a la capacidad total real con 4017mAh mostrando una variación de 62mAh que representa el 1.54% por lo que, se demuestra que la capacidad total real en esta configuración es muy semejante a la capacidad total teórica.

En la Tabla 19-3 se ordenan los datos tomados por los 4 escala de intervalos de medición en función a la descarga de las celdas por lo que se ajustan a una descarga de 500mAh.

Tabla 19-3: Voltajes y capacidades del módulo B medidos en 4 intervalos

Intervalos	Voltaje módulo (V)	Voltaje celdas (V)		Capacidad entregada del módulo (mAh)
		C1	C2	
1	4,2	C1	4,2	0
		C2	4,19	
2	3,79	C1	3,78	1579
		C2	3,82	
3	3,57	C1	3,57	2165
		C2	3,6	
4	2,95	C1	2,95	4017
		C2	3,02	

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Al igual que la prueba con el módulo A los datos obtenidos en esta prueba del voltaje de descarga muestra que las celdas C1 y C2 se descargan de manera pareja con tan solo una mínima variación, en esta configuración el voltaje de descarga de ambas celdas se muestra de manera casi uniforme, al final de la descarga se muestra que la celda C1 que es la que tiene mayor capacidad es la que tiene menor voltaje, es decir, la celda de mayor capacidad es la que más se descarga.

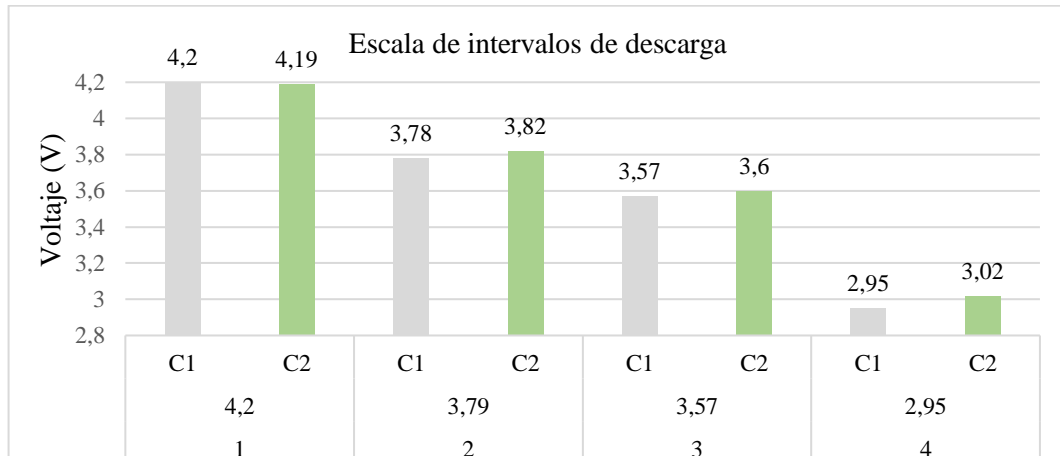


Gráfico 6-3: Representación de valores de voltaje de descarga de C1 y C2 (Módulo B)

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En el Gráfico 6-3 se observa que existe una mínima variación en el voltaje de cada una, pero ahora la celda con mayor capacidad es la que presenta menor voltaje mientras que la celda con una capacidad menor es la que presenta un mayor voltaje, esto se debe a que existe una variación entre las capacidades muy notable lo que provoca que la celda con mayor capacidad ceda mayor voltaje para igualar la descarga a la de menor capacidad.

En el proceso de carga la celda C1 de mayor capacidad es la que presenta mayor voltaje de carga, pero al finalizar la carga se igualan al mismo voltaje de 4.2V.

Tabla 20-3: Escala de intervalo de medición en el proceso de carga (Módulo B)

Intervalos de prueba	Voltaje del módulo (V)	Voltaje de celdas (V)		Conteo de capacidad del módulo (mAh)
1	3,05	C1	2,95	0
		C2	3,02	
2	3,89	C1	3,9	2212
		C2	3,84	
3	4,01	C1	4,04	3037
		C2	3,95	
4	4,22	C1	4,22	4161
		C2	4,2	

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En el Gráfico 7-3 visualmente la celda C1 es la que tiene mayor voltaje de carga, pero al finalizar el proceso tanto la celda C1 y C2 se igualan llegando a estar cargadas completamente con una temperatura de carga de 32°C para ambas.

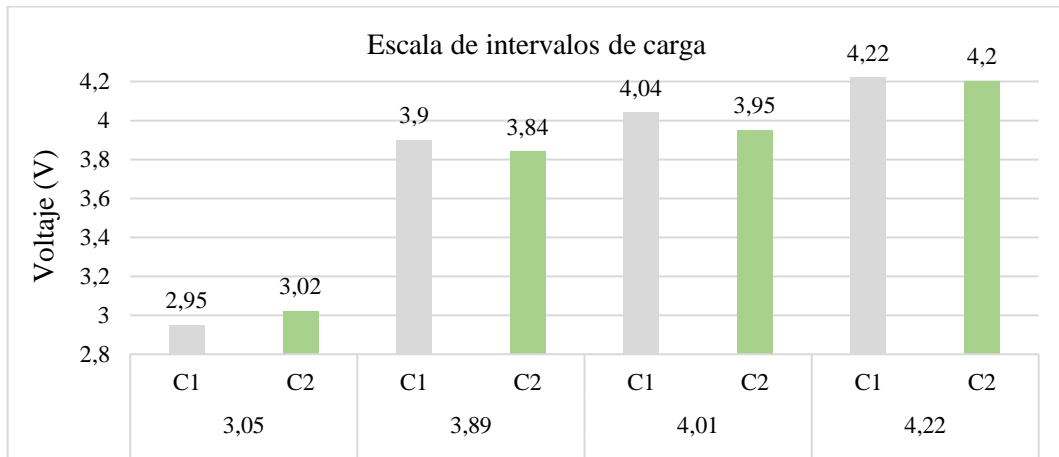


Gráfico 7-3: Representación de valores de voltaje de carga de C1 y C2 (Módulo B)

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En conclusión, al trabajar con celdas de diferente capacidad, marca y modelo los resultados demuestran que al combinarlas en un módulo con conexión en paralelo dichas celdas van a funcionar correctamente sin mostrar peligro de sobre descarga, altas temperaturas o cualquier otra variación energética que dañe el paquete de batería o incluso el sistema eléctrico de la motoneta.

3.3.3.15. Herramienta para balance o equilibrio de celdas

El software libre www.repackr.com facilita el proceso para balancear gran número de celdas, utiliza procesos matemáticos para clasificar diferentes valores de capacidad y asignarlas a cada módulo para balancearlas con la particularidad de tener una mínima variación de capacidad de entre todos los módulos de celdas en paralelo y genera paquetes en serie y paralelo automáticamente.

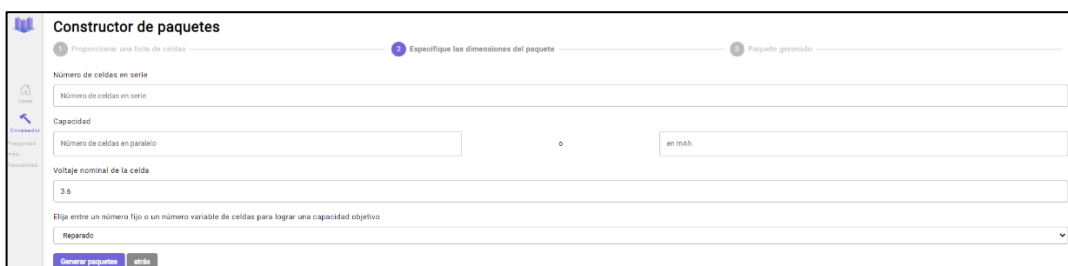


Figura 23-3: Constructor de paquetes de celdas, balance de capacidad.

Fuente: (rePackr, 2020)

La forma de crear un paquete se utiliza un método que comienza con una disposición aleatoria de celdas e intenta mejorar la disposición a través de múltiples iteraciones. Este punto de partida aleatorio significa que obtendrá resultados diferentes cada vez, pero cada resultado debe ser la misma buena forma de organizar las celdas (rePackr, 2020).

Se debe seleccionar la sección de constructor de paquetes en el cual se ingresa las capacidades en mAh de cada celda separado por una coma o también se puede copiar y pegar los datos, después dar clic en agregar las celdas, en la siguiente ventana seleccionamos el número de celdas en serie y paralelo al igual que el voltaje nominal de la celda, se elige la opción manual fija y automáticamente se genera el balance o equilibrio de celdas por capacidad de descarga.

Tabla 21-3: Balance por capacidad de descarga de celdas con configuración 13S7P

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
P1	2780	2676	2686	2435	2743	2320	2624	2721	2639	2361	2781	2744	2672
	80	51	72	74	79	16	25	78	3	45	81	77	38
P2	2441	2635	2355	2368	2286	2291	2319	2290	2457	2353	2386	2337	2672
	37	8	13	11	4	17	52	75	28	61	12	57	6
P3	2260	2348	2341	2329	2232	2280	2248	2243	2270	2281	2268	2274	2242
	76	22	46	68	44	32	27	14	65	87	5	50	66
P4	2126	2072	2192	2272	2229	2267	2214	2215	2155	2271	2200	2232	2122
	1	43	53	91	86	36	84	20	70	30	29	47	39
P5	2102	2053	2164	2194	2219	2250	2192	2144	2137	2253	2091	2166	2107
	15	89	34	60	82	85	83	42	54	26	59	23	35
P6	2099	2028	2071	2129	2098	2242	2142	2133	2132	2204	2089	2048	2013
	41	69	7	58	21	9	90	55	56	48	33	63	40
P7	2026	2021	2025	2107	2025	2184	2096	2088	2045	2113	2020	2032	2007
	88	71	24	19	31	67	18	2	73	10	62	64	49
Cap. Total (mAh)	15834	15833	15834	15834	15832	15834	15835	15834	15835	15836	15835	15833	15835

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la Tabla 21-3 (**Capacidad mAh y número de celda**) se ordenan los resultados mostrados por el programa para balancear varias celdas con distintas capacidades, los valores en color azul representan la capacidad de descarga de cada celda y el número que se encuentra debajo es el número que se le etiquetó a cada celda, por lo tanto, es evidente el equilibrio de capacidad de cada módulo, los 13 módulos de 7 celdas conectadas en paralelo dan una capacidad muy similar entre cada una.

Tabla 22-3: Capacidad mínima y máxima de los módulos

Capacidad (mAh)	
Min	15832
Max	15836
Diferencia	4
Promedio	15384,16

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Existe una diferencia de capacidad entre el valor máximo y mínimo de capacidad de tan solo 4mAh que representa el 0,03% de variación lo cual la batería queda muy bien balanceada.

El balance de celdas logra mantener estable la capacidad de cada módulo con una capacidad total de 15384,16mAh, esta capacidad es más que suficiente para una buena autonomía de la motoneta ya que el motor eléctrico necesita 10,416mA de consumo.

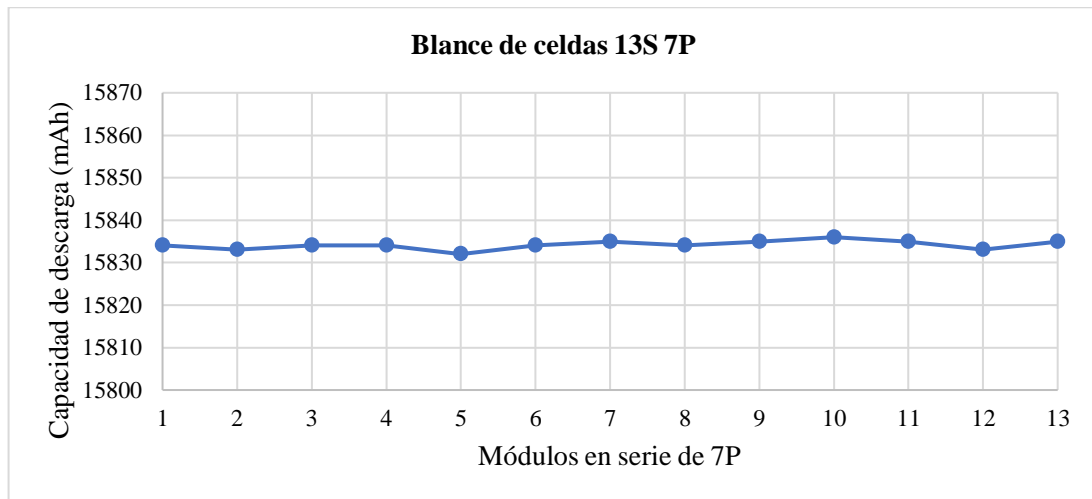


Gráfico 8-3: Balance de capacidad de celdas (mAh)

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.16. Ensamble de los soportes y configuración serie-paralelo

Los soportes individuales de plástico fueron especialmente diseñados para crear paquetes de baterías para las celdas 18650, la forma de armarlos es acoplar cada uno por las guías y pestañas que tienen en sus lados, se acopla cada una hasta generar un soporte principal hasta completar la configuración necesaria para la batería, se debe generar dos soportes principales para cada celda, es decir para el polo positivo y para el polo negativo, para esta batería de 13S7P se utiliza 91 soportes individuales para generar el soporte superior y 91 para el inferior en total 182 soportes individuales.

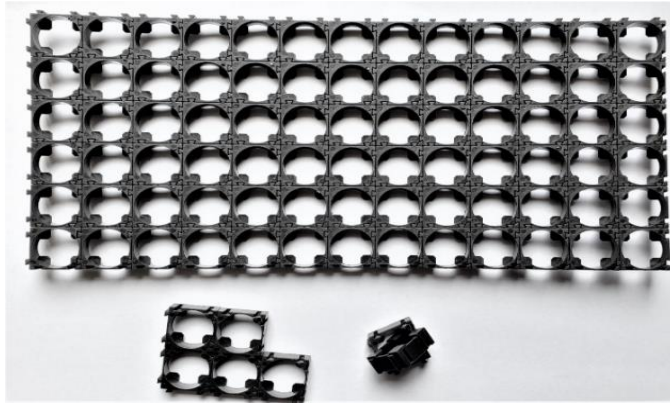


Figura 24-3: Armado de los soportes superior e inferior

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Con los anillos aislantes se debe aislar el polo positivo de la celda ya que por su diseño exterior este polo se encuentra muy próximo al polo negativo que se ubica en todo el cuerpo de la celda, es importante realizar este proceso ya que si en algún momento la cinta de níquel llegue a desgastar el plástico protector produciría un corto ocasionando accidentes graves.

Para colocar las celdas en los soportes primero se debe ubicar por módulo de 7 celdas en paralelo respetando el lugar en la que fueron balanceadas anteriormente, para colocar el siguiente módulo se debe cambiar la dirección de las celdas, es decir alternadamente, si el módulo 1 tiene el polo positivo en la parte superior y el polo negativo en la parte inferior el módulo 2 debe ser ubicado de tal manera que el polo positivo este en la parte inferior y el polo negativo en la parte superior, es así como se genera la configuración en serie de cada módulo, esto se debe hacer hasta generar 13 módulos en serie.



Figura 25-3: Configuración en serie y paralelo de la batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Para conectar cada celda se recomienda utilizar tiras de níquel y soldadura por punto, esto conserva la vida de la celda al no exponerlas a altas temperaturas a diferencia si se lo hace con

cautín y estaño. La soldadura con estaño provoca que se recaliente los polos de las celdas degradando su estado de vida.

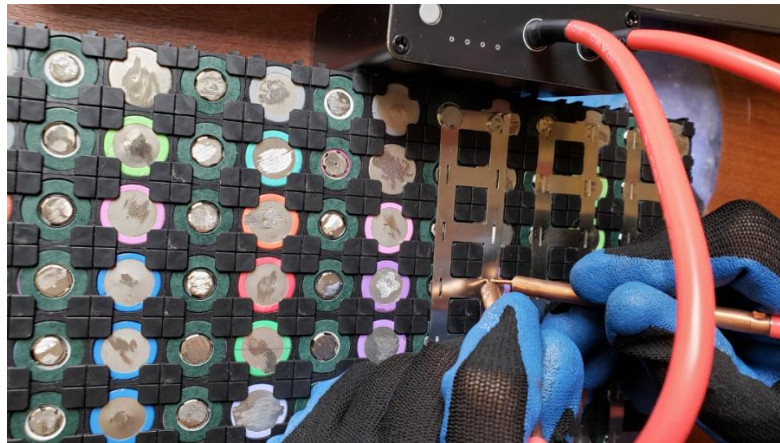


Figura 26-3: Conexión de las celdas por suelda de punto

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Al terminar el trabajo de soldadura se debe proteger las tiras de níquel con la cinta térmica, esto ayuda a preservar la integridad tanto de las celdas como de las tiras frente a un ambiente externo, también ayuda a permeabilizar la batería, se puede colocar un aislante más grueso para proteger de algún elemento que pueda llegar a perforar la cinta térmica.

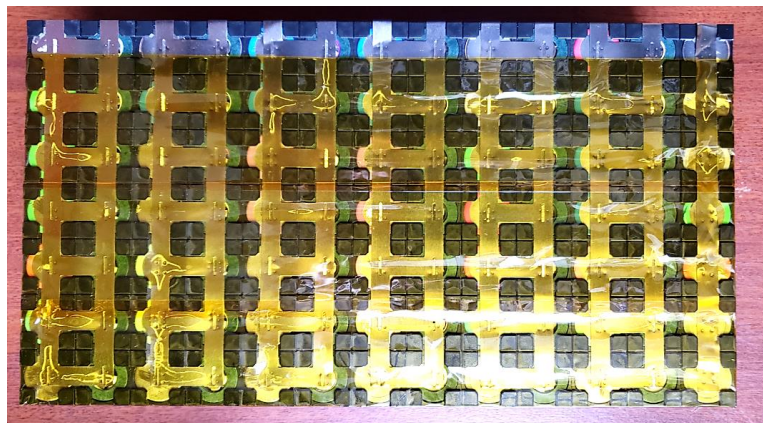


Figura 27-3: Protección de los terminales con cinta Kapton

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Se agrega los bornes de cada módulo para su respectiva conexión al BMS, además se agrega los bornes principales positivo y negativo de la batería. Estos bornes sirven para conectar y desconectar los cables principales de manera rápida.

3.3.3.17. Conexión del BMS

El BMS utilizado pertenece a la marca DALY Electronics, es una de las mejores marcas de BMS que hay en el mercado, se aplica especialmente para este tipo de baterías de litio.

Tabla 23-3: Características del BMS

Descripción	Característica
Marca	DALY
País de origen	CHINA
Tipo de celdas	Li-ion
Distribución	13S 48V
Corriente de descarga	30A
Corriente de carga	10A
Sistema de carga C-	Puerto separado con balanceador
Número de serie	1-101-25530-J15C-E GJ07
Dimensiones	80x60x10 mm

Fuente: (DALY, 2018)

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

El BMS cuenta con un conjunto de 14 cables que van a un puerto llamado puerto de muestreo el cual monitorea la carga y descarga de cada módulo en paralelo, posee dos cables principales de tipo 12AWG 200°C y un cable secundario llamado puerto separado para el sistema de carga 16AWG 200°C, estos cables son resistentes a altas temperaturas.



Figura 28-3: BMS DALY 13S 48V 30A, separate port

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

La distribución de cables es la siguiente, B- (cable azul) es el que se conecta al negativo de la batería, P- (cable negro) es el terminal negativo, C- (cable amarillo) es el cable de carga de la batería, este conjunto de cables gestiona el terminal negativo de la batería, si existe algún desbalance o exceso de carga y descarga el BMS solo corta la línea negativa de la batería mientras que la línea positiva es independiente de este sistema.

El conjunto de 14 cables del sistema de muestreo contiene 13 cables rojos y 1 cable negro. Para la conexión del sistema de muestreo, se utiliza los bornes que generamos al momento de la soldadura de cada módulo, se inicia conectando el cable 1 de color negro que va al terminal negativo del módulo 13S, el siguiente cable 2 conecta al positivo del módulo 13S, para conectar el módulo 12S se conecta el cable 3 en el terminal negativo del módulo 11S, para conectar el módulo 11S se conecta el cable 4 en el terminal positivo del módulo 11S, para conectar el módulo 10S se conecta el cable 5 en el terminal negativo del módulo 9S, para conectar el módulo 9S se conecta el cable 6 en el terminal positivo del módulo 9S, para conectar el módulo 8S se conecta el cable 7 en el terminal negativo del módulo 7S, para conectar el módulo 7S se conecta el cable 8 en el terminal positivo del módulo 7S, para conectar el módulo 6S se conecta el cable 9 en el terminal negativo del módulo 5S, para conectar el módulo 5S se conecta el cable 10 en el terminal positivo del módulo 5S, para conectar el módulo 4S se conecta el cable 11 en el terminal negativo del módulo 3S, para conectar el módulo 3S se conecta el cable 12 en el terminal positivo del módulo 3S, para conectar el módulo 2S se conecta el cable 13 en el terminal negativo del módulo 1S, para conectar el módulo 1S se conecta el cable 14 en el terminal positivo del módulo 1S.

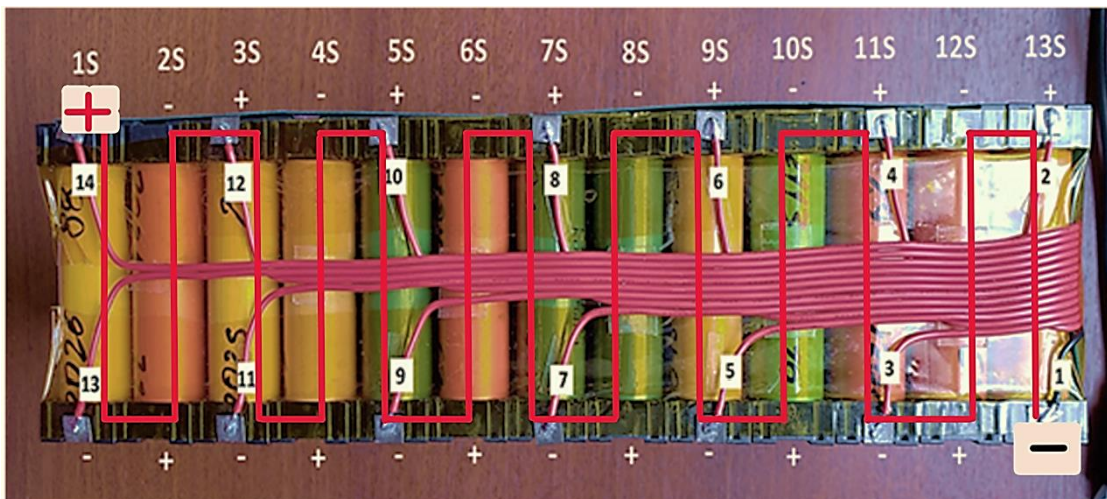


Figura 29-3: Conexión de las líneas de muestreo

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Después de realizar estas conexiones es importante sellar toda la batería con la cinta Kapton, esto con el objetivo de preservar todo el proceso por cualquier daño que pueda ocasionar los agentes exteriores como por ejemplo la humedad, rayones que comprometan los cables y las tiras de níquel.

Se realiza una base de plástico como soporte del BMS, además se colocan terminales en los cables principales del BMS para que su conexión sea más efectiva.



Figura 30-3: Conexión del BMS a la batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.18. Características de la batería

Cuando el BMS está instalado es momento de generar una ficha técnica de la batería, esta ficha ayuda a identificar el área de trabajo en la que puede ser utilizada, esta batería puede ser usada en cualquier vehículo de movilidad personal que requiera de dichas características.

Tabla 24-3: Características de la batería

Tipo de celda	Li-ion 18650	
Celdas en Serie	13	
Celdas en Paralelo	7	
Celdas totales	91	
Tensión Nominal	48,1	V
Tensión máxima	53,9	V
Tensión mínima	35,1	V
Capacidad	15,83	Ah
Potencia	761,42	Wh
Peso	4,76	kg
Largo	280	mm
Ancho	150	mm
Alto	80	mm

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.19. Construcción de la carcasa de protección

La carcasa sirve como protección adicional para cuando la motoneta sufra golpes bruscos ocasionados por la carretera o la humedad en tiempo de lluvia, la carcasa tiene una forma de caja y por lo tanto se agrega cinta espuma en los lados internos de la caja para amortiguar los golpes que genere la batería contra la carcasa. La carcasa fue hecha de acrílico de 2mm de espesor de medidas 28cm de largo con 15 cm de largo y con 8 cm de alto.

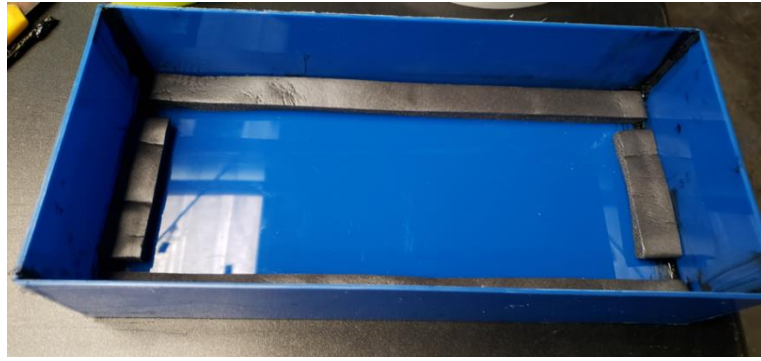


Figura 31-3: Carcasa externa de acrílico y tiras de espuma

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Se agrega tiras de espuma de poliuretano como amortiguación para la batería, esto ayuda a reducir completamente las vibraciones.

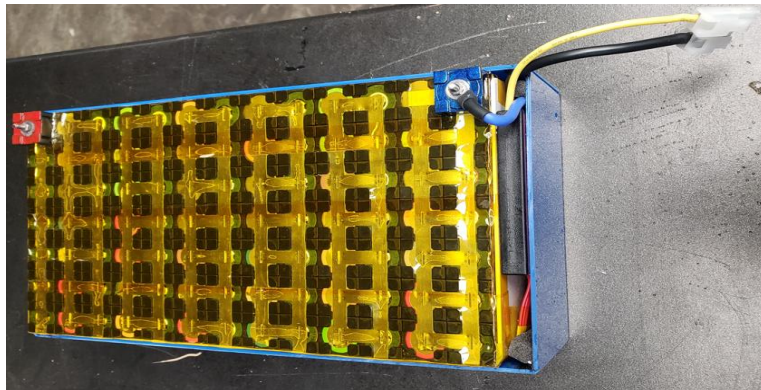


Figura 32-3: Acople de la batería a la carcasa

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

La tapa superior es móvil, esto con el objetivo de acceder rápidamente a las celdas y verificar su estado, además al existir una abertura en el contorno ayuda a disipar mejor la temperatura.



Figura 33-3: Batería terminada

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Se agregan soportes de espumaflex en la base para que la batería se acople perfectamente ya que esta base fue diseñada para una batería más grande, al igual que la espuma de poliuretano el espumaflex también reduce las vibraciones y mantiene fija la batería.

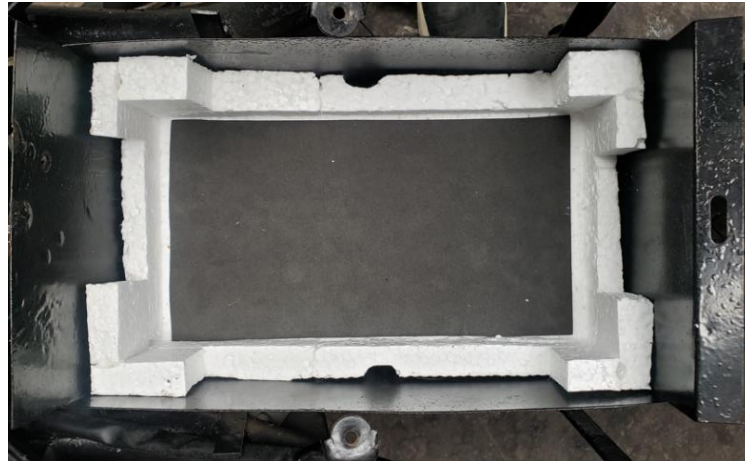


Figura 34-3: Soportes de espumaflex para la base

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Finalmente, la batería encaja perfectamente en la base de la motoneta gracias a los soportes que ayudan a mantener fija y segura la batería para cualquier tipo de terreno en el que se mueva la motoneta.



Figura 35-3: Integración de la batería en la base de la motoneta

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

3.3.3.20. Reconexión del sistema de batería en la motoneta

Las líneas de suministro de energía instaladas anteriormente presentaban defectos visibles ocasionados por el uso, se modifica tanto el sistema de carga como los terminales principales de la batería.

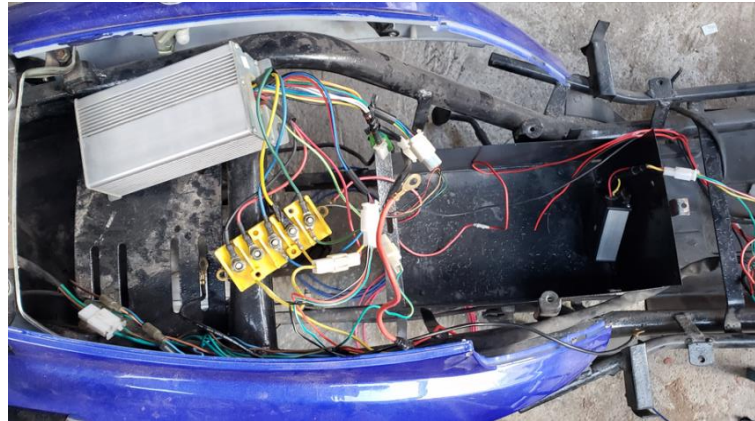


Figura 36-3: Identificación de las conexiones eléctricas originales

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Se reemplazó el conector de carga de tipo PWC por el de tipo XLR, este tipo de conector es más compacto y posee un seguro de anclaje para evitar la desconexión accidental al cargar la batería.



Figura 37-3: Modificación del conector de carga

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En cuanto al monitor indicador de estado de la batería, el monitor original estaba averiado y fue reemplazado por un indicador de voltaje y capacidad para baterías de litio con pantalla retroiluminada, este es mucho más preciso y posee dos funciones, uno para medir el voltaje de la batería y el otro para mostrar el porcentaje de carga de la batería, tiene una función de configuración para seleccionar el tipo de batería, (P) Batería ácida, (L) Batería de litio, (F) Batería

de Fe, otra configuración importante es la de agregar serie de batería que en este caso se selecciona la serie 13S.

Este medidor será esencial para obtener los datos que posteriormente se presentarán en el capítulo de resultados, también tiene un botón que alterna entre el voltaje de la batería, porcentaje de carga de la batería y apagado del indicador.



Figura 38-3: Adaptación del indicador de estado de la batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Se reorganizó todo el sistema de gestión de batería orientado a la nueva batería de Litio, el tipo de cable recomendado para el trabajo de la batería del cable flexible 12AWG con un amperaje soportado de 20A. Todos los cables son organizados de manera compacta y los únicos cables que están libres son el cable de negativo y positivo de la batería además del cable de carga.



Figura 39-3: Reconexión de nuevos cables y terminales para la batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Se reutilizó el breaker para la línea positiva que va de la batería al controlador como sistema de seguridad para proteger todos los sistemas de cualquier corto circuito durante el uso de la

motoneta, además funciona como un sistema antirrobo ya que este braker se encuentra debajo del asiento que posee una llave de seguridad y sirve para desconectar totalmente la motoneta.

Se debe realizar las comprobaciones respectivas de todas las conexiones antes de conectar la batería para que no exista algún corto, las pruebas fueron de continuidad con un multímetro para verificar las líneas ya instaladas, después de comprobar todo el sistema se debe conectar la batería y encender la moto para las pruebas.



Figura 40-3: Braker de seguridad para la línea positiva de la batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

El cargador seleccionado para la batería es especialmente para la configuración 13S de celdas de litio con conector XLR de 3 pines, con tasa de carga de 4C, es decir para esta batería que posee 15.83 Ah de capacidad el tiempo que tarda en cargarse completamente será aproximadamente 4 horas hasta completar la carga.



Figura 41-3: Cargador para batería de litio 13S 54,8V a 4A

Fuente: (Amazon, 2020)

Tabla 25-3: Características del cargador

Descripción	Característica
Marca	YZPOWER
País de origen	CHINA
Tipo de cargador	Carga rápida
Parámetros de entrada	100-240V CA, 47-63 Hz
Parámetros de salida	54,6V 4A 13S
Tipo de batería de trabajo	Batería de Litio
Tamaño	150x75x48 mm
Peso	0,59 kg

Fuente: (Amazon, 2020)

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Obtención de resultados

Se basa principalmente en pruebas de autonomía de la motoneta con un ocupante, los datos fueron obtenidos por GPS, indicador de estado de batería, termocupla para medir la temperatura en el interior de la batería y pinza amperimétrica.

4.1.1. Instrumentos de medición

Kilómetros recorridos y velocidad medidos por GPS

Para esta medición se utiliza la aplicación Strava que es gratuita y está disponible para dispositivos móviles, esta aplicación depende del GPS para calcular los datos de movimiento como velocidad, tiempo y desplazamiento, se traza la ruta automáticamente en el mapa mientras el vehículo está en movimiento registrando todos los datos ya mencionados.

Indicador de estado de batería

Este indicador muestra datos del estado de la batería tales como el voltaje que se medirá por el método de voltaje abierto, el porcentaje de carga, además se visualiza un icono de batería con nivel de carga, los datos se van a registrar de manera manual por cada kilómetro recorrido.

Termocupla

La termocupla está conectada a un multímetro que medirá la temperatura de trabajo de la batería en grados Celsius durante la prueba, esta termocupla fue instalada en el interior de la batería entre las celdas ya que este punto es donde se registra más concentración de calor, estas mediciones se registran de manera manual al igual que los datos de voltaje.

Pinza amperimétrica

La cantidad de corriente de consumo de todos los sistemas como motor y luces serán registrados con la pinza.

Cámara termográfica

Cámara termográfica modelo FLIR-T55901 para monitorear las zonas de la batería en donde se concentra la temperatura.

4.1.2. Pruebas de autonomía

Las pruebas inician con la batería cargada al 100% sometida a un ciclo de descarga completa con un ocupante que pesa 70kg en subidas bastante pronunciadas y rectas de todo tipo de terreno, la ruta de prueba equivale a más de 31km y se compone de tramos urbanos, rurales y autopista.

La batería inicia con un voltaje que no llega a los 54,6 V por las pérdidas que hay en el BMS y en todo el sistema eléctrico de la motoneta. Los parámetros para la recolección de datos son distancia recorrida medido en kilómetros, voltaje medido en voltios, temperatura medida en grados Celsius, porcentaje de carga, velocidad máxima y promedio medidos en kilómetros por hora y el tiempo de duración del recorrido.



Figura 1-4: Ruta de pruebas de 30km

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Fueron un total de 8 pruebas de autonomía marcando la misma ruta y con los mismos puntos de parada para la recolección de datos, estos fueron agrupados para ser comparados y verificar la

variación en los resultados, de esta manera se puede determinar la confiabilidad de los resultados y si la batería rinde lo esperado.

También se realizó una prueba con las luces encendidas durante todo el trayecto, fueron luces altas y luz trasera, ambas con un consumo total de 63W.

Tabla 1-4: Resultados obtenidos en las pruebas

Prueba	Voltaje inicial (V)	Voltaje final (V)	Distancia recorrida (km)	Velocidad promedio (km/h)	Velocidad máxima (km/h)	Temp. ambiente (°C)	Temp. máxima de la batería (°C)	Tiempo de manejo (h:m:s)
1	53,4	43,3	30,06	24,1	47,5	12	63	1:14:45
2	53,4	43,1	29,37	23,4	55,8	9	62	1:15:16
3	53,5	42,9	29,88	23,8	62,6	12	65	1:15:15
4	53,3	43	30,32	25,3	57,2	9	64	1:11:59
5	53,4	43,2	30,48	25	47,9	8	63	1:13:05
6	53,5	42,8	30,22	22,5	59,8	9	64	1:20:41
7	53,6	43,1	31,5	24,9	63,7	13	63	1:15:47
8	53,3	43	31,55	22,9	54	13	65	1:22:36

Realizado por: Guanoluísa, E.; Bustos, F. 2021

En los resultados de la Tabla 1-4 se observa que existe un aumento significativo en la distancia recorrida, es decir, se obtiene un incremento en la autonomía y esto se debe al aumento de CE, esta se incrementa a medida que las celdas se exponen a más ciclos de trabajo en condiciones ideales sin sobre cargar la batería y sin descargar a más de lo que permite la celda.

Por lo tanto, con el intervalo de confianza se estima la autonomía que posee la motoneta, con un nivel de confianza del 99% la autonomía se describe como:

- Distancia de recorrido promedio: 30.42km
- Desviación estándar: 0.7579
- Intervalo de confianza: 0.9377

De acuerdo con estos resultados, la autonomía de la motoneta es de:

$$\text{Autonomía} = 30.42\text{km} \pm 0.9377$$

La velocidad promedio máxima que alcanza es de 56.06km/h con una velocidad promedio general de 23.98km/h.

En cuanto a la temperatura el valor máximo alcanzado fue de 65°C en este punto existe una degradación de la celda, este valor alto se debe al tipo de pruebas al que fue expuesta, este es un ciclo muy fuerte de trabajo de descarga ya que en un trabajo normal significa sin descargar por completo la batería y en recorridos con carreteras planas esta temperatura puede ser inferior a la temperatura ideal. La temperatura ambiente influye en la temperatura de trabajo de la batería, una temperatura ambiente baja hace que la batería trabaje a una temperatura cercana a los 62°C mientras que las pruebas a una temperatura ambiente de 18°C o más indica una temperatura superior a los 62°C.

En el Gráfico 1-4 se muestra la variación de la temperatura de la batería y cómo influye en el recorrido total de la motoneta.

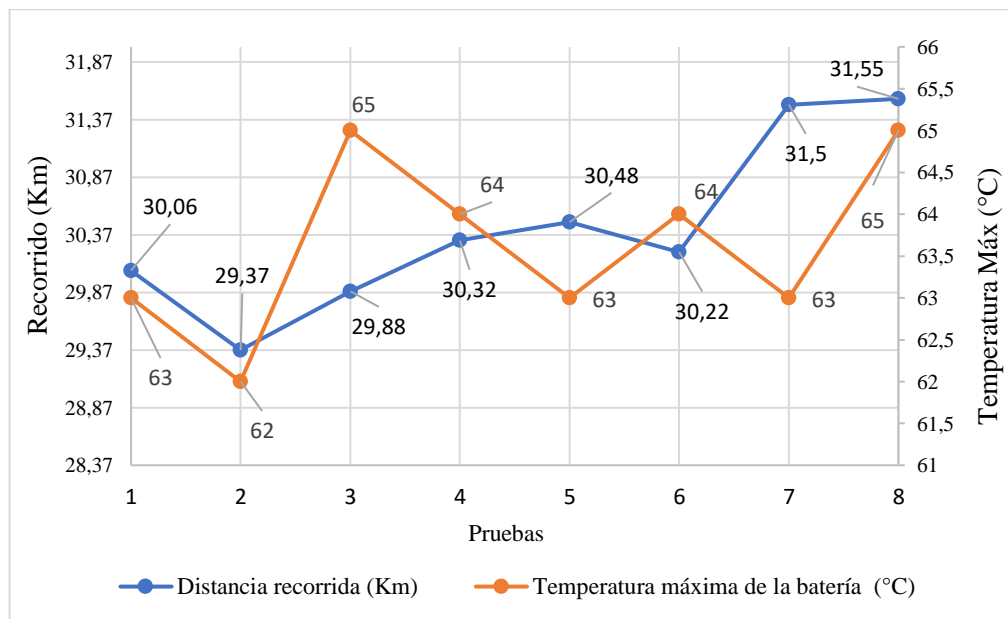


Gráfico 1-4: Recorrido en relación con la temperatura de trabajo de la batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En el Gráfico 2-4 muestra cómo influye la temperatura ambiente con la temperatura máxima alcanzada por la batería, este es un punto muy importante por analizar ya que unas buenas temperaturas indican una buena autonomía de la batería.

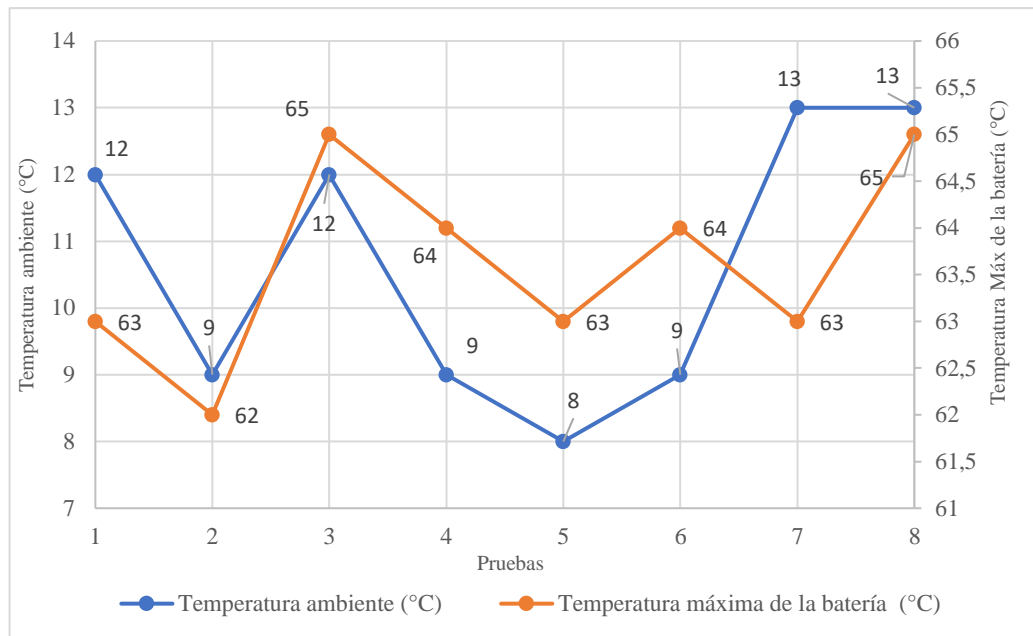


Gráfico 2-4: Influencia de la temperatura ambiente con la temperatura de la batería

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

La temperatura ambiente de entre 8 a 9°C se deben a que las pruebas fueron realizadas en la mañana mientras que las temperaturas que rondan los 12 a 19°C indican que las pruebas fueron realizadas en la tarde con poca incidencia del sol, es claro que el frío de la mañana ayuda a refrigerar mejor la batería y en los resultados se observa que en la mañana la temperatura de la batería no llega a sobrepasar los 64°C, pero las pruebas realizadas en la tarde la batería alcanza los 65°C.

4.1.3. Prueba de carga

Al terminar la prueba de autonomía la batería se encuentra caliente por lo que se asigna un estado de reposo y recuperación (regeneración de celdas) de una hora, esto permite que las celdas se recuperen poco a poco después de ser sometidas a un trabajo continuo y además permite que disminuya la temperatura, al disminuir la temperatura es probable que el voltaje suba de cierta manera producto del estado de recuperación al que fueron sometidas pero esto no alterará los resultados de carga, al contrario, esto ayuda a preservar la vida de la batería.

Por lo tanto, la carga se inicia con una temperatura de al menos 30 a 40°C, los parámetros para la recolección de datos son tiempo de carga, voltaje, temperatura y porcentaje de carga.

Tabla 2-4: Resultados del proceso de carga

Prueba	Voltaje inicial para carga (V)	Voltaje recuperado reposo de 1h (V)	SoC al iniciar la carga (%)	Temperatura al iniciar la carga (°C)	Temperatura al finalizar la carga (°C)	Voltaje al completar la carga (V)	Tiempo de carga (h:m)
1	43,8	0,5	8%	39	32	53,4	3:44
2	43,8	0,7	16%	37	33	53,7	3:35
3	43,9	1	5%	50	33	53,6	3:45
4	44,8	1,8	14%	48	35	53,7	3:35
5	44,9	1,7	16%	39	33	53,7	3:34
6	44,9	2,1	16%	30	30	53,6	4:15
7	44,6	1,5	12%	49	35	53,7	3:33
8	44,7	1,7	14%	49	35	53,6	3:45

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

El tiempo de carga promedio de las 8 pruebas es de 3 horas y 43 minutos, pero la que tarda más tiempo fue la prueba 6 con la que inició con una temperatura de 30°C que fue la más baja y tardó 4 horas y 15 minutos, esto se debe a que las celdas se enfriaron tanto que pasaron a un estado de reposo absoluto por lo que se las debe activar con una carga lenta, este proceso lo realiza automáticamente el cargador como mecanismo de protección de carga.

Este cargador tiene un indicador led que muestra en rojo al momento de la carga, cuando llega al 99% el led es intermitente entre rojo y verde enviando pulsos de voltaje de 54,6 V indicando que la carga esta por completarse, esto sirve para asegurarse que todas las celdas estén correctamente balanceadas y finalmente cuando la carga indica el 100% se muestra el indicador led en verde.

4.1.4. Prueba de temperatura con cámara termográfica

En esta prueba se condujo la motoneta en un tramo más corto dentro del campus de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con una duración de 13 minutos y 11 segundos, al finalizar el recorrido se capturó los datos de temperatura e imágenes termográficas de la batería.

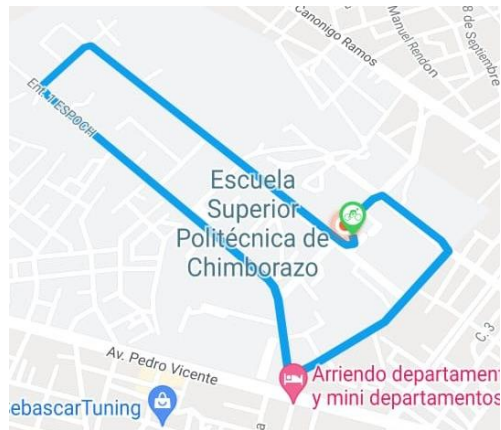


Figura 2-4: Ruta de prueba en el campus

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la Figura 3-4 se muestra la imagen termográfica de la parte superior de la batería al iniciar la prueba. Se puede observar que existe una concentración de calor mayor en la parte superior con una temperatura de 17,3°C esta dispersión del calor se puede deber a que previamente se realizó una prueba del sistema eléctrico antes de iniciar la prueba y eso produjo que las celdas se calienten.

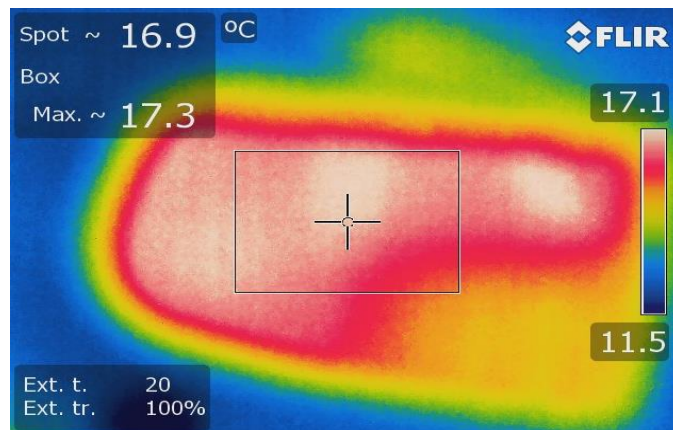


Figura 3-4: Termografía de la batería al iniciar la prueba

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En la Figura 4-4 se muestra la distribución de la temperatura al finalizar la prueba, en este caso la temperatura alcanzada fue de 23,3°C en la zona media mientras que en la Figura 5-4 se muestra la zona en donde se concentra una mayor temperatura, en esta zona se encuentra el borne negativo de la batería y también donde tiene conexión directa a la línea negativa del BMS, por lo tanto, en esta zona compartida es donde se produce mayor concentración de calor ocasionado por una conexión directa.

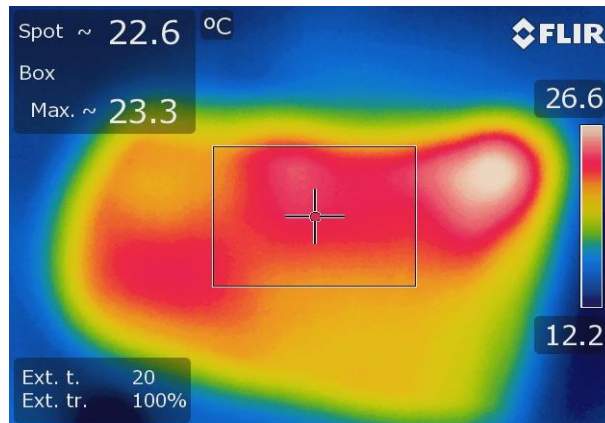


Figura 4-4: Termografía de la zona media

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

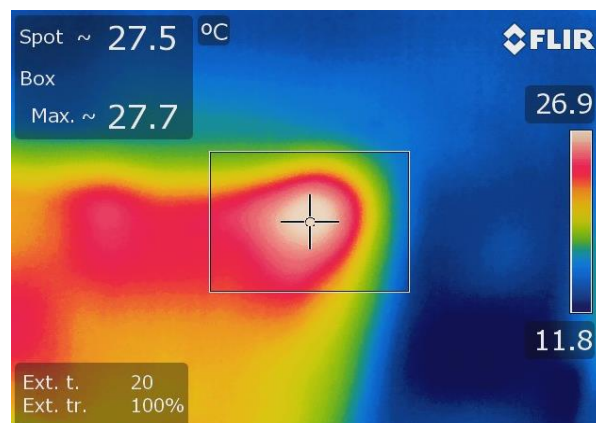


Figura 5-4: Termografía de la zona de mayor temperatura

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

También se tomó la termografía del motor eléctrico al finalizar la prueba, en la Figura 6-4 se muestra la imagen termográfica del motor con una temperatura máxima de 23°C que evidentemente se genera en la zona de las bobinas del motor.

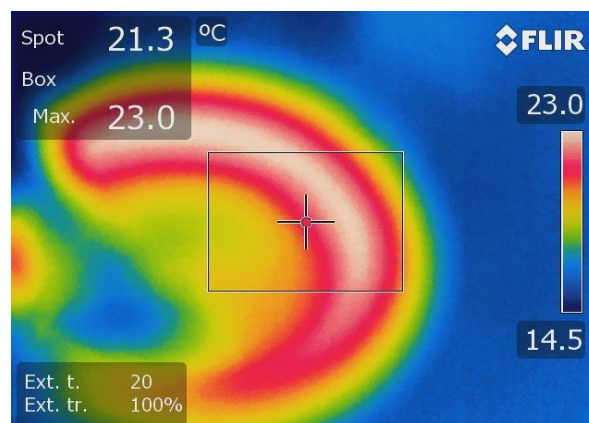


Figura 6-4: Termografía del motor

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

4.1.5. Toma de datos del consumo del motor con la pinza amperimétrica

Para obtener el consumo de corriente por parte del motor se colocó la pinza amperimétrica en una fase del cable a la salida del controlador, los datos fueron tomados de la siguiente manera:

Tabla 3-4: Demanda de corriente

Superficie plana	Corriente (A)
sin luces	17
con luces	24,5
Superficie inclinada	
sin luces	24,7
con luces	28,4
Aceleración a fondo	18,7

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En una superficie inclinada y con las luces encendidas es donde se obtiene un mayor consumo de corriente con 28.4A que está dentro del rango de los 30A que soporta el BMS, si se supera los 30A el BMS va a cortar el suministro de energía para proteger la batería de un consumo muy elevado.

En la Figura 7-4 se observa la toma de datos de la pinza amperimétrica que se coloca en una fase a la salida del controlador.



Figura 7-4: Medición de corriente

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

4.1.6. Comparación de ahorro en consumo de combustible y energía eléctrica

Para una moto de 125cc similar a la del presente trabajo a una velocidad de 100km/h consume 2.5 litros de combustible en 100km de recorrido, para 30km de recorrido el combustible requerido sería de 0.75 litros que equivalen a 0.198 galones.

Precio del galón de combustible en Ecuador en el año 2022 es de \$2.55, es decir, para una motoneta de 125cc que recorre 30km el costo de combustible es de ¢50 centavos

Para el costo que requiere cargar la batería de la motoneta se tienen los siguientes datos: Costo del kWh en Ecuador al año 2022 es de ¢9.2 centavos y el consumo del cargador en el tiempo de 4 horas de carga completa es de 0.8736kWh. Por lo tanto; el costo de energía eléctrica requerido para cargar completamente la batería es de ¢8 centavos para un recorrido de 30km. A comparación del precio de combustible existe un ahorro de ¢42 centavos.

4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Resultados de la prueba 1

Tabla 4-4: Resultados de descarga de la prueba 1

Dato	Autonomía (km)	Voltaje (V)	Temperatura (°C)	SoC (%)
1	0	53,4	20	100%
2	2	51	33	77%
3	6	49,4	43	62%
4	10,14	48,5	48	50%
5	14,13	47,8	53	42%
6	18,25	47,1	61	36%
7	22,18	46,2	63	26%
8	26,33	45	63	12%
9	28,21	44,5	62	6%
10	30,06	43,3	60	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: La prueba 1 demostró que la autonomía de la batería es superior a la que tenía originalmente la motoneta llegando a los 30.06 km con 8.06 km más que con las baterías de plomo-acido que funcionaba anteriormente la motoneta.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 12°C la temperatura máxima alcanzada fue de 63°C, a partir de los 26 km esta temperatura empieza a descender y a estabilizarse al igual que el voltaje.

Voltaje: Los valores de voltaje fueron los adecuados para que la batería suministre energía suficiente para toda la prueba.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 24.1km/h alcanzando una velocidad máxima de 47.5km/h.

Duración: La prueba finalizó en 1 hora y 14 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 5-4: Resultados de carga de la prueba 1

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
43,8	0:00	39	8%
47,7	0:30	35	47%
49,4	1:00	34	60%
50,5	1:30	34	71%
51,6	2:00	34	82%
52,7	2:30	34	93%
53,2	3:00	33	99%
53,3	3:30	32	100%
53,4	3:44	32	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Al estar una hora en reposo la batería recupera una pequeña parte del voltaje producto de la regeneración de celda, la temperatura disminuye y es segura para no degradar las celdas por altas temperaturas, se obtiene un tiempo de carga completa de 3 horas y 44 minutos.

4.2.2. Resultados de la prueba 2

Tabla 6-4: Resultados de descarga de la prueba 2

Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,4	17	100%
2	51	31	77%
6	49,6	43	63%
10,14	48,2	50	49%
14,13	47,5	55	41%
18,32	46,7	62	34%
22,18	45,9	62	25%
26,33	44,4	60	10%
28,21	43,7	59	4%
29,37	43,1	59	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: En esta prueba la autonomía a diferencia de la prueba numero 1 solo disminuyó de 30.06 a 29.37 km.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 9°C la temperatura máxima fue de 62°C, a este valor la batería tiene poca degradación de estado de vida.

Voltaje: Los valores de voltaje fueron los adecuados para que la batería suministre energía suficiente para toda la prueba.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 23.4km/h alcanzando una velocidad máxima de 55.8km/h.

Duración: la prueba finalizó en 1 hora y 15 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 7-4: Resultados de carga de la prueba 2

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
43,8	0:00	37	16%
48,3	0:30	36	50%
49,3	1:00	34	60%
50,4	1:30	33	71%
51,5	2:00	33	82%
52,6	2:30	33	92%
53,5	3:00	33	100%
53,7	3:30	33	100%
53,7	3:35	33	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Con una regeneración de celdas del 16% la batería vuelve a estar estable por lo cual se inicia el proceso de carga, el voltaje al finalizar la carga el voltaje fue de 53.7V con una temperatura estable de carga, en este punto la batería ya no muestra signos de degradación de celdas, se obtiene un tiempo de carga completa de 3 horas y 35 minutos.

4.2.3. Resultados de la prueba 3

Tabla 8-4: Resultados de descarga de la prueba 3

Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,5	33	100%
2,01	51,1	43	78%
6	49,6	52	63%
10	48,5	54	53%
14,16	47,7	58	44%
18,25	47	65	37%
22,18	46,2	64	28%
26,33	44,6	62	13%
28,3	43,8	61	4%
29,88	42,9	58	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: Esta prueba fue muy similar a la prueba número 2 la única diferencia es que tiene un aumento en la autonomía de 29.37 a 29.88km.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 12°C la temperatura llega hasta los 65°C aumentando el riesgo de degradación de la batería, pero este pico de temperatura empieza a descender durante la prueba.

Voltaje: En cuanto al voltaje existe poca variación respecto a las medidas de la prueba 3, en cada punto de marcación de datos se observa el mismo voltaje con una diferencia mínima que la prueba anterior.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 23.8km/h alcanzando una velocidad máxima de 62.6km/h.

Duración: La prueba finalizó en una 1 hora y 15 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 9-4: Resultados de carga de la prueba 3

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
43,9	0:00	50	5%
47,9	0:30	46	46%
48,9	1:00	42	56%
50	1:30	39	66%
51,1	2:00	37	78%
52,3	2:30	35	90%
53,5	3:00	35	100%
53,5	3:30	33	100%
53,6	3:45	33	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Después de estar en reposo por una hora y con una regeneración de celdas del 5% la batería vuelve a estar estable, pero la temperatura disminuyó a los 50°C, esta temperatura no afecta al proceso de carga, el voltaje al finalizar la carga el voltaje fue de 53.7V con una temperatura estable, en este punto la batería ya no muestra signos de degradación de celdas, se obtiene un tiempo de carga completa de 3 horas y 45 minutos.

4.2.4. Resultados de la prueba 4

Tabla 10-4: Resultados de descarga de la prueba 4

Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,3	16	100%
2,01	50,9	28	76%
6,05	49,4	44	61%
10,14	48,2	52	49%
14,13	47,5	56	43%
18,26	46,8	64	34%
22,12	46,1	64	27%
26,35	44,7	62	14%
28,23	44	63	6%
30,32	43	59	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: A comparación con la prueba anterior la autonomía aumentó de 29.88 a 30.32 km este aumento se debe a que se mejora la conducción de la motoneta, es decir, se aplica el acelerador en los tramos de ruta que son realmente necesarios, la eficiencia de la batería aumenta con cada aprueba.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 9°C la temperatura máxima alcanzada fue de 64°C, sigue manteniendo una temperatura similar que las pruebas anteriores, no hay problemas de funcionamiento por alta temperatura ya que esta empieza a disminuir indicando que las celdas se recuperan rápidamente.

Voltaje: Los valores de voltaje son similares comparados con las pruebas anteriores demostrando que en cada prueba el consumo de energía es el correcto.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 23.8km/h alcanzando una velocidad máxima de 62.km/h.

Duración: La prueba finalizó en una 1 hora y 12 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 11-4: Resultados de carga de la prueba 4

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
44,8	0:00	48	14%
48,2	0:30	42	49%
49,2	1:00	39	59%
50,3	1:30	37	70%
51,4	2:00	36	81%
52,5	2:30	36	92%
53,7	3:00	35	100%
53,7	3:30	35	100%
53,7	3:35	35	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Después de estar en reposo por una hora y con una regeneración de celdas del 14% la batería vuelve a estar estable, la temperatura al iniciar la carga fue de 48°C por lo que esta temperatura no afecta al proceso de carga ni al estado de vida de las celdas además el voltaje al finalizar la carga el voltaje fue de 53.7V con una temperatura estable al finalizar la carga, se obtiene un tiempo de carga completa de 3 horas y 35 minutos.

4.2.5. Resultados de la prueba 5

Tabla 12-4: Resultados de descarga de la prueba 5

Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,4	17	100%
2	51	29	76%
6,02	49,4	42	61%
10,12	48,3	49	50%
14,13	47,5	55	42%
18,31	46,9	62	36%
22,17	46,2	63	29%
26,35	45	61	17%
28,21	44,3	60	9%
30,48	43,2	56	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: A comparación con la prueba anterior la autonomía aumentó de 30.32 a 30.48km la eficiencia de la batería aumenta con cada prueba realizada.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 8°C la temperatura que alcanzó la batería fue de 63°C este valor se debe a la baja temperatura ambiente que favorece a la ventilación con aire más frío que entra en la base de la batería, esta temperatura es aceptable para trabajar con poca degradación de celdas.

Voltaje: Al igual que las pruebas anteriores los valores de voltaje son similares y esto demuestra que en cada prueba el consumo de energía es el correcto.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 25km/h alcanzando una velocidad máxima de 59.8km/h.

Duración: La prueba finalizó en una 1 hora y 20 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 13-4: Resultados de carga de la prueba 5

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
44,9	0:00	39	16%
48,4	0:30	35	51%
49,4	1:00	35	60%
50,4	1:30	34	71%
51,6	2:00	34	82%
52,7	2:30	32	94%
53,6	3:00	32	100%
53,7	3:30	33	100%
53,7	3:34	33	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Después de estar en reposo por una hora y con una regeneración de celdas del 16% la batería vuelve a estar estable, debido a la baja temperatura ambiente la temperatura de la batería disminuyó a los 39°C, esta temperatura es la adecuada para el proceso de carga sin presentar problemas en el estado de vida de las celdas, al finalizar la carga el voltaje fue de 53.7V en este punto la batería ya no muestra signos de degradación de celdas, se obtiene un tiempo de carga completa de 3 horas y 34 minutos.

4.2.6. Resultados de la prueba 6

Tabla 14-4: Resultados de descarga de la prueba 6

Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,5	19	100%
2	51	30	76%
6,02	49,4	46	62%
10,01	48,2	54	50%
14,11	47,11	58	40%
18,29	46,5	64	33%
22,13	45,7	64	23%
26,34	44,3	63	9%
28,25	43,6	61	3%
30,23	42,8	56	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: Se obtuvo una reducción en la autonomía de 30.48 a 30.23km con respecto a la prueba anterior.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 9°C la temperatura que alcanzó la batería fue de 64°C la baja temperatura ambiente que favorece a la ventilación con aire más frío que entra en contacto con la batería haciendo que la temperatura descienda rápidamente hasta los 56°C que es una temperatura de trabajo segura para las celdas.

Voltaje: Los primeros datos son similares a los datos de la prueba anterior la diferencia es que en los 2 últimos datos estos disminuyen hasta casi llegar al valor de activación del sistema de seguridad del BMS.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 22.5km/h alcanzando una velocidad máxima de 59.8km/h.

Duración: La prueba finalizó en una 1 hora y 20 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 15-4: Resultados de carga de la prueba 6

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
44,9	0:00	30	16%
48,4	0:30	30	51%
49,4	1:00	30	61%
50,4	1:30	30	70%
51,4	2:00	29	81%
52,2	2:30	31	89%
53	3:00	31	97%
53,5	3:30	31	100%
53,6	4:15	30	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Después de estar en reposo por una hora y con una regeneración de celdas del 16% la batería vuelve a estar estable, debido a la baja temperatura ambiente la temperatura de la batería disminuyó a los 30°C, durante el proceso de carga este aumentó a un grado la temperatura indicando que las celdas si pueden generar más calor al momento de cargarse pero no en exceso, al finalizar la carga el voltaje fue de 53.6V y la batería no muestra signos de degradación de celdas ya que esta logra llegar al 100% de SoC, carga completa en 4 horas y 15 minutos.

4.2.7. Resultados de la prueba 7

Tabla 16-4: Resultados de descarga de la prueba 7

Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,6	23	100%
2	51,5	32	82%
6,03	49,9	44	65%
10,1	48,8	48	55%
14,12	47,8	53	45%
18,28	47,3	61	40%
22,13	46,6	63	33%
26,35	45,4	62	21%
28,21	44,6	61	13%
31,5	43,1	57	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: Con un aumento en la autonomía de 30.23 a 31.5km con respecto a la prueba anterior esta es una de las pruebas con mayor autonomía.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 13°C la temperatura que alcanzó la batería fue de 63°C que sigue estando al límite de exposición a altas temperaturas.

Voltaje: La descarga de voltaje es muy similar a las pruebas anteriores, esto indica que durante todo el funcionamiento de la batería esta funciona de tal manera que entrega igual energía en la misma ruta de pruebas.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 24.9km/h alcanzando una velocidad máxima de 63.7km/h que es la velocidad más rápida de entre todas las pruebas.

Duración: La prueba finalizó en una 1 hora y 15 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 17-4: Resultados de carga de la prueba 7

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
44,6	0:00	49	12%
48,2	0:30	44	49%
49,1	1:00	40	58%
50,3	1:30	38	70%
51,4	2:00	37	81%
52,6	2:30	35	92%
53,5	3:00	35	100%
53,6	3:30	35	100%
53,7	3:33	35	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Después de estar en reposo por una hora con una regeneración de celdas del 12% y con una temperatura de 49°C esta temperatura esta adecuada para el proceso de carga, el voltaje al finalizar la carga fue de 53.7V con una temperatura estable al finalizar la carga, en este punto la batería ya no muestra signos de degradación de celdas, se obtiene un tiempo de carga completa de 3 horas y 33 minutos.

El tiempo de carga en esta prueba demuestra que el cargador esta sediento la carga rápida mientras que el BMS admite correctamente esa carga a las celdas por lo que el tiempo de carga es más rápida.

4.2.8. Resultados de la prueba 8

Tabla 18-4: Resultados de descarga de la prueba 8

Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,3	17	100%
2,01	51	30	76%
6,05	49,3	42	60%
10,14	48,3	49	50%
14,15	47,5	54	41%
18,34	46,7	61	34%
22,19	45,8	65	25%
26,35	44,6	61	13%
28,3	44,2	59	8%
31,55	43	57	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: Con un aumento en la autonomía de 31.5 a 31.55km con respecto a la prueba anterior esta es la prueba con la que se obtuvo una mayor autonomía.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 17°C la temperatura máxima que alcanzó la batería fue de 65°C al 25% de estado de carga.

Voltaje: La descarga de voltaje es igual a las pruebas anteriores, existe una variación en el voltaje final de descarga, es decir el valor de SoC 0% tiene una pequeña variación.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 22.9km/h alcanzando una velocidad máxima de 54km/h.

Duración: La prueba finalizó en una 1 hora y 22 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 19-4: Resultados de carga de la prueba 8

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
44,7	0:00	49	14%
48,3	0:30	44	50%
49,3	1:00	42	60%
50,5	1:30	40	72%
51,6	2:00	38	83%
52,8	2:30	38	95%
53,2	3:00	37	100%
53,4	3:30	35	100%
53,6	3:45	35	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Después de una hora en reposo la batería tuvo una regeneración del 14% del estado de carga que equivale a 44.7V y con una temperatura de 49°C esta temperatura es adecuada para el proceso de carga, el voltaje al finalizar la carga fue de 53.6V con una temperatura estable al finalizar la carga,

en este punto la batería ya no muestra signos de degradación de celdas, se obtiene un tiempo de carga completa de 3 horas y 45 minutos.

4.2.9. Prueba de autonomía con las luces encendidas

En esta prueba se marca una temperatura superior de entre todas las pruebas ya que esta prueba fue de estrés total, con las luces encendidas y el funcionamiento del motor, al exigir mucha energía por parte de los consumidores esto hace que la batería se esfuerce más producto de esto aumenta la temperatura y disminuye la autonomía.

Tabla 20-4: Resultados de descarga de la prueba

Prueba con luces encendidas			
Autonomía (km)	Voltaje	Temperatura (°C)	SoC (%)
0	53,4	17	100%
2	50,8	32	73%
6,01	49	45	56%
10,16	48,1	53	46%
14,13	47,1	60	39%
18,26	46,4	66	31%
22,18	45,1	64	18%
26,04	42,7	59	0%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Autonomía: En esta prueba se utilizaron las luces traseras y las luces delanteras, ambas con un consumo total de 63Wh aumentando el consumo y exigencia de la batería, por lo que esta prueba es la que obtuvo el valor más bajo de autonomía.

Temperatura: Con una temperatura ambiente de 13°C hubo un aumento de temperatura de 66°C donde existe un riesgo de degradación de las celdas al trabajar en altas temperaturas además esto resultó en una disminución en la autonomía.

Voltaje: El voltaje disminuyó a tal punto que el BMS activó el sistema de seguridad que protege la batería de la sobre descarga por debajo de los 42.5V cortando el suministro de energía.

Velocidad: La velocidad promedio fue de 22.8km/h alcanzando una velocidad máxima de 41.8km/h.

Duración: La prueba finalizó en 1 hora y 8 minutos, después inicia el proceso de recuperación de celdas con 1 hora en reposo.

Tabla 21-4: Resultados de carga de la prueba

Voltaje	Tiempo de carga (h)	Temperatura (°C)	SoC (%)
43,7	0:00	38	5%
48,3	0:30	35	48%
49,3	1:00	33	60%
50,4	1:30	32	71%
51,5	2:00	34	82%
52,6	2:30	33	93%
53,4	3:00	33	100%
53,6	3:30	32	100%
53,7	3:47	32	100%

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En esta prueba se obtuvo resultados muy similares a las pruebas anteriores ya que se obtuvo un porcentaje de regeneración de celdas y una temperatura de carga muy estable, el tiempo de carga fue de 3 horas y 47 minutos.

Tabla 22-4: Diferencia entre las baterías de plomo y baterías de celdas ion-litio

Baterías	Peso de la motoneta sin batería (kg)	Peso de las baterías (kg)	Peso total de la motoneta con baterías (kg)	Autonomía (km)	Capacidad (Ah)
Plomo	59,6	25,4	85	25	20
Ion-litio	59,6	4,76	64,36	30,42	15,83

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

En el Gráfico 3-4 se muestra la comparación entre las baterías de plomo y la batería de celdas de ion-litio, la batería de celdas de litio reduce el peso total de la motoneta por lo que la autonomía aumenta al no exigir esa carga adicional.

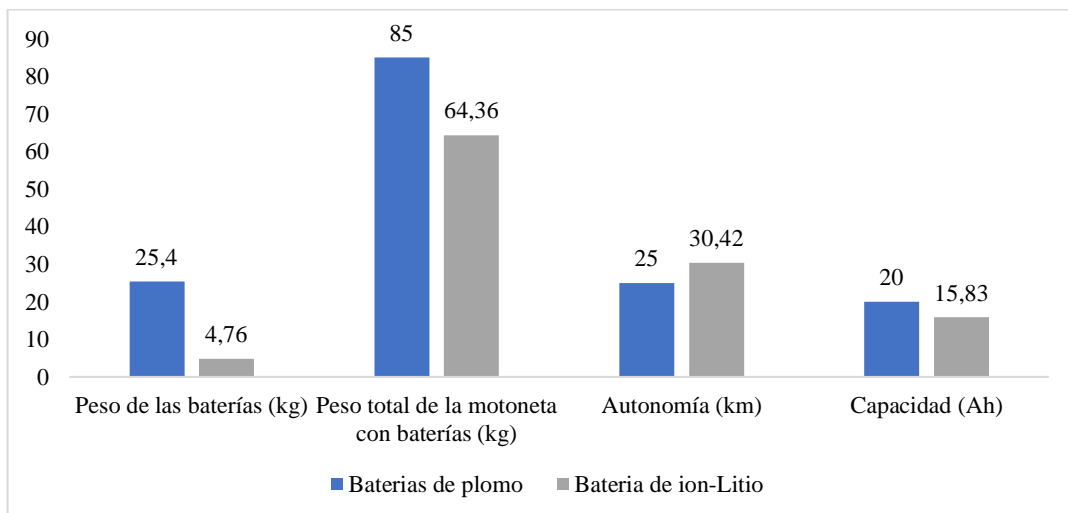


Gráfico 3-4: Comparación de las características físicas de las baterías

Realizado por: Guanoluisa, E.; Bustos, F. 2021

Además, el volumen que ocupa esta batería es menor al volumen ocupado por las baterías de plomo, el conjunto de baterías anterior contaba con 4 baterías de plomo de 12V a 20Ah por lo que:

- Volumen ocupado por las 4 baterías de plomo: 9309.9 cm³.
- Volumen ocupado por la batería de celdas de ion-litio: 3360 cm³.

Ventajas de la batería de celdas de ion-litio implementadas en la motoneta.

- Mejora la autonomía de la motoneta obteniendo cerca de 5km adicionales.
- Se reduce el peso del conjunto de baterías de 25.4kg a tan solo 4.76kg.
- Se reduce el peso total de la motoneta de 85kg a 64.36kg.
- Se reduce el espacio ocupado por la batería.
- Mejora el tiempo de carga de 4 horas a un promedio de 3 horas y 43 minutos.
- Ayuda al medio ambiente al reutilizar las celdas de ion-litio.

Desventajas de la batería de celdas de ion-litio implementadas en la motoneta.

- Su construcción e instalación toma más tiempo.

CONCLUSIONES

Existe mucha información sobre el reciclaje, manejo y reutilización de las celdas de litio de factor 18650 ya que estas son muy comunes en el mercado global, esta información puede servir para dar un segundo uso a las celdas y utilizarlas en diferentes proyectos electrónicos como por ejemplo para elaborar un paquete de batería para vehículos de movilidad personal.

El proceso de reciclaje fue factible ya que algunas empresas de mantenimiento de computadoras poseen varias de estas baterías que ya no sirven y los encargados de estos talleres están dispuestos en regalar estas baterías, en algunos casos estas las venden en precios muy económicos.

Fueron un total de 91 celdas sometidas a la prueba de carga y descarga que se utilizaron para la construcción de la batería, todas cumplieron satisfactoriamente las características de estado de vida (SoH) y de eficiencia coulombica (CE) demostrando que se puede aprovechar estas baterías desechas de laptops en nuevas aplicaciones que requieran de baterías de litio con un proceso de elaboración barato y contribuyendo al medio ambiente.

La configuración de celdas obtenida de 13S7P fue la ideal para este trabajo, en la construcción la soldadura por punto fue la alternativa más rápida y segura para conectar varias celdas sin dañarla por altas temperaturas generadas por soldadura convencional de estaño, la protección externa hecha de acrílico obtuvo buenos resultados al mantener la batería estable dentro de la base de la motoneta, además tiene el deber de proteger de algún objeto que pueda llegar a perforar la cinta aislante o en el peor de los casos perforar las celdas, las aberturas en el contorno superior ayudó a disipar el calor generado.

Para la fase de pruebas tanto la batería como la motoneta eléctrica no presentaron ningún inconveniente de compatibilidad que apoyados al diseño y construcción realizados esta fue satisfactoria mejorando el rendimiento de la motoneta. Los resultados demostraron que la batería tiene una autonomía superior a la que originalmente tenía la motoneta con las baterías de plomo ácido, además se concluye que esta batería de segunda vida durará mucho tiempo, esto en base a los resultados obtenidos que demostraron un aumento de la autonomía en cada prueba realizada.

Finalmente, este trabajo no genera ningún tipo de contaminación, al contrario, ayuda a preservar el medio ambiente evitando que las baterías de laptops terminen en los basureros contaminando gravemente el ambiente.

RECOMENDACIONES

Al abrir las baterías de laptop, internamente tienen cintas de níquel muy finas que conectan las celdas y por su rigidez es probable que puedan provocar cortes en las manos por lo que se procede con medidas de seguridad como guantes para proteger las manos y trabajar de mejor manera sin dañar las celdas.

Para determinar el estado de vida de las celdas se recomienda utilizar otro tipo de cargador como el ISDT BattGo BG-8S para acelerar este proceso, existen módulos de carga en los cuales se puede adaptar ocho o más celdas simultáneamente y con esto se reduce el tiempo de prueba de carga mientras que para el proceso de descarga se puede utilizar el Probador de carga electrónica DL24 150W el cual se puede configurar la capacidad de descarga de una sola batería.

Para conseguir más autonomía se recomienda utilizar más celdas y así conseguir al menos el doble de autonomía de la actual, también buscar la mejor configuración XSYP de batería para que sea más compacta.

Se recomienda usar las celdas que marcaron una capacidad de descarga menor a 2000 mAh en proyectos más pequeños como por ejemplo batería para proyectos en protoboard, usarlas en lámparas led, powerbank y adaptarlas en cualquier aparato electrónico inalámbrico que necesite de celdas de litio aportando con más capacidad y larga duración.

Es recomendable dar uso a todas las celdas y las que marcaron menos de 2 V se las puede aplicar el proceso de revivir la celda, este proceso tarda más tiempo, pero vale la pena ya que la celda vuelve a su estado normal de trabajo.

Las celdas que no lograron pasar las pruebas y que marcaron un estado de vida muy bajo a menos de 70% es recomendable reciclar.

GLOSARIO

AWG: Es un estándar de clasificación de diámetros de cables eléctricos de origen estadounidense. Su significado describe el calibre de alambre estadounidense del inglés American Wire Gauge (Green, 2015).

Capacidad Typ: Es la capacidad típica de la celda, refiriéndose al valor promedio de la capacidad medido en condiciones reales a un grupo de celdas con las mismas características (HUAWEI, 2021).

Convertor CC-CC: El convertidor CC-CC actúa como centro de transferencia de energía entre los componentes de la instalación eléctrica de alta tensión del vehículo, durante la conducción normal, el convertidor aumenta la tensión de la batería para optimizar el rendimiento del motor y poder complementar la batería con un suministro de energía adicional (Valero, 2014).

Diseño CAD: El diseño asistido por computadora (CAD) requiere del uso de programas de computadora para crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D) de objetos físicos alternativos para bocetos manuales y prototipos (Bizarron, 2021).

Escala de intervalo: Las escalas de intervalo se definen como escalas de medida cuantitativa en las que se mide la diferencia entre dos variables. En otras palabras, las variables se miden en valores reales en lugar de relativos, donde la presencia de cero es arbitraria. Esto significa que la diferencia entre las dos variables de la escala es una distancia igual o verdadera (Alejandro, 2018).

EV: Electric Vehicle o vehículo eléctrico son los eléctricos puros. Estos vehículos cuentan con uno o varios motores eléctricos que se alimentan principalmente de la energía almacenada en las baterías (Gutiérrez, 2019).

Limp Home Mode: La traducción literal de limp home es, “Cojea a casa”, es decir, un programa de funcionamiento del vehículo eléctrico que nos permite volver a casa con ciertas restricciones en caso de avería técnica. También se suele decir que el coche está en modo de emergencia o degradado (Fidalgo, 2019).

Pantalla LCD: Es una pantalla compuesta de cristal líquido denominada por sus siglas en inglés Liquid Crystal Display, que se utiliza para mostrar imágenes estáticas y en movimiento (BenQ, 2021).

Ruptura Térmica: La ruptura térmica es la propagación de un incidente térmico de una celda a otra dentro de un paquete de batería, es parte de los desafíos de seguridad más importantes en el uso de baterías de iones de litio, por ejemplo, en el creciente campo de los vehículos eléctricos (Battery, 2021).

BIBLIOGRAFÍA

ADMIN. Reciclaje – Blog Baterías de litio. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <https://www.bateriasdelitio.net/?p=340>.

ALEJANDRO. ¿Qué es la escala de intervalo? [en línea]. [Consulta: 29 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/escala-de-intervalo/>.

ALL SPARES. ¿Qué es una batería 18650? - All Spares. [en línea]. [Consulta: 12 junio 2021]. Disponible en: <https://all-spares.com/es/technical-articles/what-does-18650-battery-mean.html>.

AMAZON. YZPOWER Adaptador de corriente de 54.6 V 4A para bicicleta eléctrica, scooter de movilidad de 48 V, cargador de batería de litio conector XLR de 3 pines: Deportes y Actividades al Aire Libre. [en línea]. [Consulta: 27 julio 2022]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/Adaptador-corriente-bicicleta-el%C3%A9ctrica-movilidad/dp/B08D677YDB/ref=sr_1_20?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=JS8R3N1SEZ89&keywords=13s+lithium+battery+charger+4+A&qid=1658987047&srefix=13s+lithium+battery+charger+4a%2Caps%2C105&sr=8-20.

BATTERY BRO. Herramienta de búsqueda de código de fecha 18650 – Batería 18650 | BATERÍA HERMANO. [en línea]. [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: <https://batterybro.com/pages/18650-date-code-lookup-tool>.

BATTERY, P. Fuga y propagación térmicas de baterías de iones de litio - BATTERIETAGUNG 2022. [en línea]. [Consulta: 9 marzo 2022]. Disponible en: <https://battery-power.eu/en/thermal-runaway-und-thermische-propagation-bei-lithium-ionen-batterien/>.

BATTERY, U. BU-802b: ¿Qué hace la autodescarga elevada? - Universidad de la batería. [en línea]. [Consulta: 28 julio 2021]. Disponible en: <https://batteryuniversity.com/article/bu-802b-what-does-elevated-self-discharge-do>.

BATTERY, U. BU-803a: Coincidencia y equilibrio de celdas - Battery University. [en línea]. [Consulta: 31 enero 2022]. Disponible en: <https://batteryuniversity.com/article/bu-803a-cell-matching-and-balancing>.

BATTERY, U. BU-808a: Cómo despertar a un Li-ion dormido - Battery University. [en línea]. [Consulta: 28 julio 2021]. Disponible en: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808a-how-to-awaken-a-sleeping-li-ion>.

BATTERY, U. BU-808c: Coulombic y eficiencia energética con la batería - Battery University. [en línea]. [Consulta: 23 agosto 2021]. Disponible en: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808c-coulombic-and-energy-efficiency-with-the-battery>.

BATTERY, U. Salvaguardias para la batería; Circuitos de protección - Battery University. Blog [en línea]. [Consulta: 12 junio 2021]. Disponible en: https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_circuits_for_modern_batteries.

BATTERY, U. BU-402: ¿Qué es la tasa C? - Universidad de la batería. [en línea]. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: <https://batteryuniversity.com/article/bu-402-what-is-c-rate>.

BATTERY, U. BU-302: Configuraciones de Baterías en Serie y Paralelo - Battery University. [en línea]. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <https://batteryuniversity.com/article/bu-302-configuraciones-de-bater%C3%ADas-en-serie-y-paralelo>.

BENQ. LCD ¿Qué es? y ¿Cuál es su uso en monitores? | BenQ México. [en línea]. [Consulta: 10 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.benq.com/es-mx/centro-de-conocimiento/conocimiento/que-es-lcd-y-como-se-usa-en-monitores.html>.

BIZARRON, M. ¿qué es y para qué sirve el cad? [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2022]. Disponible en: <https://aleph.org.mx/que-es-y-para-que-sirve-el-cad>.

BURKE, A. Battery Safety for Lithium Batteries in Vehicle Applications. Encyclopedia of Automotive Engineering, pp. 1–15. DOI 10.1002/9781118354179.auto065.

CASANOVA, C. Desarrollo de un software de monitorización y control para el cargador de baterías de ion litio B6AC V2. [en línea]. S.l.: [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2454/35889>.

CHÁVEZ, J.C.L.N. Epistemología y metodología. Primera Ed. México: Larousse - Grupo Editorial Patria,. ISBN 9786074388640.

CHIRIBOGA, E. and VELASCO, C. Diseño e implementación de un sistema de freno regenerativo y transmisión eléctrica en una motocicleta convencional para la carrera de Ingeniería Automotriz. (Trabajo de titulación). S.l.: s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7658>.

COSTA, C.M., BARBOSA, J.C., GONÇALVES, R., CASTRO, H., CAMPO, F.J.D. and LANCEROS-MÉNDEZ, S. Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities. *Energy Storage Materials*, vol. 37, pp. 433–465. ISSN 2405-8297. DOI 10.1016/J.ENSM.2021.02.032.

DALY. Daly bms balance board Li ion LiFePO4 BMS 3s 4s 6S 7S 10s 12S 13S 14S 15S 16S 20S 24S 12V 24v 40A 36v 48v batería 18650 de 60v|Accesorios para baterías| - AliExpress. [en línea]. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/32875971231.html?pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000021019161832%22%2C%22ship_from%22%3A%22%22%7D&gps-id=pcStoreJustForYou&scm=1007.23125.137358.0&scm_id=1007.23125.137358.0&scm-url=1007.23125.137358.0&pvid=c7e515a1-8c9a-4dbe-9713-e558a9ce13a0&spm=a2g0o.store_pc_home.smartJustForYou_875801992.0&gatewayAdapt=glo2esp.

DUPOUY, F. Metodologías para la evaluación, caracterización y reutilización de baterías de litio en formato 18650 para aplicaciones de segunda vida (Trabajo de titulación). Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE. [Consulta: 23 mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180038>.

FERNÁNDEZ, S. Todo sobre la batería Panasonic NCR18650B. La batería utilizada por Tesla | forococheselectricos. [en línea]. [Consulta: 12 junio 2021]. Disponible en: <https://forococheselectricos.com/2016/02/la-bateria-panasonic-ncr18650b.html>.

FIDALGO, R. Qué es el modo Limp Home | Autocasión. [en línea]. [Consulta: 10 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/que-es-el-modo-limp-home>.

FONSECA, J.H. LITIO UNA ALTERNATIVA PARA? Cells, Batteries And Lithium-Ion Batteries for an Alternative? *Journal Boliviano de Ciencias*, vol. 8, pp. 41–48.

FUENTES, A. ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE RECICLADO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS. [en línea]. Madrid: [Consulta: 23 mayo 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/10060>.

GARCÍA, G. Larga vida a las baterías de litio para los coches eléctricos. [en línea]. [Consulta: 11 junio 2021]. Disponible en: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/larga-vida-baterias-litio-coches-electricos/20190405115456026802.html>.

GONZÁLEZ, L. Vida y muerte de una batería de ion-litio (parte II). [en línea]. [Consulta: 16 agosto 2021]. Disponible en: <https://forococheselectricos.com/2013/05/vida-y-muerte-de-una-bateria-de-ion-2.html>.

GREEN, P. AWG ¿qué es? [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2022]. Disponible en: <https://pepegreen.com/awg-que-es/>.

GUTIÉRREZ, D. Siglas de coches eléctricos: BEV, HEV, PHEV, MHEV, FCEV... ¿Qué significan? - Curiosidades - Híbridos y Eléctricos | Coches eléctricos, híbridos enchufables. [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/curiosidades/significado-siglas-coches-electricos/20190712212309029022.html>.

HUAWEI. Diferencias entre el valor típico y el valor nominal (mínimo) de la capacidad de la batería | HUAWEI Soporte México. [en línea]. [Consulta: 3 marzo 2022]. Disponible en: <https://consumer.huawei.com/mx/support/content/es-us00698716/>.

INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, pp. 21.

INEN. Disposición de productos pilas y baterías en desuso. 2011. S.l.: s.n.

LIFE, S. Base de datos celular | Almacenamiento de Second Life y energía solar. [en línea]. [Consulta: 27 julio 2022]. Disponible en: <https://secondlifestorage.com/index.php?pages/cell-database/>.

LIITOKALA. Lii-S6. [en línea]. [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: http://liitokala.com/page92?product_id=21&brd=1&product_category=5.

MAATE. Plan de Gestión Integral de Pilas Usadas pretende reducir la afectación ambiental y cumplir metas graduales de recolección – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. [en línea]. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/plan-de-gestion-integral-de-pilas-usadas-pretende-reducir-la-afectacion-ambiental-y-cumplir-metas-graduales-de-recoleccion/>.

MÁRTIL, I. Esquema-bateria-vehiculo-electrico-tesla - El Blog de Ignacio Mártil. Blog [en línea]. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/01/11/como-son-las-baterias-de-ion-litio/esquema-bateria-vehiculo-electrico-tesla/>.

MECATRÓNICALATAM. Ley de Watt — MecatrónicaLATAM. [en línea]. [Consulta: 17 julio 2021]. Disponible en: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/teoria/ley-de-watt/>.

OJEDA, D. and ORTIZ, L. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ [en línea]. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. [Consulta: 27 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13637>.

REDEWEB. Determinando el estado de salud de las baterías de manera rápida y precisa | Revista Española de Electrónica. REVISTA ESPAÑOLA DE ELECTRÓNICA S.L. [en línea], [Consulta: 24 julio 2021]. Disponible en: <https://www.redeweb.com/articulos/determinando-el-estado-de-salud-de-las-baterias-de-manera-rapida-y-precisa/>.

REPACKR. rePackr - generador de paquetes 18650. [en línea]. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.repackr.com/#/faq>.

SAMSUNG. The Composition of EV Batteries: Cells? Modules? Packs? Let's Understand Properly! [en línea]. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <https://www.samsungdi.com/column/all/detail/54344.html>.

SOLÍS, F. and MORENO, G. Diseño y construcción de un Pack de Baterías de Litio para una Motocicleta Eléctrica con un Motor de 5KW [en línea]. Quito: Universidad Internacional SEK. [Consulta: 23 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3078>.

SONY, E.D.C. Sony Energy Devices Co. S.l.:

TAPIA, L. Acuerdo No.022. [en línea], [Consulta: 28 junio 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-022-pilas.pdf>.

UNIT, E. Batería 18650 3.7V 2200mAh - UNIT Electronics. Blog [en línea]. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/bateria-18650-3-7v-2200mah/>.

VALERO, J. Un conversor DC-DC para coches eléctricos con una eficiencia del 98,7% es posible. [en línea]. [Consulta: 10 marzo 2022]. Disponible en: <https://hipertextual.com/2014/08/conversor-dc-dc>.

VILLATORO, F. Premio Nobel de Química 2019: Goodenough, Whittingham y Yoshino por las baterías de ión-litio - La Ciencia de la Mula Francis. [en línea]. [Consulta: 12 junio 2021]. Disponible en: <https://francis.naukas.com/2019/10/09/premio-nobel-de-quimica-2019/>.

WOODBANK, C.L. Determinación del estado de carga de la batería. [en línea]. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <https://www.mpoweruk.com/soc.htm>.

WOODBANK, C.L. Sistemas de monitorización y gestión de baterías BMS. Blog [en línea]. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <https://www.mpoweruk.com/bms.htm>.

ANEXOS

ANEXO A: Prueba de estado de vida de las celdas



Second Life Storage

Hogar Foros Qué hay de nuevo... Miembros... Herramientas de batería... Discordia grupo de facebook... Iniciar sesión Registro... Búsqueda

Nuevas publicaciones Buscar foros

Hogar > Foros >

Base de datos celular

Reabastecimiento MASIVO de baterías EV en www.batteryhookup.com Cupón del 5 % "POWERWALLS"

Palabras clave del modelo	Marca/Fabricante	Factor de forma	Clasificación
Sanyo	18650		Nombre de la marca

Marca	Modelo	Factor de forma	Color de envoltura	Color del anillo	Imagen de celda	Datos de celda
Sanyo	NCR18650BF	18650	Rojo	Marrón		Ver especificaciones
Sanyo	NCR18650BL	18650	Rojo	Negro		Ver especificaciones
Sanyo	NCR18650GA	18650	Rojo	Azul		Ver especificaciones
Sanyo	UR18650A	18650	Rojo	Bianco		Ver especificaciones
Sanyo	UR18650A	18650	Rojo	Púrpura		Ver especificaciones
Sanyo	UR18650E	18650	Rojo	Púrpura (gris)		Ver especificaciones
yo	UR18650EA	18650	Rojo	Negro		Ver especificaciones

Second Life Storage

Hogar Foros Qué hay de nuevo... Miembros... Herramientas de batería... Disc...

Nuevas publicaciones... Buscar foros

Hogar > Foros > Discusiones sobre la batería > Datos y especificaciones de la celda >

Especificaciones de la celda Sony US18650GR (G8)

Las baterías: 19 de septiembre de 2017

Reabastecimiento MASIVO de baterías EV en www.batteryhookup.com

19 de septiembre de 2017

Advertencia: La información en este foro se obtiene de varias fuentes en internet solo como referencia. No se garantiza que sea preciso. Para evitar incendios o de la información usted mismo utilizando la hoja de especificaciones original prove...

Las baterías Administrador 18 de octubre de 2014 2:12

Marca:	sony
Modelo:	US18650GR (G8)
Capacidad:	2600 mAh nominal
Voltaje:	3.70 V nominal
Cargando:	4.20 V máximo 1000 mA estándar ... mA máximo
Descarga:	Corte de 2.75 V 320 mA estándar ... mA máximo
Descripción:	Envoltura de celda verde Anillo aislante negro Factor de forma 18650

Celda	Marca	Modelo	Color	Semana	Capacidad de descarga (mAh)	Tasa de descarga C-Rate (1000 mA)	Tiempo de descarga (h)	Capacidad nominal del	Capacidad de carga (mAh)	Tasa de carga C-Rate (1000 mA)	Tiempo de carga (h)	Semana (V)	Fórmula (V)	Nivel de carga después de un mes	Pérdida %	Soft (%)	CE (%)	Enlace
1	SAMSUNG	CG18650-ZF		4,17	2126	0,24	4,25	2100	2240	0,45	2,35	4,16	0,01	99,78%	0,24%	97%	95%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cg18650-zf-cell-specifications-1309
2	LG	UG04518650		4,18	2066	0,24	4,18	2100	2240	0,44	2,35	4,13	0,03	99,26%	0,72%	92%	92%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04518650-cell-specifications-1309
3	LG	UG04818650		4,18	2639	0,19	5,28	2600	2915	0,35	2,83	4,16	0,02	99,52%	0,48%	102%	97%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04818650-cell-specifications-1309
4	SONY	VLI18650GR		4,18	2262	0,22	4,57	2000	2296	0,44	2,30	4,14	0,04	99,24%	0,76%	88%	100%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
5	SAMSUNG	CR18650-26C		4,17	2268	0,22	4,54	2000	2361	0,42	2,36	4,16	0,01	99,79%	0,24%	87%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-26c-cell-specifications-1382
6	LG	UG04818650		4,18	1627	0,18	5,54	2000	2720	0,36	2,77	4,16	0,03	99,54%	0,46%	101%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04818650-cell-specifications-1309
7	LG	UG04518650		4,18	2074	0,24	4,14	2100	2100	0,48	2,19	4,13	0,05	98,80%	1,20%	94%	95%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04518650-cell-specifications-1309
8	LG	UG04818650		4,18	2635	0,19	5,27	2000	2889	0,35	2,89	4,13	0,05	98,80%	1,20%	101%	91%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04818650-cell-specifications-1309
9	SONY	VLI18650GR		4,18	2142	0,22	4,68	2100	2749	0,36	2,75	4,09	0,06	97,87%	2,13%	86%	87%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
10	SAMSUNG	CR18650-ZF		4,17	2113	0,24	4,23	2100	2280	0,44	2,29	4,13	0,04	99,24%	0,96%	96%	92%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-zf-cell-specifications-1309
11	SAMSUNG	CR18650-30B		4,18	2364	0,21	4,74	2100	2493	0,43	2,44	4,13	0,01	98,37%	1,87%	88%	87%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-30b-cell-specifications-1309
12	SAMSUNG	CR18650-30B		4,18	2386	0,21	4,77	2050	2588	0,39	2,59	4,13	0,05	98,80%	1,20%	81%	92%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-30b-cell-specifications-1309
13	SAMSUNG	CR18650-30B		4,17	2355	0,21	4,71	2100	2548	0,39	2,55	4,13	0,04	99,04%	0,96%	86%	82%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-30b-cell-specifications-1309
14	SONY	VLI18650GR		4,18	2255	0,22	4,69	2100	2512	0,45	2,31	4,13	0,05	98,80%	1,20%	100%	89%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
15	SAMSUNG	CR18650-ZF		4,18	2192	0,24	4,20	2100	2313	0,43	2,33	4,13	0,05	98,80%	1,20%	96%	91%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-zf-cell-specifications-1309
16	SAMSUNG	CR18650-26C		4,19	2320	0,22	4,64	2000	2451	0,41	2,45	4,14	0,05	98,83%	1,19%	89%	93%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-26c-cell-specifications-1382
17	SONY	VLI18650GR		4,19	2273	0,22	4,58	2100	2486	0,41	2,45	4,13	0,04	99,05%	0,95%	100%	84%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
18	LG	UG04518650		4,19	2096	0,24	4,19	2100	2226	0,46	2,28	4,13	0,06	98,37%	1,45%	97%	92%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04518650-cell-specifications-1309
19	SAMSUNG	CR18650-26F		4,18	2107	0,24	4,21	2000	2113	0,47	2,13	4,08	0,11	97,63%	2,39%	81%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-26f-cell-specifications-1382
20	SONY	VLI18650GR		4,18	2215	0,23	4,43	2000	2299	0,43	2,30	4,1	0,08	98,09%	1,91%	85%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
21	LG	UG04518650		4,18	2066	0,24	4,20	2100	2277	0,44	2,28	4,13	0,06	98,36%	1,45%	97%	92%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04518650-cell-specifications-1309
22	SONY	VLI18650GR		4,19	2348	0,21	4,70	2000	2348	0,43	2,35	4,1	0,09	97,83%	2,13%	90%	100%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
23	SAMSUNG	CR18650-26A		4,19	2164	0,24	4,13	2100	2252	0,44	2,31	4,13	0,06	98,36%	1,45%	87%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-26a-cell-specifications-1382
24	LG	UG0218650		4,19	2025	0,25	4,05	2100	2173	0,46	2,17	4,09	0,13	97,61%	2,39%	92%	93%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug0218650-cell-specifications-1324
25	LG	UG04818650		4,19	2624	0,19	5,25	2000	2889	0,35	2,89	4,12	0,04	99,05%	0,95%	101%	91%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04818650-cell-specifications-1309
26	SAMSUNG	CR18650-26C		4,19	2253	0,22	4,51	2000	2295	0,44	2,29	4,12	0,07	98,33%	1,87%	87%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-26c-cell-specifications-1382
27	SAMSUNG	CR18650-26C		4,18	2248	0,22	4,50	2000	2334	0,43	2,33	4,13	0,05	98,80%	1,20%	86%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-26c-cell-specifications-1382
28	FEI	755214		4,18	2457	0,26	4,61	2100	2561	0,39	2,56	4,13	0,05	98,80%	1,20%	112%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/fei-755214-cell-specifications-1327
29	LG	UG04518650		4,18	2100	0,23	4,40	2100	2233	0,45	2,27	4,12	0,08	98,14%	1,44%	100%	99%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04518650-cell-specifications-1309
30	SONY	VLI18650GR		4,19	2173	0,22	4,54	2100	2421	0,43	2,42	4,12	0,05	98,80%	1,20%	102%	94%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
31	LG	UG04518650		4,18	2025	0,25	4,05	2100	2216	0,45	2,22	4,1	0,08	98,09%	1,91%	92%	91%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04518650-cell-specifications-1309
32	SONY	VLI18650GR		4,18	2280	0,22	4,54	2100	2407	0,42	2,41	4,12	0,08	98,36%	1,44%	100%	96%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
33	LG	UG04518650		4,18	2069	0,24	4,18	2100	2407	0,43	2,43	4,13	0,05	98,80%	1,20%	97%	87%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04518650-cell-specifications-1309
34	SONY	VLI18650GR		4,19	2164	0,23	4,33	2000	2274	0,45	2,27	4,11	0,08	98,36%	1,91%	83%	97%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
35	SAMSUNG	CR18650-26A		4,19	2107	0,24	4,21	2100	2413	0,47	2,31	4,13	0,05	98,80%	1,20%	97%	100%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-26a-cell-specifications-1382
36	SONY	VLI18650GR		4,18	2267	0,22	4,53	2100	2469	0,43	2,45	4,14	0,04	99,04%	0,96%	100%	93%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/sony-vli18650-gr-cell-specifications-1311
37	FEI	755214		4,19	2441	0,26	4,68	2100	2688	0,38	2,61	4,14	0,05	98,81%	1,19%	97%	92%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/fei-755214-cell-specifications-1327
38	LG	UG04818650		4,19	2672	0,19	5,34	2000	2880	0,35	2,88	4,13	0,04	99,05%	0,95%	100%	93%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug04818650-cell-specifications-1309
39	SAMSUNG	CR18650-ZF		4,19	2322	0,24	4,24	2100	2222	0,44	2,28	4,13	0,06	98,37%	1,43%	96%	94%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-zf-cell-specifications-1309
40	LG	UG0218650		4,19	2013	0,25	4,03	2100	2132	0,47	2,13	4,1	0,05	98,81%	1,19%	93%	94%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/lg-ug0218650-cell-specifications-1324
41	SAMSUNG	CR18650-ZF		4,18	2099	0,24	4,20	2100	2160	0,46	2,16	4,13	0,05	98,80%	1,20%	95%	97%	https://second-life-storage.com/index.php?threads/samsung-cr18650-zf-cell-specifications-1309

ANEXO B: Construcción de la batería



ANEXO C: Instalación de la batería en la motoneta



ANEXO D: Rutas y datos obtenidos en las pruebas

